



UNIVERSITE LILLE 2 DROIT ET SANTE
FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG

Année : 2016

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE

Apport de la tomoscintigraphie couplée à la TDM dans les douleurs chroniques post-traumatiques ou malformatives du pied pour le chirurgien orthopédique.

Présentée et soutenue publiquement le 15 /06/2015 à 18 h
Au Pôle Recherche
Par Charles Leprince

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Damien Huglo

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Carlos Maynou

Monsieur le Professeur Xavier Demondion

Monsieur le Docteur Grégory Petyt

Directeur de Thèse :

Madame le Docteur Claude Hossein Foucher

Avertissement

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

Liste des abréviations

HAS	Haute Autorité de Santé
HDP	Hydroxy méthylène diphosphonates
MPR	multi planar reconstruction
PDL	produit dose longueur
kV	kilovolt
mA	milli ampère
mGy	milli grays
SPECT	single photon emission computed tomography
CT	computed tomography
IRM	imagerie par résonnance magnétique
VPP	valeur prédictive positive
VPN	valeur prédictive négative

Table des matières

RESUME	1
INTRODUCTION	2
RAPPELS	3
A. Anatomie de la cheville et du pied et de biomécanique	3
B. Physiopathologie de l'arthrose	12
C. Epidémiologie des douleurs chroniques du pied et de la cheville	15
1. Epidémiologie des différentes atteintes articulaires	15
2. Prise en charge des atteintes dégénératives du pied et de la cheville	20
C. Imagerie morphologique du pied et de la cheville	23
2. Radiographie standard	23
2. Echographie.	29
3. Scanner et arthroscanner.	30
4. IRM	32
D. Médecine nucléaire	36
1. Principe de la scintigraphie	36
2. La scintigraphie osseuse	40
3. La tomoscintigraphie par émission monophotonique osseuse couplée au scanner (TEMP/TDM) ou SPECT CT.	44
MATERIELS ET METHODES	47
A. Description de la population étudiée	47
1. Critères d'inclusion et d'exclusion	47
2. Caractéristiques des patients (tableau 1)	48
B. Protocole d'acquisition	50
1. Scintigraphie osseuse	50
2. Tomoscintigraphie couplée à la TDM	50
3. Critères d'interprétation des examens	51

4. Analyse statistique	52
RESULTATS	54
DISCUSSION	63
CONCLUSION	67
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	69
ANNEXES	75
ANNEXE 1 : CLASSIFICATION DE WEBER	75

RESUME

Contexte : Le développement de la tomoscintigraphie puis de l'hybridation avec la TDM permettant les images fusionnées SPECT/CT (single photon emission computed tomography) a révolutionné les indications de la scintigraphie osseuse. L'objectif de notre travail est d'évaluer d'une part son apport diagnostique et d'autre part son influence sur la prise en charge dans les douleurs chroniques de la cheville et du pied.

Méthode : Nous avons analysé de façon rétrospective, 65 patients (totalisant 106 articulations) ayant reçu une scintigraphie osseuse complétée par une SPECT CT du pied et/ou de la cheville, de Décembre 2012 à Octobre 2014. Nous avons divisé les patients en trois groupes selon l'articulation suspectée au départ par le chirurgien orthopédique. Le groupe A soit l'arrière pied pour les atteintes des articulations talo-crutale et sous taliennes. Le groupe B soit le médio-pied pour les atteintes de la sous talienne antérieure et de l'interligne articulaire de Chopart. Le groupe C soit l'avant pied pour les atteintes de l'interligne articulaire de Lisfranc, des intercunéennes ou naviculo-cunéennes et cuboïdo-cunéennes.

Résultats : L'analyse des SPECT CT montre un taux de discordance clinico-scintigraphique de 45%. Elles sont plus fréquentes en cas d'atteinte polyarticulaire : $p < 0,000001$ IC 95% [3,99 ; 199,07]. Par articulation nous retrouvons une sensibilité de 97%, une spécificité de 77%, une VPP de 91% et une VPN de 92%. Nous observons un changement dans la prise en charge du patient dans 37% des cas (23/65) mais ils étaient plus fréquents dans les atteintes polyarticulaires, le taux de changement passant à 61% (14/23), $p = 0,002$ IC 95% [0,0495 ; 0,61]. L'analyse par groupe articulaire montre un taux de modification de la prise en charge post SPECT CT dans 32% (17/53) dans le groupe A, de 36% (5/14) dans le groupe B, et 17% (1/6) dans le groupe C. Quand le résultat scintigraphique est pris en compte, il y a 83% (45/54) de bonne évolution clinique tandis qu'en cas contraire, le taux d'évolution favorable baisse à 73% (8/11). Cette différence n'est pas statistiquement significative avec $p = 0,412$ IC 95% [0,266 ; 9,33].

Conclusion : Notre travail confirme l'intérêt diagnostique croissant des techniques de SPECT CT dans les pathologies du pied et de la cheville. Si, à court terme, les modifications thérapeutiques apportées semblent bénéfiques, il reste cependant à confirmer cette impression sur le long terme.

INTRODUCTION

La scintigraphie osseuse est un examen d'imagerie utilisée depuis plus d'un demi-siècle, qui a bénéficié de nombreuses améliorations technologiques ces dernières années. Mais c'est le développement de la tomoscintigraphie puis de l'hybridation avec la TDM permettant les images fusionnées SPECT/CT (single photon emission computed tomography) qui a révolutionné les indications de la scintigraphie osseuse(1). Ses indications « historiques » connues en oncologie, rhumatologie et traumatologie ont alors évolué, le couplage scintigraphie TDM permettant un très net gain de l'examen en spécificité,

En effet, dans le service nous avons assisté à une nette augmentation des demandes d'examen recherchant, en particulier, la localisation précise d'une symptomatologie douloureuse alors que l'imagerie morphologique seule ne pouvait conclure.

L'objectif de notre travail est donc de faire le bilan de l'apport de la tomoscintigraphie osseuse couplée au scanner dans les douleurs chroniques de la cheville et du pied, d'en évaluer d'une part l'apport diagnostique pour le chirurgien orthopédiste, et d'autre part d'étudier son influence éventuelle sur la décision thérapeutique finale, et sur l'évolution des patients après traitement qu'il soit chirurgical ou non.

Rappels

A. Anatomie de la cheville et du pied et de biomécanique

Le pied, extrémité distale du membre inférieur portant le poids du corps et permettant la locomotion, est composé de 26 os et dénombre 32 articulations.

On peut le diviser d'arrière en avant en trois groupes d'os :

- Le tarse composé du talus, du calcaneus, du naviculaire et du cuboïde et des trois os cunéiformes.
- Le métatarse composé des 5 métatarsiens.
- Les phalanges, 2 pour l'hallux, 3 pour les autres orteils.

Il est rattaché au reste du membre inférieur par l'articulation de la cheville ou talo-crurale.

Le tarse se divise en:

- Le tarse postérieur, composé du talus, os court de forme cubique qui s'articule vers le haut avec la mortaise tibio-fibulaire formant l'articulation talo-crurale, du calcaneus, os parallélépipédique débordant vers l'arrière en formant le talon, s'articulant avec le talus en 3 articulations sous taliennes postérieure, moyenne, et antérieure.
- Le tarse antérieur, composé de la partie antérieure du calcaneus (ou rostre), du naviculaire s'articulant en arrière avec le talus formant l'articulation **talo-naviculaire** et en avant avec les trois cunéiformes, du cuboïde s'articulant en arrière avec le calcaneus et en avant avec les deux derniers métatarsiens.

