



GUIDE DES ACTES DIAGNOSTIQUES ET THÉRAPEUTIQUES RÉALISÉS AU SERVICE DE MÉDECINE NUCLÉAIRE DE CHU HASSAN II FÈS

Mémoire présenté par :

Docteur CHKIKAR Sofia

Née le 17/03/1993

Mémoire Pour l'obtention du diplôme de spécialité en médecine

Option : Médecine Nucléaire

Sous la direction de Professeur ISMAILI ALAOUI Nadia

Session juin 2024

Dr. Nadia ISMAILI ALAOUI
Professeur en Médecine Nucléaire
CHU HASSAN II - FES

Remerciements

A ma très chère maman,

Latifa

Pour les heures pleines de bonheur et de tendresse. Pour les chaudes larmes qui hantent ma mémoire. Pour l'ampleur de tes prières et tes sacrifices.

Pour toi ma chère maman qui mis l'avenir de tes enfants en premiers et la vie terrestre en dernier. Tu es ce que j'ai de plus cher au monde.

Aucun mot, ni expression ne saurait exprimer tout mon amour et toute ma gratitude. En ce jour j'espère réaliser, chère mère, et douce créature un de tes rêves.

Que Dieu, tout puissant, te garde, te procure santé, bonheur et longue vie pour que tu demeures le flambeau illuminant mon chemin....

A mon très cher papa,

Abdellali

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices consentis pour mon instruction et mon bien être. Tu as été pour moi durant toute ma vie le père exemplaire, l'ami et le conseiller. Tes prières ont été pour moi d'un grand soutien au cours de ce long parcours. J'espère réaliser ce jour un de tes rêves et être digne de ton nom, ton éducation, ta confiance et des hautes valeurs que tu m'as inculquée. Que Dieu, tout puissant, te garde, te procure santé, bonheur et longue vie pour que tu demeures le flambeau illuminant mon chemin....

A mon cher frère,

Quadie

Tu m'as soutenue et comblée tout au long de mon parcours. Tu sais que l'affection et l'amour fraternel que je te porte sont sans limite. Je te dédie ce travail en témoignage de l'amour et des liens de sang qui nous unissent. Puissions-nous rester unis dans la tendresse et fidèles à l'éducation que nous avons reçue. J'implore Dieu qu'il vous apporte bonheur et vous aide à réaliser tous tes vœux.

A ma grande mère,

Zahra

Je suis très fière d'être ta petite fille, Que cette thèse soit pour toi le témoignage de mes sentiments les plus sincères et les plus affectueux. Je te souhaite une longue vie pleine de bonheur et de prospérité.

A toute ma famille,

Veuillez trouver dans ce travail, l'expression de mon respect et ma considération.

*A mes amies et collègues,
Particulièrement Assia, Noura et Latifa*

A tous les moments qu'on a passés ensemble, à tous nos souvenirs ! Je vous souhaite à tous longue vie pleine de bonheur et de prospérité. Je vous dédie ce travail en témoignage de ma reconnaissance et de mon respect.

A ma chère Halima El Abri

Je me dois d'avouer pleinement ma reconnaissance à ton égard ; toi qui m'a réellement soutenue durant mon parcours de formation, qui a su me hisser vers le haut pour atteindre mon objectif tout au long de ma pratique courante. C'est avec amour, respect et gratitude que je te dédie ce travail.

*A Toute l'équipe du Service de Médecine Nucléaire du Centre
Hospitalier Hassan II de Fès*

Veillez trouver dans ce travail, l'expression de mon respect et ma considération. Je vous souhaite à vous tous une longue vie pleine de bonheur et de prospérité.

*A Toute l'équipe du Service de Médecine Nucléaire du Centre
Hospitalier Alpes Léman, France*

*Veillez trouver dans ce travail, l'expression de mon respect et ma
considération. Je vous souhaite à vous tous une longue vie pleine de
bonheur et de prospérité.*

*A tous mes enseignants du primaire, secondaire et de la faculté de médecine
et de pharmacie de Fès*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer le respect que je vous porte de
même que ma reconnaissance pour tous les sacrifices consentis pour
mon éducation, mon instruction et mon bien être. Puisse Dieu tout
puissant vous procure santé, bonheur et longue vie.*

A tous ceux qui me sont chers et que je n'ai pu citer.

*À notre maître et rapporteur
Madame le Professeur Ismaili Alaoui Nadia
Professeur de Médecine Nucléaire*

*Vous nous faites un grand honneur à travailler sous votre direction.
Merci pour votre encadrement. Que ce modeste travail soit un
témoignage de notre grande estime et de notre profond respect.*

*H
Madame Christelle Tychyj
Médecin spécialiste en Médecine Nucléaire et chef du
Service de Médecine Nucléaire du Centre Hospitalier Alpes Léman
France*

*©
Monsieur Benoit Denizot et Monsieur Alexis Brut
Médecins spécialistes en Médecine Nucléaire
Service de Médecine Nucléaire du Centre Hospitalier Alpes Léman
France*

*Nous avons trouvé le plus grand plaisir à travailler sous votre
direction. Merci pour votre encadrement. Que ce modeste travail soit
un témoignage de notre grande estime et de notre profond respect.*

Sommaire

INTRODUCTION	7
PRINCIPE DE BASE EN SCINTIGRAPHIE MONOPHOTONIQUE	9
MESURES DE RADIOPROTECTION	14
PRINCIPE DE BASE EN IRATHÉRAPIE	24
EXPLORATIONS SCINTIGRAPHIQUES	28
Scintigraphie osseuse	29
Scintigraphie thyroïdienne au ^{99m}Tc	50
Scintigraphie parathyroïdienne au ^{99m}Tc -MIBI	58
Scintigraphie aux analogues de la somatostatine marqué ^{99m}Tc (Octréoscan)	76
Scintigraphie à la ^{131}I -MIBG	84
Scintigraphie myocardique de perfusion au ^{99m}Tc -MIBI	94
Scintigraphie pulmonaire de ventilation et de perfusion	111
Ganglion sentinelle dans le cancer du sein	128
Scintigraphie rénale à la DMSA	135
Scintigraphie à la ^{99m}Tc -DTPA / ^{99m}Tc -MAG3	147
Scintigraphie à la recherche du diverticule de Meckel	159
ACTES THÉRAPEUTIQUES	164
Traitement des cancers différenciés de la thyroïde	165
Traitement des hyperthyroïdies	187
CONCLUSION	195
RÉSUMÉ	197
Liste des références	201
ANNEXES	206

INTRODUCTION

La Médecine Nucléaire a connu de grands progrès ces dernières années que ça soit dans le volet diagnostique ou thérapeutique.

Le rôle du médecin nucléaire ne se limite plus à apporter une réponse donnée à une question posée par le clinicien mais de participer activement à la prise en charge des patients depuis l'étape diagnostique, le choix thérapeutique et le suivi post-thérapeutique.

Toutes ces contraintes et d'autres, ont rendu obligatoire l'élaboration de ce guide des actes diagnostiques et thérapeutiques, afin de répondre à un besoin crucial pour encadrer l'activité du service dans des conditions hautement consensuelles.

Ce travail est le fruit de la collaboration de toute l'équipe médicale et paramédicale du service de Médecine Nucléaire de l'hôpital d'oncologie du CHU HASSAN II de Fès et a un double objectif :

- ✓ L'uniformisation des protocoles scintigraphiques, des comptes rendus et les algorithmes de la prise en charge des cancers différenciés de la thyroïde et des hyperthyroïdies.
- ✓ L'aide du personnel médical et paramédical dans leurs premiers pas pour l'apprentissage des différents examens scintigraphiques et actes thérapeutiques réalisés au sein de notre service.

Enfin, nous espérons que ce travail sera sujet à un perpétuel renouvellement.

PRINCIPE DE BASE EN **SCINTIGRAPHIE MONOPHOTONIQUE**

I. Introduction :

La scintigraphie monophotonique permet d'étudier la fonction d'un organe ou d'une cible après l'injection d'un radiopharmaceutique émetteur de rayonnement gamma (γ).

La détection de la cinétique et de la distribution du radiopharmaceutique est réalisée à l'aide d'une gamma-caméra qui permet de détecter les photons gamma émis à travers le corps du patient par le radiopharmaceutique lors de sa désintégration.

II. Le radiopharmaceutique :

Une large gamme de radiopharmaceutiques diagnostiques contient comme radioisotope le ^{99m}Tc -Technétium (^{99m}Tc). L'attrait de cet isotope réside dans sa disponibilité permanente dans le service, l'énergie de ses rayons γ bien adaptée aux caméras de 140keV et sa période physique (T) de 6 heures permettant à la fois une bonne organisation des examens et la limitation de l'exposition du patient aux radiations ionisantes.

Le ^{99m}Tc est produit par un générateur de Molybdène-99 (^{99}Mo , T = 67 h) qui est installé et renouvelé une fois par deux semaines.

Le pertechnétate (et le ^{99m}Tc libre) lui-même est sécrété par les glandes salivaires, l'estomac, les reins et un éventuel diverticule de Meckel et il est capté par la thyroïde et les organes génitaux (testicules) permettant la réalisation d'examens scintigraphiques de ces structures sans autre modification.

Afin de pouvoir examiner d'autres organes ou leurs fonctions métaboliques, le ^{99m}Tc est couplé à différents vecteurs disponibles sous

forme de kits de marquage. Ces différents vecteurs ont une affinité spécifique pour un organe ou une fonction physiologique ou pathologique donnée (reins, foie, cerveau, muscle ou tumeur, métabolisme osseux, etc....). Une fois radiomarké, le vecteur radioactif est appelé radiopharmaceutique ou radiotraceur (Figure 1).

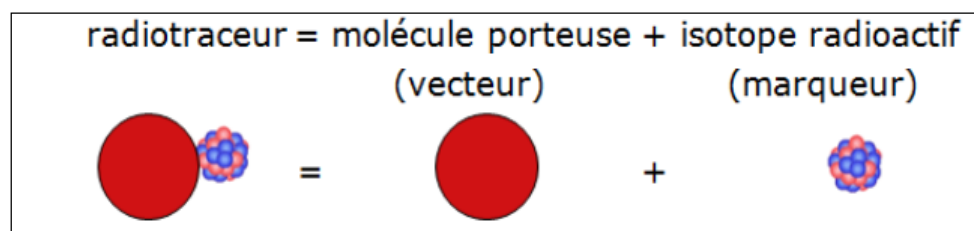


Figure 1 : Composition d'un radiotraceur

III. Instrumentation :

La technique scintigraphique classique, basée sur la détection de radioisotopes émetteurs de rayonnements γ , utilise un ou plusieurs détecteurs de photons, compris sur une même caméra.

Le détecteur présente, en couches successives, un collimateur en plomb qui permet de sélectionner les photons provenant d'une unique direction (parallèle). Le rayonnement γ arrive à travers le collimateur sur un cristal scintillant qui transforme les rayons γ en un signal lumineux (scintillation). Le signal lumineux est amplifié dans des tubes de photomultiplication pour former un signal électrique dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie du rayonnement γ détecté. L'information du détecteur est ensuite traitée sous forme numérique par l'ordinateur qui permet d'obtenir des projections similaires à celles du radiodiagnostic

classique et qui peut être imprimée sous forme de film photographique (Figure 2).

La gamma-caméra peut être couplée à un scanner faible dose, appelé encore gamma-caméra hybride, permettant d'obtenir des images de fusion.

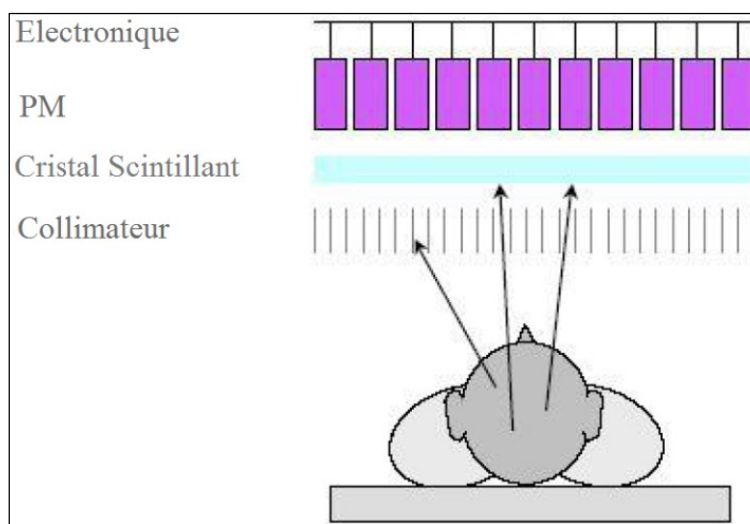


Figure 2 : Caméra à scintillation

IV. Acquisitions :

Plusieurs types acquisitions peuvent être réalisées en fonction du radiopharmaceutique utilisé et de l'organe étudié :

- ✓ Acquisition statique : acquisition de l'image centrée sur une région localisée du squelette.
- ✓ Acquisition dynamique : enregistrement d'une série d'images centrées sur une région anatomique montrant l'évolution de la distribution du radiotraceur au fil du temps.
- ✓ Acquisition corps entier : examen fournissant des images en vue antérieure et postérieure de la projection plane du squelette axial et des membres.

- ✓ La tomoscintigraphie appelée TEMP (Tomoscintigraphie à Emission Monophotonique), Le rayonnement γ émanant du patient est enregistré au moyen d'images de projection sur 360° (tour du patient). Les images TEMP sont généralement corrigées pour l'atténuation tissulaire et éventuellement des phénomènes de diffusion du rayonnement γ .
- ✓ La tomoscintigraphie couplée à un scanner appelée TEMP TDM : est une acquisition TEMP suivie successivement par un scanner faible dose, permettant d'obtenir des images de fusion.

MESURES DE RADIOPROTECTION

I. Introduction :

La radioprotection est un aspect essentiel de la médecine nucléaire, visant à minimiser l'exposition aux rayonnements des patients et du personnel tout en garantissant l'utilisation sûre et efficace des matières radioactives à des fins diagnostiques et thérapeutiques.

Ce chapitre donne un aperçu des principes, des techniques et des réglementations de radioprotection dans notre service.

Les sujets abordés comprennent les pratiques de radioprotection, les stratégies d'optimisation des doses, la protection des patients et du personnel, la surveillance des rayonnements et le respect des exigences réglementaires.

II. Radioprotection du personnel :

❖ Pour le ^{99m}Tc :

Des règles de radioprotection doivent être prises en compte afin de minimiser la radioexposition :

1. Contre l'exposition Externe :

Trois mesures sont essentielles pour réduire la radioexposition externe :

- ✓ La distance : Soient D_1 et D_2 les débits d'équivalents de doses reçus aux distances x_1 et x_2 respectivement. Le débit D obéit à la loi de l'inverse carré de la distance, Donc : $D_1 / D_2 = (x_2 / x_1)^2$
(Figure 3)

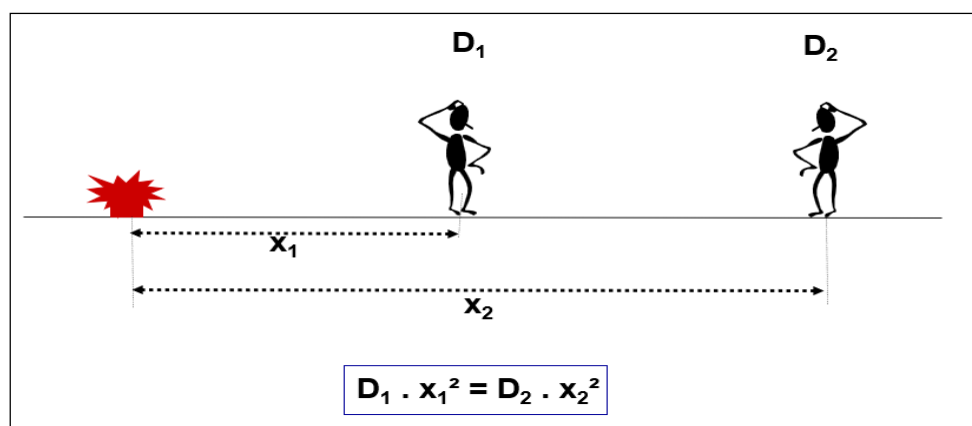


Figure 3 : Relation entre les débits équivalents de doses et les distances

- ✓ L'utilisation d'écrans : Ce moyen est très efficace. Les écrans utilisés en médecine nucléaire contre les rayonnements gamma sont faits de matériaux à Z élevé, par exemple le plomb ou le tungstène.
- ✓ Le temps d'exposition (T.E) : Pour un débit donné, la dose D_a est proportionnelle au T.E. il est donc capital si l'on veut réduire l'exposition de réduire au minimum la durée d'exposition.

2. Protection contre la contamination :

- Contamination des locaux : D'où l'intérêt de la prévention, de la formation des travailleurs et de l'information du public.
- Contamination interne : Dans les lieux où sont manipulés des radioéléments, le respect de certaines règles est impératif :
 - ✓ Port de blouse et de gants.
 - ✓ Eviction de boire, manger ou fumer en zone contrôlée.

- ✓ Utilisation de matériel et des locaux de façon adéquate :
préparation à l'intérieur d'enceintes blindées, utilisation de
protèges seringues et de protèges flacons blindés.
- ✓ Contrôle systématique des travailleurs.
- ✓ Identification claire des préparations.
- ✓ Elimination des déchets selon les consignes.

❖ Pour l'iode 131 :

Le personnel soignant prenant en charge le patient lors de cette hospitalisation doit bénéficier d'une formation adaptée à la radioprotection.

Les précautions visent surtout à :

- ✓ Limiter le contact avec le patient.
- ✓ Utiliser des blouses et les écrans plombés.
- ✓ Eviter les contaminations par l'usage de gants pour les soins, la manipulation des urines et le nettoyage des chambres et en particulier des toilettes.
- ✓ Suivre les recommandations de gestion des déchets susceptibles d'être radioactifs.

❖ Le suivi dosimétrique :

Chaque personnel soignant de notre service porte un dosimètre individuel (corps entier) changé mensuellement.

Ce suivi dosimétrique est assuré par le CNRP et par le service de médecine de travail de notre CHU.

III. Radioprotection du patient et de son entourage :

❖ Pour le 99mTc :

Les précautions visent surtout à :

- ✓ Limiter le contact avec des enfants (<15ans) et les femmes enceintes pendant les 24 heures suivant l'injection.
- ✓ Les urines et les selles sont éliminées dans les toilettes normales.
- ✓ On recommande de tirer deux fois la chasse d'eau, avec lavage soigneux des mains pendant 24 heures.
- ✓ Le matériel de soin contaminé (sondes urinaires, garnitures, bouchons...) doit être manipulé avec des gants.
- ✓ L'allaitement sera arrêté pendant 24 heures et le lait doit être tiré et jeté.

❖ Pour l'iode 131 :

Le respect de certaines règles est impératif :

- ✓ L'administration à visée thérapeutique d'iode 131 nécessite l'hospitalisation du patient en chambre radio-protégée contre les rayonnements ionisants pour des doses élevées 3.7 GBq (100mCi) et les déchets (le reste de la nourriture et des autres déchets solides) sont conservés dans des containers installés dans un local de stockage adapté pour la décroissance radioactive. Les chambres sont équipées de WC séparateurs avec un compartiment pour les liquides (urines) raccordé à des cuves de croissance et un compartiment pour les solides (matières fécales) raccordé à une fosse septique.

- ✓ L'information obligatoire des personnes exposées aux rayonnements ionisants lors d'un acte d'irathérapie (un livret d'information est délivré).
- ✓ D'une manière générale, les contacts avec le public conduisent à une exposition inférieure à 1 mSv/an. Cependant, afin de limiter l'exposition du public, il peut être conseillé au patient de limiter les contacts avec le public, en particulier les jeunes enfants (<15ans) et les femmes enceintes.
- ✓ Dans quelques cas particuliers, de contacts proches et prolongés, des dépassements de la dose limite de 1 mSv peuvent être atteints. Des recommandations sont alors à formuler, tel qu'un arrêt de travail lorsque le patient a des contacts proches (de l'ordre de 1 m) et prolongés (7 h/j) toujours avec le même collègue pour des activités résiduelles supérieures ou égales à 600 MBq ou des débits de dose supérieurs ou égaux à 30 μ Sv/h.
- ✓ Pour les proches, des recommandations de limitations de contacts avec le conjoint et les enfants sont à formuler, leur durée d'application dépend de l'activité résiduelle d'iode 131 ou de la valeur du débit de dose à 1 m mesuré à l'aide d'un débitmètre d'exposition placé en vis à vis de la partie inférieure du sternum, en sortie d'hospitalisation.
- ✓ L'allaitement doit être arrêté définitivement. Il peut évidemment être repris lors d'une grossesse ultérieure.

IV. Conduite à tenir en cas de contamination surfacique accidentelle :

En cas de contamination surfacique accidentelle, il faut procéder immédiatement à la décontamination radioactive de la surface concernée selon le protocole suivant :

- ✓ Mettre des gants non stériles.
- ✓ Délimiter et identifier la zone contaminée.
- ✓ Effectuer une décontamination de cette zone avec une chiffonnette imbibée de solution décontaminante TFD4 diluée au dixième, de la périphérie vers le centre de la contamination.
- ✓ Procéder par petites surfaces successives en changeant à chaque fois de chiffonnette.
- ✓ Rincer à l'eau.
- ✓ Éliminer les déchets susceptibles d'être contaminés.
- ✓ Vérifier l'efficacité de la décontamination en mesurant la radioactivité résiduelle à l'aide du contaminamètre.
- ✓ Renouveler si besoin le nettoyage.

V. Gestion des déchets radioactifs :

Les différents types des déchets dans le service de Médecine Nucléaire sont :

- ✓ DASRI : Déchets d'activités de soins à risques, Ils comprennent les matériels de soins souillés (seringues, tubulures, perfuseurs,

compresses...), les objets piquants, coupants, tranchants et les produits et pièces anatomiques d'origine biologiques.

- ✓ DAOM : Déchets assimilés aux ordures ménagères. Déchets issus des activités de soins non souillés de sang
- ✓ Déchet type I : Déchets contaminés par un radionucléide dont la période physique est < 8 jours
- ✓ Déchet type II : Déchets contaminés par un radionucléide dont la période physique est > 8 jours.
- ✓ Déchets PCT : Déchets piquants coupants tranchants Déchets froids : déchets non contaminés par de la radioactivité.
- ✓ Déchets chauds : déchets contaminés par de la radioactivité.

Les déchets de radiopharmacie sont triés le plus en amont possible. Dès leur production, ils sont stockés dans des poubelles spécifiques plombées réparties dans le service.

Une fois par semaine (le lundi matin), les déchets radioactifs sont regroupés et stockés dans le local de livraison du service pour être emmenés le mardi matin, par le service coursier de l'hôpital, jusqu'au lieu de stockage et décroissance des déchets radioactifs de l'Hôpital.

Le tri s'effectue sur les critères suivants :

- 1– Radioactifs /non radioactifs : les déchets radioactifs sont séparés des autres déchets afin de permettre leur décroissance avant de les remettre dans le circuit des déchets froids DASRI.
- 2– Repris / stockés : Les déchets repris sont des déchets qui vont être repris à l'état actif c'est-à-dire encore radioactifs. Il s'agit des

générateurs de $^{90}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Ces derniers sont récupérés toutes les semaines par le laboratoire qui les livre. Tous les autres déchets radioactifs ne sont pas repris et vont donc être stockés dans l'hôpital jusqu'à décroissance

- 3- Solides / liquides : Les déchets solides (non radioactifs) sont stockés dans des boîtes/fûts jaunes DASRI, les déchets solides radioactifs sont stockés dans les poubelles plombées. Les déchets liquides sont évacués dans les éviers et WC du service reliés à des cuves de décroissances (l'évier du laboratoire de préparation, l'évier de la salle d'injection, et WC salles d'hospitalisation).
- 4- MRP /PCT / non PCT : les MRP sont regroupés et stockés dans l'enceinte à déchets temporaire du laboratoire de préparation. Les déchets PCT radioactifs sont regroupés dans des boîtes DASRI jaunes placées dans des poubelles plombées. Les déchets non PCT sont regroupés dans des sacs plastiques jaunes placés dans des poubelles plombées.
- 5- Type I/ Type II : Les MRP et les PCT sont également triés selon la période physique du radionucléide : les déchets contenant des radionucléides dont la période $T < 8 \text{ j}$ sont stockés dans des poubelles annotées « Type I » et ceux contenant des radionucléides dont la période $T > 8 \text{ j}$ sont stockés dans des poubelles annotées « Type II ». Toutes les boîtes DASRI contenant des déchets radioactifs doivent être identifiées (au marqueur) avec les informations suivantes :

- ✓ Date ouverture
- ✓ Type I ou II
- ✓ « MRP » (si besoin)
- ✓ Date fermeture

Tous les sacs remplis le lundi matin avant évacuation doivent avoir une étiquette collée indiquant les informations suivantes :

- ✓ N° de sac
- ✓ Type de déchets (type I, Type II, Poubelle ventilation...)
- ✓ Date de fermeture
- ✓ Date d'élimination théorique
- ✓ Le(s) radionucléide(s) contenu(s) (éventuellement les activités résiduelles) (Au minimum le radionucléide dont la période est la plus longue).
- ✓ Le Trèfle radioactif

PRINCIPE DE BASE EN IRATHÉRAPIE

I. Introduction :

L'irathérapie est un procédé de la médecine nucléaire qui consiste en l'administration d'une dose élevée le plus souvent par voie orale d'iode 131 sous forme d'iodure de sodium (NaI) à des fins thérapeutiques.

Elle est indiquée dans le traitement des cancers différenciés de la thyroïde et des hyperthyroïdies.

II. Radiopharmaceutique :

Le choix du radiopharmaceutique fait intervenir les propriétés biologiques et les propriétés physiques :

1. Les propriétés biologiques :

L'iode 131 se caractérise par un rapport de l'activité tumorale sur l'activité de tissus sains élevé par la fixation tumorale sélective, la rétention prolongée dans la cible et la clairance rapide des tissus sains.

2. Les propriétés physiques :

Le parcours dépend de la nature et de l'énergie de la particule. Pour l'iode 131 le rayonnement est un β^- d'énergie 606 keV et un parcours de quelques millimètres.

Transfert linéique d'énergie qui permet de déterminer la cytotoxicité.

La période physique : la plus proche possible de la période biologique de la cible. Pour l'iode 131, la période physique est de 8.02 jours.

L'iode 131 émet lors de sa désintégration à part le rayonnement particulaire thérapeutique (β^-) une petite quantité de rayonnement (γ) d'une énergie de 364 keV, qui permet la visualisation par scintigraphie de la distribution du radioisotope et la dosimétrie.

III. Avantages de l'irathérapie :

L'irathérapie présente plusieurs avantages, parmi lesquelles on cite :

- ✓ Le ciblage sélectif des cellules tumorales et peu d'effet sur les tissus sains.
- ✓ Irradiation in situ (peu d'effet systémique).
- ✓ Irradiation continue, prolongée et à bas débit.
- ✓ Traitement des lésions résiduelles de petite taille et métastatiques

IV. Données dosimétriques :

Caractéristiques de l'irradiation par radiothérapie interne vectorisée :

- ✓ Continue et prolongée
- ✓ A bas débit de dose : 0.5 Gy/h
- ✓ Hétérogène : hétérogénéité à l'échelle tissulaire dépendante de la vascularisation et du microenvironnement et à l'échelle cellulaire avec une trajectoire des particules aléatoires.

L'efficacité dépend de la dose absorbée et de la radiosensibilité tumorale.

V. Données radiobiologiques :

Les bas débits de doses agissent par :

- ✓ Action directe par cytolyse immédiate.
- ✓ Action indirecte par perturbation génique.
- ✓ Bystander effect par des perturbations des cellules voisines non irradiées mais ayant communiqué avec des cellules irradiées
- ✓ Irradiation du microenvironnement et inflammation radio-induite responsable d'une action indirecte sur les cellules tumorales.

EXPLORATIONS

SCINTIGRAPHIQUES

Scintigraphie osseuse

I. Définition :

Technique d'imagerie non invasive, sensible et efficace permettant d'étudier la distribution d'un traceur radioactif à tropisme osseux sur l'ensemble du squelette (par des images planaires ou tomographiques), elle permet la visualisation de la fonction métabolique osseuse.

II. Indications :

1. Orientation diagnostique :

- ✓ Douleur osseuse chez un patient présentant des antécédents néoplasiques
- ✓ Augmentation des marqueurs tumoraux chez un patient suivi pour néoplasie
- ✓ Guide pour biopsie ou exérèse
- ✓ Polyarthralgies
- ✓ Douleur ostéoarticulaire unique ou multiple

2. Pathologies bénignes :

❖ Recherche de fractures :

- ✓ Fractures de fatigue et périostites du membre inférieur chez le sportif (fémur, tibia, fibula, ceinture pelvienne ou pied)
- ✓ Fractures par insuffisance osseuse du sujet âgé (vertébrale, sacrum, os iliaque, extrémité supérieure du fémur, radius, gril costal, plateaux tibiaux, diaphyse tibiale, calcanéum, talus, métatarsiens)

❖ Maladies inflammatoires, métaboliques et dégénératives :

- ✓ Recherche d'algoneurodystrophie
- ✓ Suspicion d'ostéonécrose (têtes fémorales, condyles fémoraux, plateaux tibiaux, pied, tête humérale, clavicule, semi-lunaire)
- ✓ Arthrose (rachidienne, coxo-fémorale, gonarthrose, rhizarthrose, interphalangienne, sternoclaviculaire, scapulo-humérale)
- ✓ Maladie de Paget : bilan d'extension de la maladie, douleurs inexpliquées, recherche de fracture, analyse de l'activité de la maladie et le suivi thérapeutique
- ✓ Ostéoarthropathie hypertrophiante
- ✓ Ostéomalacie
- ❖ **Arthrites inflammatoires et enthésopathies :**
 - ✓ Spondylarthrite ankylosante, recherche d'une sacro-iliite
 - ✓ Syndrome de SAPHO
 - ✓ Polyarthrite et oligoarthrite
- ❖ **Prothèses articulaires :**
 - ✓ Descellement ostéo-prothétique
 - ✓ Fracture sur prothèse
 - ✓ Infection sur prothèse
 - ✓ Ossifications périarticulaires
- ❖ **Ossification hétérotopique :**
 - ✓ Paraostéoarthropathie neurogène
 - ✓ Myosites ossifiantes

- ✓ Fibrodysplasie ossifiante progressive

❖ **Pathologie infectieuse :**

- ✓ Infection sur prothèse
- ✓ Spondylodiscite
- ✓ Ostéomyélite aiguë ou chronique
- ✓ Ostéite
- ✓ Sacro-iliite
- ✓ Arthrite septique

❖ **Tumeurs bénignes :**

- ✓ Ostéome ostéoïde
- ✓ Dysplasie fibreuse

3. Pédiatrie :

- ✓ Syndrome des enfants battus
- ✓ Maladie de Legg-Perthes-Calvé
- ✓ Arthrite septique
- ✓ Ostéomyélite
- ✓ Bilan d'extension de tumeurs primitives : neuroblastome, sarcome d'Ewing, ostéosarcome, Sarcome des tissus mous, rétinoblastome, rhabdomyosarcome, médulloblastome, néphroblastome.

4. Tumeurs malignes :

- ✓ Ostéosarcome (bilan d'extension osseux)
- ✓ Sarcome d'Ewing (bilan d'extension osseux)
- ✓ Syndromes paranéoplasiques (syndrome de Pierre Marie et Foix, polymyalgie rhumatismale, polymyosite, polydermatomyosite ...)

- ✓ Bilan d'extension des cancers ostéophiles (sein, prostate, poumon, rein, thyroïde)
- ✓ Suivi de localisations secondaires osseuses.

III. Contre-indications :

- ✓ Grossesse
- ✓ L'allaitement sera arrêté pendant 24 heures

IV. Préparation du patient :

1. Informations souhaitables :

- L'interrogatoire doit recueillir et analyser le motif de l'examen, les symptômes cliniques, les antécédents médico-chirurgicaux et les traitements susceptibles de modifier les résultats de la scintigraphie (Tableau 1).
- Les données de l'examen clinique, les résultats des examens biologiques (inflammation, bilan phosphocalcique, marqueurs tumoraux, électrophorèse des protéines...)
- Les résultats des éventuels examens d'imagerie morphologique (radiographies, TDM, IRM, échographie) ou métabolique (scintigraphie osseuse, TEP).

Tableau 1: Les traitements susceptibles de modifier les résultats de la scintigraphie osseuse

Médicament susceptible d'interférer	Répercussion sur l'image
Aluminium	Fixation osseuse réduite, fixation hépatique diffuse, rétention rénale augmentée
Corticothérapie	Fixation osseuse réduite, Fixation réduite des foyers de fracture
Fer	Rétention rénale augmentée, hyperfixation aux sites d'intramusculaires, hyperfixation hépatique diffuse
Chimiothérapie néphrotoxique	Rétention rénale augmentée
Bisphosphonates	Fixation osseuse réduite
Bicalutamide, œstrogènes (hormonothérapie du cancer de la prostate)	Fixation mammaire augmentée sur gynécomastie
Nifédipine	Fixation osseuse réduite
Méthotrexate	Fixation hépatique diffuse
Facteurs de croissance hématopoïétique recombinants humains	Fixation rachidienne augmentée, renforcement possible de l'activité du squelette appendiculaire
Dénosumab	Fixation osseuse réduite

2. Information et préparation du patient :

- Informer le patient sur la durée et le déroulement de l'examen et de la possibilité de manger et de boire avant l'examen.
- Le médecin nucléaire doit lui expliquer l'objectif de l'examen et les bénéfices escomptés et répondre à ses questions éventuelles.