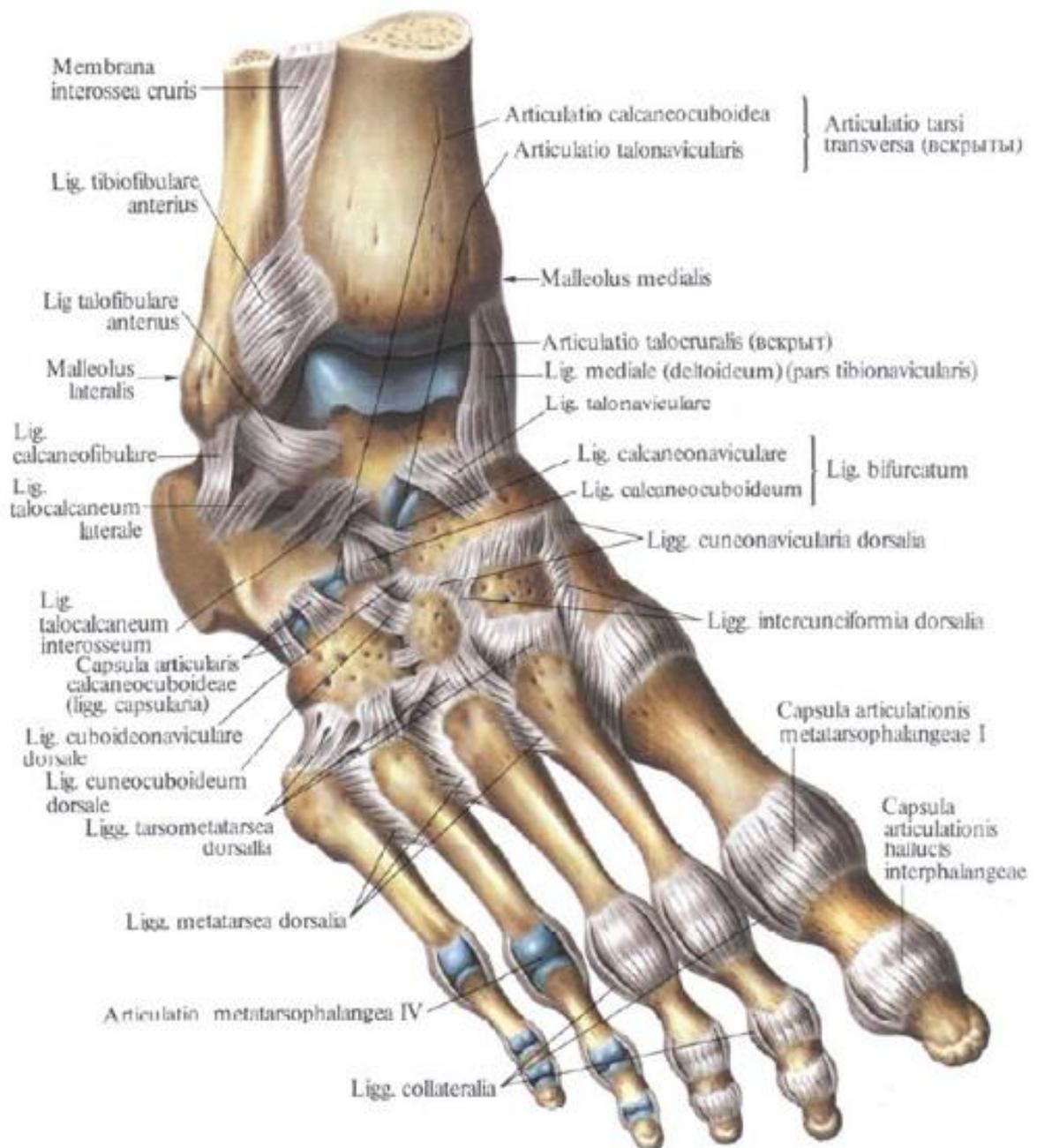


Figure 1 vue d'ensemble des os et ligaments de la cheville et du pied.

Le pied dénombre 32 articulations toutes synoviales sauf l'articulation cuboïd-naviculaire qui est une syndesmose.

On peut également diviser le pied en sous-groupes articulaires :

- L'arrière pied ou hind foot en anglo-saxon comprenant

L'articulation **talo-crurale** qui correspond à la cheville.(2)

De type ginglyme ou trochléenne elle autorise des mouvements de flexion plantaire et dorsale. Composée des surfaces articulaires du pilon tibial, de la face médiale de l'extrémité inférieure de la fibula et du dôme talien, elle présente une forme de mortaise fixée par les ligaments collatéraux externe et interne. (Cf. figure 2)

Les 3 articulations sous taliennes : la postérieure, séparée des moyenne ou médiale et antérieure par le sinus du tarse.

Articulations très sollicitées car elles permettent au pied de s'adapter au sol et de réaliser un axe rigide lors du décollement du talon (3). (Cf. figure 3)

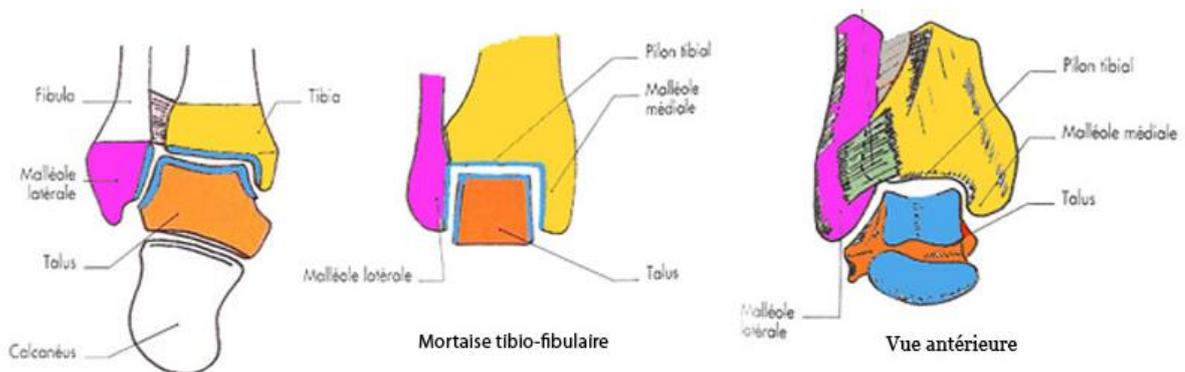


Figure 2 vue sagittale et antérieure de l'articulation talo-crurale

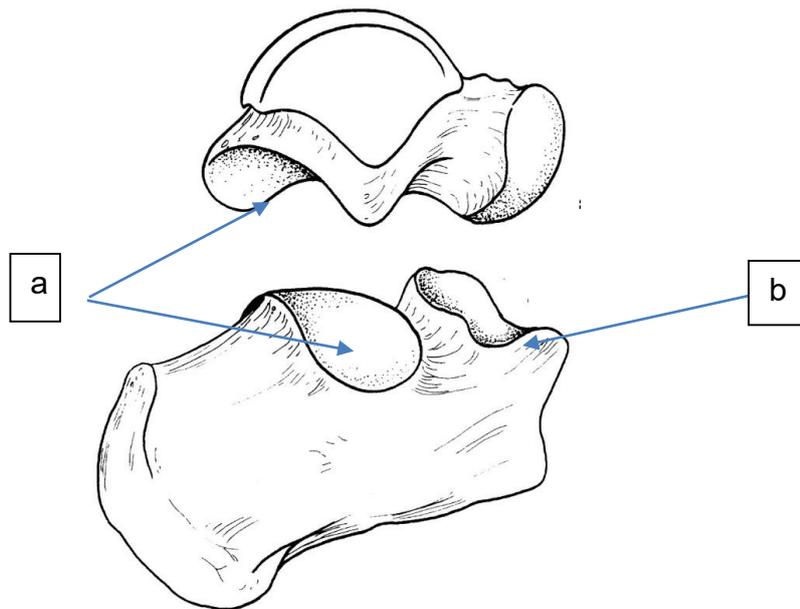


Figure 3 vue latérale des surfaces articulaires des sous taliennes postérieures (a) et antérieure (b)

- Le médio-pied ou mid-foot comprenant :

L'interligne articulaire de Chopart composé à sa partie médiale de l'articulation **talo-naviculaire** de type énarthrose (mobile dans tous les sens) et à sa partie latérale de la **calcaneó-cuboidienne** de type en selle. Véritable clé de voute de l'architecture du pied car situées au sommet des arches médiales et latérales (cf. figure 4)

- Le pied antérieur ou fore-foot comprenant

Les articulations intercunéennes de type arthrodies (deux surfaces planes peu mobiles maintenues en contact par une capsule fibreuse)

, l'interligne articulaire de Lisfranc joignant le tarse au métatarse, ainsi que les articulations métatarso-phalangiennes et inter-phalangiennes. (Cf. figure 4)

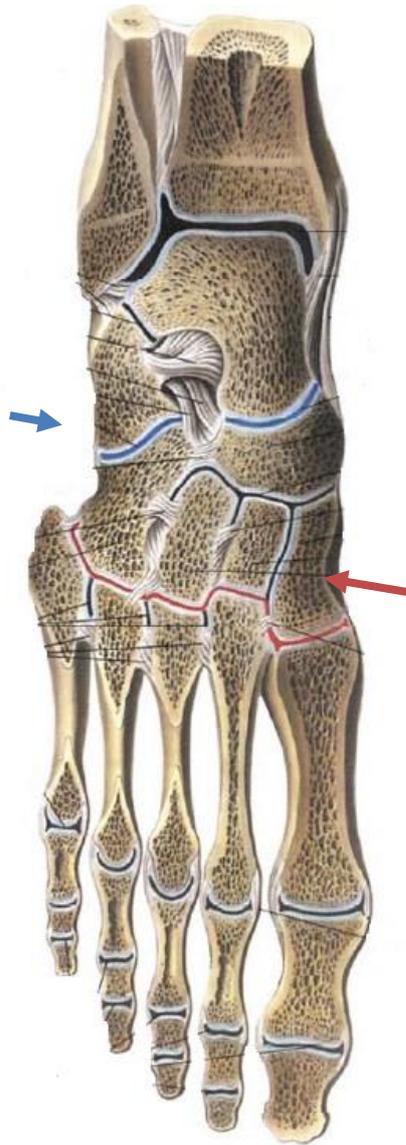


Figure 4 Coupe oblique du pied dégagant les interligaments articulaires de Chopart (en bleu) et de Lisfranc (en rouge)

D'un point de vue biomécanique, le pied est un organe déformable, qui doit s'adapter à la statique pour maintenir l'appui et aux forces dynamiques pour permettre le déplacement. Pour cela il existe un ajustement mécanique entre la structure rigide ostéo-ligamentaire et les structures qui assurent la dynamique à savoir les muscles et les tendons évitant l'affaissement de l'organisation en voute du pied qui repose en arrière sur la tubérosité calcanéenne et en avant sur la " ligne " métatarsienne.

Le pied statique comprend trois points d'appui au sol (4)

- Un appui postérieur sur les tubérosités médiale et latérale du calcanéum
- Un appui antéro-médial sur la tête du premier métatarsien
- Un appui antérolatéral sur la tête du cinquième métatarsien

Entre ces points d'appui se définissent trois arches

- L'arche médiale : du calcanéum jusqu'à la tête du premier métatarsien et aux sésamoïdes de l'hallux en passant par le naviculaire, s'allonge et s'abaisse lorsque le pied est en charge.
- L'arche latérale : de la tubérosité latérale du calcanéum jusqu'à la tête du cinquième métatarsien en passant par le cuboïde, résistante, forme un point d'appui à la marche
- L'arche antérieure, transversale de la première à la cinquième tête métatarsienne peu résistante porte le poids du corps à la fin du pas.

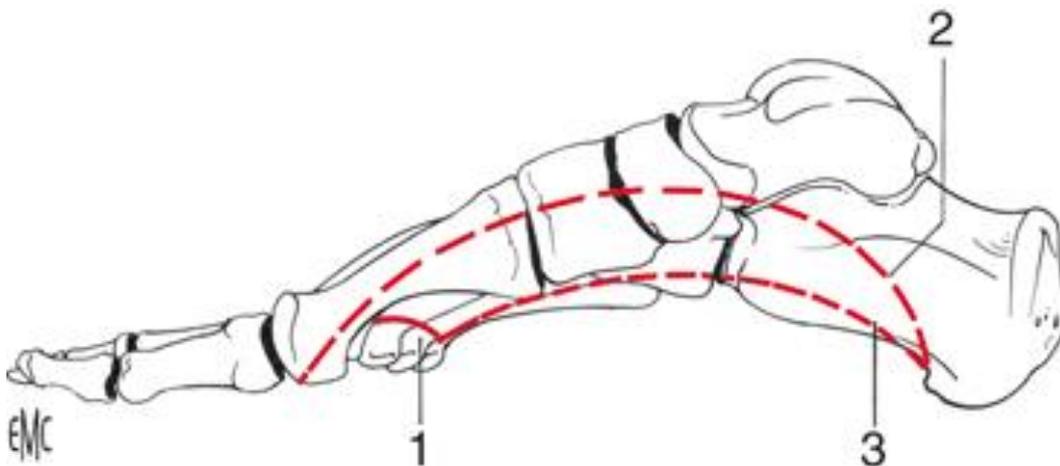


Figure 5 les trois arches du pied : antérieure (1) latérale (2) et médiale (3)

On peut étudier cliniquement l'assise plantaire en charge, à l'aide d'un podoscope (5).

L'aspect normal, retrouve une bande latérale correspondant à 1/3 de la largeur de la bande transversale métatarsienne. (Cf. figure 6)

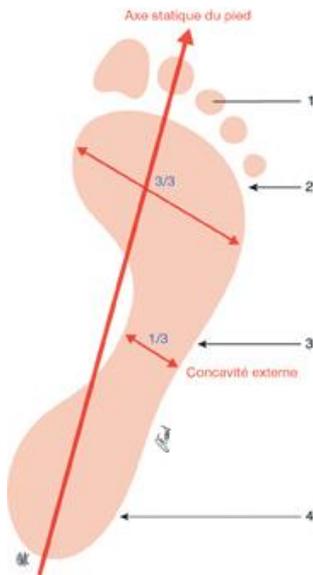


Figure 6 assise normale du pied au podoscope

Chez un patient présentant un pied plat, où il existe un effondrement de l'arche médiale, on retrouve une augmentation de la largeur de la bande latérale qui dépasse le $\frac{1}{3}$ de la bande métatarsienne. Cette augmentation présente trois degrés (cf. figure 7)



Figure 7 Aspect au podoscope d'un pied creux A grade 3 B grade 2 C grade 1

De la même façon pour le pied creux on retrouve un amincissement voire une disparition de la bande latérale qui présente également trois stades.



Figure 8 Aspect au podoscope d'un pied creux A grade 1 B grade 2 > c grade 3

Complétant la statique du pied, l'étude de la mobilisation articulaire est une étape indispensable dans le diagnostic de la pathologie de la cheville et du pied.

De par la conformation articulaire de la cheville, il est classiquement admis un seul plan de mouvement en flexion dorsale (30°) par le tibial antérieur et l'extenseur des orteils et extension ou flexion plantaire (40°) par le tibial postérieur, le fléchisseur des orteils, les fibulaires et le triceps sural. (1)

Les autres mouvements d'amplitude minime participent de façon non négligeable à la mobilité de l'ensemble du pied.