3. Précautions :

- Femme en âge de procréer : il est nécessaire de vérifier l'absence de grossesse (la date des derrières règles, BHCG).
- Allaitement : doit être arrêté 24 heures, pendant cette période, le lait doit être tiré et jeté.

V. Radiopharmaceutique :**1. Caractéristiques physiques du radionucléide :****Tableau 2 : Caractéristiques physiques du ^{99m}Tc**

Radionucléide	^{99m} Tc
Mode de décroissance	Transition isomérique
Période physique (heures)	6,02
Energie g du pic principal (keV)	140

2. Caractéristiques des molécules vectrices :

Les molécules utilisées sont des diphosphonates :

- ✓ Hydroxyméthylène diphosphonate (HMDP)
- ✓ Méthylène diphosphonate (MDP)
- ✓ Dicarboxypropane diphosphonate (DPD)

3. Pharmacocinétique :

- Après injection intraveineuse, la clairance plasmatique des diphosphonates technétiés est de type bi-exponentielle liée à la captation osseuse et à l'élimination urinaire du radiopharmaceutique.

- Quatre heures après injection, environ 60% de la quantité injectée est fixée sur le squelette, 34% est éliminée par les urines, 6% reste en circulation.
- Les radio-disphosphonates injectés sont adsorbés à la surface des cristaux d'hydroxyapatite en fonction de la vascularisation osseuse et de l'activité ostéoblastique locale.

4. Préparation du radiopharmaceutique :

- Réalisation de la préparation du MDP marqué au ^{99m}Tc passe par plusieurs étapes et doivent être réaliser en respectant les règles d'hygiène et de radioprotection.
- Vérification de la date de péremption et l'intégrité du flacon du MDP.
- Se laver les mains et mettre des gants. Retirer l'opercule du flacon du MDP et mettre le flacon dans un pot plombé étiqueté.
- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser impérativement dans l'enceinte blindée :
 - ✓ Désinfection des bouchons des flacons du MDP et de l'éluat de pertechnétate de sodium avec une compresse imbibée d'alcool
 - ✓ Puis, à l'aide d'une seringue de 5 mL munie d'une aiguille et protégée par un cache-seringue en tungstène, prélever aseptiquement la quantité nécessaire de pertechnétate de sodium à partir du flacon d'élution.

- ✓ Injection aseptique du pertechnétate de sodium dans le flacon, à l'aide de la même seringue et aspiration d'un volume équivalent d'azote.
- ✓ Prendre une autre seringue et compléter le volume de 10 ml du flacon avec du NaCl à 0,9%, à l'aide de la même seringue et aspiration d'un volume équivalent d'azote
- ✓ Agitation pendant 10 minutes et repos de 15 minutes.
- Conditionnement en seringue de la préparation du ^{99m}Tc -MDP.
 - ✓ Vérification de la durée de stabilité de la préparation.
 - ✓ Le flacon doit être agité par retournement avant chaque prélèvement afin d'homogénéiser la suspension.
 - ✓ Prélèvement aseptique de l'activité nécessaire à l'examen à l'aide d'une seringue blindée de 2 mL.
 - ✓ Etiquetage de la seringue
 - ✓ Placement la seringue protégée dans le plateau métallique du passe-plat vers la salle d'injection.
 - ✓ Après marquage, stabilité de 8 heures entre +2 et +8°C

5. Posologie et mode d'administration :

- Mode d'administration : voie intraveineuse.
- L'activité habituellement administrée est de 8 à 10 MBq/kg chez l'adulte.
- Dans certains cas particuliers (obésité, maigreur extrême), l'activité injectée peut sortir des limites recommandées, mais elle doit rester le plus proche possible des limites conseillées. On peut également

jouer sur la vitesse de balayage et le délai entre l'injection et l'acquisition pour optimiser les images.

- Chez l'enfant, les recommandations de l'EANM proposent une activité de base par radiopharmaceutique de 35 MBq pour le ^{99m}Tc -MDP (avec une activité minimum de 40 MBq) (Annexe 3).

VI. Acquisitions :

1. Acquisitions planaires et corps entier :

- Plusieurs acquisitions peuvent être réalisées en fonction de l'indication de l'examen :
- ✓ Arrivée vasculaire : La caméra est placée en regard de la zone à étudier. L'acquisition est dynamique de 30 à 60 images, de 1 à 2 secondes chacune, débute dès l'injection intraveineuse du radio-disphosphate.
- ✓ Acquisitions planaires précoces et tardives : centrées sur une ou plusieurs région(s) anatomique(s), réalisant des incidences anatomiques et des incidences orthogonales.
- ✓ Acquisition Pinhole : par collimateur sténopéique peut être utilisé pour compléter l'examen par la réalisation de vues planaires localisées de haute résolution sur une zone de petite taille, surtout chez le nourrisson et l'enfant. L'acquisition est de 50 à 100 000 coups par image.
- ✓ Le balayage corps entier : est systématique dans les indications oncologiques et également non oncologiques. Elle permet de détecter des sites lésionnels cliniquement asymptomatiques. La

vitesse de balayage est de 25 cm/min au temps précoce (le cas échéant) et de 15 cm/min au temps tardif.

- Les images précoces sont réalisées entre 1 et 10 minutes après l'injection intraveineuse des radio-disphosphonates, avec un temps d'acquisition de 5 minutes.
- Les images tardives sont habituellement acquises 2 à 5 heures après l'injection du radio-disphosphonates.
- Chez l'enfant, des clichés planaires multiples sont plus communément réalisés que le balayage corps entier.
- Les images hypertardives : acquises entre 6 et 24 heures après injection, peuvent être utiles en cas de pathologie néphro-urologique à l'origine d'une visualisation médiocre du squelette en totalité (insuffisance rénale) ou pour une région anatomique donnée (rétention vésicale), chez les patients âgés à métabolisme osseux fréquemment ralenti et/ou perturbé (ostéoporose, ostéomalacie).
- Les images planaires ne requièrent pas de traitement particulier. Il faut choisir le contraste optimal pour l'impression des images qui sont adressées au correspondant clinicien.

2. Acquisitions TEMP et TEMP TDM :

- La TEMP TDM peut compléter l'examen corps entier. Elle précise la localisation des images anormales et amplifie le contraste. L'acquisition TEMP TDM est réalisée avec une caméra hybride

combinant une gamma-caméra et un scanner spiralé multicoupes.

- En TEMP il y a en général de 60 ou 64 directions de projection sur 360°, de 10 à 30 secondes chacune. La matrice d'acquisition est au format 128 x 128. La longueur du lis est de 39 cm.
- Le SCOUT VIEW de la TDM doit couvrir le champ d'acquisition par la TEMP.

VII. Interprétation :

1. Critères de normalité d'une scintigraphie osseuse planaire :

L'interprétation des images nécessite la parfaite connaissance de la distribution normale du radiodisphosphate. Une attention particulière doit être apportée sur le principe de symétrie et le caractère homogène de la fixation. Une évaluation de la qualité de la scintigraphie doit être réalisée avant de débiter l'interprétation (Figure 4).

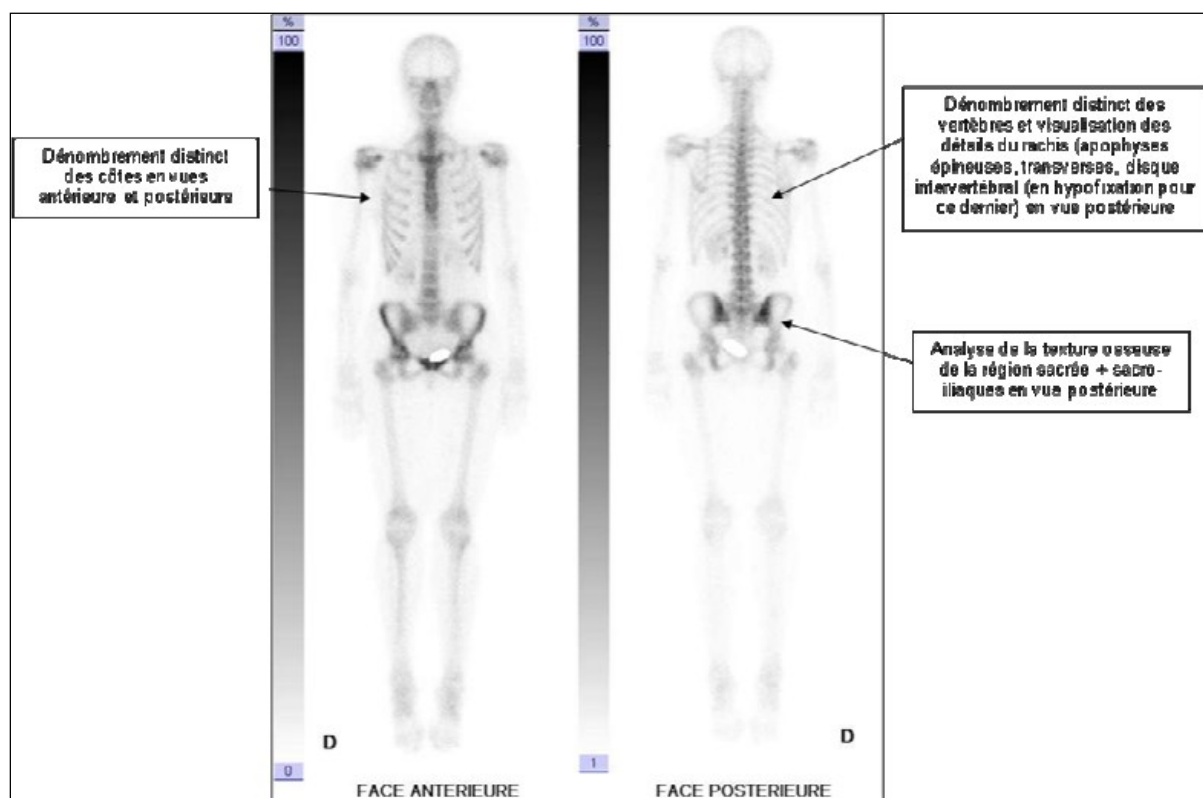


Figure 4 : Critère de normalité d'une scintigraphie osseuse planaire

2. Pour la pathologie néoplasique :

- ✓ L'examen permet d'objectiver des images d'hyperfixation osseuse diffuses ou focalisées du radiobisphosphonate, par rapport au tissu osseux voisin ou controlatéral. Il permet de noter la taille, la forme, le siège et le nombre d'images anormales, l'intensité de leur hyperfixation.
- ✓ Dans certaines lésions osseuses ostéolytiques, on peut observer des images d'hypofixation éventuellement bordées par une zone d'hyperfixation périphérique. La régression des anomalies scintigraphiques se déroule sur de longues périodes, traduisant la lenteur des processus de cicatrisation osseuse qui s'étalent sur plusieurs mois ; il est donc, le plus souvent, inutile de répéter l'examen scintigraphique avant 4 à 6 mois.
- ✓ Le superscan métastatique se manifeste par une hyperfixation osseuse intense diffuse et homogène de l'ensemble du squelette axial avec abolition de la fixation du squelette appendiculaire et des parties molles ainsi que la disparition de l'ambre rénal et vésical réalisant l'aspect d'une très belle image scintigraphique.
- ✓ L'augmentation et l'apparition de foyers d'hyperfixation osseux entre deux examens réalisés dans un intervalle de moins de 6 mois peuvent indiquer une progression de la maladie mais peuvent également traduire un phénomène d'embrasement thérapeutique (flare phenomenon).

- ✓ L'examen prend en compte les images rénales et urinaires ainsi que d'éventuelles fixations diffuses ou focales par les tissus mous. Une augmentation diffuse de la fixation des parties molles peut être due à une interférence médicamenteuse, un marquage défectueux, une insuffisance rénale, une déshydratation ou un intervalle de temps insuffisant entre l'injection et l'acquisition. A l'inverse, une faible ou une absence de fixation du radiobisphosphonate par les parties molles peut être due à un « super bone scan » ou à un intervalle allongé entre l'injection et l'imagerie. L'interprétation des anomalies osseuses et/ou articulaires observées tient compte des données cliniques et paracliniques disponibles.

3. Pour la pathologie bénigne :

❖ Fractures de fatigue :

C'est une rupture partielle ou complète d'un os préalablement sain (sujet sportif) ou fragilisé par l'insuffisance osseuse (sujet âgé, ostéoporose), qui se caractérise par une hyperfixation focale qui apparaît aux temps vasculaire et tissulaire, témoignant de l'hyperhémie locale, se renforçant au temps tardif. Le trait de la corticale osseuse peut être visualisé sur la TEMP TDM complémentaire.

❖ La périostite :

La périostite se caractérise par une fixation normale aux temps vasculaire et tissulaire. L'hyperfixation n'apparaît qu'au seul temps tardif toute au long du périoste atteint.

❖ **Algoneurodystrophie :**

Dans le cadre de l'algoneurodystrophie, la scintigraphie osseuse permet de valider le diagnostic positif, apprécier la sévérité et l'extension de l'algodystrophie.

La scintigraphie osseuse peut aussi déceler une cause sous-jacente cliniquement passée inaperçue et participer au diagnostic différentiel.

L'algoneurodystrophie peut se manifester sous plusieurs formes :

- ✓ Forme pseudo-inflammatoire algique (chaude) : elle se caractérise par une hypercaptation diffuse au temps vasculaire et tissulaire avec une hyperfixation tardive en dégradé de l'os et des articulations sus et sous-jacentes.
- ✓ Forme trophique (froide) : observée dans la plupart des formes de l'enfant, et se manifeste par une hypofixation au temps tardif réalisant l'aspect d'un membre fantôme.
- ✓ Formes parcellaires :
 - Forme radiale de topographie métamérique (carpo-métacarpo-phalangienne++)
 - Forme zonale avec hyperfixation intense localisée (os volumineux+++)

Sur la TEMP TDM, on retrouve une déminéralisation osseuse diffuse en bande prédominant sur la région épiphyso-métaphysaire.

❖ **L'ostéochondrite primitive de la hanche (Maladie de Legg–Perthes Calvé) :**

Il s'agit une nécrose ischémique du noyau épiphysaire de la tête fémorale.

La scintigraphie osseuse a un triple intérêt : le diagnostic précoce, le suivi et le pronostic, en appréciant la vascularisation, la revascularisation et la nécrose. Elle permet de faire le diagnostic différentiel avec la synovite transitoire de la hanche.

L'évolution se fait selon deux voies en passant par des stades scintigraphiques (Stadification de Conway) :

- Au stade I (commun aux deux voies) : amputation de la fixation en regard du noyau épiphysaire.

- Voie A :

- Au stade II : apparition d'une fixation sur le pilier latéral.
- Au stade III : extension de la fixation sur le pilier latéral.
- Au stade IV : extension de l'activité du pilier latéral à toute l'épiphyse.

- Voie B :

- Au stade II : apparition d'une fixation à partir de la base de l'épiphyse.
- Au stade III : extension de la fixation à l'épiphyse.
- Au stade IV : extension de la fixation à la totalité de l'épiphyse.

Une voie C (rare) est parfois décrite, elle débute comme une voie A et suite à un deuxième infarctus, finit en voie B.

❖ **L'ostéonécrose :**

Il s'agit de la nécrose d'une partie ou la totalité d'un os, secondaire à un agent extérieur chimique ou physique ou par insuffisance circulatoire.

Elle passe par quatre étapes scintigraphiques :

- ✓ Stade I (<1 mois) : Hypoperfusion au temps précoce avec hypofixation au temps osseux.
- ✓ Stade II (1 à 4 mois) : Anneau d'hyperfixation entourant une hypofixation centrale en cocarde
- ✓ Stade III (au-delà de 10 mois) : Hyperhémie avec hyperfixation de la totalité de la tête fémorale au temps osseux
- ✓ Stade 4 : Hyperfixation articulaire tardive.

❖ **Maladie de Paget :**

Pathologie dégénérative caractérisée par un remodelage osseux anormalement excessif.

La scintigraphie osseuse permet le bilan d'extension, le dépister les localisations à risque de complication et la recherche de ces complications (la fissure dans la convexité des os longs, l'arthropathie secondaire à la déformation des os et la dégénérescence maligne) et le suivi thérapeutique.

Sur le plan scintigraphique, la maladie de Paget se manifeste par une hyperfixation très intense et homogène de l'ensemble d'une pièce osseuse associée à une déformation et un élargissement de l'os.

L'aspect morphologique se caractérise par une différenciation cortico-trabéculaire avec épaissement des travées osseuses et hypertrophie des pièces osseuses.

❖ Arthrites inflammatoires et enthésopathie :**✓ Polyarthrite rhumatoïde :**

La scintigraphie osseuse permet de préciser le bilan lésionnel en montrant des foyers d'hyperfixation symétriques des mains (métacarpiennes proximales et les interphalangiennes proximales), des poignets et des pieds (métatarsiennes proximales).

✓ SAPHO :

Association de synovite, d'acné, de pustulose, d'hyperostose et d'ostéite.

La scintigraphie osseuse permet le diagnostic initial, le dépistage des autres localisations et l'évolutivité des lésions sous traitement.

L'atteinte sterno-claviculaire est la plus fréquente se caractérise par une hypercaptation précoce avec hyperfixation intense au temps tardif, associée ou non à un élargissement des extrémités antérieures des côtes, des clavicules et du manubrium sternal.

✓ Enthésites :

Au début, les enthésites se manifestent par une inflammation de la portion intra-osseuse sous-chondrale de l'enthèse, traduite sur la scintigraphie osseuse par une hyperfixation osseuse précoce. L'évolution est marquée par une ossification des insertions devenant visible sur les radiographies standards

❖ Infections osseuses : (Ostéomyélite aiguë)

Il s'agit d'une urgence diagnostique et thérapeutique qui se définit par une infection par voie hématogène de la région épiphyso-métaphysaire. Le diagnostic radiologique est tardif ce qui rend la scintigraphie osseuse un examen de choix. Elle permet le diagnostic précoce et la localisation d'autres sites.

Elle se manifeste par une hypercaptation vasculaire et tissulaire avec une hyperfixation tardive de la région épiphyso-métaphysaire sans atteinte de l'articulation proprement dite.

❖ Ostéo-arthropathie hypertrophique pneumique de Pierre Marie et Foix :

Il s'agit d'un syndrome paranéoplasique clinico-radiologique associant un hippocratisme digital, des arthralgies ou épanchements intra-articulaires et des appositions périostées des os longs typiquement bilatérales et symétriques.

La scintigraphie osseuse permet le diagnostic précoce, l'évaluation de la sévérité et de l'étendue et le suivi thérapeutique.

La forme typique se caractérise par une hyperfixation linéaire soulignant la cortical des os longs au niveau métaphysaire et diaphysaire (épiphyse respectée) réalisant un aspect en « rail » associé à des hyperfixations péri-articulaires en rapport avec des synovites et des hyperfixations des métacarpiens et des phalanges proximales en rapport avec l'hippocratisme digital.

VIII. Compte rendu :

- La technique : description des différentes séquences de l'examen incluant les acquisitions précoces éventuelles, les clichés tardifs centrés, le corps entier et la TEMP TDM.
- Résultats :
 - ✓ Pour toute anomalie de fixation (hyper ou hypofixation), il faut caractériser l'intensité, l'homogénéité, le nombre et la topographie.
 - ✓ Lorsqu'une imagerie hybride TEMP TDM est réalisée, la description des anomalies ostéoarticulaires porte sur les images TEMP, les images TDM et les images de fusion. Les anomalies osseuses visibles en TDM seule sont également reportées.
 - ✓ Enfin les images pathologiques extra-osseuses cliniquement pertinentes visibles en TDM sont signalées dans le compte rendu.
- Conclusion :
 - ✓ Elle doit être synthétique qui répond à la question posée par le prescripteur et mentionne les diagnostics associés.
 - ✓ En cas d'aspect scintigraphique ou scano-scintigraphique non spécifique, un ou plusieurs diagnostics sont évoqués en précisant si possible leur degré de fiabilité respectifs.
 - ✓ En cas de doute diagnostique, le médecin nucléaire suggère les examens complémentaires à réaliser (biologie, imagerie voire biopsie...).
 - ✓ Si les constatations scintigraphiques et/ou scanographiques engagent le pronostic fonctionnel ou vital du patient, il est de la

responsabilité du médecin nucléaire de proposer une prise en charge urgente en liaison avec le médecin prescripteur.

Scintigraphie thyroïdienne au ^{99m}Tc

I. Définition :

La scintigraphie thyroïdienne est un examen isotopique non invasif permettant d'obtenir une exploration fonctionnelle de la glande thyroïde, après administration d'un radiopharmaceutique à tropisme thyroïdien.

II. Indications :

- ✓ Apprécier l'activité métabolique de la glande et des éventuels nodules.
- ✓ Diagnostic étiologique de l'hyperthyroïdie.
- ✓ Test étiologique devant une hyperthyroïdie avec surcharge iodée.
- ✓ Diagnostic étiologique des hypothyroïdies congénitales.
- ✓ Identification du tissu thyroïdien ectopique, accessoire, intrathoracique et ovarien.
- ✓ Sélection des zones nodulaires à prélever en cytologie.

III. Contre-indications :

- ✓ Grossesse
- ✓ Saturation iodée (Amiodarone, produit de contraste iodé ...)
- ✓ Allaitement : doit être interrompu pendant les 24h suivant l'injection.

NB : L'allergie à l'iode n'est pas une CI.

IV. Préparation du patient :

1– Informations souhaitables :

- ✓ Compte rendu de la consultation d'endocrinologie.
- ✓ Prise médicamenteuse : des médicaments iodés, de thyroxine ou d'antithyroïdiens de synthèse.
- ✓ Compte rendu chirurgical.
- ✓ Bilan biologie : TSH récente < 3 mois, LT4, LT3, anticorps anti-récepteur de la TSH, anticorps anti-récepteur de la thyroperoxydase, iodurie de 24h
- ✓ Examen d'imagerie : Échographie cervicale récente < 6 mois, scintigraphie thyroïdienne antérieure.
- ✓ Cytologie, anatomie pathologique ...

2– Information et préparation du patient :

- ✓ Informer le patient sur la nature de l'examen et son déroulement
- ✓ Pas de jeun nécessaire.

3– Précautions :

- ✓ Indiquer au patient de ne pas bouger durant toute l'acquisition
- ✓ Pédiatrie : le maintien de la tête peut être requis.

V. Radiopharmaceutique :

1- Caractéristiques physiques :

Voir le tableau 1

2- Préparation :

- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser impérativement dans l'enceinte blindée :
 - ✓ Désinfection du bouchon du flacon d'éluat de pertechnétate de sodium à l'aide d'une pince munie d'une compresse imbibée d'alcool.
 - ✓ Puis, à l'aide d'une seringue de 2 mL munie d'une aiguille et protégée par un cache-seringue en tungstène, prélèvement aseptique de l'activité nécessaire de pertechnétate de sodium à partir du flacon d'élution.
 - ✓ Etiquetage de la seringue
 - ✓ Placement de la seringue protégée dans le plateau métallique du passe-plat vers la salle d'injection.
 - ✓ L'élution reste stabilité 8 heures entre +2 et +8°C

3- Pharmacocinétique :

Les pertechnétates de sodium incorporé par voie intraveineuse, passe dans le tractus gastro-intestinal et le foie. Environ 50% à 80% de la quantité est transférée dans la voie sanguine. Une fois dans le sang, environ 4% se fixe dans la thyroïde. La période effective de pertechnétate est de 4h pour la partie fixée dans la thyroïde.

4– Interactions médicamenteuses :

Tableau 3 : les médicaments interférant avec la fixation thyroïdienne

Médicament	Durée d'arrêt
L-thyroxine	Arrêt de 15 jours si la TSH < 1 mU/L, 7 jours si TSH < 2 mU/L, 4 semaines si TSH basse (< 0.1 mU/L)
Antithyroïdiens de synthèse	10 jours pour les goitres nodulaire et 7 jours pour la maladie de Basedow
Cynomel	15 jours
Amiodarone	1 à 6 mois
Produits de contraste iodé hydrosolubles	6 à 8 semaines. Si doute réalisation d'une iodurie de 24h avant l'examen

5– Posologie et mode d'administration :

- Mode d'administration : intraveineux direct.
- Adulte : 74 MBq (40 – 110 MBq)
- Enfant : la dose adulte pondérée par un facteur en fonction du poids selon les recommandations de l'EANM (Annexe 3)

VI. Acquisitions :

- Positionnement du patient : Le patient est en décubitus dorsal, cou en discrète hyper extension
- Acquisition sténopée (Pinhole) + Acquisition cervico-médiastinale (face antérieure)
- TEMP TDM en fonction de l'étiologie : ectopie ...
- Délai entre l'injection et l'acquisition : 20 min (de 15 à 45 min)

- Durée de l'acquisition : 20 minutes

VII. Interprétation :

1– La scintigraphie thyroïdienne normale :

La fixation est homogène avec montée régulière de la périphérie vers le cœur du lobe réalisant le point chaud central physiologique. Les deux lobes sont symétriques séparés par l'isthme qui est plus ou moins fixant.

2– Anomalies scintigraphiques :

- Le volume : normal, augmenté ou diminué
- Position de la thyroïde : cervicale stricte, bas située ou plongeante (pôles inférieurs sous le repère de la fourchette sternale)
- Recherche du tissu thyroïdien accessoire (pyramide, tissu thyroglosse...)
- La fixation : homogène ou hétérogène (perte du point chaud central, hyper ou hypo contraste focal)
- En cas d'hétérogénéité il peut s'agir de nodules vrais ou de troubles focaux du contraste.
- Les nodules seront typés en fonction de la corrélation à la palpation et à l'échographie en nodules hypercontrastés (hyperfixants, chauds), isocontrastés, ou hypocontrastés (hypofixants, froids).
- Les zones à contraste focal anormal qui sont souvent des nodules ignorés par les autres techniques (Faux Négatifs). En cas d'anomalie focale du contraste non nodulaire on évoquera une zone chaude reflétant souvent une hyperplasie ou une zone froide ou hétérogène évoquant une thyroïdite focale.

- En cas de nodule hypercontrasté, on documentera l'aspect du parenchyme extra-nodulaire, bien visible homogène ou hétérogène, à contraste diminué (pré-extinction), à contraste effondré (extinction).
- Lorsque la TSH est < 0.1 mU/L et en présence d'une extinction scintigraphique, il s'agit d'un nodule autonome toxique simple ou multiple (autonomie multifocale, goitre multinodulaire et multi-hétéronodulaire toxique). En l'absence d'extinction scintigraphique, il s'agit d'une autonomie diffuse avec nodule hyper ou hypofonctionnel.
- Lorsque la TSH est > 0.1 mU/L (> 0.5 mU/L), le caractère extinctif est faible (absent). Le nodule hyperfonctionnel répond alors soit (50 %) à un nodule autonome « compensé ou prétoxique », soit (50%) à un nodule hyperplasique simple (ATPO < 0) ou révélant une thyroïdite lymphocytaire chronique débutante (ATPO +)
- En cas de goitre, on distinguera les goitres à contraste homogène ou hétérogène, les goitres nodulaires et hétéro nodulaires en précisant le siège et le type scintigraphique des principaux nodules.
- La scintigraphie permet de séparer les hyperthyroïdies induites par amiodarone (type 2, corps thyroïde normal, contraste et fixation effondrés) ou aggravées par l'amiodarone (type 1, hyperthyroïdie sous-jacente, contraste et/ou fixation non effondrés).

- La scintigraphie blanche se définit comme l'absence ou quasi-absence de la fixation du radiotraceur, plusieurs étiologies sont possibles, notamment :
 - ✓ La surcharge iodée.
 - ✓ La thyroïdite de De Quervain.
 - ✓ L'hyperthyroïdie factice : due à la prise d'hormones thyroïdiennes dans un but d'amaigrissement.
 - ✓ L'ectopie thyroïdienne.

VIII. Compte rendu :

- Technique de l'examen : type des acquisitions faites, techniques spéciales si requis.
- Résultats de la scintigraphie :
 - ✓ Position et estimation du volume du corps thyroïde
 - ✓ Fixation : homogène ou hétérogène, normale, diminuée ou augmentée
 - ✓ Descriptif des nodules : hypofixant (hypocontrasté, froid), hyperfixant (hypercontrasté, chaud), isofixant (la majorité des nodules isofixants sont à considérer comme hypofixants notamment au-dessus de 20 mm).
 - ✓ Situation du nodule
 - ✓ Numérotation en cas de nodule multiple ou de cytologie
 - ✓ Arguments pour une thyroïdite, une surcharge iodée
 - ✓ L'état du reste du parenchyme thyroïdien.

- La conclusion :
 - ✓ Répondre à la question du demandeur
 - ✓ Typer ou suggérer une étiologie d'hyperthyroïdie
 - ✓ Indiquer une cytologie sur un nodule solitaire palpable hypofixant
 - ✓ Indiquer un traitement par iode 131I
 - ✓ Proposer un dosage complémentaire (iodurie, ATPO ...) ou une imagerie complémentaire (échographie), selon le contexte.

Scintigraphie parathyroïdienne au ^{99m}Tc -MIBI

I. Définition :

La scintigraphie parathyroïdienne est un examen de localisation qui a pour but de repérer les parathyroïdes hyperactives responsables de l'hyperparathyroïdie qu'elles soient en position normale ou ectopique.

II. Indications :

- ✓ Hyperparathyroïdie (HPT) persistante ou récidivante après chirurgie, quelle que soit son origine : primaire (I), secondaire (II) ou tertiaire (III).
- ✓ Première intervention pour HPT-I, selon l'approche chirurgicale envisagée (chirurgie exploratrice cervicale bilatérale ou chirurgie ciblée).
- ✓ Première intervention pour HPT-II ou III.

III. Contre-indications :

- ✓ La grossesse, en dehors des cas rares d'une hyperparathyroïdie maligne.
- ✓ L'allaitement : à interrompre pendant 24 heures.
- ✓ La saturation iodée.

IV. Préparation du patient :

1- Informations souhaitables :

- ✓ Le type d'hyperparathyroïdie : I, II ou III, persistant ou récidivant.
- ✓ Les éléments biologiques des diagnostics positif et différentiel : PTH, Ca^{2+} , PO_4^{3-} , albumine, TSH ...

- ✓ Les antécédents de chirurgie cervicale, en particulier thyroïdienne ou parathyroïdienne : comptes rendus opératoires et si possible anatomopathologiques (pathologie uni- ou pluri glandulaire) et efficacité postopératoire (récidive ou persistance).
- ✓ Les antécédents familiaux ou personnels évocateurs d'hyperparathyroïdie familiale isolée ou dans le cadre d'une néoplasie endocrinienne multiple de type 1 (hyperparathyroïdie, tumeur endocrine digestive, adénome hypophysaire, adénome corticosurrénalien) ou de type 2 (carcinome médullaire de la thyroïde, hyperparathyroïdie, phéochromocytome. . .)
- ✓ Les antécédents personnels thyroïdiens : adénomes ou autres, les données de l'échographie cervicale si réalisée : nodules thyroïdiens, parathyroïdiens.
- ✓ Les prises médicamenteuses pouvant interférer avec la captation parathyroïdienne ou thyroïdienne des radiopharmaceutiques.
- ✓ Pour les patients hémodialysés chroniques, il faut préciser les jours et l'horaire des séances d'épuration.

2- Information et préparation du patient :

- ✓ Informer le patient sur la nature de l'examen et son déroulement
- ✓ Pas de jeun nécessaire.

3- Précautions :

- ✓ S'assurer que le patient peut supporter le décubitus dorsal et l'immobilisation prolongée.

V. Radiopharmaceutique :

1– Caractéristiques physiques : Voir tableau 1

1– Caractéristique de la molécule vectrice :

2-méthoxy-isobutyl-isonitrile (sestamibi) est un complexe cationique lipophile rapidement distribué du sang vers les tissus, 5 minutes après l'injection, seulement 8% de la dose injectée est encore dans la circulation. La demi-vie biologique est d'environ 7 heures et l'élimination est hépato-biliaire et rénale sous forme inchangée.

2– Pharmacocinétique :

Le sestamibi, une fois captée, se concentre dans les mitochondries des cellules thyroïdiennes et parathyroïdiennes. Les cellules adénomateuses parathyroïdiennes étant particulièrement riches en mitochondries, le radiopharmaceutique y restera séquestré plus longtemps que dans la thyroïde.

3– Interactions médicamenteuses :

- ✓ Produit de contraste iodé, hormones thyroïdiennes et les antithyroïdiens de synthèse : voir le tableau 3
- ✓ La vitamine D active : à arrêter une semaine
- ✓ Les calcimimétiques : à arrêter deux semaines

4– Effets indésirables potentiels :

Les effets secondaires sont possibles mais rares :

- ✓ Goût métallique ou amer passager et/ou des céphalées et bouffées vasomotrices passagères.

- ✓ Flush, œdème, inflammation au point d'injection, dyspepsie, nausées, vomissements, prurit, rash, urticaire, bouche sèche, fièvre, étourdissements, fatigue, dyspnée et hypotension.

5- Préparation :

❖ **Préparation du pertechnétate de sodium** : voir le chapitre de la scintigraphie thyroïdienne au ^{99m}Tc .

❖ **Préparation du ^{99m}Tc -MIBI :**

- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser en respectant les règles d'hygiène et de radioprotection.
- Vérifier la date de péremption et l'intégrité du flacon de MIBI.
- Se laver les mains et mettre des gants, puis retirer l'opercule du flacon de MIBI et mettre le flacon dans un pot plombé.
- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser impérativement dans l'enceinte blindée :
 - ✓ Nettoyage de la surface du bouchon du flacon avec une compresse imbibée d'alcool.
 - ✓ Nettoyage du bouchon du flacon d'éluat de pertechnétate de sodium à l'aide d'une longue pince munie d'une compresse imbibée d'alcool.
 - ✓ Mettre dans le flacon du MIBI une activité de 200 MBq à 1.1 GBq sous un volume d'éluat de 3 mL (volume final possible de 1 à 3 mL).
 - ✓ Agiter la préparation par retournement, 5 à 10 fois.