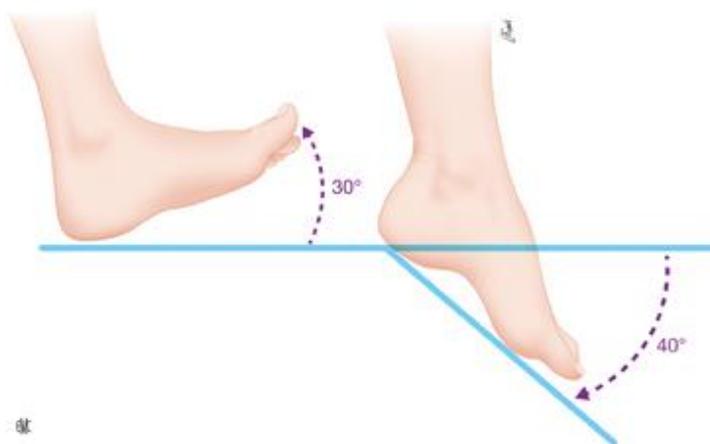


Figure 9 schéma des amplitudes articulaires de la cheville

Au niveau du pied, différents mouvements : flexion / extension, abduction / adduction rotations interne/externe, concernant les articulations talo-crurale, sous talienne, de Chopart et le premier rayon, se combinent pour donner deux cinétiques globales du pied :

- L'inversion : flexion plantaire + adduction + rotation externe (muscles postéro-médiaux)
- L'éversion : flexion dorsale + abduction + rotation interne (muscles antéro-latéraux)

Ces mouvements permettent une torsion entre l'avant pied et l'arrière pied pour permettre aux trois points d'appui du pied de s'ajuster finement au terrain et servent également de propulsion lors de la marche.

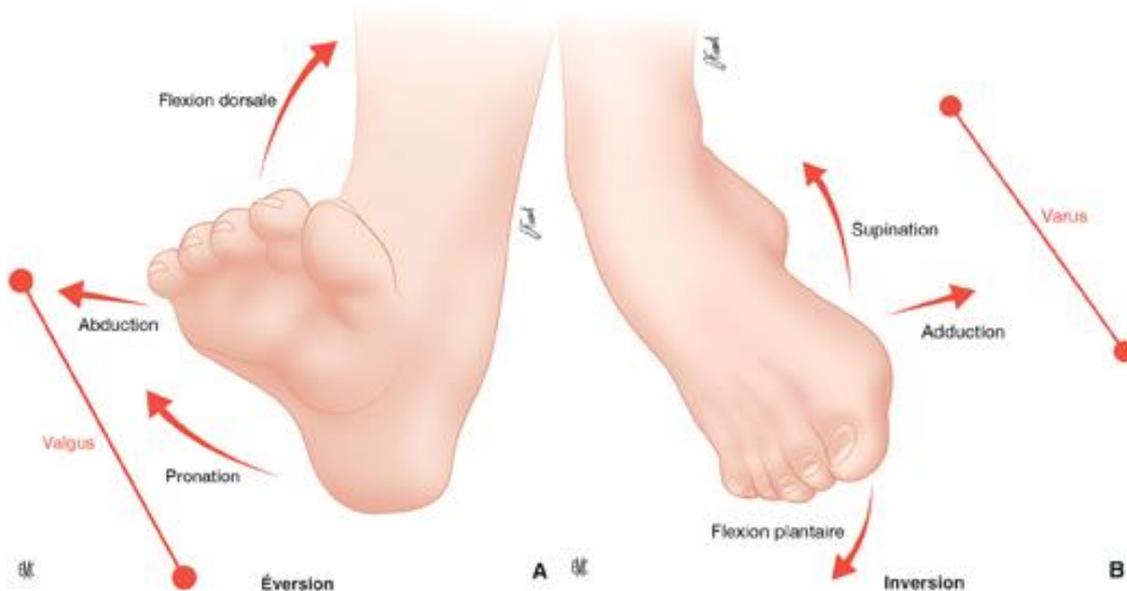


Figure 10 Schéma de l'éversion (A) et de l'inversion du pied (B)

B. Physiopathologie de l'arthrose

Les connaissances ont énormément progressé ces dernières années faisant considérer l'arthrose une maladie moléculaire et inflammatoire et non plus seulement comme une maladie purement mécanique (6).

Le cartilage normal est composé principalement de 3 éléments

- Les **chondrocytes**, cellules qui à l'état normal se divisent peu.
- La matrice extracellulaire (MEC) composée d'un réseau de fibres de collagène de type II, des **protéoglycanes** où s'attachent des sucres (glycosaminoglycanes) ayant un fort pouvoir hydrophile.
- Un espace péri-cellulaire où se trouvent les **mécanorécepteurs** qui jouent un rôle de transmission et influencent le métabolisme et la différenciation cellulaire des chondrocytes.

Si on ne connaît pas encore tous les facteurs déclenchants de la maladie anatomique, la surcharge et le stress mécanique jouent un rôle vraisemblable (7). Ils peuvent conduire à des phénomènes d'apoptose et de dégradation de la matrice extracellulaire par modification du métabolisme du chondrocyte aboutissant à la destruction du cartilage et à la mise à nu de l'os sous chondral.

A un stade précoce, des phénomènes de réparation essaient d'enrayer le processus. Tout d'abord, par un mécanisme encore incomplètement compris, des cytokines pro-inflammatoires induisent la libération de facteurs de croissance responsables de l'augmentation de la synthèse des composants de la MEC. Il y a donc une majoration de la production des protéoglycanes parallèlement aux premières cassures du collagène créant une inflation hydrique néfaste pour le cartilage. Mais rapidement la synthèse des fibres de collagène devient insuffisante pour compenser leur dégradation. Ce turn-over débute au niveau des couches superficielles du cartilage.

Ces facteurs de croissances sont également responsables d'une division cellulaire des chondrocytes, jusque-là sidérés dans le cartilage, qui évoluent en chondrocytes hypertrophiques ayant une forte activité catabolique pour les protéoglycanes et le collagène de type II. Celui-ci se transforme en superficie tout d'abord, en collagène de type I, III, et X.

→ Il y a donc échec de la réparation (6).

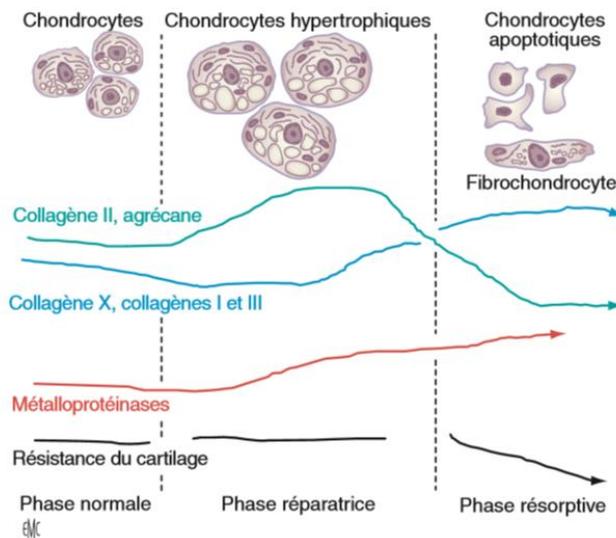


Figure 11 Evolution des synthèses des composants de la MEC selon le phénotype du chondrocyte

Parallèlement aux mécanismes réparateurs, des phénomènes de résorption interviennent tendant à détruire la MEC.

Il y a production et libération de médiateurs pro-inflammatoires (cytokines), de radicaux-libres, ainsi que d'enzymes par le chondrocyte activé ainsi que par la synoviale qui vont dégrader la MEC. La destruction du collagène de type II donne son caractère irréversible à la pathologie.

Dès lors plusieurs cercles vicieux se mettent en place entretenant la maladie :

- Maintien d'une réaction inflammatoire par la libération de fragments de matrice dans la cavité articulaire.
- Différenciation de certains chondrocytes en fibrochondrocytes synthétisant des composants normalement absents de la MEC et mort cellulaire par nécrose ou apoptose d'autres chondrocytes. La matrice devient donc de mauvaise qualité, moins résistante aux forces mécaniques.

Dans l'arthrose, on observe également une modification de l'os sous chondral dont on ne sait pas encore si elle est la cause ou la conséquence du processus arthrosique. En effet il existe une condensation osseuse en regard de la chondrolyse

bien visible en imagerie. Cette modification est secondaire à un changement du phénotype des ostéoblastes qui sécrètent plus de facteurs de croissance. Cela crée un déséquilibre en faveur de la formation osseuse à l'origine de l'ostéosclérose. Ils vont également participer à la chondrolyse en diminuant la production des protéoglycanes et en augmentant la production de certaines protéases participant à la chondrolyse.

Certains facteurs de croissance osseux libérés lors de la phase de réparation participent à la formation des ostéophytes qui correspondent à une réparation aberrante de l'os sous chondral en marge de l'articulation.

L'arthrose est donc un cercle vicieux qui s'auto alimente, résultant de plusieurs déséquilibres entre catabolisme et anabolisme au profit du premier. Une meilleure compréhension de sa physiopathologie pourrait permettre le développement de thérapie ciblant l'une des différentes phases pour ainsi ralentir le processus (6).

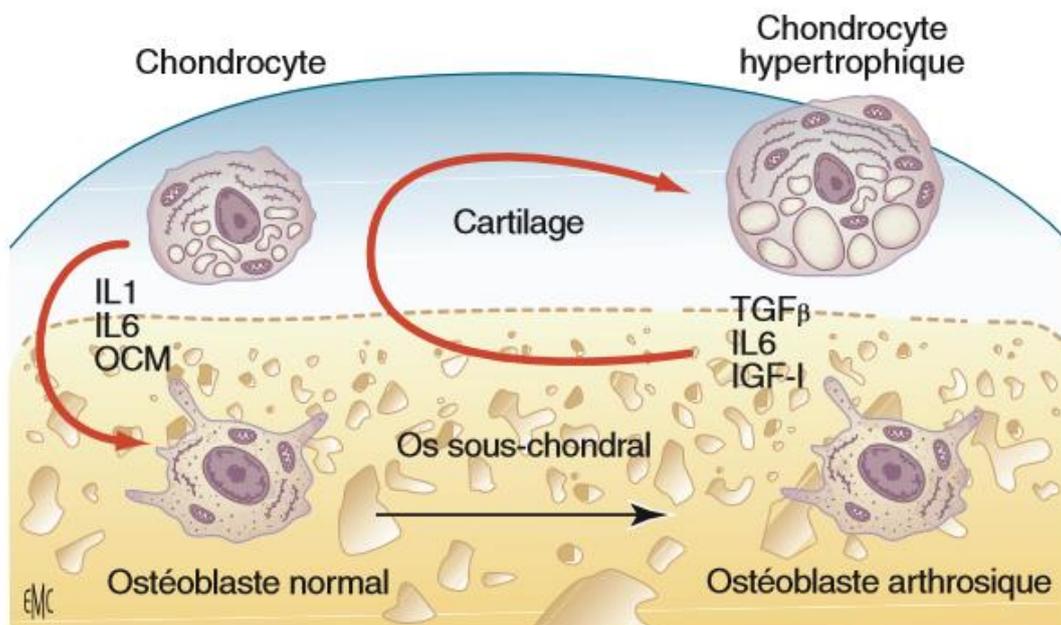


Figure 12 schéma montrant la communication entre ostéoblaste et chondrocyte au cours de l'arthrose

C. Epidémiologie des douleurs chroniques du pied et de la cheville

15 % de la population mondiale souffre d'une ou de plusieurs articulations dont 1% de la cheville (8) ; les douleurs de la cheville ou des pieds, sont un motif important de consultation en médecine générale, rhumatologie ou orthopédie.

En Europe, 20-30% de la population de plus de 60 ans souffre de douleur du pied.

La lésion physiopathologique responsable de la symptomatologie articulaire chronique recherchée à l'imagerie est l'arthrose, quel que soit la pathologie de départ. Très connue pour les articulations de la hanche, du genou, de la main ou du rachis, elle peut passer longtemps inaperçue, sans retentissement clinique au niveau du pied et de la cheville. (6)

1. Epidémiologie des différentes atteintes articulaires

L'atteinte articulaire dégénérative de la cheville et du pied touche, contrairement au poignet et à la main, une seule articulation ou un groupe articulaire de même fonction.(9)

Elle touche surtout les personnes âgées entre 60 et 69 ans mais n'est pas rare chez des patients plus jeunes, en relation avec des lésions post traumatiques. (5)

Elle concerne le système propulsif (talo crurale et métatarso-phalangienne du 1 er rayon) dans 70% des cas et le système de stabilisation latéral (sous talienne et Chopart) dans 30%.(10)

L'atteinte la plus fréquente est celle de l'articulation métatarso-phalangienne du premier rayon, représentant plus de la moitié des cas, suivi des autres articulations du Lisfranc puis de l'interligne de Chopart. Cf. figure 13.

Tibiotaliennne	8 %
Hallux rigidus	59 %
Orteils	3 %
Sous-taliennne	7 %
Médiotarse	9 %
Lisfranc	14 %

Figure 13 Tableau des différentes topographies des arthroses du pied (8)

Selon l'articulation touchée, il existe des étiologies différentes responsables de son évolution défavorable. Dans tous les cas, on retrouve en premier les conséquences d'un traumatisme avec ou sans fracture, puis viennent ensuite l'évolution de troubles de la statique du pied (pied plat valgus, pied creux ou pied bot varus équin de l'enfance) ainsi que les atteintes dégénératives primitives. En prenant les articulations individuellement on obtient :

- Articulation talo-crurale

Correspondant à 8% (9) des atteintes dégénératives du pied, elle est secondaire dans 91% (5) des cas et donc exceptionnellement primitive (9% des cas). Elle survient donc pratiquement toujours après un traumatisme de la jambe ou de la cheville ,sévère ou mal traité, notamment les fractures malléolaires ,surtout celle de type C selon la classification de Weber (cf. Annexe 1), celles de la malléole interne, les instabilités de la cheville et les fracture de l'épiphyse distale du tibia (8).

L'âge au moment du traumatisme et un IMC supérieur à 30 sont également des facteurs pronostics pour le développement d'une arthrose post traumatique. Ainsi un patient présentant 3 ou plus facteurs de risque, parmi ceux cités ci-dessus, a entre 60 et 70% de chances de développer une pathologie dégénérative de la cheville (11). Les autres étiologies sont résumées dans la figure 14.

De même, il est rapporté que les patients présentant une arthrose de la cheville ont plus fréquemment un alignement en varus.(12)

Traumatismes	78 %
Polyarthrite rhumatoïde	5 %
Hémochromatose	3 %
Hémophilie	1 %
Nécrose du talus	1 %
Ostéochondrite disséquante de l'astragale	1 %
Arthrite septique	1 %
Primitive	9 %

Figure 14 Etiologies de l'arthrose Talo-crurale (4)

Cliniquement on retrouve des douleurs mécaniques évoluant par poussées, avec une mobilisation douloureuse et une raideur articulaire prédominant en flexion dorsale.

Une gêne à la marche est observée, surtout sur terrain accidenté.

Si aucun traumatisme n'est retrouvé à l'interrogatoire, il faut également penser à la synostose talo-calcaneenne.

- Articulation sous talienne

Représentant 7% des atteintes dégénératives de la cheville et du pied (9), elle est principalement secondaire à un traumatisme : fracture du talus, du calcaneum, ou entorse.

L'autre étiologie est la mauvaise évolution d'un **pied plat valgus** , qui correspond à un effondrement partiel ou complet de l'arche médiale, conduisant à une déformation complexe en trois dimensions impliquant de nombreuses articulations.(13)



Figure 15 photo d'un patient atteint d'un pied plat valgus bilatéral. On note l'effondrement de l'arche médiale.