- ✓ Placer le flacon verticalement dans un bain marie à 100°C pendant 10 minutes.
- ✓ Laisser refroidir pendant 15 minutes.
- ✓ Mesurer la préparation à l'aide de l'activimètre.
- ✓ Coller l'étiquette de la préparation sur le pot plombé.
- Conditionnement en seringue de la préparation marquée au ^{99m}Tc .
- ✓ Placement de la seringue de 2 mL dans le cache-seringue en tungstène.
- ✓ Vérification de la durée de stabilité de la préparation de ^{99m}Tc -MIBI (stabilité de 10 heures entre +2°C et +8°C).
- ✓ Prélèvement aseptique de l'activité nécessaire à l'examen pour un patient donné, puis vérification à l'aide de l'activimètre.
- ✓ Sortir de l'enceinte la seringue protégée et l'étiquetée.
- ✓ Placement de la seringue protégée et l'étiquette pour la prescription médicale sur le plateau métallique dans le pass-plat dans la valisette plombée.

6- Posologie :

- ✓ ^{99m}Tc -MIBI : 400 à 740 MBq en fonction du poids et de la méthode utilisée
- ✓ $^{99m}\text{TcO}_4^-$ (pertechnétate de sodium) : 50 à 150 MBq

VI. Acquisitions :

1 – Acquisition des images :

❖ Méthode double phase :

Exploite la différence de cinétique entre le tissu thyroïdien et parathyroïdien dans la captation et de relargage du ^{99m}Tc -MIBI (le Wash-out du MIBI).

- ✓ Injection du ^{99m}Tc -MIBI.
- ✓ Image statique centrée sur le cou et le médiastin en incidence de face antérieure de 10 min : précoce à 10 min et tardif à 2h-4h, parfois des clichés tardifs arrivant jusqu'à 6h après l'injection du ^{99m}Tc -MIBI.

❖ Méthode combinée double phase double traceur : (Protocole adopté au service : Figure 5)

Cette méthode regroupe les avantages de deux méthodes double phase et double traceur, donc elle exploite la différence de cinétique du MIBI entre les tissus thyroïdien et parathyroïdien obtenue par la méthode double phase (le Wash-out) et les différences de distribution du MIBI et des pertechnètes obtenue par la méthode double traceur (la soustraction).

- ✓ Injection du $^{99m}\text{TcO}_4^-$, attente de 10 min, puis acquisition d'une image thyroïdienne de 10 min (acquisition des images par collimateur pinhole centrée sur la loge thyroïdienne et collimateur à trous parallèles centrée sur le cou et le médiastin en incidence de face antérieure de 10 min chacune).

- ✓ Injection immédiate du ^{99m}Tc -MIBI puis acquisition statique de 10 min centrée sur le cou et le médiastin en incidence de face antérieure à 10min, 2h et 4h.
- ✓ Une acquisition TEMP TDM cervico-thoracique complète l'acquisition planaire à 2 h.

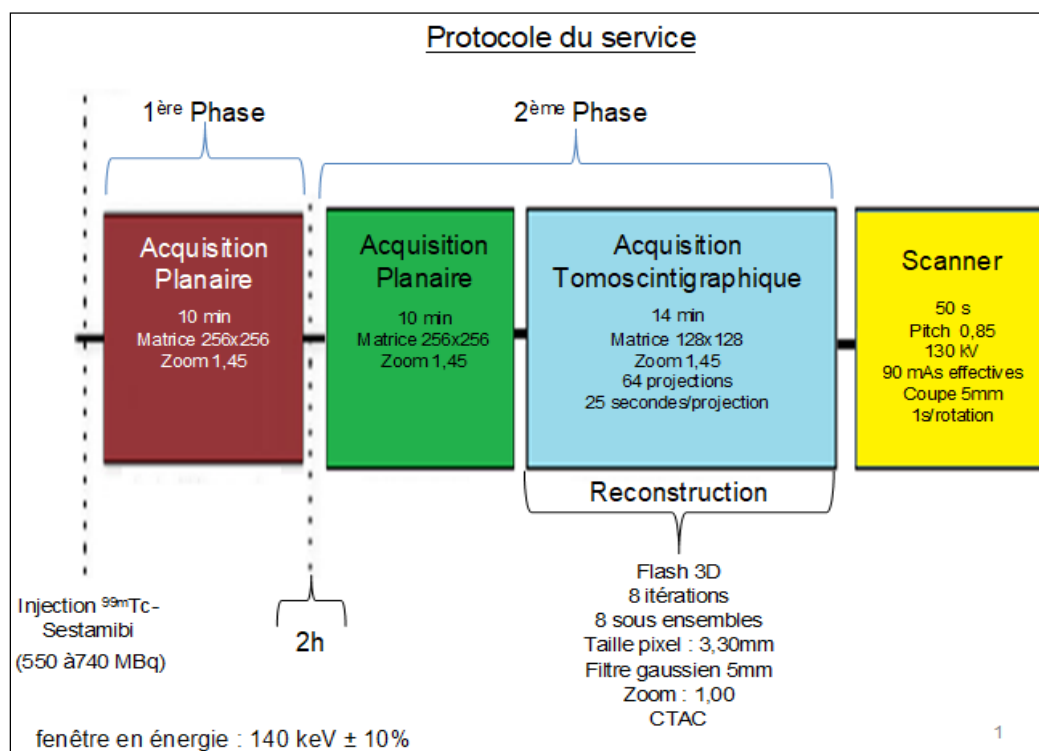
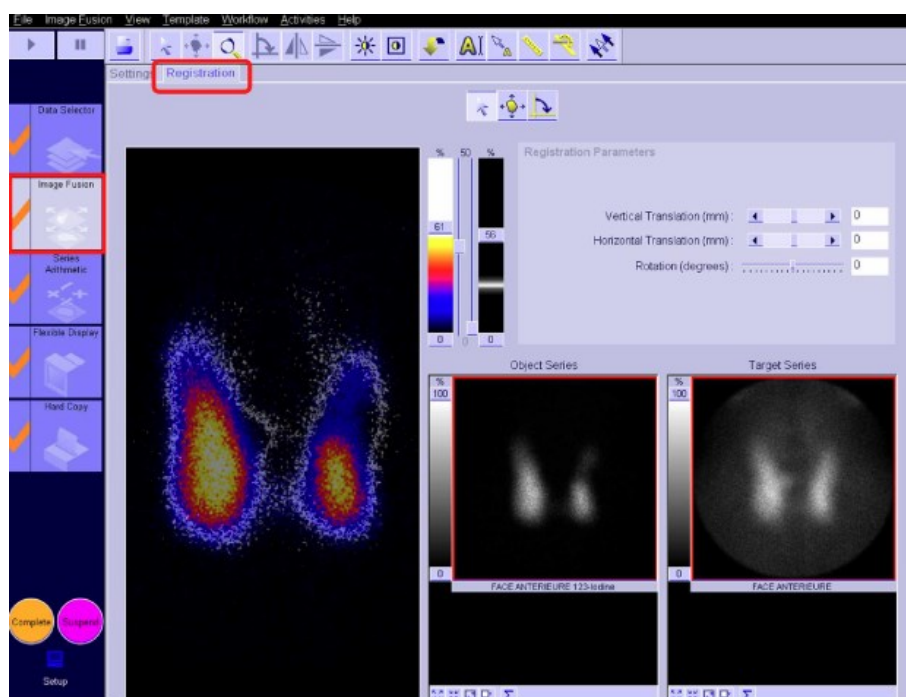


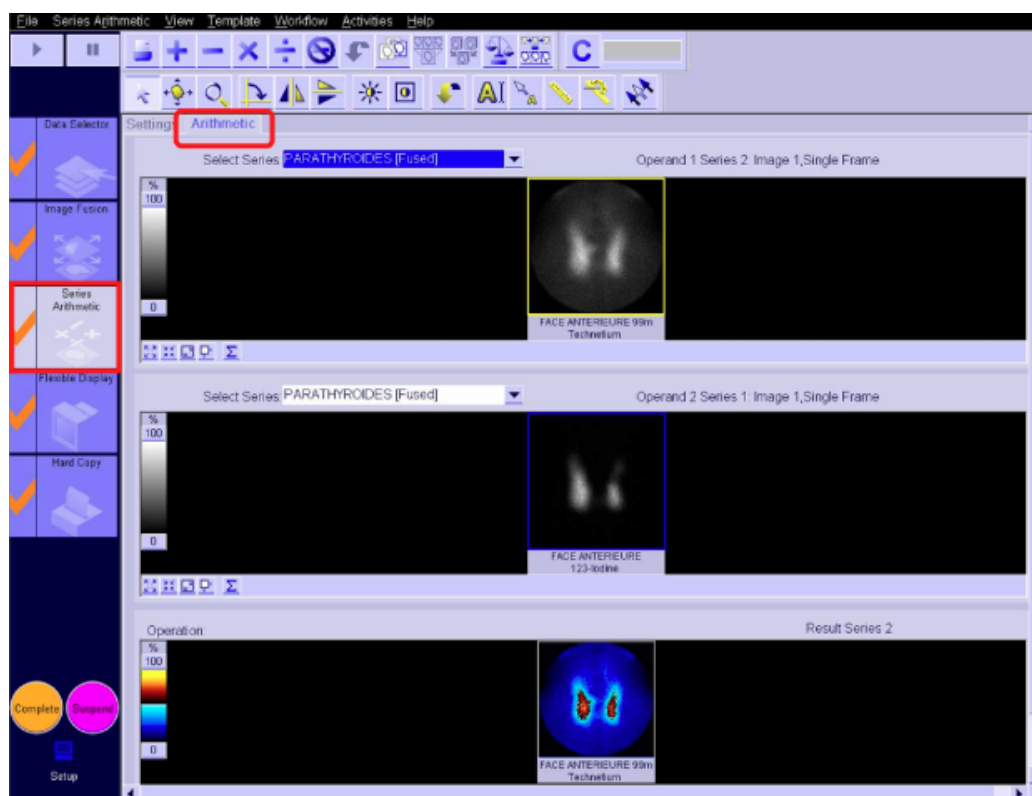
Figure 5 : Méthode combinée double phase double traceur adopté au service

2- Traitement des images :

- ✓ Sélectionner le patient et double cliquer sur le workflow correspondant au traitement.
- ✓ Le traitement s'ouvre sur la page « Registration » de l'activité « Image Fusion », comme le montre l'illustration ci-dessous.



- ✓ Vérifier la bonne superposition des 2 images grâce à cette activité, et réaliser le recalage si nécessaire (voir chapitre concernant l'activité « Image Fusion »).
- ✓ Passer sur l'activité « Serie Arithmetic ». La page « Arithmetic » permet de réaliser la soustraction des 2 images de thyroïde et parathyroïde.



a. Choix des images à soustraire :

La première étape du traitement consiste à vérifier dans l'activité, le bon positionnement des images à soustraire :

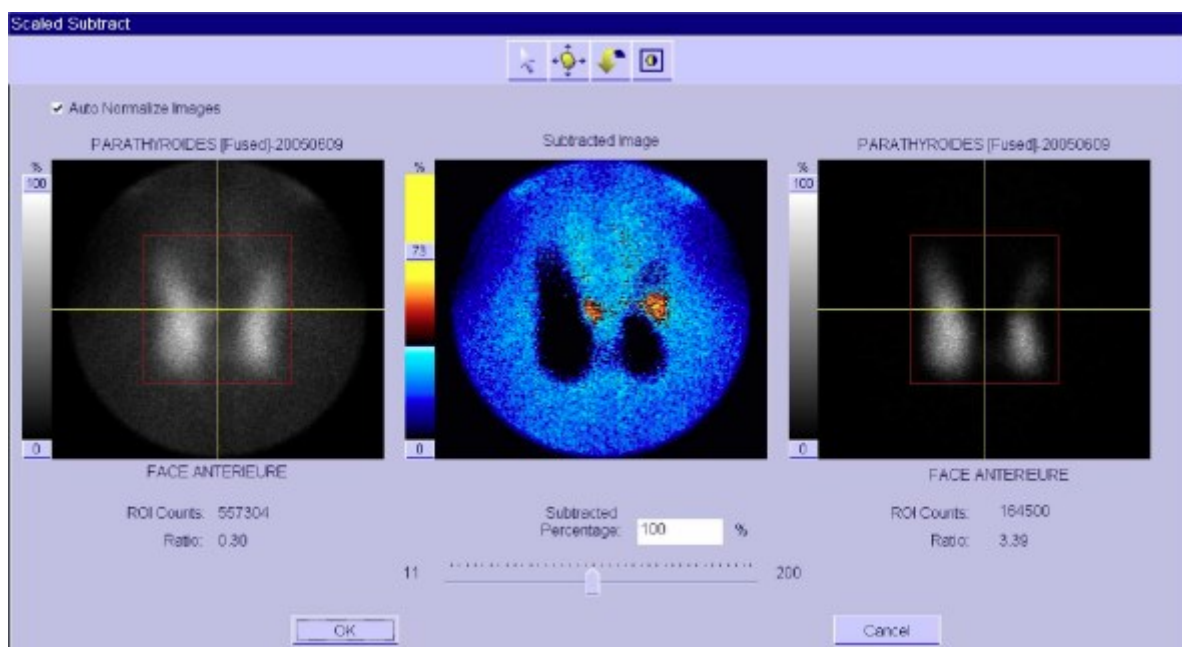
- ✚ La 1^{ère} ligne présente l'image de Thyroïde + Parathyroïde (en jaune).
- ✚ La 2^{ème} ligne présente l'image de Thyroïde (en bleu).
- ✚ La 3^{ème} ligne présentera le résultat de la soustraction

b. Soustraction des images :

- ✚ La deuxième étape du traitement consiste à réaliser la soustraction des images. Pour cela : Sélectionner dans la barre de menu, l'outil « Scaled Subtract »

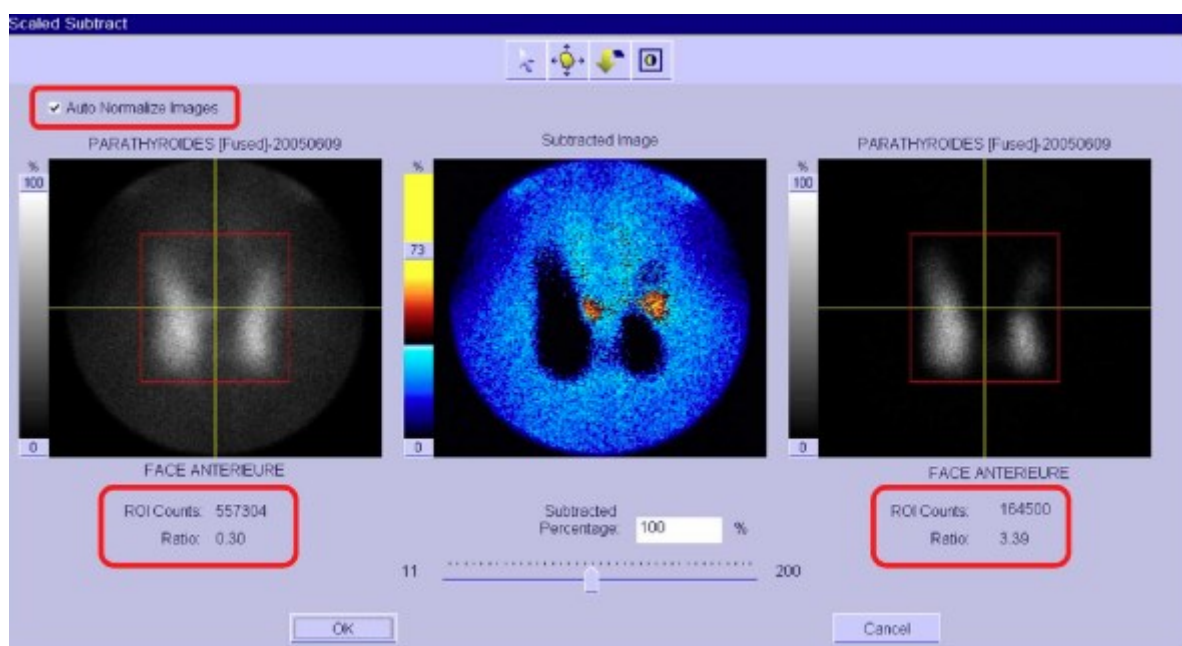


- ✚ Sur le fichier qui apparaît, vous pouvez voir aux extrémités droite et gauche les 2 images à soustraire, et au centre l'image résultante de la soustraction.



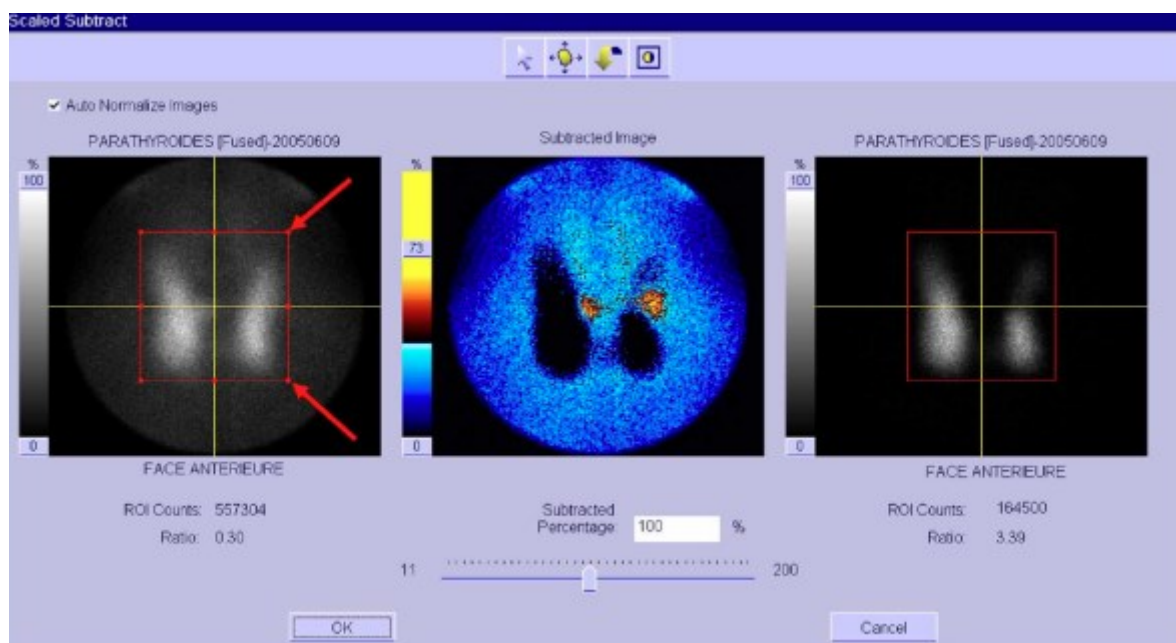
- ✚ Choisir la fonction « Auto Normalize Images ». Cette fonction est utilisée pour compenser les différences de coups entre les 2 images statiques. Lorsque la fonction est sélectionnée, 2 ROI rectangulaires sont affichées sur les images statiques.

Le rapport des coups dans les ROI est déterminé et l'échelle de l'image avec le moins de coups est modifiée pour que son nombre de coups corresponde à celui de l'image avec le plus de coups



- ✚ Modifier le ROI rectangulaire pour qu'elle ne contienne que les zones d'intérêt. Pour cela, attraper par un clic gauche de souris ses extrémités (flèches rouges), et déplacer l'un des coins vers un nouvel emplacement.

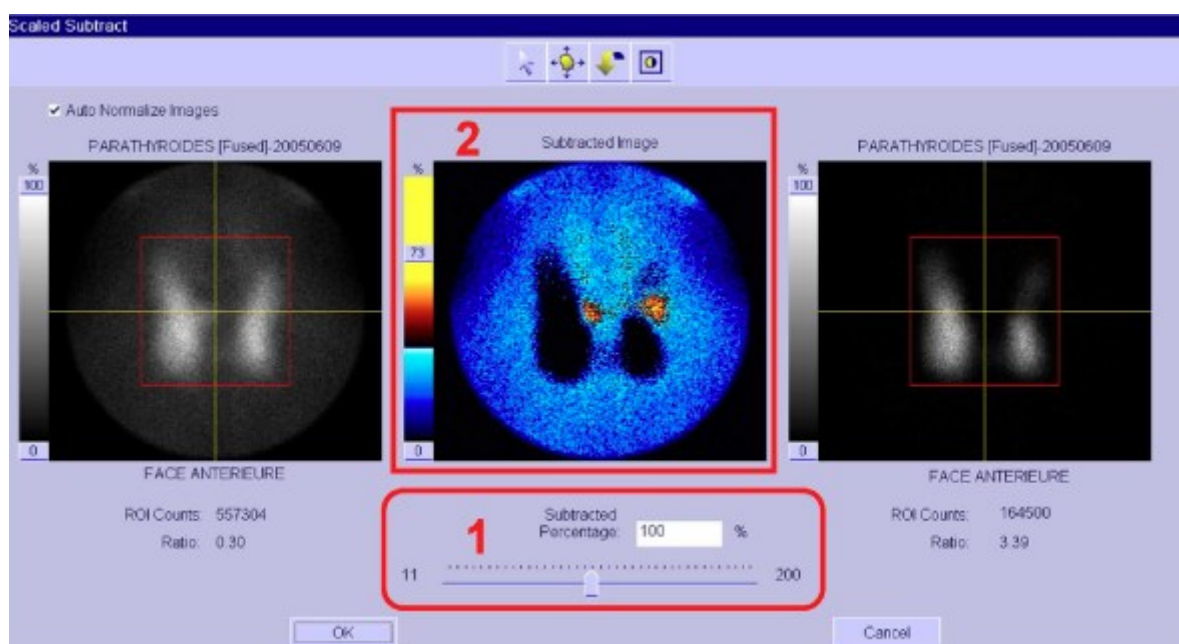
Les ROIS rectangulaires ne doivent pas être placées au-dessus des zones qui peuvent contenir une activité parathyroïdienne anormale. Dans ce cas, il est recommandé d'éviter les pôles supérieur et inférieur de la glande thyroïde.



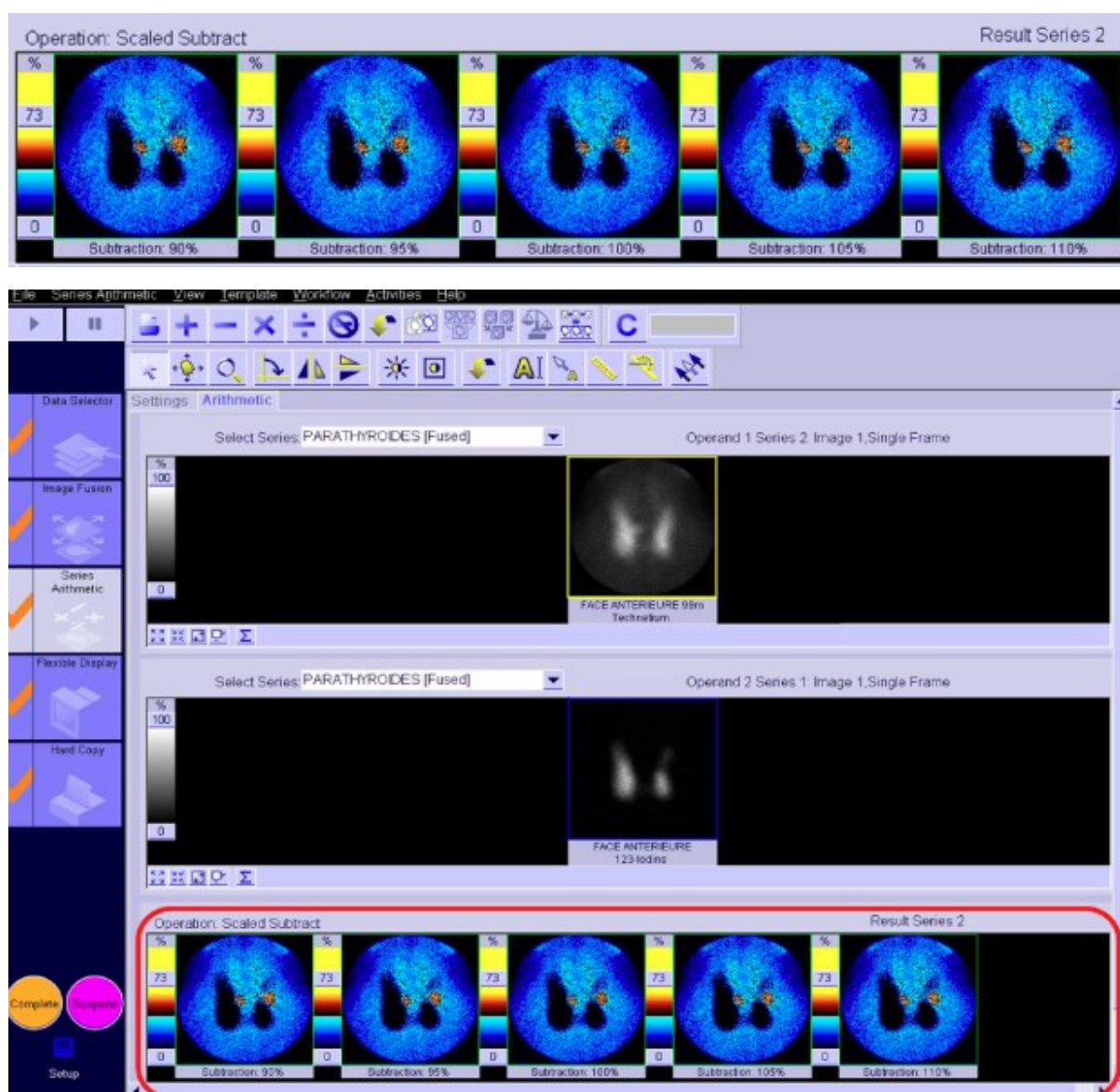
- ✚ Choisir le pourcentage de soustraction en entrant une nouvelle valeur dans le champ « Subtracted Percentage », ou en déplaçant le curseur vers la droite ou la gauche [1].

A chaque modification de cette valeur, l'image centrale est réactualisée et affiche le résultat de cette nouvelle soustraction [2].

Une valeur de 100% correspond à une soustraction « classique ».



- ✚ Cliquez sur OK pour valider la sélection.
- ✚ Le résultat apparaît sous forme de 5 images : 2 images de part et d'autre de l'image centrale (image correspondant au % choisis), incrémentées de 5% chacune.



- ✓ Passer sur l'activité « Flexible display » pour vérifier les mises en pages, puis sur l'activité « Hard copy » pour imprimer les pages de résultats.

VII. Interprétation :

1– Méthode double phases :

Une scintigraphie positive se caractérise par un foyer précoce d'accumulation préférentiel du ^{99m}Tc -MIBI de localisation parathyroïdienne qui augmente en intensité et persiste sur les images tardives avec diminution de la fixation thyroïdienne.

2– Méthode combinée double phase double traceur :

❖ Dans l'aire thyroïdienne :

Tout foyer résiduel après soustraction des images sera considéré comme pouvant correspondre à une glande parathyroïdienne anormale. Cette image doit être confrontée à l'image thyroïdienne afin de s'assurer de l'absence d'hétérogénéité fonctionnelle de la glande thyroïde (source de faux positif).

❖ En dehors de l'aire thyroïdienne :

Toute image focalisée située dans le cou ou le médiastin, dans les sites possibles de glandes parathyroïdiennes, indépendantes des sites de fixations physiologiques du ^{99m}Tc -MIBI sera considérée comme pouvant correspondre à une glande parathyroïdienne anormale. Le degré de certitude diagnostique sera évalué au cas par cas d'après les coupes tomoscintigraphiques.

❖ Les images tomoscintigraphiques :

Elles peuvent être utiles pour préciser la localisation des glandes pathologiques en position eutopique, notamment la détermination de leur caractère plus ou moins postérieure. Les images de fusion TEMP TDM sont

très utiles pour localiser anatomiquement les ectopies majeures. Elles peuvent améliorer la sensibilité et la spécificité de l'examen.

❖ **Artéfact et source d'erreurs :**

- ✓ Mouvement du patient
- ✓ Anomalie d'enregistrement de l'image
- ✓ Les glandes parathyroïde Kystique (faible fixation)
- ✓ Les glandes à élimination rapide : source de faux-négatif dans la méthode double-phase
- ✓ Les petits adénomes sont plus difficiles à visualiser (inférieur à 200 mg)
- ✓ Fixation non spécifique dans les sites anatomiques de glandes parathyroïdes (ADP, reliquat thymique).
- ✓ Fixation osseuse notamment dans les cas d'hyperparathyroïdie secondaire (tumeurs brunes).
- ✓ Fixation des anneaux trachéaux et des articulations sterno-claviculaire.
- ✓ Les nodules thyroïdiens bénins ou malins entraînent une fixation du MIBI.
- ✓ En cas de soustraction, certaines situations vont affecter la fixation thyroïdienne (Saturation iodée, Traitement hormonal...)
- ✓ Dans l'hyperparathyroïdie II chez les dialysés, les calcimimétiques peuvent réduire la captation du traceur parathyroïdien de même que le traitement par vitamine D active.

VIII. Compte rendu :

- Technique de l'examen : Préciser la méthode utilisée et le type des acquisitions faites.
- Résultats de la scintigraphie :
 - ✓ Description analytique des images précoce et tardive (thyroïdienne et parathyroïdienne).
 - ✓ Description analytique des images de soustraction en précisant les foyers résiduels le nombre et la localisation (le côté et la hauteur par rapport aux lobes thyroïdien).
 - ✓ La TEMP TDM :
 - Il faut préciser l'aspect scannographique du processus parathyroïdien, les mensurations, la topographie, le nombre et l'intensité de fixation.
 - En l'absence de certitude, il est préférable d'être descriptif et de ne pas désigner les glandes par leur origine embryologique.
 - Dans le cas de glande médiastinale on précisera la hauteur par rapport à la fourchette sternale, et en fonction de la profondeur la localisation médiastinale antérieure, moyenne ou postérieure.
- La conclusion :
 - ✓ Interprétation comme normale, pathologique ou douteuse.
 - ✓ Synthèse comprenant le nombre, la topographie et l'aspect scannographique s'il est atypique.

- ✓ La présence ou non de processus parathyroïdien ectopique.
- ✓ La possibilité de proposer la confrontation à une autre modalité d'imagerie orientée.

Scintigraphie aux analogues de la somatostatine marqué

^{99m}Tc (Octréoscan)

I. Définition :

La scintigraphie aux récepteurs de la somatostatine est un examen d'imagerie destiné à l'exploration des tumeurs endocrines.

II. Indications :

- ✓ Tumeurs endocrines digestives fonctionnelles (gastrinome, insulinome, glucagonome, VIPome, somatostatinome...) ou non fonctionnelles.
- ✓ Tumeurs endocrines carcinoïdes pulmonaires.
- ✓ Neuroblastomes.
- ✓ Paragangliomes.
- ✓ Tumeurs à cellules de Merkel.

➔ Pour ces tumeurs, l'octréoscan est indiqué dans le cadre de la détection et localisation des tumeurs, le bilan d'extension pré-thérapeutique, le suivi post-thérapeutique, la détection des récives, prédiction de la réponse thérapeutique aux analogues de la somatostatine et sélection des patients susceptibles de bénéficier d'une radiothérapie interne vectorisée.

III. Contre-indications :

- ✓ Grossesse.
- ✓ L'allaitement doit être interrompu pendant 24 heures.

IV. Préparation du patient :

1– Informations souhaitables :

- ✓ Le motif de la demande.
- ✓ Les signes cliniques.
- ✓ Les antécédents d'intervention chirurgicale.
- ✓ Le bilan hormonal récent.
- ✓ Les résultats récents de la TDM et/ou IRM.
- ✓ Les résultats d'éventuelles autres scintigraphies.
- ✓ Les traitements pris par le patient, automédication.

2– Information et préparation du patient :

Vérification de la prise médicamenteuse du patient et surtout des anti-diarrhéiques.

Préparation digestive par un laxatif un jour avant l'injection et continuer après l'injection (attention à l'insulinome).

Un régime sans résidu est préconisé pour diminuer l'accumulation digestive.

Arrêt des analogues froids de la somatostatine au moins un jour pour les LR et 3 à 4 semaines pour LP (concertation avec le médecin traitant).

Respect d'un délai de 6 à 8 semaines post opératoire.

Bonne hydratation : un régime à base de liquide 2 jours avant l'examen.

3– Précautions : Aucune.

V. Radiopharmaceutique :

1– Caractéristiques physiques : Voir tableau 1.

2– Caractéristiques des molécules vectrices :

TEKTROTYD (trifluoroacétate HYNIC-[D-Phe, Tyr³-Octréotide]) est un dérivé de la somatostatine qui se lie aux 5 sous types des récepteurs de la somatostatine (sst1, sst2, sst3, sst4 et sst5).

3– Pharmacocinétique :

- ✓ Après administration intraveineuse, le ^{99m}Tc-TEKTROTYD est rapidement éliminé du sang. Environ 10 minutes après l'injection, une accumulation de ^{99m}Tc-TEKTROTYD est observée dans les principaux organes, à savoir le foie, la rate et les reins, ainsi que dans les tumeurs exprimant les récepteurs de la somatostatine.
- ✓ Les valeurs maximales du rapport tumeur/fond sont observées 4 heures après l'injection. Les lésions cancéreuses sont encore visibles après 24 heures. Une légère excrétion par le tube digestif est observée sur les images tardives.
- ✓ L'activité est excrétée principalement par voie rénale avec une faible contribution de l'excrétion hépatique.