On distingue les pieds plats valgus constitutionnels, comprenant chez l'adulte : les idiopathiques (bilatéral et peu symptomatique) (14), les séquelles de déformations congénitales (pied bot varus équin), et ceux secondaires aux pathologies du collagène (Marfan, Ehler Danlos) ou à une coalition (anciennement synostose) du tarse.

Touchant 1-2% de la population, bilatérale dans 50% des cas, les synostoses sont calcanéonaviculaires dans 50 à 60% des cas et talocalcanéennes dans 30 à 40% des cas. Elles peuvent être complètes (fusion osseuse) ou incomplètes : syndesmose (fusion fibreuse) ou synchondrose (fusion cartilagineuse).(15)

On distingue également les pieds plats valgus acquis, sur arthrose primitive, post traumatiques (fractures du calcanéum ou du Lisfranc), sur un pied diabétique ou neurologique, ou sur insuffisance du tendon du tibial postérieur.



Figure 16 radiographie de profil d'une cheville montrant une coalition talo-calcaneène

- Articulation de Chopart

Représente 9% des localisations de l'arthrose du pied (9), elle touche le plus souvent le versant médial de l'interligne, l'articulation talo-naviculaire voire la naviculo-cunéenne.

Presque toujours secondaire à un traumatisme avec fracture du naviculaire, à un pied plat valgus ou à une ostéonécrose du naviculaire.

Cliniquement on retrouve une douleur mécanique ou avec composante inflammatoire de la partie médiale du médio pied et provoquée par la torsion de l'avant pied. Avec parfois une déformation du dos du pied secondaire à l'ostéophytose supérieure.

- Interligne articulaire de Lisfranc

Représente 14% des atteintes arthrosiques du pied.(9)

Il en existe deux types, l'arthrose post traumatique qui survient rapidement après une fracture ou une luxation du Lisfranc, unilatérale et touchant les patients jeunes.

Le second type est l'atteinte primitive de l'articulation cunéo-métatarsienne du premier rayon, qui touche des patients plus âgés, plutôt bilatérale et est souvent associée à un trouble de la statique du pied. Cliniquement on retrouve des douleurs d'allure mécanique associées à des déformations (hallux valgus, orteils en griffe...).

- Articulation métacarpo-phalangienne du premier rayon ou hallux rigidus

Atteinte arthrosique la plus fréquente 59%, en général d'origine primitive, elle peut tout de même être secondaire à un traumatisme, ou une atteinte inflammatoire ou infectieuse. (9)

- Articulations métatarso-phalangiennes

Atteinte rare qui survient après une subluxation ancienne, une polyarthrite rhumatoïde ou une maladie de Freiberg (ostéochondrose de la tête du deuxième métatarsien)

2. Prise en charge des atteintes dégénératives du pied et de la cheville

Elle repose surtout, par un traitement optimal des entorses graves, la correction la plus physiologique possible des fractures des os de la jambe, du calcanéum ou des autres os du pied, et une correction des troubles de la statique. Il s'agit donc d'une prise en charge préventive des atteintes dégénératives. (8)

Une fois que les lésions sont constituées, plusieurs facteurs interviennent dans la décision de prise en charge par le chirurgien orthopédiste (16):

- L'intensité de la douleur
- La ou les articulation(s) touchée(s)
- Le degré de l'atteinte articulaire (classification de Kellgren and Laurence modifiée.) (17)
- L'étiologie de l'atteinte initiale
- Les troubles de la statique plantaire éventuellement associés
- La qualité de l'os et des ligaments
- L'âge et les comorbidités du patient

Pour les atteintes minimales ou modérées, peu douloureuses, avec peu de retentissement fonctionnel et sans trouble de la statique majeure, une prise en charge non chirurgicale peut-être suffisante.

Elle comporte dans un premier temps des antalgiques et des anti-inflammatoires, des orthèses, permettant de corriger les déformations mineures du pied ou des orteils, afin de mieux répartir les charges pour diminuer les contraintes sur les articulations douloureuses, ainsi qu'une éducation thérapeutique notamment sur les techniques de chaussage.

Il peut également être réalisé, une infiltration de dérivés corticoïdes, sous scopie ou TDM, de l'articulation douloureuse à but antalgique, mais aussi dans certains cas comme test diagnostique avant intervention chirurgicale.

Quand le traitement médical est insuffisant ou lorsque l'atteinte est d'emblée sévère avec un retentissement fonctionnel majeur, une prise en charge chirurgicale peut être envisagée. (15)

Il existe différents types d'intervention, avec ou sans préservation de l'articulation.

Dans le premier cas, on peut réaliser soit un débridement par arthroscopie des ostéophytes, dans le conflit antérolatéral de la cheville, dans le syndrome du carrefour postérieur ou dans l'hallux rigidus, soit un avivement des surfaces articulaires notamment dans les lésions ostéochondrales du dôme talien.

Différentes techniques d'ostéotomies peuvent être indiquées dans le traitement des troubles de la statique comme l'allongement du calcaneum dans le pied plat valgus, l'ostéotomie de varisation dans l'hallux valgus ou la résection de l'os naviculaire dans le pied bot varus équin.(18)

Dans les atteintes les plus sévères, l'articulation ne peut être préservée pour soulager la douleur ; souvent une arthrodèse chirurgicale, qui vient bloquer la mobilité la mobilité de l'articulation responsable de la symptomatologie en réalisant une fusion des deux pièces osseuses qui la constitue à l'aide de vis ou d'agrafes. Ces techniques concernent les articulations talo-crurale, sous taliennes, l'interligne de Chopart, de Lisfranc, et les interphalangiennes (pour la correction des griffes). Ces interventions présentent d'excellents résultats sur les douleurs mais avec des risques de complications, par exemple un taux de pseudarthrose de 2,3% pour la cheville(19), mais surtout de lésions dégénératives sur les articulations adjacentes, 32,5% dans l'étude de Takakura et al (18)



Figure 17 Radiographie de profil après arthrodèse sous talienne postérieure et de l'interligne de Chopart

Enfin, dans un certain nombre de cas bien précis d'atteinte Talo-crurale, il est possible de mettre en place une **prothèse totale de cheville** qui présente comme avantage par rapport à l'arthrodèse une conservation des mouvements d'inversion et d'éversion.(20)

Pour de bons résultats il faut soigneusement sélectionner les candidats, qui doivent être sans trop de comorbidités, plutôt jeunes, sans défaut d'axe de l'arrière pied de face et de profil, sans atteinte des articulations sous-jacentes, notamment de la sous talienne postérieure (une arthrodèse complémentaire peut être réaliser en parallèle si besoin), et enfin avoir un bon état cutané et de l'os (8).

C. Imagerie morphologique du pied et de la cheville

2. Radiographie standard

C'est la première étape indispensable quels que soit les examens futurs réalisés, dans le cadre de douleurs à caractériser. Les clichés simples montrent le squelette en charge ou non de façon comparative et donnent une idée sur l'état des parties molles : épanchement intra articulaire ou œdème. Souvent suffisants, malgré de nombreuses superpositions parfois difficiles à interpréter, ils sont dans ces cas compléter par une imagerie en coupe ou une échographie.

Il existe de multiples incidences permettant de visualiser l'ensemble des structures osseuses ou articulaires, en voici les principales (21) (22) (23).

- **L'incidence Cheville de face**

Permet de visualiser la mortaise tibio-fibulaire, les malléoles, et l'articulation tibio fibulaire distale.



Figure 18 radiographie de face de la cheville : fracture de la malléole externe. Fibula (1) tibia (2) talus (3)

Permet également lors du bilan de trouble de la statique, d'étudier les déviations tibio-taliennes par deux méthodes sur une cheville en charge surélevée de 1 cm avec un fil de plomb en étrier en les deux malléoles.

- **Méthode de Méary** : on trace l'axe du tibia (verticale qui passe par le milieu du dôme talien) qui doit couper à l'union 1/3 médial 2/3 latéraux la zone d'appui du talon, en relation avec un léger valgus physiologique. Lorsque l'axe se rapproche du milieu de la zone d'appui il existe un varus de l'arrière pied.
- **Méthode de Dijan** : on construit un trapèze dont les côtés horizontaux sont le dôme talien et l'appui talonnier et on mesure l'angle entre la verticale et la droite passant par le milieu de la zone d'appui et la zone de désaxation (milieu du dôme talien ou sous taliennne).

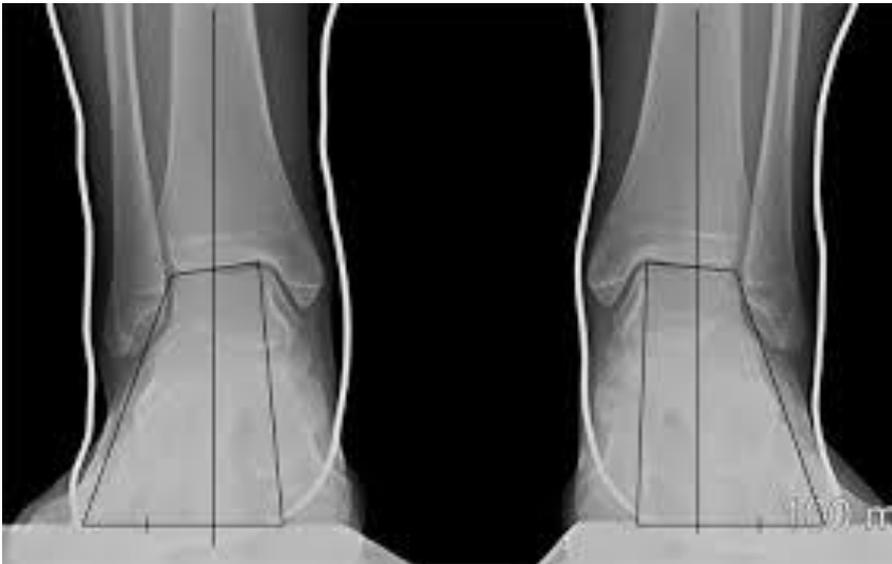


Figure 19 cliché de cheville de face bilatéral en charge et cerclée avec trapèze de Dijan tracé

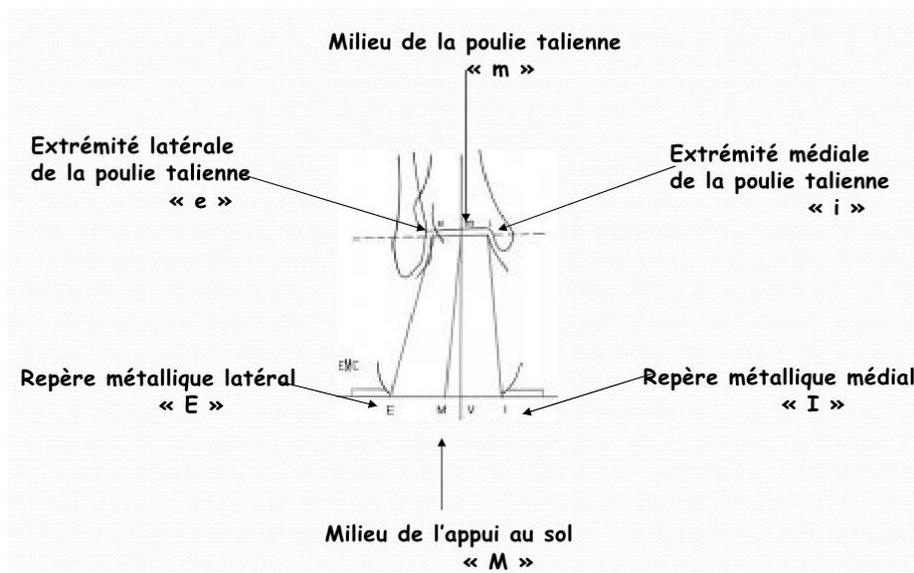


Figure 20 schéma pour tracer le trapèze de Dijon.

La valeur normale de l'angle est de 3 à 5° (valgus physiologique), lorsque l'angle augmente il existe un pied valgus et quand il diminue il existe un pied varus.

- **Les incidences Cheville et pied de profil**

Permettent de visualiser les interlignes articulaire talo-crural, sous talien postérieur, talo-naviculaire et naviculo-cunéen, mais aussi le tendon calcanéen et le fascia plantaire.



Figure 21 radiographie de profil interne du pied.

Plusieurs angles et axes apprécient la statique sagittale du pied.

- **Angle de Dijan-Annonier** : tracé entre le point déclive de l'articulation talo-naviculaire et ceux du calcanéum et du sésamoïde médial de l'hallux. Sa valeur normale est comprise entre 120 et 130°. En dessous de cette valeur, il existe un pied creux et au-dessus un pied plat. Figure 22
 - **Axe de Méary-Tomeno** : reliant le talus au premier métatarsien. Physiologiquement rectiligne, il se verticalise en cas de pied plat et s'horizontalise en cas de pied creux. Figure 23
 - **Pente du calcanéum** : angle formé par la tangente à la face plantaire du calcanéus et le plan d'appui. D'environ 20° il est diminué dans le pied plat et augmenté dans le pied creux. Figure 24
 - **Angle tibio-talien** : formé entre les axes longitudinaux du tibia et du talus, mesurant 105° environ, il est augmenté en cas d'équinisme de l'arrière pied et diminué en cas de dorsiflexion de l'arrière pied.
- **Les incidences : Pieds de face et de $\frac{3}{4}$**
 - Permettent de visualiser l'interligne articulaire de Chopart et de Lisfranc. L'incidence déroulée de $\frac{3}{4}$ réalisée obligatoirement en complément (sauf étude podométrique) permet de dégager la malléole externe et le bord externe du pied.
 - On peut mesurer la divergence talo-calcaneenne qui correspond à l'angle entre les axes du talus et du calcanéum. Sa valeur normale est de 20 à 25°, elle augmente dans les valgus de l'arrière pied et diminue en cas de varus. Cf. figure 25.



Figure 22 Angle de Dijn > à 130° traduisant un pied plat



Figure 23 Cassure de l'axe de Méary-Tomeno sur un pied plat



Figure 24 Pente calcanéenne d'un pied plat (< 20°)



Figure 25 Divergence talo-calcanéenne normale

Les clichés simples sont souvent suffisants dans certaines indications par exemple :

- Les arthropathies dégénératives sur des sites fréquemment atteints de lésions arthrosiques retrouvant un pincement articulaire, condensation de l'os sous chondral, géodes intra-osseuses, des ostéophytes, les quatre signes radiographiques cardinaux.(9)
- Quelques ostéochondroses comme celle de la tête du 2ème métatarsien (maladie de Freiberg) ou de l'os naviculaire (maladie de Köhler) retrouvant un aspect condensé et déformé de l'os.
- Les atteintes articulaires des rhumatismes inflammatoires comme la polyarthrite rhumatoïde avec ses érosions marginales précoces des articulations métatarso-phalangiennes ou la goutte avec son atteinte caractéristique de la première articulation métatarso-phalangienne.
- Les fractures simples.

2. Echographie.

Son utilisation en pathologie musculo-squelettique s'est développée de façon importante ces dernières années grâce à une meilleure qualité des appareils mais aussi une meilleure connaissance de la sémiologie échographique.(24) Toujours réalisée en complément de clichés standards car ne visualisant pas l'os spongieux ni l'interligne articulaire, l'échographie grâce à sa résolution spatiale et à sa spécificité dynamique a trouvé sa place principalement dans les pathologies ligamentaires et tendineuses mais peut aussi apporter des éléments diagnostiques dans les atteintes articulaires.