4– Préparation :

- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser en respectant les règles d'hygiène et de radioprotection.
- Vérification la date de péremption et l'intégrité du flacon de TEKOTROTID.

- Se laver les mains et mettre des gants, puis retirer l'opercule du flacon de TEKTRITYD et mettre le flacon dans un pot plombé.
- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser impérativement dans l'enceinte blindée :
 - ✓ Prélèvement de 1ml de pertechnétate de sodium d'une activité de 740MBq– 1200MBq (à un maximum de 2200MBq). Cette quantité est suffisante pour l'examen de 1 à 2 adultes.
 - ✓ Deux flacons en verre (flacon I et flacon II) d'un volume de 10 ml contenant une poudre pour la préparation de la solution à injecter
 - ✚ Flacon I: Hynic-[D-Phe, Tyr-Octreotide), tin (II) chloride, Tricine (N-[Tris(hydroxymethyl) methyl]glycine, Mannitol,
 - ✚ Flacon II: EDDA (ethylenediamino-N, N' acide diacétique, Phosphate disodique dodecahydraté, hydroxyde de sodium.
 - ✓ Placement le flacon I à l'intérieur d'un blindage en plomb
 - ✓ Dans le flacon II :
 - ✚ Injecter avec une seringue : 1 ml d'eau pour préparation injectable dans le flacon II.
 - ✚ Remuer doucement le contenu du flacon
 - ✚ Prélever 0.5 ml de cette solution
 - ✓ Dans le flacon I :
 - ✚ Injecter 0.5 ml prélevés du flacon II dans le flacon I
 - ✚ Remuer minutieusement
 - ✚ Injecter l'activité désirée du pertechnétate de sodium [^{99m}Tc] à condition de ne pas dépasser les 2200 MBq pour un

volumemaximal de 1 ml.

- ✚ Avant d'enlever l'aiguille du flacon, le volume de l'air équivalent au volume introduit doit être prélevé avec une seringue afin de réduire l'excès de pression dans le flacon. Agiter avec précaution pendant 10 secondes pour bien mélanger (le flacon I placé toujours au niveau du conteneur blindé).
- ✚ Faire sortir le flacon I du conteneur blindé et le placer immédiatement dans un bain-marie à 80°C pendant 20 minutes en gardant le flacon dans la position verticale.
- ✚ Remettre ensuite le flacon dans le conteneur blindé et laisser à température ambiante pendant au moins 30 minutes afin de refroidir la préparation.
- ✚ Mesurer la radioactivité totale, la noter sur une étiquette et coller sur le flacon.
- ✓ Contrôle de l'activité mesurée par une double lecture de l'activité à l'aide de l'activimètre.
- ✓ Noter l'activité mesurée sur le planning d'injection.
- ✓ Étiquetage de la seringue.
- ✓ Placer la seringue protégée dans le plateau métallique du passe-plat vers la salle d'injection.

NB: Le flacon contenant la préparation radiomarquée doit être placé dans une position verticale, à une température comprise entre 15 °C et 25°C. Utiliser 6 heures après préparation.

5- Posologie et mode d'administration :

La plage d'activité est comprise entre 370 et 740 MBq en une seule injection intraveineuse directe.

VI. Acquisitions :

- ✓ Collimateurs basse énergie, 140Kev
- ✓ Acquisition à 10min/1h/ 2h/ 4h et 24h
- ✓ Balayage corps entier en incidence de face antérieure et postérieure :
3 cm/min
- ✓ SPECT/CT (2 lits thorax+abdomen): à 4h
- ✓ 60 projections ; 25s/projection ;
- ✓ Matrice 64x64 ; Zoom=1

VII. Interprétation :

1- Fixation physiologique :

L'aspect scintigraphique normal montre une visualisation faible de la thyroïde et de l'hypophyse, plus marquée et homogène au niveau du foie et intense au niveau des reins et de la rate.

2- Fixations pathologiques :

- ✓ Outre la répartition physiologique du radiopharmaceutique, quel que soit le niveau d'intensité, l'existence d'une fixation est considérée comme anormale. En effet l'intensité est en fonction de la densité de récepteurs de la somatostatine et certaines tumeurs expriment une faible densité de ces récepteurs.
- ✓ L'interprétation tient compte du contexte pour distinguer une fixation tumorale spécifique d'une fixation non tumorale

(inflammatoire pathologique ou iatrogène...).

3– Artéfacts et sources d'erreurs :

- ✓ La fixation intestinale physiologique versus lésions intestinales.
- ✓ La fixation physiologique de la vésicule biliaire versus métastases hépatiques.
- ✓ L'accumulation du radiotracer au niveau d'un site opératoire récent/colostomie.
- ✓ La fixation mammaire symétrique physiologique chez la femme.
- ✓ Les foyers d'hyperfixation témoignent d'une augmentation locale du nombre de récepteurs à la somatostatine et pas nécessairement une tumeur maligne (évaluation ultérieure nécessaire).

VIII. Compte rendu :

- Technique: L'activité injectée, le délai entre l'injection et l'acquisition et les différentes acquisitions réalisées.
- Résultats :
 - ✓ Intensité de la fixation du radiopharmaceutique sur les tumeurs (cette fixation peut être cotée par comparaison à l'intensité de la fixation hépatique selon une échelle allant de 0 à 3 : absence, inférieure, égale ou supérieure à la fixation hépatique) et leur localisation.
 - ✓ Réserves éventuelles en fonction du contexte, de la qualité des images et de la préparation du patient ou des doutes quant à une origine tumorale ou une autre étiologie.

- La conclusion :

- ✓ Apporter des éléments de réponse à la question posée selon l'indication.
- ✓ Interprétation comme normal ou pathologique, avec éventuellement des réserves.
- ✓ Synthèse comprenant les éléments susceptibles de modifier la prise en charge thérapeutique du patient par rapport au contexte connu.
- ✓ L'orientation vers un diagnostic étiologique ne peut qu'être extrêmement prudente.

Scintigraphie à la ^{131}I -MIBG

I. Définition :

La scintigraphie à la méta-iodobenzylguanidine (MIBG) est un examen d'imagerie diagnostique destiné à l'exploration de tumeurs issues de la crête neurale embryonnaire.

II. Indications :

- ✓ Caractérisation tissulaire dans les bilans préopératoire et d'extension des phéochromocytomes, les paragangliomes, les chémodectomes et les tumeurs carcinoïdes.
- ✓ La recherche de ces tumeurs pouvant être associées à des néoplasies endocriniens multiples (NEM), à un syndrome de Von Hippel Lindau, une pathologie familiale.
- ✓ En cas de tumeurs multifocale, elle participe au bilan des autres lésions.
- ✓ Le bilan préopératoire d'un incidentalome surrénalien de grand diamètre avec une densité spontanée au TDM supérieure à 10 UH, vascularisé ou kystisé au TDM, non hypersécrétant et devant être opéré : ce bilan permet de diagnostiquer des phéochromocytomes non ou peu sécrétants (10 % de cas) et de faciliter le geste chirurgical et surtout la prise en charge anesthésique.
- ✓ Le bilan postopératoire des lésions pour s'assurer de la totalité de l'exérèse, cela permet de donner un argument de type évolutif. Parfois, certaines lésions sont en partie laissées en place (grosses

lésions) et la scintigraphie permet d'éviter alors le diagnostic de récurrence.

- ✓ Le bilan avant un éventuel traitement par la MIBG marquée à l'iode 131.
- ✓ Le bilan évolutif d'une tumeur fixant la MIBG au cours des traitements ou de la surveillance (nombre de sites fixants, intensité des sites fixants, ...).

III. Contre-indications :

- ✓ Grossesse
- ✓ L'allaitement doit être arrêté définitivement que ce soit pour la ¹³¹I-MIBG.

IV. Préparation du patient :

1- Informations souhaitables :

- ✓ Préciser le motif de la demande.
- ✓ Les signes cliniques.
- ✓ Les antécédents d'intervention sur les surrénales ou autres sites (paragangliomes, ...).
- ✓ Le bilan hormonal récent, dérivés méthoxylés et chromogranine A.
- ✓ Les résultats récents de l'imagerie morphologique (TDM et/ou IRM) et éventuellement fonctionnelle (scintigraphie à la MIBG).
- ✓ Les traitements pris par le patient et l'automédication.

2- Information et préparation du patient :

- ✓ Informer le patient sur la nature de l'examen et de son déroulement.
- ✓ Préparation digestive la veille de l'acquisition.
- ✓ Remise d'une feuille au patient avec la préparation, le régime sans résidu et les jours de début et d'arrêt du Lugol.
- ✓ Le patient doit être à jeun.
- ✓ Bonne hydratation avant et après injection de la MIBG et miction avant les acquisitions.
- ✓ Indiquer les heures de venue dans le service.

3- Effets secondaires :

Une injection intraveineuse trop rapide pourrait entraîner une poussée tensionnelle, palpitations, bouffées de chaleur, crampes abdominales, transitoires disparaissant dans l'heure qui suit l'injection, ceci peut être évité par une injection lente sur une durée de 5 à 10 min sous contrôle tensionnel.

4- Interférences médicamenteuses :

De nombreux médicaments peuvent interférer ou pourraient théoriquement interférer avec la captation et/ou le stockage de la MIBG. Dans la mesure du possible, et en accord avec le clinicien, un arrêt de ces médicaments est souhaitable avant injection de la ^{131}I -MIBG. La connaissance de la prise médicamenteuse est indispensable au médecin nucléaire pour une interprétation de l'examen (annexe 1).

5- Saturation thyroïdienne :

Compte tenu d'une désiodation partielle du médicament radiopharmaceutique, il est nécessaire de bloquer la captation thyroïdienne d'iode en administrant de l'iode stable.

- ✓ Lugol 5 % : 10 gouttes trois fois par jour (de préférence dans du lait pour en atténuer l'amertume) à débiter 3 jours avant et poursuivi sept jours après l'injection du radiopharmaceutique.
- ✓ Iodure de potassium : Gélules à 130 mg (100 mg d'iodure) : une gélule par jour à débiter la veille de l'injection et poursuivie pendant cinq jours en tout.
- ✓ Perchlorate de potassium : gélules à 500 mg, une gélule matin et soir à débiter au moins une heure avant l'injection et pendant cinq jours en tout. Étant donné le risque d'agranulocytose, la numération formule sanguine (NFS) doit être surveillée en cas de fièvre ou de syndrome septique.
- ✓ Chez l'enfant : on utilise le Lugol 1% à la dose de 1,5 goutte/kg à prendre le matin à débiter 3 jours avant et poursuivi sept jours après l'injection du radiopharmaceutique.

V. Radiopharmaceutique :

1– Caractéristiques physiques :

Tableau 4 : Caractéristiques physiques de ^{131}I iode

Radionucléide	^{131}I
Mode de décroissance	Transition isobarique et isomérique
Période physique (jours)	8.04
Energie B ⁻ du pic principal (keV)	606
Energie Y du pic principal (keV)	364

2– Caractéristiques des molécules vectrices :

La MIBG est un dérivé du brétylium et de la guanéthidine, c'est une aralkylguanidine radio-iodée constituée d'un groupe guanidine lié à un radical benzyle comportant un ^{131}I . Il s'agit d'un analogue fonctionnel de la noradrénaline pour le transport pré-synaptique mais ne se fixe pas sur les récepteurs post-synaptiques, donc il n'y a pas d'effet secondaire.

3– Pharmacocinétique :

^{131}I -MIBG pénètre dans les cellules par deux mécanismes : le premier est un phénomène actif de captage (uptake 1) et le second un phénomène de diffusion passive. Il existe ensuite un mécanisme de rétention de la MIBG et de relargage. Le radiopharmaceutique est capté et stocké rapidement par les organes contenant la noradrénaline et les tumeurs neuro-ectodermiques. L'élimination est en grande partie urinaire (70 à 90% de l'activité éliminée en 4 jours) (Figure 6).

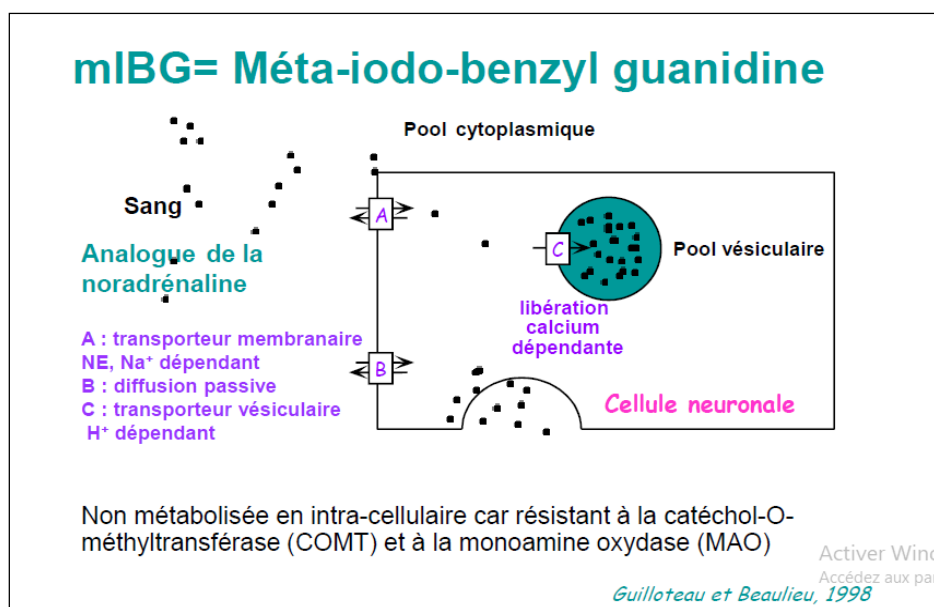


Figure 6 : Mécanisme de captation, de stockage et de relargage de la MIBG

4- Préparation :

- ✓ Le produit radiopharmaceutique est prêt à l'emploi, conditionné dans son flacon d'origine, il doit être conservé à une température ne dépassant pas +25 °C.
- ✓ Afin d'en faciliter l'administration, le médicament peut être dilué avec de l'eau pour préparation injectable ou une solution stérile de glucose 5 % pour obtenir un volume plus important (20ml).

5- Activité injectée et mode d'administration :

- ✓ La MIBG [¹³¹I] est administrée par voie intraveineuse lente (durée de l'injection au moins 5 minutes), suivi d'un rinçage avec le sérum.
- ✓ Pour l'adulte, l'activité administrée varie pour la ¹³¹I-MIBG : 40–80 MBq (1,2 – 2,2 mCi).
- ✓ La dose administrée aux enfants peut être calculée en modifiant la dose pour adultes en tenant compte du poids ou de la surface corporelle de l'enfant (Annexe 2).

VI. Acquisition :

- ✓ La gamma-caméra doit être équipée d'un collimateur haute énergie pour ^{131}I .
- ✓ Les acquisitions ont lieu à 24, 48 et 72 heures.
- ✓ Un balayage corps entier à 5 cm/min, matrice 256x1024, zoome à 1, les images se font en faces antérieure et postérieure.
- ✓ Lorsque l'on recherche des paragangliomes cervicaux, des statiques de 10min de profil sur le cou et le crâne sont systématiques pour ne pas être gêné par la fixation physiologique des glandes salivaires.
- ✓ La TEMP TDM des étages cervicaux et thoraco-abdomino-pelviennne est systématique pour les acquisitions de 24 et de 48 heures.
- ✓ Le SCOUT VIEW de la TDM doit couvrir le champ d'acquisition par la TEMP.

VII. Interprétation des images :

L'interprétation est qualitative et doit être faite en fonction de l'indication et en connaissances des antécédents (surrénalectomie unilatérale, possibilité d'association de tumeurs, de lésions multiples, NEM, cancer médullaire de la thyroïde, syndrome de Von Hippel Lindau, ...), de la clinique, des médicaments pris et des résultats hormonaux et morphologiques.

❖ **Aspects scintigraphiques normaux :**

- ✓ On visualise une fixation physiologique intense des glandes salivaires, du myocarde, des muscles paravertébraux et parfois des poumons, du foie, de la rate et de la vessie.
- ✓ Habituellement, on ne voit pas de fixation surrénalienne avec la ^{131}I -MIBG, alors qu'elle peut être visible avec la ^{123}I -MIBG.

❖ **Aspects pathologiques :**

- ✓ L'hyperfixation, d'intensité supérieure à celle du foie, dans la région surrénalienne est très en faveur d'un phéochromocytome. Il s'agit le plus souvent d'un foyer mieux vu en face postérieure.
- ✓ Un foyer visible aussi bien en face antérieure que postérieure, voire plus visible en face antérieure, doit faire plutôt rechercher un paragangliome abdominal.
- ✓ Ces lésions pouvant être multiples de façon synchrone ou non, l'acquisition doit explorer le corps de la base du crâne à la vessie à la recherche d'autres foyers.
- ✓ Classiquement, 10 % des phéochromocytomes sont métastatiques et l'exploration des zones médullaires doit être attentive pour la recherche de lésions osseuses, en particulier.
- ✓ Dans le cas des cancers médullaires de la thyroïde, une fixation peu intense des deux surrénales est parfois difficile à interpréter, il faut bien évidemment rechercher un phéochromocytome bilatéral.
- ✓ La TEMP TDM permet de mieux caractériser et localiser certaines hyperfixations avec une meilleure détection des petites lésions, à

proximité d'organes avec forte activité physiologique et une augmentation de la certitude diagnostique en réduisant le taux de faux positifs lié à une mauvaise interprétation de fixation physiologique et de faux négatifs lié à la superposition de fixation pathologique et physiologique.

❖ **Artéfacts et sources d'erreurs :**

- ✓ Fixations digestives et des cavités excrétrices sources de faux positif classique à connaître si le patient est insuffisamment préparé sur le plan digestif et surtout mal hydraté.
- ✓ Les interférences médicamenteuses.
- ✓ L'hyperplasie surrénalienne après surrénalectomie controlatérale.
- ✓ Blocage insuffisant de la thyroïde.
- ✓ Les tumeurs de petite taille, nécrotique ou majoritairement kystique ne fixant pas ou très peu le radiopharmaceutique.

VIII. Compte rendu d'examen :

- La technique : le radiopharmaceutique utilisé, les délais d'acquisition et les acquisitions réalisées et la préparation du patient.
- Les résultats :
 - ✓ La biodistribution du radiopharmaceutique observée, en particulier la fixation myocardique.
 - ✓ La topographie de ou des anomalies scintigraphiques, leur intensité et le nombre de foyers et leur traduction sur la TDM.

- ✓ En cas de non fixation, les causes possibles de faux négatifs dans le contexte du patient.
- ✓ En cas de fixation inhabituelle, les causes possibles de faux positifs dans le contexte du patient.
- Conclusion : Répondre à la question posée : examen pathologique ou non avec éventuellement des réserves en fonction du contexte ou de la préparation du patient.

Scintigraphie myocardique de perfusion au ^{99m}Tc -MIBI

I. Définition :

Examen permettant l'évaluation de la perfusion myocardique relative grâce à l'administration par voie intraveineuse d'un produit radiopharmaceutique à tropisme myocardique.

Cette évaluation de la perfusion myocardique relative peut être réalisée au repos et/ou après un test de stimulation cardiaque ou au décours immédiat d'un épisode cardiaque aigu.

L'acquisitions tomographiques synchronisées à un signal électrocardiographique (TEMPS : Tomographie d'émission monophonique synchronisée) permet d'évaluer simultanément la perfusion et la cinétique segmentaire et globale du ventricule gauche.

II. Indications :

- ✓ Bilan diagnostique de l'insuffisance coronaire chez les patients présentant une douleur thoracique et présentant un risque intermédiaire ou élevé d'insuffisance coronaire ou bien chez les patients asymptomatiques mais présentant un risque élevé d'insuffisance coronaire.
- ✓ Insuffisance coronaire chronique connue :
- ✚ Recherche d'ischémie myocardique résiduelle.
- ✚ Evaluation du pronostic et du risque de survenue de complications cardiaques (infarctus, décès d'origine cardiaque, angor instable, insuffisance cardiaque).

- ✚ Orientation thérapeutique.
- ✚ Evaluation de l'efficacité du traitement médical ou de revascularisation.
- ✚ Evaluation du retentissement fonctionnel d'une sténose coronaire sur la perfusion myocardique.
- ✚ Identification de la sténose coronaire la plus serrée chez les patients chez qui une angioplastie coronaire est envisagée.
- ✓ Au décours immédiat d'un infarctus du myocarde avec élévation du segment ST :
 - ✚ Evaluation de la taille de la nécrose myocardique et du myocarde viable résiduel.
 - ✚ Détection du myocarde à risque.
 - ✚ Evaluation du pronostic et du risque de survenue d'une complication cardiaque (infarctus, décès d'origine cardiaque, angor instable, insuffisance cardiaque).
 - ✚ Evaluation de l'efficacité des traitements : pontage, angioplastie, médicaments antiangineux...
- ✓ Syndrome coronarien aigu ou infarctus du myocarde (documenté par l'histoire clinique, échographie cardiaque, etc.) sans élévation du segment ST :
 - ✚ Diagnostic d'ischémie myocardique.
 - ✚ Evaluation de la sévérité et de l'étendue de l'ischémie myocardique chez les patients dont les symptômes sont plus ou moins contrôlés

médicalement et chez qui le diagnostic électrocardiographique d'angine de poitrine reste incertain.

- ✚ Evaluation de la sévérité et de l'étendue de l'ischémie myocardique chez les patients présentant une angine de poitrine non contrôlée médicalement et chez qui le diagnostic électrocardiographique d'insuffisance coronaire est incertain.
- ✚ Evaluation du retentissement fonctionnel d'une sténose coronaire sur la perfusion myocardique.
- ✚ Identification de la sténose coronaire la plus serrée chez les patients pour lesquels une angioplastie coronaire est envisagée.
- ✓ Insuffisance cardiaque :
 - ✚ Diagnostic étiologique de l'insuffisance cardiaque.
 - ✚ Evaluation de la viabilité myocardique avant revascularisation.
 - ✚ Prédiction de l'amélioration de la fonction ventriculaire gauche chez le patient insuffisant cardiaque après une intervention de revascularisation : pontage aortocoronarien, angioplastie coronaire, etc.
- ✓ Evaluation de la viabilité myocardique chez un coronarien dans le cadre d'un bilan avant revascularisation percutanée et/ou chirurgicale.
- ✓ Bilan préopératoire d'une chirurgie lourde (chirurgie urologique, vasculaire, thoracique, orthopédique, etc.) chez les patients ayant de multiples facteurs de risque cardiovasculaire et une probabilité intermédiaire ou élevée d'être coronariens.

III. Contre-indications :

- ✓ Grossesse.
- ✓ Allaitement : doit être interrompu pendant 24 heures.

IV. Préparation du patient :

1- Informations souhaitables :

- ✓ Préciser l'indication de l'examen.
- ✓ Recueil des antécédents médicaux, en particulier, des antécédents cardiovasculaires, pulmonaires (asthme), etc.
- ✓ Recueil des résultats des précédents examens cardiaques (épreuves d'effort, échocardiographie, coronarographie).
- ✓ Identification des médicaments, pris le jour du test ou arrêtés intentionnellement auparavant (en particulier les médicaments anti-angineux).
- ✓ Recherche des contre-indications à la réalisation des techniques de stress : épreuve d'effort, administration de dipyridamole ou d'adénosine, test à la dobutamine.
- ✓ Présence d'un bloc de branche gauche ou d'un rythme électro-entraîné.

2- Information et préparation du patient :

- ✓ Informer le patient sur le but et le déroulement de l'examen.
- ✓ Informer le patient sur l'importance de mener l'épreuve d'effort au maximum de ses possibilités.

- ✓ La procédure d'acquisition et la nécessité d'être strictement immobile, d'éviter les mouvements respiratoires amples et si possible de ne pas parler et de ne pas s'endormir.
- ✓ Les objets métalliques doivent être enlevés (soutien-gorge à armature métallique, médaillon, etc.).
- ✓ Il est souhaitable que les patients soient à jeun de manière à limiter la captation digestive du traceur.
- ✓ La suppression des médicaments anti-angineux doit être discutée avant la réalisation d'une épreuve d'effort, en fonction de l'indication de l'examen :
 - ✚ À titre diagnostique et si cela n'est pas médicalement contre-indiqué, il est recommandé de supprimer les dérivés nitrés et les antagonistes calciques (≥ 24 h) et surtout les bêta-bloquants (≥ 48 h).
 - ✚ Les examens peuvent être réalisés sans arrêter le traitement médical lorsqu'ils sont effectués chez des patients coronariens connus dans le cadre de l'évaluation de l'efficacité du traitement médical et du pronostic du patient, ou dans le cadre de l'étude de la viabilité myocardique.

3- Précautions :

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

Un matériel de réanimation standard doit être disponible non seulement pendant l'épreuve de stimulation, mais aussi sur le lieu de réalisation des tomoscintigraphies.

4- Radiopharmaceutique :

1- Caractéristiques physiques : Voir le tableau 1.

2- Caractéristique de la molécule vectrice :

2-méthoxy-isobutyl isonitrile (sestamibi) est un complexe cationique lipophile rapidement distribué du sang vers les tissus, 5 minutes après l'injection, seulement 8% de la dose injectée est encore dans la circulation. La demi-vie biologique est d'environ 7 heures et l'élimination est hépato-biliaire et rénale sous forme inchangée.

3- Pharmacocinétique :

Le sestamibi marqué au ^{99m}Tc est une molécule cationique et lipophile, qui une fois captée, se concentre dans les mitochondries des cellules myocardiques vivantes et viables.

4- Interactions médicamenteuses :

A ce jour, aucune interférence médicamenteuse n'a été rapportée.

5- Effets indésirables potentiels :

Les effets indésirables sont rares :

- ✓ Goût métallique ou amer passager et/ou des céphalées et bouffées vasomotrices passagères.
- ✓ Flush, œdème, inflammation au point d'injection, dyspepsie, nausées, vomissements, prurit, rash, urticaire, bouche sèche, fièvre, étourdissements, fatigue, dyspnée et hypotension.

6– Préparation :

❖ Préparation du pertechnétate de sodium :

Voir le chapitre de la scintigraphie thyroïdienne au ^{99m}Tc .

❖ Préparation du ^{99m}Tc -MIBI :

- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser en respectant les règles d'hygiène et de radioprotection.
- Vérifier la date de péremption et l'intégrité du flacon de MIBI.
- Se laver les mains et mettre des gants, puis retirer l'opercule du flacon de MIBI et mettre le flacon dans un pot plombé.
- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser impérativement dans l'enceinte blindée :
 - ✓ Nettoyage de la surface du bouchon du flacon avec une compresse imbibée d'alcool.
 - ✓ Nettoyage du bouchon du flacon d'éluat de pertechnétate de sodium à l'aide d'une longue pince munie d'une compresse imbibée d'alcool.
 - ✓ Mettre dans le flacon du MIBI une activité de 200 MBq à 1.1 GBq sous un volume d'éluat de 3 mL (volume final possible de 1 à 3 mL).
 - ✓ Agiter la préparation par retournement, 5 à 10 fois.
 - ✓ Placer le flacon verticalement dans un bain marie à 100°C pendant 10 minutes.
 - ✓ Laisser refroidir pendant 15 minutes.
 - ✓ Mesurer la préparation à l'aide de l'activimètre.

- ✓ Coller l'étiquette de la préparation sur le pot plombé.
- Conditionnement en seringue de la préparation marquée au ^{99m}Tc .
- ✓ Placement de la seringue de 2 mL dans le cache-seringue en tungstène.
- ✓ Vérification de la durée de stabilité de la préparation de ^{99m}Tc -MIBI (stabilité de 10 heures entre $+2^{\circ}\text{C}$ et $+8^{\circ}\text{C}$).
- ✓ Prélèvement aseptique de l'activité nécessaire à l'examen pour un patient donné, puis vérification à l'aide de l'activimètre.
- ✓ Sortir de l'enceinte la seringue protégée et l'étiquetée.
- ✓ Placement de la seringue protégée et l'étiquette pour la prescription médicale sur le plateau métallique dans le pass-plat dans la valisette plombée.

Posologie et mode d'administration :

L'administration se fait en intraveineux direct.

Protocole sur 1 jour, acquisition de stress puis de repos :

- ✓ Pour le stress : 3,7 MBq/Kg
- ✓ Pour le repos : 11 MBq/kg

V. Acquisitions :

❖ **Tests de stimulation :** (en présence d'un cardiologue)

1- Épreuve de stress :

- ✓ L'objectif de cette épreuve est l'augmentation de la consommation en oxygène pour obtenir les signes cliniques et électriques d'Angor.
- ✓ Moyens :

- ✚ Tapis roulant en suivant le protocole standard (7 paliers de 3 minutes).
- ✚ Bicyclette avec augmentation progressive des résistances.
- ✓ Validité : 95% de la fréquence maximale théorique (FMT).
- ✓ Injection : au maximum de l'effort ou si critère d'arrêt précoce de l'effort :
- ✚ Angor modérée à sévère ; Dyspnée marquée ; Fatigue ; Lipothymies.
- ✚ Trouble de repolarisation ; Trouble de la conduction.
- ✚ Augmentation de la tension artérielle.

2- Epreuve de stress pharmacologique :

- ✓ **Dobutamine** : sympathomimétique qui augmente les besoins en oxygène.
- ✓ **Dipyridamol** : vasodilatateur qui agit en augmentant le débit coronaire.

3- Épreuve mixte :

Association de l'épreuve physique et pharmacologique.

❖ Acquisition scintigraphique :

- ✓ Le patient doit être placé dans une position confortable avec les bras en dehors du champ d'acquisition.
- ✓ La position peut être celle du décubitus ventral pour les hommes et du décubitus dorsal pour les femmes.
- ✓ Le protocole adopté dans notre service est l'examen de stress suivi par le repos (Figure 7), mais l'inverse est réalisable (Figure 8).

- ✓ Acquisition tomographique : collimateur basse énergie haute résolution.
- ✓ Orbite : deux orbites non circulaire 180° rotation entre OAD et OPG.
- ✓ Synchronisation à l'ECG.

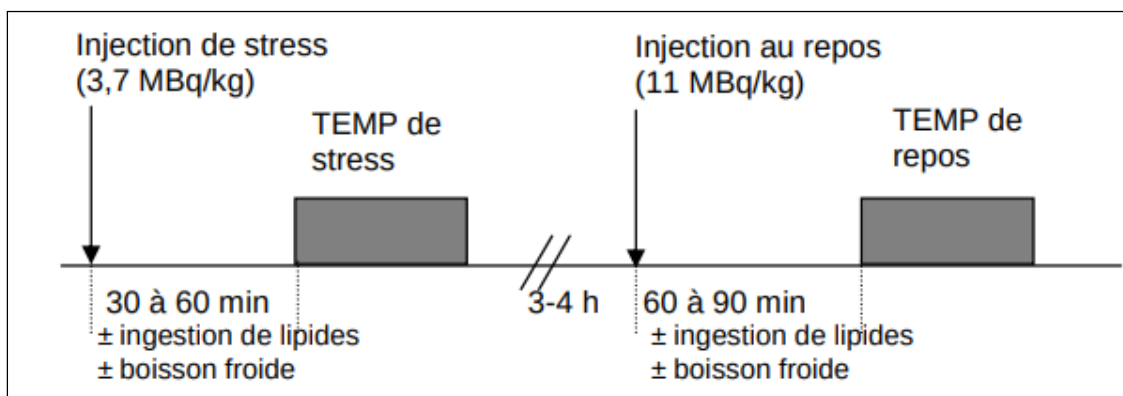


Figure 7 : Acquisitions stress–repos réalisées le même jour

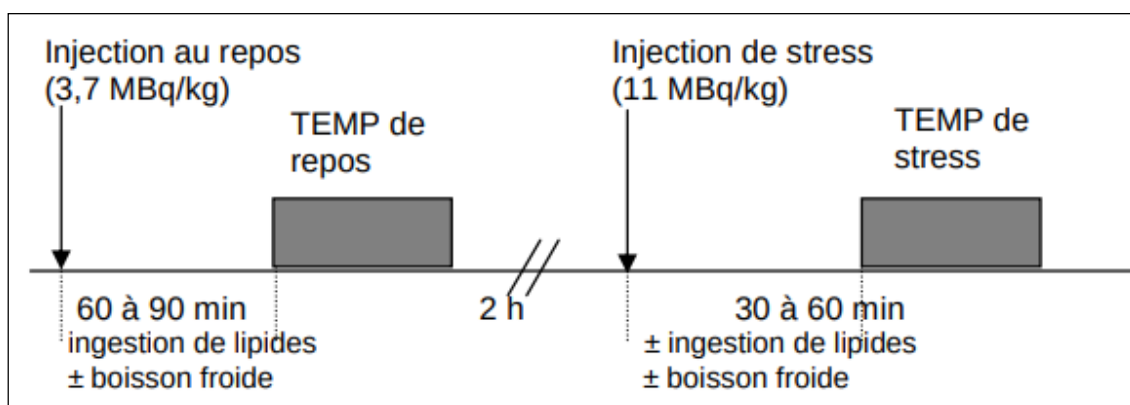


Figure 8 : Acquisitions repos–stress réalisées le même jour

❖ Synchronisation à l'ECG :

- ✓ La dérivation de l'ECG utilisée pour la synchronisation doit être choisie soigneusement, afin que l'onde R soit toujours identifiée comme étant le marqueur du début du cycle cardiaque.
- ✓ Idéalement, l'amplitude de l'onde R devrait être au moins trois fois plus importante que celle des ondes P ou T. Il est important de

noter que certains dispositifs ne reconnaissent le complexe QRS que lorsqu'il est positif. Lorsque le QRS est suffisamment ample mais négatif, il suffit alors d'inverser les électrodes de la dérivation, pour obtenir un signal adéquat avec un QRS positif.

- ✓ Le cycle cardiaque peut être divisé en 8 à 16 intervalles consécutifs. Le temps par projection doit être ajusté, de manière à atteindre une statistique de comptage suffisante par intervalle.

❖ **Contrôle de qualité de l'acquisition :**

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

VI. Interprétation :

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

1– Description des anomalies de la perfusion :

En utilisant la méthode de semi quantification visuelle, les anomalies de la perfusion devraient toujours être caractérisées par :

- ✓ Leur localisation sur les différentes parois du ventricule gauche (parois antérieure, latérale, inférieure, septale et l'apex).
- ✓ Leur sévérité (profondeur, étendue).

- ✓ La présence ou l'absence d'une amélioration nette de la fixation entre les images de stress et de repos (réversibilité).
- ✓ Enfin, pour les anomalies irréversibles, par la présence ou l'absence d'un niveau de fixation témoignant d'une viabilité résiduelle (ce seuil est aux environs de 50%).

2- Pour l'analyse semi-quantitative visuelle :

Il est conseillé de ne prendre en compte que les anomalies franches et évidentes de la perfusion, et il faut alors exclure les anomalies mineures (fixation supérieure à 75 %) et certaines diminutions physiologiques de la fixation que l'on peut observer dans :

- ✓ La portion proximale du septum inter-ventriculaire (région du septum membraneux).
- ✓ Le territoire postéro-basal pour les acquisitions effectuées en décubitus dorsal et chez les patients de sexe masculin.
- ✓ La région antéro-apicale chez les femmes, en fonction du morphotype des patientes.

Pour la description des anomalies de perfusion, il est préférable d'utiliser le modèle à 17 segments (Bull's eye : Figure 9) recommandé par l'American College of Cardiology et par l'American Heart Association, afin d'uniformiser les modalités d'interprétation de l'ensemble des techniques d'imagerie cardiaque tomographique. Ce modèle est très facile à utiliser en routine et permet d'obtenir une estimation plus précise de la répartition segmentaire de la masse ventriculaire gauche. Surtout, son utilisation devrait

permettre une meilleure compréhension des résultats par les médecins cardiologues demandeurs de l'examen.

L'étendue d'une hypofixation peut être considérée comme étant limitée si elle ne dépasse pas 2 segments/17, moyenne entre 2 et 4 segments/17 et large lorsqu'elle dépasse 4 segments/17.

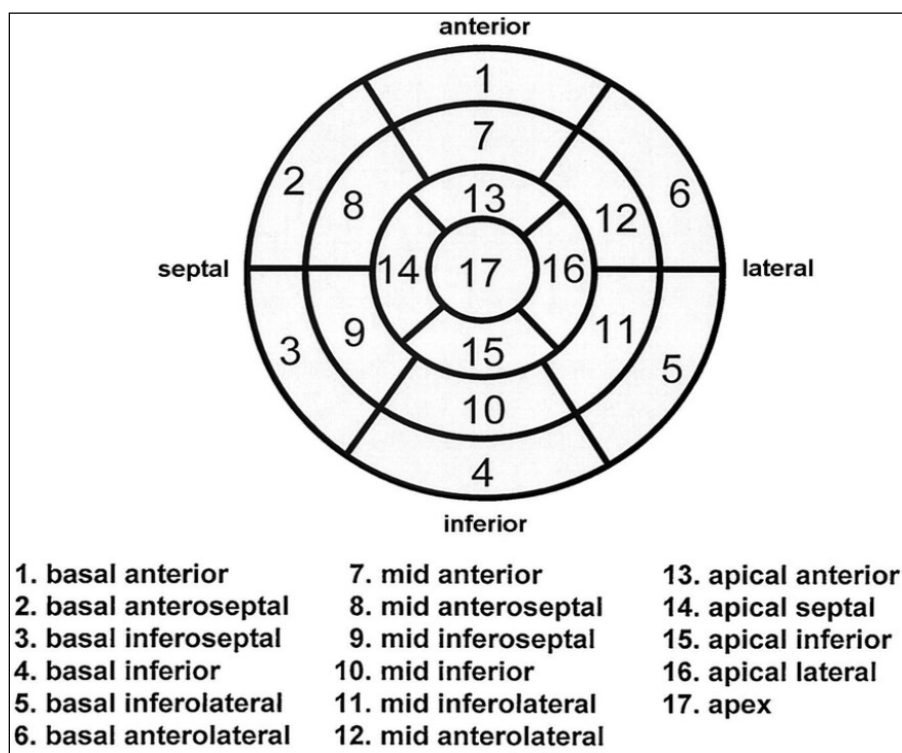


Figure 9 : Segmentation cardiaque selon l'American College of Cardiology (Bull's eye).

3- Analyse des tomographies synchronisées à l'ECG :

Deux paramètres doivent être analysés :

- ✓ La cinétique pariétale, qui correspond à l'amplitude du mouvement des parois pendant la contraction.
- ✓ L'épaississement pariétal en systole, qui est évalué en fonction de l'augmentation de l'activité pariétale pendant la contraction (effet de volume partiel).

Un segment akinétique peut être défini par une absence de cinétique et d'épaississement pariétal et un segment hypokinétique, par une diminution de la cinétique et de l'épaississement pariétal.

4- Les artéfacts et les sources d'erreur :

- ✓ Artéfacts de mouvements : ils sont liés à des mouvements du patient pendant l'acquisition, sont souvent difficiles à différencier d'une réelle anomalie de la perfusion. Cependant, les mouvements du patient sont le plus souvent détectables sur l'analyse en mode cinéma des projections planaires et/ou sur l'analyse du sinogramme. Cette recherche doit être systématique pour chaque acquisition.
- ✓ Artéfacts d'atténuation : Les artéfacts d'atténuation sont le plus souvent présents à la fois sur les acquisitions de stress et sur celles de repos. Il s'agit, en particulier :
 - ✚ Des atténuations diaphragmatiques inférieures (acquisitions en décubitus dorsal, le plus souvent chez les patients de sexe masculin),
 - ✚ Des atténuations mammaires antérieures et/ou apicales (notamment chez les femmes).

VII. Compte rendu :

- La technique : le radiopharmaceutique utilisé, le protocole utilisé et la préparation du patient (les médicaments arrêtés).

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

- Les résultats :

- ✓ La description détaillée des anomalies de la fixation myocardique (localisation, étendue, profondeur, réversibilité, activité résiduelle dans les lacunes irréversibles).
- ✓ L'étendue des anomalies de la fixation devrait être évaluée soit en pourcentage de surface du ventricule gauche, soit directement en nombre de segments.
- ✓ Mentionner également la présence des signes de dysfonction ventriculaire gauche (dilatation transitoire du VG, présence de bruit de fond pulmonaire) ou droite (fixation anormalement élevée du VD). La présence d'artéfacts (atténuation mammaire, etc.) pouvant influencer l'interprétation des résultats par le clinicien devra également être mentionnée.
- ✓ Lorsque les acquisitions ont été synchronisées à l'ECG, le compte-rendu doit aussi comprendre les paramètres de la fonction systolique globale du ventricule gauche (fraction d'éjection, volumes), ainsi que la description des anomalies segmentaires

(présence et localisation des segments hypokinétiques ou akinétiques).

- ✓ L'interprétation visuelle devrait toujours être pratiquée à partir de la visualisation des images sur écran, car les moyens de reprographie induisent toujours une perte d'information.
- Conclusion : Répondre à la question posée : examen pathologique ou non avec éventuellement des réserves en fonction du contexte ou de la préparation du patient.

Scintigraphie pulmonaire de ventilation et de perfusion

I. Définition :

La scintigraphie pulmonaire est une procédure de médecine nucléaire permettant l'exploration de deux fonctions pulmonaires (ventilation et perfusion).

La scintigraphie de perfusion est réalisée après administration intraveineuse de macroagréats d'albumine humaine (MAA) au ^{99m}Tc Technétium (^{99m}Tc).

La scintigraphie de ventilation est réalisée après inhalation d'un aérosol de DTPA marquées au ^{99m}Tc .

II. Indications :

- ✓ Le diagnostic d'embolie pulmonaire aiguë.
- ✓ L'appréciation de l'étendue d'une embolie pulmonaire aiguë (index d'obstruction vasculaire).
- ✓ La recherche de séquelles vasculaires à distance d'une embolie pulmonaire aiguë. Le dépistage de l'hypertension pulmonaire thromboembolique chronique.
- ✓ La recherche de shunt pulmonaire fonctionnel (syndrome hépato-pulmonaire) ou droite/gauche intracardiaque.
- ✓ L'évaluation de la fonction pulmonaire régionale avant chirurgie d'un cancer du poumon.
- ✓ L'évaluation de la fonction pulmonaire régionale avant réduction de volume pulmonaire dans l'emphysème sévère.

III. Contre-indications :

- ✓ Lorsqu'elle est nécessaire au diagnostic d'embolie pulmonaire, la scintigraphie pulmonaire n'est pas contre-indiquée chez la femme enceinte.
- ✓ L'allaitement éventuel doit être interrompu pendant une durée de 24 heures.

IV. Préparation du patient :

1- Informations souhaitables :

- ✓ Indication de l'examen.
- ✓ Antécédents thromboemboliques et pulmonaires.
- ✓ Recueil de l'histoire et de l'examen clinique.
- ✓ Probabilité clinique pré test d'embolie pulmonaire (score de Genève modifié : tableau 5).
- ✓ Résultats des examens paracliniques éventuels, notamment du dosage des D-dimères, de l'échodoppler veineux, de la radiographie pulmonaire ou de l'angioscanner thoracique si réalisés.
- ✓ Examens scintigraphiques pulmonaires antérieures.
- ✓ Traitement anticoagulant en cours (avec date de début si instauré récemment)

Tableau 5 : Score de Genève modifié

Age > 65 ans	+1
Antécédent de thrombose veineuse ou d'embolie pulmonaire	+1
Chirurgie sous anesthésie générale ou fracture d'un membre inférieur < 1 mois	+1
Cancer solide ou hématologique actif ou rémission < 1 an	+1
Douleur unilatérale d'un membre inférieur	+1
Hémoptysie	+1
Fréquence cardiaque : ≥ 75 b/min	+1
Supplément si fréquence cardiaque > 95 b/min *	+1
Douleur à la palpation d'un trajet veineux et œdème unilatéral d'un membre inférieur	+1
Score 2: probabilité faible score 2–4: probabilité intermédiaire +1 score ≥ 5: probabilité forte	
* Si la fréquence cardiaque du patient est par exemple 105 b/min, le nombre de points total assigné sera de 2 points (1) point car FC ≥ 75 b/min + 1 point supplémentaire car FC ≥ 95 b/min).	

On définit 3 classes de probabilité clinique (pré-test) associées à des prévalences distinctes d'EP :

- probabilité clinique faible → prévalence de l'EP < 10%
- probabilité clinique intermédiaire → prévalence de l'EP 30-40 %
- probabilité clinique forte → prévalence de l'EP > 70%

2- Information et préparation du patient :

- ✓ Information du patient sur le déroulement de l'examen.
- ✓ Avant d'effectuer une scintigraphie de ventilation, la capacité du patient à effectuer l'examen doit être évalué.

3- Précautions :

- ✓ L'existence d'une grossesse ou d'un allaitement éventuel doivent être prise en compte mais ne contre-indiquent pas l'examen.
- ✓ Interférences médicamenteuses : aucune

V. Radiopharmaceutique :

- ❖ Le radiopharmaceutique de la ventilation pulmonaire : ^{99m}Tc -DTPA

1- Caractéristiques physiques : Voir le tableau 1.

2- Caractéristique de la molécule vectrice :

DTPA est un agent chélateur d'une demi-vie biologique d'environ 2 heures.

3-Pharmacocinétique :

Le ^{99m}Tc -DTPA se dépose sur toute la muqueuse respiratoire et est éliminé après passage à travers la membrane alvéolo-capillaire par voie urinaire sous forme inchangée avec une demi-vie d'environ 2 heures.

4-Interactions médicamenteuses :

A ce jour, aucune interférence médicamenteuse n'a été rapportée.

5-Effets indésirables potentiels :

A ce jour, aucun effet indésirable n'a été rapporté.

6-Préparation :

- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser en respectant les règles d'hygiène et de radioprotection.
- Vérification de la date de péremption et l'intégrité du flacon de DTPA.
- Se laver les mains et mettre des gants. Retirer l'opercule du flacon de DTPA® et mettre le flacon dans un pot plombé étiqueté.
- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser impérativement dans l'enceinte blindée :
 - ✓ Désinfection du bouchon du flacon de DTPA avec une compresse imbibée d'alcool.
 - ✓ Désinfection du bouchon du flacon d'éluat de pertechnétate de sodium à l'aide d'une pince munie d'une compresse imbibée d'alcool. Puis, à l'aide d'une seringue de 5 mL munie d'une aiguille et protégée par un cache- seringue en tungstène, prélèvement aseptique de la quantité nécessaire de pertechnétate de sodium à

partir du flacon d'élution. On injecte 1 à 5 mL dans le flacon de DTPA.

- ✓ Injection aseptique de pertechnétate de sodium dans le flacon de DTPA à l'aide de la même seringue et aspiration d'un volume équivalent d'azote.
- ✓ Prendre une autre seringue et compléter le volume de 10 ml du flacon de DTPA avec du NaCl à 0,9%.
- ✓ L'activité maximale : 11.1GBq (300 mCi) et le volume final : 1 à 10ml.
- ✓ A l'aide de la même seringue, aspiration d'un volume équivalent d'azote.
- ✓ Agitation pendant 5 à 10 minutes avec l'agitateur.
- Conditionnement en seringue de la préparation de ^{99m}Tc -DTPA.
- ✓ Vérification de la durée de stabilité de la préparation de ^{99m}Tc -DTPA (stable 6 heures entre +2 et +8°C).
- ✓ Le flacon doit être agité par retournement avant chaque prélèvement afin d'homogénéiser la suspension.
- ✓ Prélèvement aseptique de l'activité nécessaire à l'examen à l'aide d'une seringue blindée de 2 mL.
- ✓ Contrôle de l'activité mesurée à l'aide de l'activimètre.
- ✓ Étiquetage de la seringue.
- ✓ Placement de la seringue protégée dans le plateau métallique du passe-plat vers la salle d'injection.
- ✓ La seringue doit être doucement agitée immédiatement avant

l'injection pour homogénéiser la suspension.

7-Posologie et mode d'administration :

- ✓ Administration du ^{99m}Tc -DTPA à l'aide d'un nébuliseur.
- ✓ Activité de ^{99m}Tc -DTPA administrée pour un adulte est de 800-1110 MBq.

❖ **Le radiopharmaceutique de la perfusion pulmonaire : ^{99m}Tc -MAA**

1- Caractéristiques physiques : Voir le tableau 1.

2- Caractéristique de la molécule vectrice :

Macro-Agrégats d'Albumine humaine (MAA), conservé entre +2 et +8°C. La période biologique des MAA est de 2 à 8h selon la taille. Pour les MAA composant la trousse, moins de 0,2% ont une taille supérieure à 100 μm et aucun n'a une taille supérieure à 150 μm .

3- Pharmacocinétique :

Les ^{99m}Tc -MAA se distribuent dans les capillaires pulmonaires en fonction du débit pulmonaire local (> 90% des MAA bloqués dans les capillaires après le premier passage).

Lorsque la circulation pulmonaire est altérée, les zones où le débit sanguin est réduit retiennent proportionnellement moins de MAA.

L'élimination est due à la désagrégation mécanique des MAA occluant les capillaires. Les produits de dégradation sont remis dans la circulation sanguine où ils sont éliminés par les macrophages du système réticulo-endothélial (foie et rate essentiellement). Lors de leur métabolisation, le ^{99m}Tc est libéré dans la circulation sanguine d'où il est excrété dans les urines.

4– Interactions médicamenteuses :

- ✓ Interactions pharmacologiques : Héparine, bronchodilatateurs et préparations chimiothérapiques.
- ✓ Interactions toxicologiques : héroïne, nitrofurantoïne, busulfan, cyclophosphamide, bléomycine, méthotrexate, méthysergide.
- ✓ Interactions pharmaceutiques : sulfate de magnésium.

5– Effets indésirables potentiels :

- ✓ Affections du système immunitaire (fréquence indéterminée) : réaction anaphylactique, hypersensibilité, anaphylaxie engageant le pronostic vital
- ✓ Affections vasculaires (fréquence indéterminée) : collapsus vasculaire
- ✓ Troubles généraux et anomalies au site d'administration :
- ✓ Fréquence indéterminée : douleur thoracique, frissons, hypersensibilité au point d'injection.

6– Préparation :

- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser en respectant les règles d'hygiène et de radioprotection.
- Vérification de la date de péremption et l'intégrité du flacon de MAA.
- Se laver les mains et mettre des gants. Retirer l'opercule du flacon de MAA et mettre le flacon dans un pot plombé étiqueté.

- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser impérativement dans l'enceinte blindée :
 - ✓ Désinfection du bouchon du flacon de MAA avec une compresse imbibée d'alcool.
 - ✓ Reconstitution du lyophilisat avec 5 mL de NaCl 0,9%, agitation, puis retirer 4 mL et les jeter.
 - ✓ Désinfection du bouchon du flacon d'éluat de pertechnétate de sodium à l'aide d'une pince munie d'une compresse imbibée d'alcool. Puis, à l'aide d'une seringue de 10 mL munie d'une aiguille et protégée par un cache- seringue en tungstène, prélèvement aseptique de la quantité nécessaire de pertechnétate de sodium à partir du flacon d'élution. Changement de l'aiguille et compléter le volume de la seringue à 10 mL avec du NaCl à 0,9%.
 - ✓ Injection aseptique du pertechnétate de sodium dans le flacon de MAA. A l'aide de la même seringue, aspiration d'un volume équivalent d'air.
 - ✓ Agitation par retournement de la préparation pendant 2 minutes et repos de 15 minutes avant utilisation.
 - ✓ L'activité est de 444 à 555 MBq avec un volume final de 10 mL.
 - ✓ Ne pas utiliser d'aiguille de mise à l'air, le mélange lyophilisé étant sous azote.
 - ✓ Il est normal d'observer, après cette agitation, de la mousse à la surface.

- Conditionnement en seringue de la préparation de ^{99m}Tc -MAA marqué au Tc :
- ✓ Vérification de la durée de stabilité de la préparation ^{99m}Tc -MAA (Stable 8 heures à température ambiante).
- ✓ Le flacon doit être agité avant chaque prélèvement afin d'homogénéiser la suspension.
- ✓ Prélèvement aseptique de l'activité nécessaire à l'examen à l'aide d'une seringue blindée de 2 mL. Changement de l'aiguille.
- ✓ Contrôle de l'activité mesurée à l'aide de l'activimètre.
- ✓ Etiquetage de la seringue.
- ✓ Placement de la seringue protégée dans le plateau métallique du passe-plat vers la salle d'injection.
- ✓ La seringue doit être doucement agitée immédiatement avant l'injection pour homogénéiser la suspension.

7- Posologie et mode d'administration :

- ✓ L'administration se fait par injection intraveineuse directe.
- ✓ **Adulte** : 37 à 185 MBq pour un patient d'environ 70 kg. Dans la littérature, un rapport 1/4 entre l'activité administrée pour la ventilation (quel que soit le traceur) et celle injectée pour la perfusion est fréquemment retrouvé soit une activité de ^{99m}Tc -MAA allant de 40 à 120 MBq.
- ✓ **Femme enceinte** : le guide EANM publié en 2019 préconise une activité de 50 MBq de ^{99m}Tc -MAA si seule une scintigraphie de

perfusion est réalisée. De nombreux services administrent une dose de 37 MBq, permettant d'obtenir des images de qualité suffisante.

- ✓ **Enfant** : Selon les recommandations de la SNM, la dose habituelle administrée à l'enfant est de 2.59 MBq/kg si l'examen est couplé à une scintigraphie de ventilation avec un traceur technétié.

VI. Acquisitions :

L'acquisition peut être réalisée en mode planaire ou tomographique.

1– Scintigraphie planaire :

- ✓ Les incidences recommandées comprennent face antérieure, face postérieure, les deux obliques postérieures gauche et droit et deux incidences complémentaires soit les deux profils, soit les deux obliques antérieures.
- ✓ Dans la mesure du possible, les incidences de ventilation et de perfusion sont les mêmes.
- ✓ Pour deux radiopharmaceutiques (étude de perfusion après une ventilation), un minimum de 400 à 500 kcps par incidence est requis.

2– Tomoscintigraphie couplée au scanner : (technique utilisée dans notre service)

- ✓ Il est recommandé de réaliser 120 à 128 projections sur 360° (pas de 2,8 à 38).
- ✓ Le temps par projection dépend de la technique employée pour la ventilation (10 à 12s pour la ventilation par aérosol technétié puis 5 à 8s pour la perfusion).

- ✓ Les acquisitions peuvent être réalisées en mode continu ou step & shoot.
- ✓ La matrice d'acquisition doit être d'au moins 1282 (pixels de 4,8 mm).
- ✓ Les reconstructions tomographiques itératives sont conseillées pour pouvoir intégrer la réponse du collimateur et la correction du rayonnement diffusé.
- ✓ Pour l'acquisition TDM, la qualité des images doit permettre d'apprécier la sémiologie radiologique, sans viser la qualité radiologique. Le scanner est réalisé en respiration libre entre 100 et 120 kv avec une charge de 80 mAs.

VII. Interprétation :

1– Suspicion d'embolie pulmonaire aiguë :

- ✓ Si une scintigraphie planaire est réalisée, l'usage des critères PIOPED modifiés (Figure 10) est recommandé. Si une tomoscintigraphie est réalisée, une terminologie binaire (EP ou absence d'EP) est recommandée. Un seuil de positivité de « 1 segment ou 2 sous-segments perfusionnels mismatchés à la ventilation », recommandé en particulier par l'EANM, est le plus communément utilisé.
- ✓ Selon ces critères, la visualisation d'une anomalie perfusionnelle sous-segmentaire isolée n'est pas suffisante pour conclure au diagnostic d'EP aiguë.
- ✓ Les autres éléments de l'interprétation :

- ✚ Des schémas de la segmentation anatomique du poumon peuvent être utilisés pour la localisation des anomalies scintigraphiques afin d'améliorer la concordance inter-observateur de la lecture des scintigraphies.
- ✚ Une activité extra-pulmonaire dans les territoires à vascularisation systémique peut évoquer l'existence d'un shunt droite/gauche ou la présence de pertechnétate libre.
- ✓ L'étude de la TDM peut apporter des informations complémentaires sur la présence de pathologies associées à l'embolie pulmonaire ou informer sur un diagnostic alternatif en cas de négativité.

Revised PLOPED V/Q Scan Criteria
High Probability ($\geq 80\%$) ≥ 2 Large mismatched segmental perfusion defects or the arithmetic equivalent in moderate or large + moderate defects*.
Intermediate Probability (20%–79%) One moderate to two large mismatched segmental perfusion defects or the arithmetic equivalent in moderate or large + moderate defects*. Single matched ventilation-perfusion defect with clear chest radiograph†. Difficult to categorize as low or high, or not described as low or high.
Low Probability ($\leq 19\%$) Nonsegmental perfusion defects (e.g., cardiomegaly, enlarged aorta, enlarged hila, elevated diaphragm). Any perfusion defect with a substantially larger chest radiographic abnormality. Perfusion defects matched by ventilation abnormality† provided that there are: (1) clear chest radiograph and (2) some areas of normal perfusion in the lungs. Any number of small perfusion defects with a normal chest radiograph.
Normal No perfusion defects or perfusion outlines exactly the shape of the lungs seen on the chest radiograph (note that hilar and aortic impressions may be seen and the chest radiograph and/or ventilation study may be abnormal).
*Two large mismatched perfusion defects are borderline for "high probability." Individual readers may correctly interpret individual scans with this pattern as "high probability." In general, it is recommended that more than this degree of mismatch be present for the "high probability" category. †Very extensive matched defects can be categorized as "low probability." Single V/Q matches are borderline for "low probability" and thus should be categorized as "intermediate" in most circumstances by most readers, although individual readers may correctly interpret individual scans with this pattern as "low probability."

Figure 10 : Les critères PLOPED modifiés

2- Recherche de séquelles vasculaires à distance d'une embolie pulmonaire aiguë et dépistage de l'hypertension pulmonaire thromboembolique chronique (HTP-TEC) :

- ✓ La scintigraphie Ventilation/Perfusion est à l'heure actuelle l'examen de première intention lors de la suspicion d'HTP-TEC.
- ✓ L'aspect des séquelles post-embolique est identique à celui rencontré dans l'embolie pulmonaire aiguë. Il est possible d'estimer l'étendue des lésions avec un score de semi-quantification (Index de Meyer).

3- Evaluation de la fonction pulmonaire régionale avant chirurgie d'un cancer du poumon :

- ✓ Il est possible de réaliser une quantification de la fonction pulmonaire relative (poumon droit vs poumon gauche) sur les images planaires en vue d'une pneumonectomie.
- ✓ Les images planaires ne permettent, en revanche, pas une évaluation fiable de la fonction relative de chaque lobe.
- ✓ La tomoscintigraphie de perfusion pulmonaire couplée à la tomодensitométrie (TEMP-TDM) permet une analyse tridimensionnelle anatomiquement plus adaptée en délimitant de façon précise le volume fonctionnel de chaque lobe.

4- Recherche de shunt pulmonaire :

- ✓ En présence de vasodilatations de la microcirculation pulmonaire (syndrome hépato-pulmonaire) ou d'un shunt droit-gauche

intracardiaque, on peut observer une captation de ^{99m}Tc -MAA au niveau du cerveau, du foie, de la rate et des reins.

- ✓ La fraction de shunt (nombre de coups crâne / (nombre de coups crâne + poumons)) peut être considérée comme positive si on trouve > de 6 % de captation extra-pulmonaire.
- ✓ Dans le cadre des syndromes hépato-pulmonaires, le calcul d'un index avec seuil est préconisé. Une image planaire de 2 mn du crâne en postérieur est réalisée immédiatement après l'injection du radiotraceur, suivie d'une image centrée sur les poumons.

$$\text{SI} = 100. (\sqrt{\text{coups crâne-bruit de fond}}) / \sqrt{\text{coups poumons}}$$

$$\text{SI} = 0,3 \%$$

5- Les artefacts et sources d'erreur :

- ✓ Des « points chauds » peuvent résulter d'amas de macro-agrégats en raison d'un caillot dans la seringue ou de l'injection à travers un long cathéter. Éviter d'introduire du sang dans la seringue d'injection.
- ✓ L'injection dans un cathéter central peut induire une modification de la répartition en raison d'un mélange insuffisant des particules.
- ✓ Des erreurs peuvent résulter de la réalisation de la scintigraphie de ventilation à un temps différent de la perfusion ou de différences de position pour la réalisation de l'examen.
- ✓ L'administration des radiopharmaceutiques selon qu'elle est faite en position debout ou en décubitus est susceptible de modifier leur

répartition et doit être prise en compte au moment de l'interprétation.

- ✓ Chez les patients atteints de bronchopneumopathie, le dépôt des aérosols peut induire des dépôts localisés dans les bronches proximales rendant l'interprétation difficile.
- ✓ Dans l'évaluation du shunt avant radiothérapie interne sélective, il faut prendre en compte la possible visualisation d'une fixation gastrique et thyroïdienne si l'imagerie est réalisée trop tardivement en raison de la présence de ^{99m}Tc libre.

VIII. Compte rendu :

- Technique : Les isotopes utilisés, les activités administrées, le délai des images, la technique d'acquisition (planaire ou TEMP TDM).
- Résultats de la scintigraphie :
 - ✓ La tomoscintigraphie de ventilation : la distribution du radiotracer est ce qu'elle est homogène ou hétérogène, citer les hypocaptations et les défauts ventilatoires si elle existe (il est nécessaire de préciser le caractère systématisé ou non, le siège, l'étendue, l'intensité, le nombre, la topographie).
 - ✓ La tomoscintigraphie de perfusion : la distribution du radiotracer (homogène ou hétérogène), citer les défauts ventilatoires si elle existe (préciser le caractère systématisé (lobaire, segmentaire ou sous segmentaire) ou non, le siège, l'étendue, l'intensité, le nombre, la topographie, la correspondance avec les anomalies ventilatoires).

- ✓ Les anomalies scannographiques : l'état du parenchyme pulmonaire correspondant aux défauts ventilatoires ou perfusionnels, l'état du reste du parenchyme, l'existence d'un épanchement pleural associé.
- La conclusion : Absence ou présence d'argument en faveur d'embolie pulmonaire.

Ganglion sentinelle dans le cancer du sein

I. Définition :

Ganglion sentinelle (GS) est le premier ganglion sur la ou les chaînes lymphatiques drainant le territoire de la tumeur.

Lymphoscintigraphie est la visualisation scintigraphique du drainage lymphatique et du ganglion sentinelle après injection dans un site déterminé d'un traceur lymphotrope marqué avec un isotope émetteur γ .

II. Indications :

- ✓ Carcinome infiltrant opérable d'emblée, uni focal, < 2 cm, en place, en dehors de la grossesse, sans traitement néoadjuvant et avant traitement conservateur ou mastectomie, T1, N0 clinique.
- ✓ Tumeurs T2 N0, avec technique combinée.
- ✓ Carcinomes intra canaux in situ en cas de risque de carcinome invasif en histologie définitive (CIS étendus, de haut grade, >20 mm...).
- ✓ Carcinomes invasifs lobulaires infiltrants où le risque d'atteinte ganglionnaire sous forme de cellules isolées est plus élevé.
- ✓ Après chirurgie diagnostique tumorale préalable, avec injection dans le site de tumorectomie.
- ✓ Après chimiothérapie néoadjuvante en limitant les indications aux patientes N0 avant chimiothérapie.

III. Contre-indications :

1- Contre-indications absolues :

- ✓ L'examen est contre-indiqué en cas de N+ clinique ou échographique et cytologiquement confirmé.
- ✓ T3, T4, M+

2- Contre-indications Relatives :

- ✓ Les tumeurs mammaires multicentriques (situées dans des quadrants différents).
- ✓ Les antécédents de chirurgie mammaire pour plastie ou tumeur bénigne ne sont pas des contre-indications absolues mais doivent être discutées individuellement.
- ✓ La grossesse : le rapport bénéfice / risque est à évaluer pour chaque femme enceinte.
- ✓ La lactation est à suspendre durant les 24h suivant les injections.

IV. Préparation du patient :

1- Informations souhaitables :

Il est nécessaire de connaître la localisation et la taille de la tumeur et de disposer des examens d'imagerie (mammographie et échographie) et d'une confirmation cytologique ou biopsique de malignité.

2- Information et préparation du patient :

Informez le patient sur le déroulement de l'injection et des acquisitions et sur les bénéfices attendus de cette technique.

3- Précautions :

La possibilité de réactions d'hypersensibilité secondaire à l'utilisation de produits dérivés de l'albumine humaine.

V. Radiopharmaceutique :

1- Caractéristiques physiques : Voir le tableau 1.

2- Caractéristique de la molécule vectrice :

Sulfure de rhénium colloïdal est une suspension de particules de diamètre moyen 100 nm (Nanocoll).

3- Pharmacocinétique :

Nanocoll passe passivement dans le système lymphatique, puis retenu dans le ganglion sentinelle selon deux mécanismes : mécanique secondaire au ralentissement du flux et biologique par phagocytose. Cette rétention dépend également de la taille des particules injectées (figure 11).

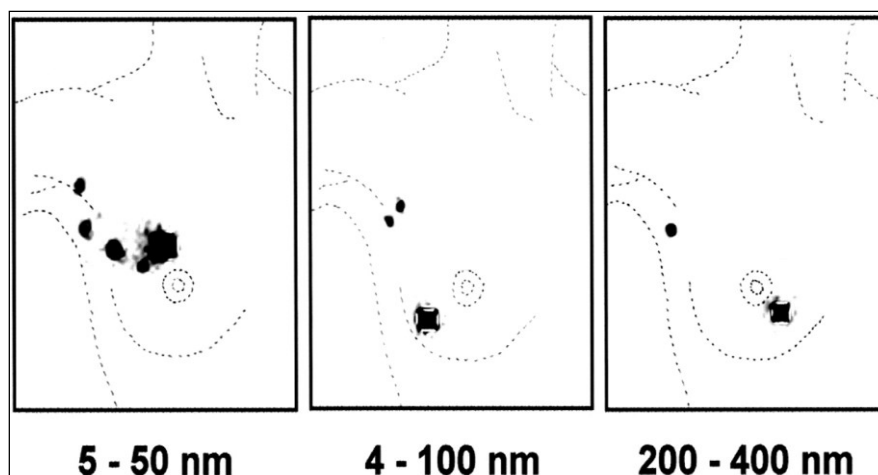


Figure 11 : Rôle essentiel de la taille des particules dans la détermination du nombre de ganglions fixant.

4– Interactions médicamenteuses :

A ce jour, aucune interférence médicamenteuse n'a été rapportée.

5– Effets indésirables potentiels :

La réaction d'hypersensibilité secondaire à l'utilisation de produits dérivés de l'albumine humaine.

6– Préparation :

- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser en respectant les règles d'hygiène et de radioprotection.
- Vérifier la date de péremption et l'intégrité du flacon de Nanocoll.
- Se laver les mains et mettre des gants. Retirer l'opercule du flacon de Nanocoll et mettre le flacon dans un pot plombé étiqueté.
- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser impérativement dans l'enceinte blindée
- ✓ Nettoyage de la surface du bouchon du flacon de Nanocoll avec une compresse imbibée d'alcool.
- ✓ Nettoyage du bouchon du flacon d'éluat de pertechnétate de sodium à l'aide d'une longue pince munie d'une compresse imbibée d'alcool.
- ✓ A l'aide d'une seringue de 5 mL munie d'une aiguille et protégée par un cache seringue en tungstène, prélever aseptiquement l'activité nécessaire de pertechnétate de sodium à partir de l'éluat.
- ✓ L'activité maximale est de 185–5550 MBq (5–150mCi) dans un volume maximal de 1–5 ml.

- ✓ Changement de l'aiguille et compléter à 5 mL avec du NaCl 0,9% si nécessaire.
- ✓ Injection aseptique du volume de pertechnétate de sodium dans le flacon de Nanocoll.
- ✓ A l'aide de la même seringue, aspiration d'un volume d'air équivalent.
- ✓ Retournement doux plusieurs fois, pour dissoudre le contenu du flacon, puis laisser reposer 30 minutes à température ambiante.
- ✓ Mesure de l'activité de la préparation.
- ✓ Collage de l'étiquette de la préparation sur le pot plombé.
- Conditionnement en seringue de la préparation de Nanocoll marquée au ^{99m}Tc :
 - ✓ Adaptation de l'aiguille sur la seringue.
 - ✓ Les seringues de 1 mL ne sont pas mises dans des caches-seringues.
 - ✓ Vérification de la durée de stabilité de la préparation (stabilité de 6 heures à température ambiante ($<25^{\circ}\text{C}$)).
 - ✓ Prélèvement aseptique de l'activité nécessaire à l'examen pour un patient donné, puis changement de l'aiguille.
 - ✓ Pour les GS, mettre les aiguilles les plus fines et courtes possibles.
 - ✓ Le flacon doit être agité avant chaque prélèvement afin d'homogénéiser la suspension.
 - ✓ Mesure des seringues et enregistrement de l'activité recommandée chez l'adulte.

- ✓ Sortir de l'enceinte les seringues avec l'étiquette.
- ✓ Placer la seringue protégée et l'étiquette sur le plateau métallique.

7- Posologie et mode d'administration :

- ✓ Activité de 18–110 MBq par site dans 0,2 à 0,3 ml. (Ne jamais dépasser 0,5 ml)
- ✓ Injection :
 - ✚ Doit toujours être précédée par une palpation douce
 - ✚ 4 injections de 0,1 à 0,2 mL en péri aréolaire.

VI. Acquisitions :

- ✓ Des images statiques face (bras à 90°) et profil +/- oblique (bras au-dessus de la tête) réalisées 2h après l'injection du radiotraceur :
 - ✚ Temps pour chaque acquisition statique : 5 min
 - ✚ Matrice : 128x128
 - ✚ Zoome : 1
- ✓ TEMP TDM complémentaire (bras au-dessus de la tête) :
 - ✚ Projection : 32
 - ✚ Temps de projection : 15s

VII. Interprétation :

1- Interprétation des images :

- ✓ Décrire clairement le ou les ganglions retenus comme sentinelle avec leur topographie.
- ✓ Signaler s'il existe une seule ou plusieurs voies de drainage amenant vers les GS. Différencier les ganglions positifs en aval du GS dits « non sentinelles ou secondaires », des GS multiples

(groupe de ganglions de même activité dans un même site ou ganglions visualisés dans deux sites de drainage différents).

- ✓ Signaler les hyperfixations ganglionnaires mammaires internes.

2- Artefacts et sources d'erreurs :

- ✓ Faux positifs :

- ✚ Contamination cutanée (intérêt de la TEMP TDM)

- ✚ Dilatation d'un canal lymphatique et lymphangiome, à différencier d'un GS

- ✓ Faux négatifs :

- ✚ Absence de fixation dans les métastases ganglionnaires massives, par absence de migration du radio colloïde dans les vaisseaux lymphatiques et concentration dans les sinus ganglionnaires dont l'architecture est détruite par les cellules métastatiques.

VIII. Compte rendu :

- Technique : l'activité administrée, le radiopharmaceutique utilisé, le nombre d'injections et leurs sites, types d'images réalisées et délai par rapport à l'injection.
- Résultat :
 - ✓ Motionner le nombre de ganglions retenus comme sentinelles et préciser leurs caractères principal ou secondaire et leur topographie par rapport aux côtes, espaces intercostaux ou muscles pectoraux.
 - ✓ La présence ou non de fixation ganglionnaire mammaire interne.
- Conclusion : Détection ou non de ganglion sentinelle.

Scintigraphie rénale à la DMSA

I. Définition :

La scintigraphie à la DMSA est un examen d'imagerie isotopique statique des reins permettant l'évaluation de l'atteinte morphologique et du retentissement fonctionnel d'une pathologie uro-néphrologique.

II. Indications :

- ✓ Détection d'anomalies parenchymateuses focales
- ✚ Secondaires à une (des) infection(s) des voies urinaires :
 - À la phase aiguë : diagnostic de pyélonéphrite aiguë
 - À distance d'une pyélonéphrite aiguë : séquelles rénales 6 mois après infection aiguë.
- ✚ Secondaires à un traumatisme ou une anomalie vasculaire
- ✓ Évaluation de la fonction rénale relative devant des anomalies détectées en échographie : Duplicité rénale, Petit rein, Rein ectopique, Rein dysplasique
- ✓ Diagnostic et localisation d'un rein ectopique.

III. Contre-indications :

- ✓ Grossesse.
- ✓ Allaitement : doit être interrompu pendant 24 heures.

IV. Préparation du patient :

1- Informations souhaitables :

- ✓ L'histoire clinique, et en particulier l'ancienneté, la gravité et le nombre d'épisodes infectieux.

- ✓ Les données échographiques, radiographiques et scintigraphiques antérieures.
- ✓ La notion d'anomalie rénale (hydronéphrose, duplicité, ectopie, reflux vésico-urétéral, lésions expansives) doit être recherchée.

2- Information et préparation du patient :

- ✓ L'information du patient et des parents sur le déroulement de l'examen.

3- Précautions :

- ✓ Sondage urinaire en cas de rein ectopique pelvien.

V. Radiopharmaceutique :

1- Caractéristiques physiques : Voir le tableau 1.

2- Caractéristique de la molécule vectrice :

Acide dimercaptosuccinique (DMSA) est un agent chélateur présentant une forte affinité aux cellules tubulaires proximales.

3- Pharmacocinétique :

La DMSA est un traceur statique extraite par les cellules tubulaires proximales à partir des vaisseaux péritubulaires avec une fixation maximale à partir de 3 heures post injection. Une très faible fraction du DMSA est excrétée dans les urines.

4- Interactions médicamenteuses :

A ce jour, aucune interférence médicamenteuse n'a été rapportée.

5- Effets indésirables potentiels :

A ce jour, aucun effet indésirable n'a été rapporté.

6- Préparation :

- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser en respectant les règles d'hygiène et de radioprotection
- Vérification de la date de péremption et l'intégrité du flacon de DMSA.
- Se laver les mains et mettre des gants, retirer l'opercule du flacon de DMSA et mettre le flacon dans un pot plombé étiqueté.
- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser impérativement dans l'enceinte blindée :
 - ✓ Désinfection du bouchon du flacon de DMSA avec une compresse alcoolisée.
 - ✓ Désinfection du bouchon du flacon d'éluat de pertechnétate de sodium à l'aide d'une pince munie d'une compresse alcoolisée. Puis, à l'aide d'une seringue de 5 mL munie d'une aiguille et protégée par un cache- seringue en tungstène, prélèvement aseptique de la quantité nécessaire de pertechnétate de sodium à partir du flacon d'élution (Activité maximale de 3700 MBq 100 mCi)
 - ✓ Injection aseptique de pertechnétate de sodium dans le flacon.
 - ✓ A l'aide de la même seringue, aspiration d'un volume équivalent d'azote.
 - ✓ Prendre une autre seringue et compléter le volume de 6 ml du flacon avec du NaCl à 0,9%. A l'aide de la même seringue, aspiration du volume équivalent d'azote.
 - ✓ Agitation pendant 5 à 10 minutes avec l'agitateur.

- Conditionnement en seringue de la préparation de ^{99m}Tc -DMSA.
- ✓ Vérification de la durée de stabilité de la préparation (stabilité de 8 heures entre +2 of +8°C).
- ✓ Le flacon doit être agité par retournement avant chaque prélèvement afin d'homogénéiser la suspension.
- ✓ Prélèvement aseptique de l'activité nécessaire à l'examen à l'aide d'une seringue blindée de 2 mL.
- ✓ Contrôle de l'activité mesurée par une double lecture de l'activité à l'aide de l'activimètre.
- ✓ Etiquetage de la seringue.
- ✓ Placement de la seringue protégée dans le plateau métallique du passe-plat vers la salle d'injection.
- ✓ La seringue doit être doucement agitée immédiatement avant l'injection pour homogénéiser la suspension.

7– Posologie et mode d'administration :

- ✓ Mode d'administration : voie intraveineuse (injection intramusculaire possible)
- ✓ Activité injectée : sur la base d'une activité maximale de 100 MBq pour un adulte, elle est calculée en fonction du poids de l'enfant, avec une activité minimale de 15 MBq (Annexe 3)

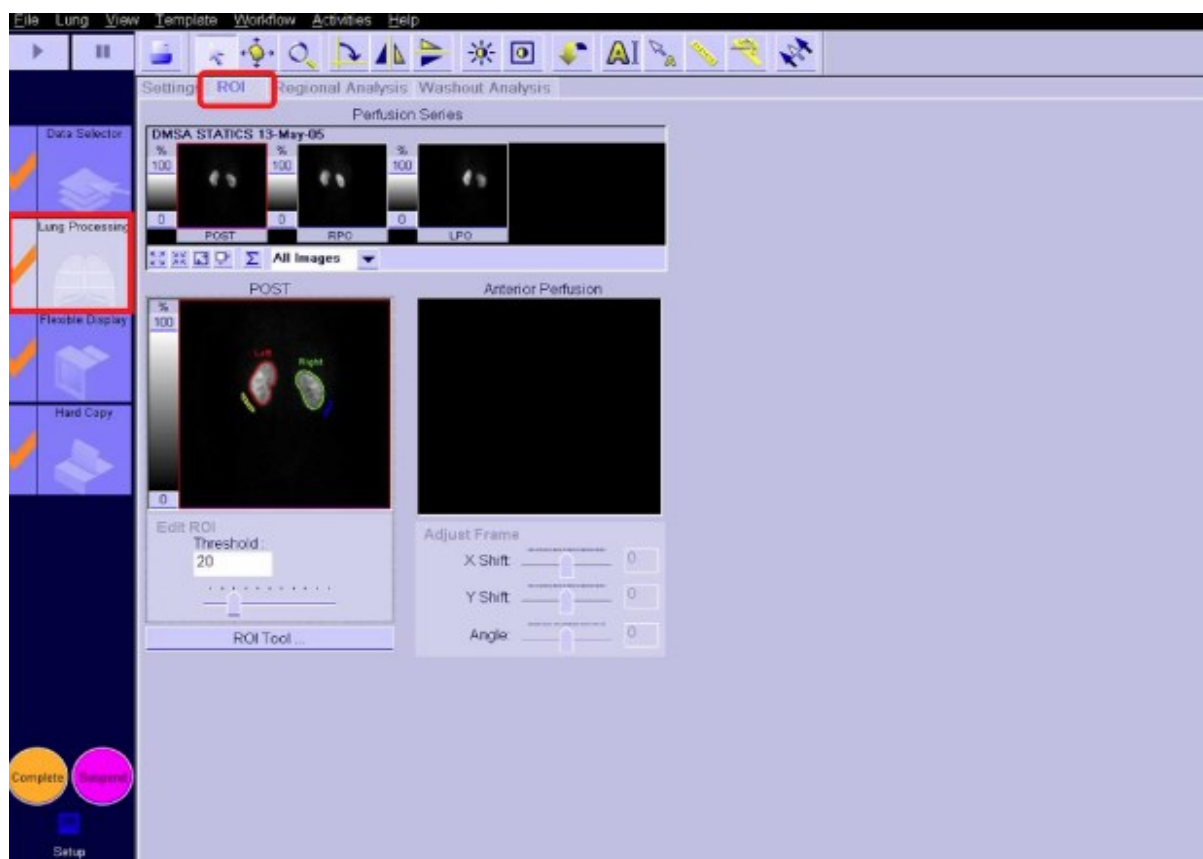
VI. Acquisitions :

1– Acquisition des images :

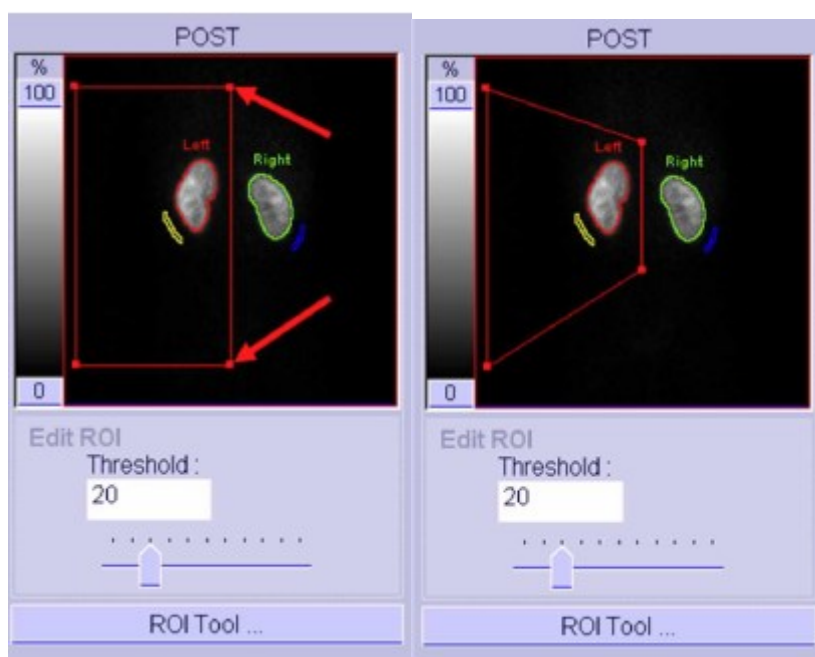
- ✓ Le délai entre l'injection et les acquisitions : 4 heures après l'injection pour l'enfant et 6 heures pour l'adulte. Des images tardives à 24 heures pouvant être requise en cas d'hydronéphrose importante ou d'insuffisance rénale.
- ✓ Collimateur parallèle de haute résolution : 150.000 coups ou 10 minutes.
- ✓ Le collimateur pinhole (diamètre de 2 à 3 mm) peut être utilisé chez le nourrisson : 100 à 150.000 coups ou 10 minutes.
- ✓ Position : décubitus dorsal.
- ✓ Incidences : incidence en face antérieure et postérieure et deux incidences en obliques postérieurs droit et gauche.
- ✓ Zoom recommandé pour les petits, variant de 1 à 2 en fonction de la taille de l'enfant et de la taille du champ de vue de la caméra.

2– Traitement des images :

- ✓ Sélectionner le patient et double cliquer sur le workflow correspondant au traitement.
- ✓ Le traitement s'ouvre sur la page « ROI » de l'activité « Lung Processing », comme le montre l'image ci-dessous :



- ✓ Sur l'image des reins en face postérieure, un contourage automatique par isocontour est effectué.
- ✓ Si les ROIs tracés ne vous conviennent pas, vous pouvez les modifier de 3 différentes façons :
- ✚ Choisissez la ROI du rein Droit ou Gauche par un clic gauche de souris dedans, puis ajuster le carré de sélection en attrapant ses extrémités (flèches rouges) afin d'exclure des fixations indésirables. Déplacer l'un des coins vers un nouvel emplacement.



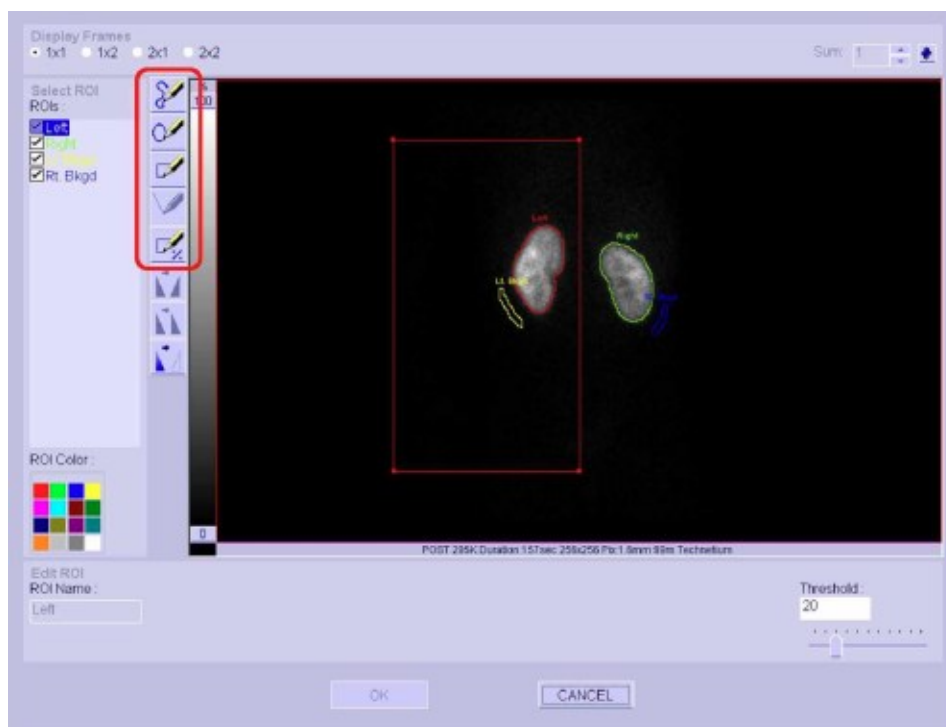
- ✚ Ajuster la valeur du seuil (rectangle rouge), en entrant une nouvelle valeur dans le champ « Theshold », ou en déplaçant le curseur vers la droite ou la gauche.

L'augmentation de la valeur du seuil donnera lieu à une ROI plus petite et serrée ; une diminution de la valeur du seuil donnera lieu à une ROI plus grande et plus lâche.



- ✚ Tracer manuellement les Rois, par un clic gauche sur l'icône « ROI Tool ».





- ✓ Réaliser le contour des 2 reins en utilisant l'un des outils à votre disposition :



Polygone irrégulier



Ellipse



Rectangle



Isocontour

NB : Les ROIs des bruits de fond (backgrounds) seront recalculés automatiquement à partir des ROIs des 2 reins, en validant par OK.



- ✓ Passer sur l'activité « Flexible display » pour vérifier les mises en pages, puis sur l'activité « Hard copy » pour imprimer les pages de résultats.

VII. Interprétation :

1- Fixation relative :

- ✓ Les valeurs normales de fixation relative sont comprises entre 45% et 55% (50% + / - 5).
- ✓ Une répartition symétrique peut être observée en présence de deux petits reins.
- ✓ Une stase au niveau du pyélon, en présence d'une hydronéphrose, peut donner une valeur de fixation relative faussement élevée (intérêt des acquisitions tardives).

2- Images normales :

- ✓ Les contours du rein sont généralement arrondis, il existe un contraste entre une partie active périphérique et une partie interne moins active.
- ✓ Les contours peuvent être plats sans forcément être pathologiques.

- ✓ La moitié supéro-latérale du rein gauche peut être aplatie du fait de la présence de la rate (empreinte splénique).
- ✓ Chez les jeunes enfants, il n'est pas rare que le rein normal présente une forme triangulaire avec des bords externes aplatis.
- ✓ Un pôle peut être plus petit que le pôle opposé donnant un aspect « en forme de poire ».
- ✓ Les colonnes de Bertin apparaissent hyperactives par rapport au reste du parenchyme, leur nombre et leur taille varient d'un patient à l'autre.
- ✓ Une autre variante de la normale classique chez le nourrisson est constituée par l'existence de lobulations fœtales, qui peuvent être difficiles à distinguer d'une cicatrice corticale sur les données scintigraphiques seules.

3- Images anormales :

- ✓ Les zones corticales anormales : le nombre, la taille, l'intensité et la localisation doivent être indiqués.
- ✓ Les contours des reins : réguliers, irréguliers ou flous.
- ✓ La différenciation entre lésions aiguës, qui vont s'améliorer ou disparaître et lésions chroniques (séquelles) n'est pas toujours possible. Un large défaut de fixation, sans déformation des contours et sans limites nettes avec le parenchyme sain, va généralement cicatriser. Une déformation localisée des contours rénaux ou l'existence de contours globalement déformés avec perte de volume correspondent généralement à des séquelles

permanentes. L'existence de séquelles sera au mieux apprécié au moins 6 mois après l'épisode infectieux.

4- Artefacts et sources d'erreurs :

Artefact de mouvement surtout chez l'enfant réalisant un aspect de double contour du bord des reins et qui doit être vérifié avant que l'enfant ne quitte le service afin de pouvoir éventuellement réitérer cette ou ces acquisitions.

VIII. Compte rendu :

- Technique : l'activité injectée, le délai des acquisitions.
- Résultats :
 - ✓ Description de l'aspect des deux reins (taille relative, symétrie, caractère unique ou multiple d'éventuelles hypofixations) et en particulier l'existence ou non d'anomalies de ses contours
 - ✓ Les fonctions respectives de chacun des deux reins.
- Conclusion : Indiqué les hypofixations et les cicatrices corticales retrouvées et la symétrie ou l'asymétrie des fonctions rénales relatives.

Scintigraphie à la ^{99m}Tc -DTPA / ^{99m}Tc -MAG3

I. Définition :

Il s'agit d'un enregistrement dynamique réalisé après administration intraveineuse d'un radiopharmaceutique à élimination rénale rapide permettant ainsi d'explorer la perméabilité des voies urinaires et la fonction rénale relative.

II. Indications :

- ✓ Obstacle des voies urinaires : Toute uropathie nécessitant l'évaluation de la fonction rénale séparée et de la vidange des cavités pyélo-calicielles :
 - ✚ Hydronéphrose et urétéro-hydronéphrose,
 - ✚ Mégauretère
 - ✚ Dysplasie rénale
 - ✚ Dysfonction vésicale
 - ✚ Duplicité rénale compliquée
 - ✚ Néphropathie de reflux
 - ✚ Syndrome de la jonction pyélo-urétérale (enfants) :
 - Pose indication opératoire
 - Bilan préopératoire
 - Surveillance post-opératoire
- ✓ Surveillance des greffons :
 - ✚ Devant la non reprise de la diurèse
 - ✚ Diagnostic différentiel entre :

- Tubulonéphrite : vascularisation normale
- Rejet : vascularisation diminuée
- ✓ Avant cystographie indirecte
- ✓ Traumatisme rénal.
- ✓ Maladie rénovasculaire : Sténose de l'artère rénale.

III. Contre-indications :

- ✓ Contre-indication à l'administration de Lasilix (déshydratation suspectée ou avérée).
- ✓ Grossesse.
- ✓ Allaitement : doit être interrompu pendant 24 heures.

IV. Préparation du patient :

1- Informations souhaitables :

- ✓ L'histoire clinique, les données échographiques et radiographiques et les données scintigraphiques antérieures éventuellement disponibles doivent être prises en compte.
- ✓ La notion d'anomalies rénales (hydronéphrose, duplicité, ectopie, reflux vésico-urétéral, lésions expansives) doit être recherchée.

2- Information et préparation du patient :

- ✓ Information du patient (adaptée à son âge) et des parents sur la nature et le déroulement de l'examen, en précisant la durée de l'examen, la nécessité d'une bonne hydratation.
- ✓ Pour l'administration de Lasilix, il faudra indiquer aux parents que l'enfant pourra avoir après l'examen un besoin urgent d'uriner, à une ou plusieurs reprises.

3- Précautions :

S'assurer de l'absence de grossesse chez la femme en âge de procréer.

V. Radiopharmaceutique :

❖ 99mTc-DTPA :

1- Caractéristiques physiques : Voir le tableau 1.

2- Caractéristique de la molécule vectrice :

^{99m}Tc-DTPA (Acide diéthylène triamine pentaacétique) éliminé par filtration glomérulaire, est caractérisé par une clairance moins élevée.

3- Pharmacocinétique :

Après administration intraveineuse, le DTPA-^{99m}Tc se distribue rapidement dans le liquide extracellulaire et gagne rapidement le cortex rénal, où il s'accumule dans les tubules proximaux, environ 5 minutes après l'injection, le DTPA-^{99m}Tc commence à excréter par filtration glomérulaire.

4- Interactions médicamenteuses :

A ce jour, aucune interférence médicamenteuse n'a été rapportée.

5- Effets indésirables potentiels :

A ce jour, aucun effet indésirable n'a été rapporté.

6- Préparation :

- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser en respectant les règles d'hygiène et de radioprotection.
- Vérification de la date de péremption et l'intégrité du flacon de DTPA.
- Se laver les mains et mettre des gants. Retirer l'opercule du flacon de DTPA® et mettre le flacon dans un pot plombé étiqueté.

- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser impérativement dans l'enceinte blindée :
 - ✓ Désinfection du bouchon du flacon de DTPA avec une compresse imbibée d'alcool.
 - ✓ Désinfection du bouchon du flacon d'éluat de pertechnétate de sodium à l'aide d'une pince munie d'une compresse imbibée d'alcool. Puis, à l'aide d'une seringue de 5 mL munie d'une aiguille et protégée par un cache- seringue en tungstène, prélèvement aseptique de la quantité nécessaire de pertechnétate de sodium à partir du flacon d'élution. On injecte 1 à 5 mL dans le flacon de DTPA.
 - ✓ Injection aseptique de pertechnétate de sodium dans le flacon de DTPA à l'aide de la même seringue et aspiration d'un volume équivalent d'azote.
 - ✓ Prendre une autre seringue et compléter le volume de 10 ml du flacon de DTPA avec du NaCl à 0,9%.
 - ✓ L'activité maximale : 11.1GBq (300 mCi) et le volume final : 1 à 10 mL.
 - ✓ A l'aide de la même seringue, aspiration d'un volume équivalent d'azote.
 - ✓ Agitation pendant 5 à 10 minutes avec l'agitateur.
- Conditionnement en seringue de la préparation de ^{99m}Tc -DTPA.
- ✓ Vérification de la durée de stabilité de la préparation de ^{99m}Tc -DTPA (stable 6 heures entre +2 et +8°C).

- ✓ Le flacon doit être agité par retournement avant chaque prélèvement afin d'homogénéiser la suspension.
- ✓ Prélèvement aseptique de l'activité nécessaire à l'examen à l'aide d'une seringue blindée de 2 mL.
- ✓ Contrôle de l'activité mesurée à l'aide de l'activimètre.
- ✓ Étiquetage de la seringue.
- ✓ Placement de la seringue protégée dans le plateau métallique du passe-plat vers la salle d'injection.
- ✓ La seringue doit être doucement agitée immédiatement avant l'injection pour homogénéiser la suspension.

7- Posologie et mode d'administration :

- ✓ Mode d'administration : voie intraveineuse en bolus suivie d'un rinçage par le sérum physiologique.
- ✓ L'activité injectée sur la base d'une activité maximale de 300 MBq pour un adulte est calculée en fonction du poids de l'enfant, avec une activité minimale de 20 MBq.

❖ ^{99m}Tc-MAG3 :

1- Caractéristiques physiques : Voir le tableau 1.

2- Caractéristique de la molécule vectrice :

MAG3-^{99m}Tc (Mercapto-acétyl-triglycine) est éliminé principalement par sécrétion tubulaire possède une clairance plasmatique élevée. Cette propriété a l'avantage d'offrir un rapport signal rénal sur bruit de fond élevé et donc une qualité d'image optimale.

3- Pharmacocinétique :

Le ^{99m}Tc -MAG3 se distribue rapidement et gagne rapidement le cortex rénal et s'accumule dans les tubules proximaux, et environ 3 minutes après l'injection, l'excrétion tubulaire du ^{99m}Tc -MAG3 commence.

4- Interactions médicamenteuses :

A ce jour, aucune interférence médicamenteuse n'a été rapportée.

5- Effets indésirables potentiels :

A ce jour, aucun effet indésirable n'a été rapporté.

6- Préparation :

- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser en respectant les règles d'hygiène et de radioprotection.
- Vérification de la date de péremption et l'intégrité du flacon de MAG3.
- Se laver les mains et mettre des gants. Retirer l'opercule du flacon de MAG3 et mettre le flacon dans un pot plombé étiqueté.
- Toutes les opérations suivantes sont à réaliser impérativement dans l'enceinte blindée :
 - ✓ Désinfection du bouchon du flacon (1) avec une compresse imbibée d'alcool.
 - ✓ Désinfection du bouchon du flacon d'éluat de pertechnétate de sodium à l'aide d'une pince munie d'une compresse imbibée d'alcool. Puis, à l'aide d'une seringue de 2ml munie d'une aiguille et protégée par un cache-seringue en tungstène, prélèvement aseptique la quantité nécessaire de pertechnétate de sodium à partir du flacon

d'élution. Changement d'aiguille et compléter le volume de la seringue à 2 ml avec du NaCl à 0,9%.

- ✓ Activité est de 740 MBq (avec un minimum 40 MBq et un maximum 1250 MBq).
- ✓ Injection aseptique du pertechnétate de sodium dans le flacon (1). A l'aide de la même seringue, aspiration d'un volume équivalent d'azote.
- ✓ Agitation jusqu'à dissolution complète, puis repos de 15 minutes.
- ✓ Avec une nouvelle seringue transfère d'un volume de 2 ml de solution tampon du flacon (2) dans le flacon (1). Prélèvement d'un volume équivalent d'azote.
- ✓ Si nécessaire, dilution avec du NaCl 0.9% pour compléter jusqu'à un volume total final de 10 ml.
- ✓ Agitation à nouveau pour bien mélanger.
- Conditionnement en seringue de la préparation de ^{99m}Tc -MAG3 :
- ✓ Vérification de la durée de stabilité de la préparation de ^{99m}Tc -MAG3 (stabilité de 6 heures entre +2°C et 8°C).
- ✓ Le flacon doit être retourné avant chaque prélèvement afin d'homogénéiser la suspension.
- ✓ Prélèvement aseptique de l'activité nécessaire à l'examen à l'aide d'une seringue blindée de 2 ml.
- ✓ Contrôle de l'activité mesurée.
- ✓ Etiquetage de la seringue

- ✓ Placement de la seringue protégée dans le plateau métallique du passe-plat vers la salle d'injection.
- ✓ La seringue doit être doucement agitée immédiatement avant l'injection pour homogénéiser la suspension.

7- Posologie et mode d'administration :

- ✓ Mode d'administration : voie intraveineuse en bolus suivie d'un rinçage par le sérum physiologique.
- ✓ ^{99m}Tc -MAG3 : L'activité injectée sur la base d'une activité maximale de 200 MBq pour un adulte est calculée en fonction du poids de l'enfant (18), avec une activité minimale de 15.

❖ Interventions :

- ✓ Lasilix (Furosémide) en intraveineux.
- ✓ Dose = 0,3 mg/kg sans dépasser 20 mg
- ✓ Temps de l'injection : F + 20 (Lasilix injecté 20 min après l'injection du radiopharmaceutique).

VI. Acquisitions :

❖ Rénogramme de base :

- ✓ Acquisition démarrée immédiatement avec l'injection en bolus du radiopharmaceutique, en utilisant un collimateur basse énergie haute résolution, le détecteur de la caméra dirigé vers le haut, l'enfant installé en décubitus dorsal au-dessus. En cas de rein ectopique pelvien, il est nécessaire de faire une acquisition en face antérieure.

- ✓ Après avoir positionné l'enfant en décubitus dorsal en utilisant des moyens de contention adaptés à l'immobilisation, il faut s'assurer que les reins et la vessie sont bien dans le champ d'acquisition.
- ✓ Matrice 128x128.
- ✓ Zoom : recommandé pour les petits, variant de 1 à 2 en fonction de la taille de l'enfant et de taille du champ de vue de la caméra.
- ✓ Temps par image : 0.5 à 1 sec par image pendant 40 ou 60 secondes pour la phase vasculaire puis 10 à 20 secondes par image pour le reste de l'acquisition.
- ✓ La détermination de la fonction rénale séparée est identique pour des images de 10 ou 20 secondes.
- ✓ L'acquisition est de 20 minutes après injection puis administration de Lasilix à la 20^{ème} minutes et prolongée de 30 minutes, puis suivie d'une acquisition post-mictionnelle de 10 min.
- ❖ **Acquisition après Lasilix :**
 - ✓ Mêmes paramètres d'acquisition que rénogramme de base.
- ❖ **Acquisition post-mictionnelle :**
 - ✓ Cette acquisition est essentielle en fin d'épreuve d'hyperdiurèse, si la vidange est incomplète.
 - ✓ Après 5 minutes de verticalisation et miction, l'acquisition d'une minute avec les mêmes paramètres que ceux utilisés pour le rénogramme de base.

VII. Interprétation :

1– Fonction rénale séparée :

- ✓ Une fonction rénale séparée normale varie entre 45% et 55%.
- ✓ Une répartition symétrique peut être obtenue en présence d'anomalies bilatérales ou en présence d'une insuffisance rénale.
- ✓ Les valeurs en dehors de la normale sont observées en présence d'une duplicité unilatérale non compliquée ou en présence d'une altération rénale unilatérale.
- ✓ La fonction du rein ectopique est sous-estimée. La vidange peut être difficile à apprécier si le rein ectopique à proximité immédiate de la vessie ou derrière celle-ci.

2– Analyse visuelle (Figure 12) :

- ✓ La formes de la courbe (concave/convexe) : pente d'élimination.
- ✓ Identification des 3 phases :
 -  Vasculaire : c'est la phase de captation du radiotraceur
 -  Filtration ou sécrétion
 -  Excrétion : c'est la phase de vidange
- ✓ Appréciation de l'activité résiduelle

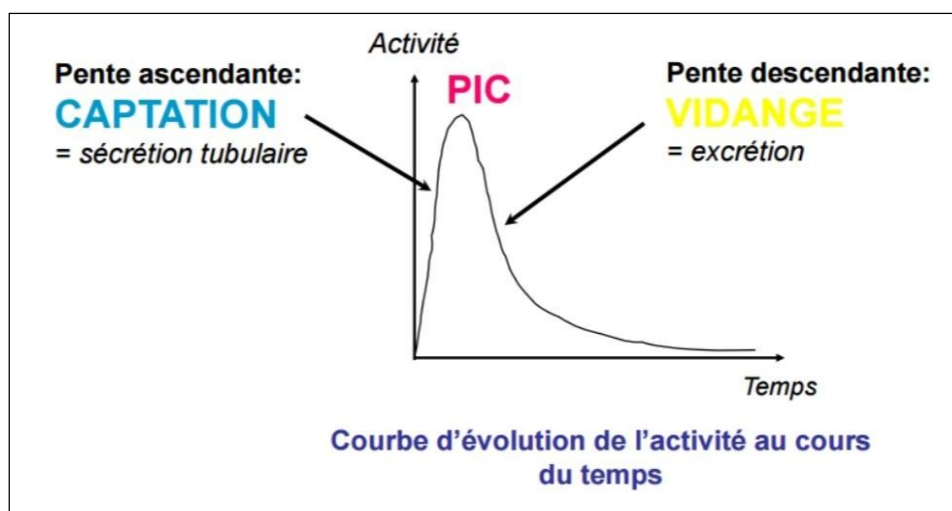


Figure 12: Courbe d'évolution de l'activité au cours du temps

3- Paramètres quantitatifs :

- ✓ T max (MAG3 : 3 minutes, DTPA : 5 minutes)
- ✓ Activité résiduelle : Activité restante 20 min après Lasilix / Activité maximum.
- ✓ T 1/2 : temps mis pour diviser par 2 l'activité maximale dans le rein

Paramètre variable selon : RP utilisé, l'hydratation, degré de dilatation du rein, vessie

(Pleine/ sondage), dose de Lasilix, fonction rénale et ROI (déterminer T1/2 propre à chaque structure hospitalière)

- ✚ Normal < 10 min
- ✚ Intermédiaire : compris entre 10 et 20 min
- ✚ Positif > 20 min

Indice d'excrétion :

- ✚ Hauteur sous la courbe mesurée à 3 min sur celle mesurée à 20 min
- ✚ Normale : inférieure à 0,20.

4- Artefacts et sources d'erreurs :

✓ Faux positifs :

- ✚ Vessie distendue
- ✚ Hydronéphrose importante
- ✚ Faible fonction rénale / Rein immature
- ✚ Déshydratation

✓ Faux négatif :

- ✚ Obstruction de bas grade
- ✚ Faible fonction rénale / Rein immature

VIII. Compte rendu :

- Technique : de réalisation de l'examen et en particulier l'activité injectée, et le moment de l'administration de Lasilix.
- Résultats :
 - ✓ Evaluation de la perfusion pour chaque rein.
 - ✓ Estimation de la fonction rénale relative pour chaque rein.
 - ✓ Appréciation de la captation, de la pente d'extraction.
 - ✓ Appréciation de l'excrétion urinaire, qualitative et/ou quantitative avec l'appréciation de l'activité résiduelle finale après miction et verticalisation.
 - ✓ Analyse des images en particulier de l'existence d'asymétrie de taille, d'anomalie du contour des reins ou d'anomalie parenchymateuse localisée.
- Conclusion : précisant le caractère pathologique ou non de la répartition fonctionnelle et de la vidange de l'appareil urinaire.

Scintigraphie à la recherche du diverticule de Meckel

I. Définition :

Le diverticule de Meckel est une malformation congénitale de l'intestin grêle, correspondant à un reliquat du canal ompho-mésentérique qui relie le sac vitellin à l'intestin primitif. Il est tapissé de muqueuse iléale normale, mais comporte dans plus de la moitié des cas une muqueuse hétérotopique, le plus souvent de type gastrique acido-sécrétante, plus rarement colique, duodénale ou pancréatique. Responsable le plus souvent d'une hémorragie digestive basse.

La scintigraphie constitue une méthode de diagnostic et de localisation des hémorragies digestives basses sur diverticule de Meckel, dont le principe repose sur l'accumulation du radiotraceur en regard du siège du saignement.

II. Indications :

Bilan de saignement digestif bas chez un enfant ou un adulte jeune.

III. Contre-indications :

- ✓ Grossesse
- ✓ Allaitement
- ✓ Saignement actif

IV. Préparation du patient :

1- Informations souhaitables :

Résultats de l'examen clinique et des examens d'imagerie.

2- Information et préparation du patient :

Examen à réaliser à jeun, pour diminuer la fixation et les sécrétions gastriques, et pour prévenir les perturbations dues à la présence des matières dans le tube digestif.

3- Précautions :

- ✓ Pas de baryum dans les 24h précédentes.
- ✓ Pas de laxatifs.

V. Radiopharmaceutique :**1- Caractéristiques physiques : Voir le tableau 1****2- Pharmacocinétique :**

Le ^{99m}Tc est capté par les cellules à mucus de l'estomac, mais aussi par les zones d'hétérotopie gastrique. La scintigraphie au ^{99m}Tc ne met donc pas en évidence le diverticule de Meckel, mais visualise la muqueuse hétérotopique gastrique.

3- Préparation : Voir préparation de pertechnétate dans le chapitre de scintigraphie thyroïdienne.**4- Interactions médicamenteuses : Aucune****5- Effets indésirables potentiels : Aucun****6- Posologie et mode d'administration :**

- ✓ Administration : en bolus puis rinçage au sérum physiologique
- ✓ L'activité injectée : 300 MBq de pertechnétate de sodium pour l'adulte et 3.7 MBq /kg chez l'enfant avec un minimum de 40 MBq.

7- Intervention :

- ✓ IPP (Oméprazole 5mg/10kg) en intraveineux direct 30 min avant l'injection de pertechnétate, il permet de retarder la sécrétion intraluminaire du TCO_4^- et de favoriser la détection par une rétention locale du traceur.

VI. Acquisitions :

- ✓ Collimateurs parallèles de basse énergie et haute résolution.
- ✓ Matrice : 128x128.
- ✓ Acquisition dynamique : débuté avec l'injection du radiotraceur centrée sur la région abdomino-pelvienne en incidence de face antérieure et postérieure, 30 images de 1 min (30 minutes).
- ✓ Acquisitions statiques : de (300 à 500kcps) : incidences de face antérieure post miction, profil, et oblique antérieur, parfois des incidences en position de procubitus ou debout peuvent être réalisées.

VII. Interprétation :**❖ Aspects pathologiques :**

- ✓ Le diverticule de Meckel se traduit par une fixation focale, arrondie, de petite taille, contemporaine de la fixation gastrique,
- ✓ Le plus souvent localisée dans la fosse iliaque droite, intense, précoce (5-10 min) et persistante.
- ✓ Autres localisations de muqueuse gastrique ectopique :
 - ✚ Œsophage (œsophage de Barrett)
 - ✚ Anse intestinale

 Duplication gastrique ou intestinale

❖ Faux négatif :

- ✓ Un diverticule de Meckel trop petit ($<1\text{ cm}^2$).
- ✓ Diverticule de Meckel ne contenant pas de muqueuse gastrique.
- ✓ Diverticule de Meckel nécrosé.
- ✓ Diverticule de Meckel à proximité d'un foyer hyperfixant (vessie, estomac).
- ✓ Période hémorragique importante : GR in vitro car risque de faux négatifs.

❖ Faux positif :

- ✓ Activité de la sécrétion gastrique passée dans le duodénum ou le jéjunum :

 Site inhabituel et forme allongée. Changement du site après mobilisation du patient.

- ✓ Activité des voies excrétrices rénales, en cas de pathologies urologiques associées (kyste, RVU, ectopie rénale) sur les images post mictionnelles on note une réduction ou disparition de l'activité du foyer alors que l'estomac reste actif.
- ✓ Autres causes :

Ulcère, colite ulcéreuse, occlusion intestinale, maladie de Crohn, cancer colique, hémangiome (fixation qui décroît avec le temps), malformation artério-veineuse, léiomyome, léiomyosarcome.

VIII. Compte rendu :

- Technique : de réalisation de l'examen et en particulier l'activité injectée, les acquisitions réalisées.
- Résultats :

Indiquer la présence ou l'absence d'accumulation du radiotracer simultanément avec l'apparition de l'activité gastrique, en précisant la topographie et l'intensité de cette fixation.

- Conclusion : Examen positif ou négatif.

ACTES THERAPEUTIQUES

Traitement des cancers différenciés de la thyroïde

I. Introduction et définitions :

Cancer différencié de la thyroïde est un carcinome différencié de la souche folliculaire qui garde certaines caractéristiques morphologiques et fonctionnelles du thyrocyte.

Le traitement par l'iode ou irathérapie désigne l'administration le plus souvent par voie orale d'iode 131 sous forme d'iodure de sodium (NaI).

II. Indications :

1- Ablation :

L'ablation a pour objectif de détruire les reliquats thyroïdiens physiologiques après la chirurgie permettant de faciliter la surveillance et la détection des rechutes en négativant le taux de la thyroglobuline.

Elle permet de plus l'obtention d'une imagerie du corps entier de haute sensibilité, permettant de diagnostiquer et de localiser une éventuelle maladie résiduelle.

2- Adjuvant :

L'irathérapie permet d'irradier et de détruire d'éventuels résidus tumoraux de faible volume, infra-radiologiques comme les atteintes ganglionnaires infracentimétriques ou les micrométastases, dans le but d'améliorer la survie sans récurrence.

3- Thérapeutique :

L'irathérapie permet d'obtenir une destruction ou une réduction des sites tumoraux fixant l'iode 131 connus, dans le but d'augmenter la survie globale.

III. Contre-indications :

1- Absolues :

- ✓ Grossesse : si le diagnostic de carcinome thyroïdien est posé au cours de la grossesse, il convient de reporter l'irathérapie au terme de la grossesse. Le traitement chirurgical peut éventuellement être réalisé, de préférence au cours du deuxième trimestre de la grossesse.
- ✓ Allaitement : si la décision de l'irathérapie est prise en cours d'allaitement celui-ci sera définitivement stoppé avant l'administration de l'iode.

2- Relatives :

- ✓ Dysphagie et sténose œsophagienne
- ✓ Gastrite et/ou ulcère gastroduodéal évolutif
- ✓ Incontinence
- ✓ Surcharge iodée
- ✓ Interruption insuffisante du traitement substitutif thyroïdien
- ✓ Insuffisance rénale
- ✓ Métastase cérébrale
- ✓ Risque de compression médullaire
- ✓ Espérance de vie limitée à moins de 6 mois.

IV. Réalisation du traitement :

1– Informations indispensables pour le choix de la stratégie thérapeutique :

Le médecin nucléaire doit avoir accès au dossier médical complet du patient à traiter :

- ✓ Le compte rendu opératoire : le type de chirurgie effectuée
- ✓ Le compte rendu anatomo-pathologique : précisant le type cellulaire, pTNM, qualité de l'exérèse.

2– Information et préparation du patient :

❖ Hormonothérapie :

- ✓ Elle est indiquée chez tous les patients opérés d'un cancer thyroïdien avec ou sans traitement isotopique complémentaire.
- ✓ Elle pour objectifs d'assurer les besoins en hormones thyroïdiennes (HT) et d'obtenir un freinage du tissu cancéreux résiduel.
- ✓ Sous forme de L-thyroxine (LT4), d'une demi-vie longue (6 à 8 jours), assure une grande stabilité des concentrations de T4 et de TSH, autorisant la prise unique quotidienne.
- ✓ Les besoins en HT sont proportionnels au poids, un peu plus faibles chez la femme et les sujets âgés. L-thyroxine (Levothyrox) :
 - ✚ À 1.7µg/kg/j pour la substitution hormonale
 - ✚ À 2.4µg/kg/j pour le traitement freinateur
- ✓ La médication est à prendre quotidiennement, à jeun, toujours dans les mêmes conditions.

❖ **Préparation à l'irathérapie :**

- ✓ Interruption contrôlée de la prise de médicaments et autres substances contenant de l'iode pendant une période adaptée (Tableau 6). Si une surcharge iodée iatrogène est suspectée, une mesure de l'iodurie des 24 heures sera effectuée. Un résultat anormal fait reporter le traitement jusqu'à élimination de l'anomalie.

Tableau 6 : Délai d'arrêt de médicaments et substances contenant l'iode stable

Type de médicaments	Délai de sevrage recommande
Hormones thyroïdiennes	2 semaines pour L-T3 (tri-iodothyronine) 4 semaines pour L-T4 (tétra-iodo-thyronine)
Sirop, vitamines, préparations nutritives contenant de l'iodure de sodium, fruits de mer	1 à 2 semaines selon l'abondance en iode.
Médicaments contenant de l'iode (amiodarone)	Plusieurs mois voire quelques années
Topiques iodés (bétadine, collyres...)	1 à 2 semaines
Produits de contraste radiologiques	
Hydrosolubles	3-4 semaines
Liposolubles per os (cholécystographie)	3 mois
Produits huileux (ex. bronchographie) Myélographie	6 -12 mois 2 - 10 ans

- ✓ Le médecin nucléaire doit expliquer au préalable le déroulement du traitement, les complications et effets secondaires possibles.
- ✓ Interruption du traitement hormonal substitutif pour obtenir une stimulation adéquate par la thyroestimuline (TSH > 30 mU/L). Un arrêt de deux semaines pour L-T3 (Cynomel) et de 4 à 6 semaines pour L-T4 (Levothyrox) est recommandé.
- ✓ Pour les femmes susceptibles de procréer et en l'absence d'une contraception efficace, un test de grossesse (dosage des β -HCG) est effectué avant l'administration de l'iode.
- ✓ En cas de premier traitement de reliquats thyroïdien, une échographie cervicale est réalisée pour vérifier la taille des reliquats, et détecter précocement d'éventuelles adénopathies métastatiques.
- ✓ Un prélèvement sanguin avant l'administration du traitement est nécessaire pour mesurer le taux de : TSH et celui de la thyroglobuline (validé par la recherche des auto-anticorps anti-thyroglobulines)
- ✓ La prescription d'une corticothérapie orale à faible (60mg/j) 2 jours avant la prise de l'iode pour les cas simples et à forte dose (Solumedrol 12 mg injections intramusculaires 2 jours avant l'irathérapie puis relais per os 80mg/j) et à poursuivre jusqu'à la sortie pour les formes métastatiques à risque de complication (compression médullaire, métastase cérébrale...).

- ✓ La prise de laxatifs les quelques jours qui suivent le traitement afin de réduire l'exposition du patient au rayonnement résultant de fixations non spécifiques et de l'élimination par les organes excréteurs de l'iode 131.
- ❖ **Le jour du traitement :**
- ✓ Le sujet doit être à jeun des solides depuis 6h pour un traitement délivré en début d'après-midi. Le repas est pris 2h après l'absorption orale de l'iode 131.
- ✓ Recommandations d'hyperhydratation (1,5 litre à 2 litres par 24h), de mictions fréquentes, de prises d'eau citronnée, bonbons acidulés pour créer une hypersalivation et enfin prises de laxatifs les quelques jours qui suivent le traitement afin de réduire l'exposition du patient au rayonnement résultant de fixations non spécifiques et de l'élimination par les organes excréteurs de l'iode 131.
- ✓ Nausées, rarement risque de vomissements dans les heures qui suivent le traitement, prévenus, en cas de malaise digestif connu par une prescription d'antiémétiques.
- ✓ Risque de réaction plus tardive de type inflammatoire : sialadénite, œdème cervical, exacerbation de douleurs et risque de compression pour des métastases osseuses, en particulier rachidiennes.
- ✓ Hyposialie et/ou agueusie, dacryocystite, généralement transitoires.

- ✓ En cas de radiothérapie externe associée, un délai de 4 à 6 semaines entre les traitements peut éviter une surexposition cervicale aux rayonnements.
- ✓ Chez la femme, une augmentation transitoire du risque d'avortement, a été observée, après exposition à l'iode 131. En cas de désir d'enfant, il est recommandé d'observer un délai d'un an après le traitement par l'iode 131 pour la conception. Enfin, une aménorrhée transitoire, ainsi que la survenue plus précoce de la ménopause, ont été observés.
- ✓ Chez l'homme, une azoospermie la plupart du temps transitoire affecte le tiers des patients. Après plusieurs traitements, elle peut devenir définitive. 8. Certaines études suggèrent que les traitements par l'iode 131 favorisent l'apparition ultérieure d'autres cancers. Ce risque est faible, aussi ne doit-il pas dissuader d'effectuer le traitement mais il impose que le bénéfice en soit bien établi.
- ✓ Stimulation par TSH recombinante humaine (rh-TSH). Le remplacement du protocole de sevrage en hormones thyroïdiennes tel que décrit plus haut, par un protocole de stimulation grâce aux injections de TSH recombinante humaine par voie intra-musculaire, peut être indiqué (AMM) pour la surveillance après traitement de l'analyse de thyroglobuline, complétée ou non par la scintigraphie corps entier à l'iode 131. De plus, l'AMM a été obtenue pour l'ablation des reliquats thyroïdiens postopératoire. L'indication de

Thyrogen, dans le traitement des métastases évoluées chez des patients pour lesquels un sevrage est contre-indiqué, est à l'étude. Dans tous les cas le protocole consiste à injecter par voie intramusculaire 0,9 mg de TSH recombinante humaine (Thyrogen – Genzyme), à J-2 et J-1 pour une administration de l'iode à J0. Son intérêt est d'éviter la diminution de clairance de l'iode radioactif, provoquée par l'arrêt du traitement substitutif thyroïdien et par conséquent de diminuer l'irradiation des organes autres que les tissus cibles (reliquats thyroïdiens ou métastases).

V. Le radiopharmaceutique :

1- **Caractéristiques physiques de l'iode 131 :** Voir le tableau 4.

2- **Caractéristiques des molécules vectrices utilisées :**

L'iode 131 est reçu sous forme d'iodure de sodium ([131I] NaI).

3- **Préparation du radiopharmaceutique :**

L'iodure de sodium est administré sous forme d'une gélule pré-dosée prête à l'administration dont l'enveloppe est formée de gélatine. Dans certains cas, il peut être administré sous forme de solution buvable voire injectable.

4- **Durée et conditions de conservation assurant sa stabilité :**

- ✓ La date limite d'utilisation et les conditions de stockage figurent sur le conditionnement extérieur du produit.
- ✓ Le produit est à conserver entre 15°C et 25°C dans son pot d'origine et dans une enceinte blindée selon la réglementation concernant les produits radioactifs.

5- Contrôle de qualité :

Activité et nature du rayonnement gamma émis sont vérifiées selon les précautions d'usage vis à vis de composés hautement radioactifs et d'énergie élevée.

6- Activité administrée :

L'activité administrée dépend de plusieurs facteurs anatomopathologiques (de la tumeur et des métastases ganglionnaires (Tableau 7)), de la classification TNM (Tableau 8) et des groupes à risque de récurrence (Tableau 9).

❖ **Les activités administrées chez l'adulte : (Figure 13)**

✚ Faible dose : 1,1 GBq (30 mCi)

✚ Forte dose : 3,7 GBq (100 mCi)

✚ Très forte dose : >3,7 GBq jusqu'à 7,4 GBq (>100 – 200 mCi) pour certains patients d'emblée multi métastatiques.

Tableau 7 : Classification 2017 de l'atteinte ganglionnaire métastatique et leur recommandation thérapeutique

Atteinte ganglionnaire minime (≤ 5 N1 de taille < 2 mm) ou pT3N0/Nx		
En présence d'un critère de RI (âge >55 ans, histologie défavorable, présence d'une invasion vasculaire)	Recommandé Recommandation forte, Niveau de preuve intermédiaire	Faible ou forte activité d'iode 131 Recommandation forte, Niveau de preuve intermédiaire
En présence de plusieurs critères RI	Recommandé Recommandation forte, Niveau de preuve intermédiaire	Forte activité possible Recommandation forte, Niveau de preuve intermédiaire
Atteinte ganglionnaire intermédiaire (≤ 5 N1 de taille : 2 à 10 mm)		
Tout patient de Risque intermédiaire	Recommandé Recommandation forte, Niveau de preuve intermédiaire	Une forte activité peut être envisagée Recommandation forte, Niveau de preuve intermédiaire
Atteinte ganglionnaire importante cN1 et/ou ganglions ≥ 10 mm et ≤ 30 mm et/ou rupture capsulaire et/ou plus de 5 ganglions		
Tout patient de RI	Recommandé Reco forte, preuve intermédiaire	Forte activité recommandée Reco faible, preuve intermédiaire

Tableau 8 : Classification pTNM 8ème édition (2017)

pTNM 8ème édition (2017)		
T	T1a	T ≤ 1 cm (avec ou sans extension microscopique extra thyroïdienne)
	T1b	T > 1 cm et ≤ 2 cm (avec ou sans extension microscopique extra thyroïdienne)
	T2	T > 2 cm et ≤ 4 cm (avec ou sans extension microscopique extra thyroïdienne)
	T3	T > 4 cm : T3a avec ou sans extension microscopique extra thyroïdienne) ou T3b avec extension macroscopique aux muscles péri-thyroïdiens. (muscles sternohyoïdien, sternothyroïdien, thyrohyoïdien ou omohyoïdien)
	T4a	Quelle que soit la taille tumorale, tumeur avec extension extra-thyroïdienne et invasion des tissus sous cutanées, ou du larynx, ou de la trachée, ou de l'œsophage ou du nerf récurrent
	T4b	Quelle que soit la taille tumorale, tumeur avec extension extra thyroïdienne et invasion du fascia pré-vertébral, de la carotide ou des vaisseaux médiastinaux
N	N0	Pas d'envahissement ganglionnaire
	Nx	Statut ganglionnaire inconnu (pas de curage)
	N1a	Envahissement ganglionnaire du secteur VI (secteurs prétrachéal ou récurrentiels) ou VII (médiastinal supérieur)
	N1b	Envahissement ganglionnaire latéro-cervical (I, II, III, IV ou V) ou retropharyngé
M	M0	Pas de métastase à distance
	M1	Métastase à distance

Tableau 9 : Stadification des groupes à risque de récurrence

Faible risque	✚ Résection complète. ✚ Pas d'histologie péjorative. ✚ Pas d'invasion vasculaire. ✚ pT1a/pT1b/pT2, sans extension extra thyroïdienne, avec N0/Nx ; ✚ pT1a/pT1b, sans extension extra thyroïdienne, N1a : atteinte du compartiment central minime (5 ganglions métastatiques et métastases < 2 mm). ✚ pT1a/pT1b, avec EETm (identifiable uniquement à l'anatomopathologie), avec N0/Nx/N1a minime. ✚ Carcinome vésiculaire bien différencié de stade pT1, pT2, pT3a sans extension extra thyroïdienne et sans invasion vasculaire ou avec invasion vasculaire minime (< 4 emboles). ✚ En cas d'administration iode 131 : pas de foyer en dehors du lit thyroïdien ; ✚ NIFTP de plus de 4 cm sont inclus.
Risque intermédiaire	✚ pT2, N0/Nx, avec extension EETm. ✚ pT3a, N0/Nx, avec ou sans EETm. ✚ pT2/pT3a N1a avec atteinte ganglionnaire minime. ✚ pT1a/pT1b/pT2/pT3a, N1 (a central ou b latéral) avec atteinte ganglionnaire intermédiaire (Nb <5 et taille entre 2 et 10 mm), ou Importante (restant < 3cm). ✚ Atteinte ganglionnaire clinique (cN1). ✚ Histologie péjorative (cellules hautes, cellules en clous de tapissier, cellules cylindriques, oxyphiles pour les cancers vésiculaires). ✚ Carcinome papillaire avec invasion vasculaire limitée (< 4 emboles). ✚ Présence d'une fixation ganglionnaire sur la scintigraphie.
Haut risque	✚ Résection incomplète ; ✚ pT3b, quel que soit le N (extension musculaire macroscopique) ; ✚ pT4, quel que soit le N ; ✚ N1 avec atteinte ganglionnaire sévère (au moins une métastase > 30 mm) ; ✚ Présence d'une invasion vasculaire > 4 emboles ✚ M1 ; ✚ Contingent histologique peu différencié ✚ Taux très élevé de Tg en postop (métastases à distance)

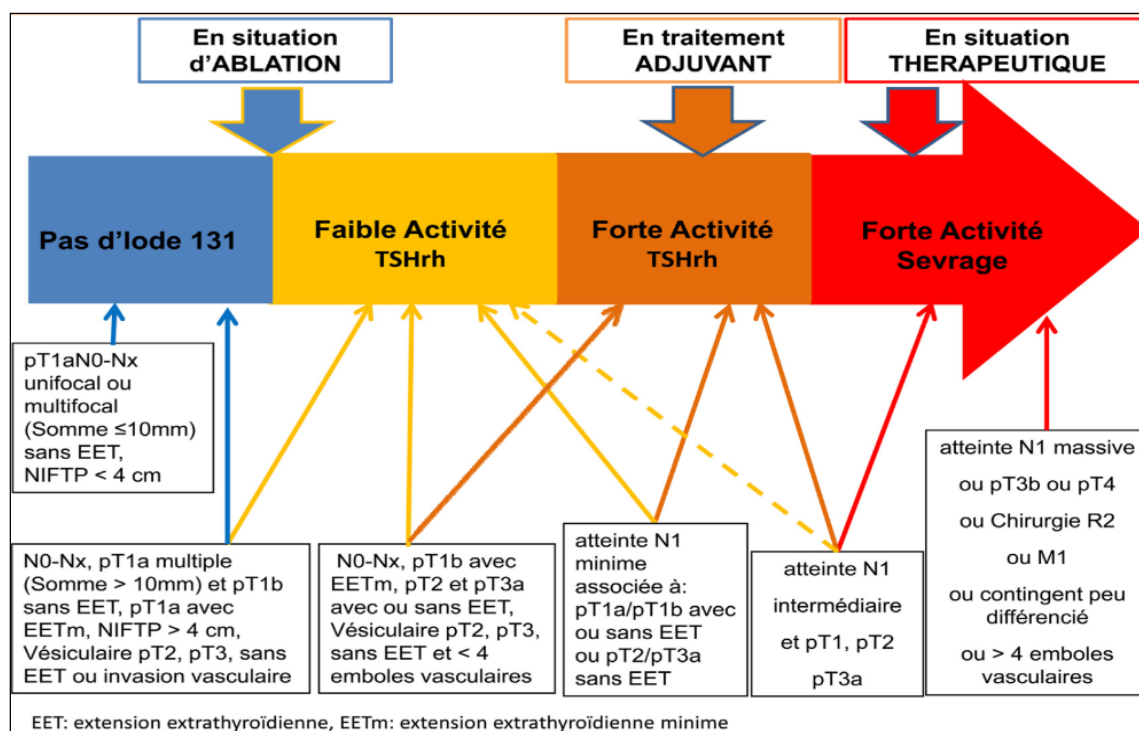


Figure 13 : Schéma récapitulatif des indications du traitement initial par iode 131 (après thyroïdectomie totale)

❖ **Chez l'enfant et l'adolescent :**

L'activité à administrer sera calculée par multiplication de l'activité recommandé pour l'adulte par les coefficients suivants établis par l'"European Association of Nuclear Medicine" (Annexe 4).

❖ **Formes métastatiques :**

✓ **Métastases pulmonaires :**

- ✚ Les micro-métastases pulmonaires : L'irathérapie à forte dose (100mCi) est indiqué à visée curative avec répétition jusqu'à disparition des fixations, tous les 6 mois pendant 2 ans, puis plus espacées en fonction de la réponse thérapeutique et de la tolérance (un an).

- ✚ Les macro-métastases : Irathérapie à forte dose (100 à 200mCi) à répéter sous sevrage hormonal tant qu'il existe une fixation et un bénéfice documenté. Des traitements locaux peuvent être associés (chirurgie, thermoablation, radiothérapie).
- ✓ Métastases osseuses :
 - ✚ Les complications fracturaires ou neurologiques doivent toujours être recherchée.
 - ✚ Éradication ou réduction chirurgicale si possible.
 - ✚ Radiothérapie externe à visé antalgique ou décompressive peut être indiquée.
 - ✚ Administration d'I131 à forte dose (100 à 200mCi) après le geste chirurgical ou la radiothérapique sous corticothérapie (faible ou forte dose en fonction du contexte).
- ✓ Métastases cérébrales :
 - ✚ Exérèse chirurgicale lorsqu'elle est envisageable.
 - ✚ L'irathérapie à forte dose doit se faire sous forte corticothérapie dans le but de diminuer le risque neurologique.

7- Mode d'administration :

- ✓ L'iode 131 est administré généralement sous forme d'une gélule, avalée entière, avec une quantité suffisante d'eau pour faciliter son transit dans l'œsophage et jusqu'à l'intestin.
- ✓ En cas de difficultés à la déglutition (sténose œsophagienne, œsophagite, perte d'autonomie), l'iode 131 peut être administré

sous forme d'une solution par voie orale (aspiration grâce à une paille), ou exceptionnellement en solution injectable.

VI.Acquisition des images :

1- La scintigraphie post-irathérapie :

- ✓ L'examen consiste en un balayage corps entier. La caméra est équipée d'un collimateur à trous parallèles, haute énergie et la vitesse de balayage est assez lente de 8 à 10 cm/min.
- ✓ L'examen est réalisé de 3 à 7 jours après le traitement par l'iode 131. Un délai trop réduit risque d'entraîner un phénomène de saturation du détecteur en raison de la haute activité présente dans le reliquat, inversement une image trop tardive risque de faire disparaître certains foyers métastatiques fixant de petite taille.
- ✓ Cet examen renseigne sur les reliquats thyroïdiens laissés en place lors de la thyroïdectomie chirurgicale mais aussi sur la présence éventuelle de métastases fixant l'iode au niveau des ganglions régionaux ou bien de sites à distance, en particulier, pulmonaires et osseux. Lors du traitement de métastases connues, la scintigraphie permet d'évaluer ou de détecter tous les foyers métastatiques fixant l'iode.

2- Interprétation :**❖ Mise en évidence du (des) reliquat(s) thyroïdien(s) en post-opératoire :**

Lors de la première administration thérapeutique de l'iode ¹³¹I qui suit la thyroïdectomie chirurgicale, la scintigraphie met en évidence un ou plusieurs foyers fixant au niveau de la loge thyroïdienne. L'intensité de la fixation dépend du volume de parenchyme thyroïdien laissé en place mais aussi de l'activité administrée, et enfin du délai par rapport à l'administration de l'iode. La qualité de la scintigraphie dépend de la qualité de la thyroïdectomie.

❖ Distribution physiologique de l'iodure :

- ✓ Les organes capables de concentrer et d'excréter l'iodure sont visibles : les glandes salivaires, la bouche, le nez, l'estomac, l'intestin et la vessie.
- ✓ Il est possible d'observer une activité diffuse hépatique témoin de la désiodation des hormones thyroïdiennes dans le reliquat thyroïdien post opératoire.
- ✓ Chez les femmes jeunes, il est possible d'observer une fixation des glandes mammaires.
- ✓ On observe parfois, aussi, une fixation de la partie basse de l'œsophage, témoin d'une métaplasie œsophagienne, à distinguer d'une fixation médiastinale pathologique.

❖ Mise en évidence de métastases fixant l'iode :

- ✓ Au niveau loco-régional, on recherche essentiellement les foyers fixant éventuels au niveau des sites ganglionnaires soit dans la région cervicale, soit dans la région médiastinale. Dans certains cas, la difficulté est de distinguer les ganglions métastatiques des reliquats thyroïdiens volumineux.
- ✓ A distance, la scintigraphie peut montrer une fixation soit diffuse (milliaire isotopique), soit en foyers au niveau des poumons, un ou plusieurs foyers de fixation au niveau du squelette osseux. En dehors de ces cas, les plus fréquents parmi les cancers thyroïdiens différenciés métastasés, la scintigraphie peut aussi mettre en évidence des foyers de sièges rares : hépatique, cérébral, cutané ou sous-cutané.
- ✓ La difficulté d'interprétation de ces foyers de fixation anormale est double :
 - ✚ Il faut éliminer une image de nature bénigne : superposition avec un organe excréteur l'iodure, confusion avec une formation inflammatoire retenant les iodures, artéfacts divers.
 - ✚ Il faut reconnaître avec précision le siège de la lésion.
- ✓ Il faut garder aussi à l'esprit, qu'un tiers environ des cancers thyroïdiens différenciés, évolutifs, en particulier les ganglions de carcinomes papillaires, ou des métastases de type peu différencié ainsi que des récives locales, ne fixent pas l'iode mais peuvent

produire de la thyroglobuline (localisations réfractaires à l'iode¹³¹).

❖ **Artéfacts et sources d'erreur :**

- ✓ Reliquats thyroïdiens intensément fixant masquant des foyers ganglionnaires de voisinage.
- ✓ Glandes salivaires proches des ganglions métastatiques.
- ✓ Kyste alvéolo-dentaire ayant piégé l'iodure radioactif.
- ✓ Contamination par les vomissements, l'urine, les sécrétions nasales, la salive, la transpiration au niveau de la peau, des cheveux, des vêtements.
- ✓ Fixation pulmonaire due à une pneumopathie infectieuse ou à des pathologies inflammatoires chroniques.
- ✓ Fixation thymique.
- ✓ Fixation mammaire.
- ✓ Reflux gastro-œsophagien.
- ✓ Métaplasie œsophagienne.
- ✓ Diverticule œsophagien.

VII. Cancer différencié de la thyroïde réfractaire à l'iode 131 :

- ✓ L'évolution vers une maladie réfractaire signifie une inefficacité ou une perte d'efficacité de l'iode 131, qui ne doit plus alors être proposé comme traitement.
- ✓ On considère comme réfractaire à l'iode 131 un patient présentant une des caractéristiques suivantes :

- ✚ L'ensemble des lésions ne fixe pas l'iode 131 (après administration d'une activité thérapeutique dans des bonnes conditions de stimulation et après avoir éliminé les éventuelles causes de faux-négatif) ou certaines lésions seulement fixent l'iode 131.
- ✚ Progression en taille selon les critères RECIST dans un intervalle de temps de 12 à 14 mois malgré une fixation significative de l'iode 131 et un traitement bien mené.
- ✓ Les thérapies ciblées à la base d'inhibiteurs de tyrosines kinases (Sorafenib, Lenvatinib...) sont capables d'inhiber les voies de signalisation responsables de la dédifférenciation et le caractère iodo-fixant pourrait donc être restauré chez certains patients dans les temps à venir.

VIII. La maladie résiduelle (persistante ou récidivante) :

- ✓ La récurrence tumorale se définit par la réapparition de la maladie chez un patient classé en rémission complète sur les chaînes ganglionnaires ou in situ dans la loge thyroïdienne.
- ✓ La persistance, plus fréquente, survient chez un patient n'ayant jamais été classé en rémission complète depuis sa prise en charge initiale.
- ✓ Le diagnostic se fait par (échographie, biologie, balayage à I131 et TDM voir PET).
- ✓ Reprise chirurgicale : éradication ou réduction du volume tumoral.
- ✓ Dose thérapeutique d'iode 131 indiquée après la chirurgie tant que persiste une fixation, ou si la reprise chirurgicale n'a pas été

retenue en raison, (petite taille tumorale, localisation délicate)
(Figure 14).

- ✓ La radiothérapie externe est indiquée si la chirurgie n'a pas pu être macroscopiquement complète, et si la masse tumorale restante ne fixe pas l'I131.

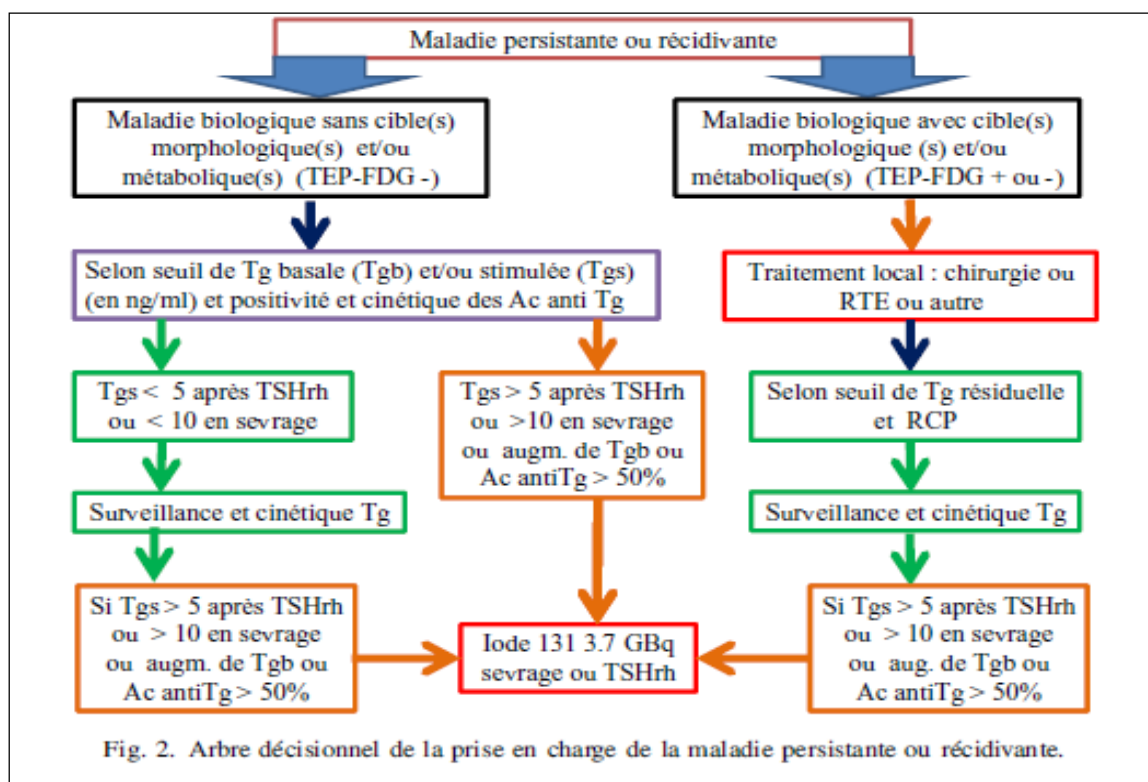


Figure 14 : Arbre décisionnel de la prise en charge de la maladie persistante ou récidivante

IX. Surveillance :

- ✓ Il permet le dépistage précoce des récives.
- ✓ Les critères de rémission pour les CDT traités par chirurgie et irathérapie sont :
 - + Un taux de Tg stimulée sous le seuil de détection
 - + Une scintigraphie post thérapeutique sans foyer anormal de fixation;
 - + Une palpation et une échographie cervicale normales.
- ✓ La surveillance est maintenue à vie, progressivement espacée et modulée pour chaque malade selon son groupe pronostique d'appartenance (Tableau 6).
- ✓ Après rémission complète : les objectifs de la TSH
 - + Entre 0,3 – 2 (pour les faibles risques)
 - + Entre 0,1 – 0,5 (pour les risques intermédiaires)
 - + < 0,1 (pour les haut risques)

Traitement des hyperthyroïdies

I. Introduction et définitions :

L'hyperthyroïdie est l'ensemble des manifestations cliniques et biologiques liées à un excès de sécrétion d'hormones thyroïdiennes, secondaire à des pathologies auto-immunes ou nodulaires.

L'irathérapie désigne l'administration, à visée thérapeutique, le plus souvent par voie orale d'iode 131 sous forme d'iodure de sodium (NaI).

Dans le cadre de l'hyperthyroïdie, l'irathérapie est utilisée soit à visée antitoxique ou ablative en fonction des étiologies.

II. Indications :

1– Maladie de Basedow :

- ✓ Contre-indications aux antithyroïdiens de synthèse.
- ✓ Patient à haut risque chirurgical
- ✓ Hyperthyroïdie récurrente après arrêt des antithyroïdiens de synthèse ou chirurgie non optimale.
- ✓ Patients âgés présentant des comorbidités.

2– Nodule toxique / Goitre multinodulaire toxique :

- ✓ Nodule solidaire hyperfonctionnel
- ✓ Goitre multinodulaire présentant un ou des nodules hyperfonctionnels sans cancer de la thyroïde suspecté ou confirmé
- ✓ Age élevé
- ✓ Comorbidités avec haut risque chirurgical
- ✓ Antécédents de chirurgie et/ou d'irradiation cervicale.

- ✓ Goitre non accessible à la chirurgie.

III. Contre-indications :

1- Contre-indications communes :

- ✓ Absolues :

- + Grossesse
- + Allaitement
- + Cancer de la thyroïde suspecté ou confirmé
- + Incapacité du patient à suivre les règles de radioprotection

- ✓ Relatives :

- + Incontinence urinaire
- + Hémodialyse
- + Goitre compressif

2- Maladie de Basedow :

- ✓ Absolues :

- + Enfant ≤ 5 ans

- ✓ Relatives :

- + Volumineux goitre (≥ 80 g)
- + Orbitopathie basedowienne active (modérée à sévère)
- + Taux très élevé des TRAK

3- Nodule toxique / Goitre multinodulaire toxique :

- ✓ Relatives :

- + Volumineux goitre multinodulaire
- + Signes de compression cervicale.

IV. L'irathérapie et orbitopathie :

- ✓ Le traitement par iode 131 fait courir le risque d'aggravation d'une orbitopathie préexistante ou de survenue d'une orbitopathie, surtout chez le fumeur, en cas d'hyperthyroïdie récente ou très sévère et en cas de taux élevés de TRAK.
- ✓ Il n'y a pas de CI formelle au traitement par iode 131 en cas d'orbitopathie, mais la prescription doit être :
 - ✚ Réservée à des orbitopathies minimales ou modérées, peu actives
 - ✚ Encadrée de précautions particulières : information du patient, forte incitation à l'arrêt du tabac, avis ophtalmologique spécialisé, corticothérapie orale, suivi rapproché post-thérapeutique pour éviter la survenue d'une hypothyroïdie.
- ✓ Pour les patients à haut risque d'orbitopathie ou avec orbitopathie minimale ou non active, il est recommandé de contrôler la fonction thyroïdienne par un dosage de T4L et TSH dans les 2 semaines suivant l'administration d'iode 131.
 - ✚ Forme minimale ou peu active sans facteur de risque : pas de corticothérapie ou faible dose 0,2 – 0,3 mg/kg/j pendant 6 semaines
 - ✚ Pas d'orbitopathie mais présence de facteur de risque : pas de corticothérapie ou faible dose 0,2 – 0,3 mg/kg/j pendant 6 semaines
 - ✚ Forme modérée inflammatoire avec ou sans facteur de risque : Corticothérapie 1mg/kg/j à débiter 3 jours avant l'irathérapie et à

poursuivre à pleine dose pendant 1 mois, puis à demi-dose le mois suivant, puis arrêt (combiné à la surveillance ophtalmologique).

V. Réalisation du traitement :

1- Informations indispensables pour le choix de la stratégie thérapeutique :

- ✓ Le compte rendu de la consultation d'endocrinologie.
- ✓ Bilan biologique récent : TSH, LT3, LT4, TRAK, Ac anti-TPO
- ✓ Echographie cervicale récente (<6 mois).
- ✓ Scintigraphie thyroïdienne récente.

2- Information et préparation du patient :

Une préparation adéquate avant d'effectuer une irathérapie est très important pour réduire le risque d'effets secondaires précoces, tels qu'une exacerbation de la thyroétoxicose due à une thyroïdite radio-induite.

Les patients devraient idéalement être traités dans un état euthyroïdien (l'hyperthyroïdie manifeste doit être évitée principalement chez les patients présentant une orbitopathie active).

- ✓ Interruption contrôlée de la prise de médicaments et autres substances contenant de l'iode pendant une période adaptée (Tableau 10).
- ✓ Expliquer au préalable le déroulement du traitement, les complications, les effets secondaires possibles ainsi que les mesures de radioprotection.

- ✓ Pour les femmes susceptibles de procréer et en l'absence d'une contraception efficace, un test de grossesse (dosage des β -HCG) est effectué avant l'administration de l'iode.
- ✓ La prescription d'une corticothérapie en cas d'orbitopathie basedowienne.

Tableau 10 : Le délai d'arrêt des médicaments et autres substances contenant de l'iode

Type de médicaments	Délai de sevrage recommande
Hormones thyroïdiennes	2 semaines pour L-T3 (tri-iodothyronine) 4 semaines pour L-T4 (tétra-iodo-thyronine)
Antithyroïdien de synthèse : ● Methimazole ● Propylthiouracil	● 2-5 jours ● 2-8 semaines
Sirop, vitamines, préparations nutritives contenant de l'iodure de sodium, fruits de mer	1 à 2 semaines selon l'abondance en iode.
Médicaments contenant de l'iode (amiodarone)	Plusieurs mois voire quelques années
Topiques iodés (bétadine, collyres...)	1 à 2 semaines
Produits de contraste radiologiques	
Hydrosolubles	3-4 semaines
Liposolubles per os (cholécystographie)	3 mois
Produits huileux (ex. bronchographie) Myélographie	6 -12 mois 2 - 10 ans

❖ **Le jour du traitement :**

- ✓ Le sujet est à jeun de solides depuis 6h. Le repas est pris 1h30 à 2h après l'absorption orale de l'iode 131 .
- ✓ Recommandations d'hyperhydratation (1,5 litre à 2 litres par 24h), de mictions fréquentes, de prises d'eau citronnée, bonbons acidulés pour créer une hyper salivation et enfin prises de laxatifs les quelques jours qui suivent le traitement afin de réduire l'exposition du patient au rayonnement résultant de fixations non spécifiques et de l'élimination par les organes excréteurs de l'iode 131 .

VI. Le radiopharmaceutique :

1- **Caractéristiques physiques de l'iode 131 :** Voir le tableau 4.

2- **Caractéristiques des molécules vectrices utilisées :**

L'iode 131 est sous forme d'iodure de sodium ($[^{131}\text{I}] \text{NaI}$)

3- **Pharmacocinétique :**

- ✓ Après injection intraveineuse, environ 20% de l'iode se fixe au niveau de la glande thyroïde lors du premier passage. La concentration maximale thyroïdienne est atteinte 24 à 48 heures après l'administration.
- ✓ De petites quantités d'iodure sont fixées par les glandes salivaires, la muqueuse gastrique et peuvent également être retrouvées dans le placenta et les plexus choroïdes et sécrétées dans le lait maternel.

- ✓ La période effective de l'iode radioactif est d'environ 12 heures, mais concernant l'iode radioactif fixé par la glande thyroïde, elle est d'environ 6 jours. Après administration de NaI, la période effective de 40% environ de l'activité administrée est de 0,4 jour, et 8 jours pour les 60% restants. L'élimination est urinaire à 37–75%, l'excrétion fécale est de 10% environ, et l'excrétion par voie sudorale est pratiquement négligeable.
- ✓ L'ion iodure ^{131}I s'accumule dans la thyroïde en raison du transport actif à travers les membranes cellulaires de la glande (les transporteurs NIS). Le mécanisme thérapeutique repose sur une irradiation in situ (faible parcours des particules β^-), continue, prolongée et à bas débit.

4– Préparation du radiopharmaceutique :

L'iodure de sodium est administré généralement sous forme de solution buvable.

5– Durée et conditions de conservation assurant sa stabilité :

Le produit est à conserver entre 15°C et 25°C selon la réglementation relative des produits radioactifs.

6– Activité administrée :

Le choix de l'activité administrée dans notre service suit la méthode empirique qui consiste à donner une activité connue pour chaque étiologie afin de produire l'effet escompté.

- ✓ La maladie de Basedow : 444 MBq (12 mCi)
- ✓ Goitre basedowifié : 555 MBq (15 mCi)

✓ Goitre toxique et pré-toxique : 740–925 MBq (20–25 mCi)

✓ Nodule toxique : 925 MBq (25 mCi)

✓ Goitre hyperavide : 185–555 MBq (5–15 mCi) :

✚ Masse thyroïde < 30gr $\Rightarrow A = 185 \text{ MBq}$

✚ Masse thyroïde > 30gr et < 60gr $\Rightarrow A = 370 \text{ MBq}$

✚ Masse thyroïde > 60gr $\Rightarrow A = 555 \text{ MBq}$

Chez l'enfant et l'adolescent, l'activité à administrer sera calculée par multiplication de l'activité recommandé pour l'adulte par les coefficients établis par l'European Association of Nuclear Medicine (Annexe 4).

VII. Evolution et surveillance :

✓ Après l'administration de l'irathérapie, quatre situations cliniques peuvent se rencontrer : l'euthyroïdie, l'hypothyroïdie, l'hyperthyroïdie transitoire ou l'hyperthyroïdie définitive.

✓ Pour cela, une stratégie de surveillance est instaurée :

✚ Consultation programmée 6 semaines après l'irathérapie : évaluation clinique et biologique par LT4.

✚ Consultation à 3 mois : évaluation clinique et biologique par TSH et LT4.

✚ Consultation à 6 mois et à 12 mois en parallèle avec l'endocrinologue pour mieux juger l'efficacité du traitement.

✓ Une consultation d'évaluation précoce (2 semaines) est instaurée en cas d'orbitopathie basedowienne mise sous corticothérapie.

✓ En cas d'échec de la 1^{ère} cure d'irathérapie, une 2^{ème} peut être programmer à 6 mois de la 1^{ère} après obtention d'une euthyroïdie.

CONCLUSION

Le progrès qu'a connu la médecine nucléaire sur ses volets diagnostique et thérapeutique, a fait d'elle une pierre angulaire dans la prise en charge des patients au quotidien et a augmenté sa prescription par les cliniciens.

De ce fait, l'élaboration d'un guide de protocoles et d'interprétation des examens scintigraphiques et thérapeutique contribuerait à uniformiser le déroulement des examens et à aider le personnel médical et paramédical dans leur apprentissage.

Ce travail est le fruit de la collaboration de l'équipe médicale et paramédicale du service de médecine nucléaire de CHU HASSAN II de Fès.

RÉSUMÉ

La médecine nucléaire est une spécialité qui regroupe l'ensemble des applications médicales de la radioactivité et comprend deux volets, diagnostique représenté par les examens scintigraphiques et thérapeutique qui consiste en la radiothérapie interne vectorisée.

La scintigraphie monophotonique est un examen d'imagerie médicale qui étudie la fonction d'un organe ou une cible après l'administration d'un produit radiopharmaceutique.

La radiothérapie interne vectorisée consiste à irradier un tissu, tumoral ou non, par un radiopharmaceutique émetteur d'un rayonnement de haute énergie.

Le service de Médecine Nucléaire de CHU Hassan II de Fès, depuis son inauguration en 2012, réalise en moyenne 1700 examens scintigraphiques/an et 246 irathérapie/an.

La réalisation d'une scintigraphie ou d'une irathérapie repose sur un travail d'équipe entre l'infirmier, le manipulateur et le médecin nucléaire et passe par cinq étapes :

- ✓ La consultation pré scintigraphique ou pré-irathérapie qui permet d'évaluer l'état du patient et de recueillir les données cliniques et paracliniques afin d'établir un dossier médical et de lui expliquer le déroulement de l'examen et les mesures de radioprotection.
- ✓ La préparation du produit radiopharmaceutique au laboratoire chaud

- ✓ L'administration du radiopharmaceutique le plus souvent par voie intraveineuse pour la scintigraphie et par voie orale pour l'irathérapie.
- ✓ L'acquisition des images scintigraphiques à l'aide d'une gamma caméra SPECT CT Symbia T6
- ✓ L'interprétation de l'examen et l'élaboration du compte rendu pour répondre à la question du clinicien.

L'élaboration d'un guide de protocoles et d'interprétation vient répondre à un besoin capital pour la réalisation et l'interprétation des examens scintigraphiques de façon consensuelle.

L'objectif de notre travail est :

- ✓ L'uniformisation des protocoles scintigraphiques ce qui pourrait optimiser les réponses aux questions des cliniciens et de réduire le nombre d'examens à refaire.
- ✓ La standardisation des algorithmes de la prise en charge des cancers différenciés de la thyroïde et des hyperthyroïdies.
- ✓ Proposer pour chaque type d'examen une liste des anomalies à rechercher et des items à valider pour la rédaction du compte rendu en vue d'une prise en charge optimale.
- ✓ Guider le personnel médical et paramédical dans leurs premiers pas pour l'apprentissage des examens scintigraphiques.

Ces protocoles établis peuvent servir de guide et de support de travail, qui sera sujet à un perpétuel renouvellement en fonction de l'évolution technologique et de l'état des connaissances.

Liste des tableaux

Tableau 1: Traitements susceptibles de modifier les résultats de la scintigraphie osseuse	33
Tableau 2 : Caractéristiques physiques du 99m Technétium	34
Tableau 3 : les médicaments interférant avec la fixation thyroïdienne	53
Tableau 4 : Caractéristiques physiques de 131 iode	88
Tableau 5 : Score de Genève modifié	113
Tableau 6 : Délai d'arrêt de médicaments et substances contenant l'iode stable	169
Tableau 7 : Classification 2017 de l'atteinte ganglionnaire métastatique et leur recommandation thérapeutique	175
Tableau 8 : Classification pTNM 8ème édition (2017)	176
Tableau 9 : Stadification des groupes à risque de récurrence	177
Tableau 10 : Le délai d'arrêt des médicaments et autres substances contenant de l'iode	191

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Composition d'un radiotracer	11
Figure 2 : Caméra à scintillation	12
Figure 3 : Relation entre les débits équivalents de doses et les distances ...	16
Figure 4 : Critère de normalité d'une scintigraphie osseuse planaire.....	40
Figure 5 : Méthode combinée double phase double traceur adopté au service	64
Figure 6 : Mécanisme de captation, de stockage et de relargage de la MIBG	89
Figure 7 : Acquisitions stress-repos réalisées le même jour.....	104
Figure 8 : Acquisitions repos-stress réalisées le même jour.....	104
Figure 9 : Segmentation cardiaque selon l'American College of Cardiology (Bull's eye).....	107
Figure 10 : Les critères PIOPED modifiés.....	123
Figure 11 : Rôle essentiel de la taille des particules dans la détermination du nombre de ganglions fixant.	130
Figure 12: Courbe d'évolution de l'activité au cours du temps	157
Figure 13 : Schéma récapitulatif des indications du traitement initial par iode 131 (après thyroïdectomie totale)	178
Figure 14 : Arbre décisionnel de la prise en charge de la maladie persistante ou récidivante.....	185

Liste des références

- 1– The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. T. Van den Wyngaert, K. Strobel, W. U. Kampen, T. Kuwert, W. van der Bruggen, H. K. Mohan, G. Gnanasegaran, R. Delgado-Bolton, W. A. Weber, M. Beheshti, W. Langsteger, F. Giammarile, F. M. Mottaghy, F. Paycha, On behalf of the EANM Bone and Joint Committee and the Oncology Committee. Eur J Nucl Med Mol Imaging (2016) 43:1723–1738.
- 2– Guide pour la rédaction de protocole pour la scintigraphie osseuse. Frédéric Paycha, Astrid Girma, Philippe Granier, Emmanuelle Barré, Pierre Malick Koulibaly, Claire Bruna-Muraille. Société Française de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire. 13 septembre 2012.
- 3– Exploration scintigraphique du squelette. F Paycha, B Richard. Encyclopédie Médico-Chirurgicale 30-480-A-10.
- 4– Protocole pour la rédaction de protocole pour la scintigraphie thyroïdienne diagnostique. Marie Calzada-Nocaudie, I. Gardin, Stéphane Bardet, Catherine Beckers, Ch Benhabib; Bodogan Catargi, Claire Gibold, JL Kraimps, JL Wémeau, Hervé Monpeyssen. Groupe de travail "Chirurgie endocrinienne Médecine Nucléaire Endocrinologie" (CEMEN) Société Française de Médecine Nucléaire et d'Imagerie Moléculaire (SFMN). 29 juin 2006.
- 5– Guide pour la rédaction de protocoles pour la scintigraphie des glandes parathyroïdes. E. Barré, C. Billotey, M. Calzada, E. Hindié, D. Huglo, C. Jeanguillaume, I. Keller-Pétrot, J. Monteil, V. Moullart, A. Mure, D. Taïeb .

Société Française de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire.
24/10/2010.

- 6– The EANM practice guidelines for parathyroid imaging. Petra Petranović Ovčariček, Luca Giovanella, Ignasi Carrió Gasset, Elif Hindié, Martin W. Huellner, Markus Luster, Arnaldo Piccardo, Theresia Weber, Jean-Noël Talbot, Frederik Anton Verburg. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging (2021) 48:2801–2822.
- 7– Guide pour la rédaction de protocoles pour la scintigraphie des récepteurs de la somatostatine. R Lebtahi, M. Calzada, B.O. Helal, G. Cadiot, E. Mitry, P. Ruzsniowski. Groupe de travail Endocrinologie – Chirurgie Endocrinienne – Médecine Nucléaire de la SFMN (Société Française de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire), la SFE (Société Française d'Endocrinologie), le GTE (Groupe des Tumeurs Endocrines) et l'AFCE (Association Francophone de Chirurgie Endocrinienne). 04/07/2009.
- 8– Guide pour la rédaction de protocoles pour la scintigraphie à la MIBG dans les bilans de tumeurs endocrines type phéochromocytomes et paragangliomes chez l'adulte. J. Bertherat, V. Causse Lemerrier, N. Valli. Société Française d'Endocrinologie. 20 juin 2006 .
- 9– Guide pour la rédaction de protocoles pour la tomoscintigraphie de perfusion myocardique. C. Coaguila, D. Daou, W. Djaballah, A Manrique, PY Marie, F. Rouzet, B. Songy, N. Valli, P. Weinmann pour le groupe de travail Cardiologie Nucléaire. Société Française de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire. 11/01/2012.

- 10- Guide pour la rédaction de protocoles pour la scintigraphie pulmonaire
SFMN guideline for lung scintigraphy protocols P.-Y. Le Roux, F. Blanc-
Béguin, P.-B. Bonnefoy, D. Bourhis, S. Camilleri, C. Moreau-Triby, J.-B.
Pinaquy, P.-Y. Salaun. Société Française de Médecine Nucléaire et
Imagerie Moléculaire. 15/06/2020.
- 11- Guide pour la rédaction de protocole pour la recherche de ganglion
sentinelle dans le cancer du sein, le mélanome et d'autres indications. JP
Alfonsi, M Benamor, A Bischof Delaloye, JC Bourre, G Houvenaeghel, J
Lumbroso, C Nos, JF Rodier, JP Vuillez. Groupe " Oncologie " de la SFMN
et de la FNCLCC. 29/03/2010.
- 12- Guide pour la rédaction de protocoles pour La scintigraphie rénale au
99mTc-DMSA. F. Archambaud, F. Bonnin, J. Guillet, J. Le Cloarec, JM
Ramackers. Société Française de Biophysique et de Médecine Nucléaire
(SFBMN). 20 octobre 2005.
- 13- SNMMI procedure standard/EANM practice guideline on pediatric 99mTc-
DMSA renal cortical scintigraphy: an update. Reza Vali · Ian S. Armstrong ·
Zvi Bar-Sever · Lorenzo Biassoni · Lise Borgwardt · Justin Brown. Frederick
D. Grant · Gerald A. Mandell · Massoud Majd · Helen R. Nadel · Thomas S.
C. Ng. Isabel Roca-Bielsa · Taryn J. Rohringer · Ana Isabel Santos · Victor
Seghers · Nader Shaikh · S. Ted Treves. Teresa Zafno-Nevrotsky · Pietro
Zucchetta · Ruth Lim. Clinical and Translational Imaging (2022) 10:173-
184.
- 14- Dynamic renal imaging in obstructive renal pathology : A Technologist's
Guide. Hans François, Suzanne Dennen, Ariane Boubaker, Greet Lapeirre,

Anne Richardson, Iris Van den Heuvel, Campbell McCullough. European Association of Nuclear Medicine.

- 15– Guide pour la rédaction de protocoles pour La scintigraphie rénale dynamique chez l'enfant. F. Archambaud, F. Bonnin, J. Guillet, J. Le Cloarec, JM Ramackers. Société Française de Biophysique et de Médecine Nucléaire (SFBMN). 20 octobre 2005.
- 16– Guide pour la rédaction de protocoles de traitement par iode 131 et de suivi des cancers thyroïdiens papillaires et vésiculaires. A. Aurengo S. Bardet, J.L. Baulieu, F. Bussière, C. Corone, I. Gardin, T. Kiffel, M. Calzada–Nocaudie, M. Ricard, M. Schlumberger, M.E. Toubert, C. Schvartz. Groupe de travail "Chirurgie endocrinienne Médecine Nucléaire Endocrinologie" (CEMEN) Société Française de Médecine Nucléaire (SFBMN). 29/08/2005.
- 17– Traitement par iode 131 des cancers thyroïdiens différenciés : recommandations 2017 des sociétés françaises SFMN/SFE/SFP/SFBC/AFCE/SFORL. S. Zerdoud a*, S. Leboulleux b, J. Clerc c, L. Leenhardt d, C. Bournaud e, A. Al Ghuzlan f, I. Keller g, S. Bardet, A.–L. Giraudet i, L. Groussin j, F. Sebag k, R. Garrel l, P.–J. Lamy m,n, M.–E. Toubert o, É. Mirallié p, E. Hindié q, D. Taïe. 0928–1258 ; 2017 Elsevier Masson SAS.
- 18– The EANM guideline on radioiodine therapy of benign thyroid disease. Alfredo Campennì, Anca M. Avram, Frederik A. Verburg, Ioannis Iakovou, Heribert Hänscheid, Bart de Keizer, Petra Petranović Ovčariček, Luca

Giovanella. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging
(2023) 50:3324–3348.

ANNEXES

Annexe 1 : Liste des médicaments pouvant interagir avec la MIBG et leurs durées d'arrêt

Médicaments sympathomimétiques et cardiovasculaires	
Les antiarythmiques	
Amiodarone	Non arrêté en pratique
Alpha et bêta-bloquant combinés	
Labetalol	72 h
Bloqueurs des neurones adrénergiques	
Brethylum	48 h
Guanethidine	48 h
Reserpine	48 h
Alpha- bloquant	
Phenoxybenzamine (IV)	15 jours
Les inhibiteurs calciques	
Amlodipine	48 h
Diltiazem	24 h
Felodipine	48 h
Isradipine	48 h
Lacidipine	48 h
Lercanidipine	48 h
Nicardipine	48 h
Nifedipine	24 h
Nimodipine	24 h
Nisoldipine	48 h
Verapamil	48 h

Sympathomimétiques inotropes	
Dobutamine	24 h
Dopamine	24 h
Dopexamine	24 h
Sympathomimétiques vasoconstricteurs	
Ephedrine	24 h
Metaraminol	24 h
Norepinephrine	24 h
Phenylephrine	24 h
Beta 2 stimulants (sympathomimetiques)	
Salbutamol	24 h
Terbutaline	24 h
Eformoterol	24 h
Bambuterol	24 h
Fenoterol	24 h
Salmeterol	24 h
Décongestionnants nasaux systémiques et locaux, préparations composées contre la toux et le rhume	
Pseudoephedrine	48 h
Phenylephrine	48 h
Ephedrine	24 h
Xylometazoline	24 h
Oxymetazoline	24 h
Sympathomimétiques pour le glaucome	
Brimonidine	48 h
Dipivefryne	48 h

Médicaments neurologiques	
Neuroleptiques	
Chlorpromazine	24 h
Benperidol	48 h
Flupentixol	48 h
Fluphenazine	24 h
Haloperidol	48 h
Levomepromazine	72 h
Pericyazine	48 h
Perphenazine	24 h
Pimozide	72 h
Pipotiazine	1 mois
Sulpiride	48 h
Thioridazine	24 h
Trifluoperazine	48 h
Zuclopenthixol	24 h
Amisulpride	72 h
Clozapine	7 jours
Olanzapine	7–10 jours
Quetiapine	48 h
Risperidone	5 jours
Sertindole	15 jours
Zotepine	5 jours
Antihistaminiques sédatifs	
Promethazine	24 h
Analgésiques opioïdes	
Tramadol	24 h
Antidépresseurs tricycliques	

Amitriptyline	48 h
Amoxapine	48 h
Clomipramine	24 h
Dosulepin (Dothiepin)	24 h
Doxepin	24 h
Imipramine	24 h
Lofepramine	48 h
Nortriptyline	24 h
Trimipramine	48 h
Maprotiline	48 h
Mianserin	48 h
Trazolone	48 h
Venlafaxine	48 h
Mirtazepine	8 jours
Reboxetine	3 jours
Stimulants du SNC	
Amphetamines, e.g. Dexamfetamine	48 h
Atomoxetine	5 jours
Methylphenidate	48 h
Modafinil	72 h
Cocaine	24 h
Caffeine	24 h

Annexe 2 : Fiche posologique pédiatrique de l'Association européenne de médecine nucléaire (EANM), l'activité de MIBG-131I administrée aux enfants et aux adolescents peut être calculée en multipliant une activité de base par le facteur de correction dépendant du poids indiqué dans le tableau ci-dessous :

Poids de l'enfant	Dose (x dose de l'adulte)		Poids de l'enfant	Dose (x dose de l'adulte)
3 kg	0.1		32 kg	0.65
4 kg	0.14		34 kg	0.68
6 kg	0.19		36 kg	0.71
8 kg	0.23		38 kg	0.73
10 kg	0.27		40 kg	0.76
12 kg	0.32		42 kg	0.78
14 kg	0.36		44 kg	0.80
16 kg	0.40		46 kg	0.82
18 kg	0.44		48 kg	0.85
20 kg	0.46		50 kg	0.88
22 kg	0.50		52-54 kg	0.90
24 kg	0.53		56-58 kg	0.92
26 kg	0.56		60-62 kg	0.96
28 kg	0.58		64-66 kg	0.98
30 kg	0.62		68 kg	0.99

[illegible]

Annexe 4 : Fiche posologique pédiatrique de l'Association européenne de médecine nucléaire (EANM), l'activité administrée d'iode 131 aux enfants et aux adolescents peut être calculée en multipliant une activité de base par le facteur de correction dépendant du poids indiqué dans le tableau ci-dessous :

3 kg = 0,10	22 kg = 0,50	42 kg = 0,78
4 kg = 0,14	24 kg = 0,53	44 kg = 0,80
6 kg = 0,19	26 kg = 0,56	46 kg = 0,82
8 kg = 0,23	28 kg = 0,58	48 kg = 0,85
10 kg = 0,27	30 kg = 0,62	50 kg = 0,88
12 kg = 0,32	32 kg = 0,65	52-54 kg = 0,90
14 kg = 0,36	34 kg = 0,68	56-58 kg = 0,92
16 kg = 0,40	36 kg = 0,71	60-62 kg = 0,96
18 kg = 0,44	38 kg = 0,73	64-66 kg = 0,98
20 kg = 0,46	40 kg = 0,76	68 kg = 0,99