Ses principaux avantages sont, son accessibilité, son coût, son caractère non irradiant et non invasif, l'étude Doppler puissance pour étudier la vascularisation. Ses inconvénients, sont tout d'abord le caractère "opérateur dépendant" de l'examen car l'anatomie complexe de la cheville et le pied est d'interprétation difficile. Ensuite des artéfacts d'anisotropie peuvent créer des images hypoéchogènes en relation avec le trajet sinueux notamment des tendons empêchant de mettre le faisceau d'ultrason à la perpendiculaire.

Ses indications principales sont :

- Les lésions ligamentaires aiguës à la recherche du siège lésionnel ou chroniques devant une laxité résiduelle (25).
- Les pathologies tendineuses que ce soit les ruptures complètes ou partielles, les tendinopathies (ex tendinites) ou péri tendinopathies (ex ténosynovite) et les enthésopathies. Cf. figure 26
- Les atteintes des rétinaculum
- Les lésions plantaires : rupture de l'aponévrose, enthésopathie, séquelles traumatiques, maladie de Ledderhose
- Les diverses pathologies de l'avant pied : fractures de fatigue, névrome de Morton, lésions de la plaque plantaire.
- La pathologie articulaire : l'échographie montre des signes indirects de souffrance articulaire en particulier un épanchement intra articulaire ou une synovite. Elle peut également montrer des érosions osseuses surtout des métatarses et des phalanges dans les rhumatismes inflammatoires chroniques.

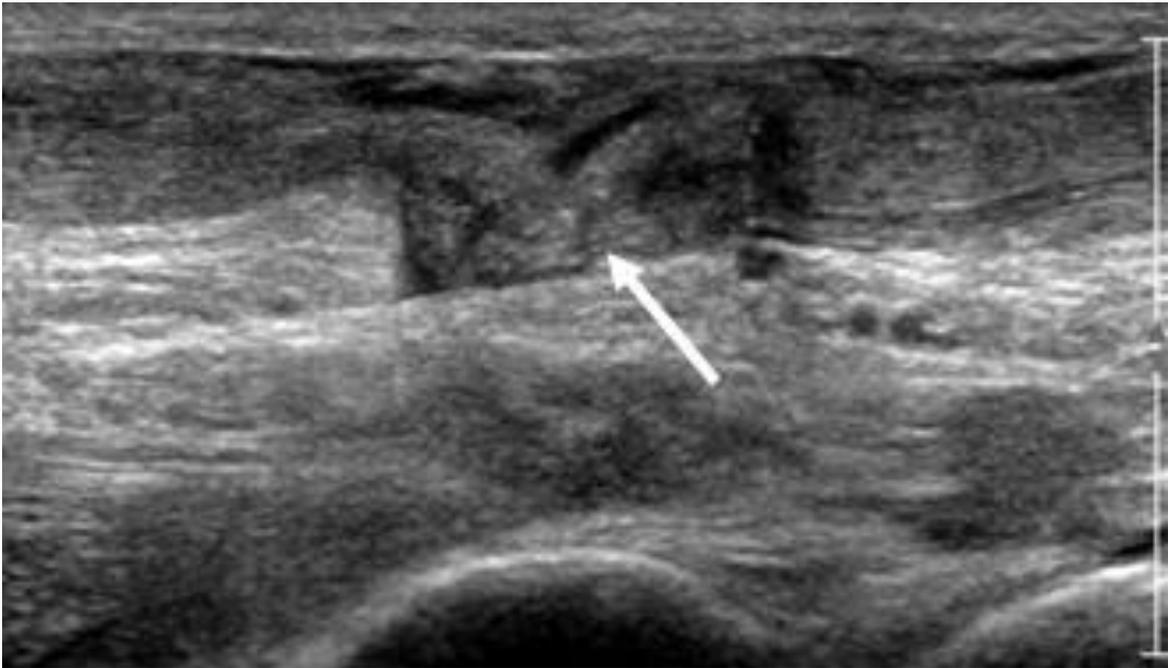


Figure 26 image échographique d'une rupture du tendon d'Achille

3. Scanner et arthroscanner.

C'est l'examen de référence pour étudier la trame osseuse à la recherche de lésions fracturaires occultes ou faire le bilan de fractures compliquées ou l'étude fine des articulations et la recherche de calcifications intra ou extra-articulaires. Pour l'arthrose on recherche les mêmes éléments sémiologiques que sur les radiographies standard à savoir le pincement articulaire, l'ostéocondensation sous chondrale, les géodes et les ostéophytes.

Son acquisition volumétrique avec la possibilité de reconstruction en coupes infra millimétriques dans les trois plans de l'espace lui confère une haute résolution spatiale.(26) Il est également possible de reconstruire le volume avec plusieurs algorithmes notamment en *volume rendering* pour mieux dégager la visualisation d'une zone.

Les différents plans de l'espace permettent en une seule acquisition d'étudier précisément les groupes articulaires à la manière des différentes incidences en radiographie standard.

Aussi les images transversales sont utiles pour les interlignes articulaires de Chopart et de Lisfranc, les images sagittales pour les articulations du tarse postérieur (surtout sous taliennes) et les images coronales pour la mortaise talo-crurale tout en sachant qu'il est possible d'effectuer des coupes dans toutes les directions). Cf. figure 27

L'injection de produit de contraste dans l'articulation permet une analyse plus fine et spécifique des défauts cartilagineux, notamment dans les LODA, et des lésions ligamentaires ou de la capsule articulaire (20). Cf. figure 28

Les limitations de la tomodensitométrie sont l'étude des parties molles et la sensibilité pour différencier des structures de densité voisine comme l'œdème, l'inflammation, l'épanchement et le cartilage. Les risques septiques après ponction articulaire restent faibles de même que l'irradiation au niveau des extrémités.



Figure 27 TDM de la cheville en coupe coronale montrant une synostose talo-calcanéenne



Figure 28 Arthroscanner de la cheville montrant une arthrose sévère de l'articulation sous taliennne postérieure d'origine post-traumatique

4. IRM

Examen d'imagerie médicale non invasif et non irradiant, qui se révèle très sensible grâce à l'excitation des protons d'hydrogène, permettant d'obtenir des contrastes magnétiques spontanés différents entre les structures et un faible rapport signal sur bruit.

Il doit être bien orienté et ciblé car au vu de la complexité anatomique d'une zone à l'autre, les protocoles peuvent varier selon que ce soit par exemple la cheville et l'arrière pied ou le médio ou l'avant pied. Obtenant des images très haute résolution surtout avec les machines 3 teslas, utilisant une antenne de surface et des petits champs de vue, les séquences les plus utiles sont le T1 séquence anatomique (graisse en hypersignal, hyposignal franc des ligaments, de la moelle osseuse et des parties molles), le T2 FAT SAT sensible à la présence de liquide à faible débit (épanchement articulaire, œdème intra-osseux), si besoin l'injection de gadolinium associée à une séquence T1 FAT SAT, voire une séquence STIR.

L'arthro-IRM est possible pour rechercher des anomalies ligamentaires ou des défauts cartilagineux.

Il est aussi possible comme sur la tomodensitométrie de réaliser des acquisitions volumétriques afin de pouvoir visualiser les différents éléments dans les plans de coupe adaptés à chacune des structures anatomiques.

Ses indications se rapproche de celle de l'échographie car ses performances sont meilleures pour les tissus extra-osseux (27) (28)

- Tendinopathies : rupture, inflammation, péri-tendinopathies que ce soit du tendon calcanéen, du tibial postérieur ou des fibulaires. Cf. figures 29 et 32 et 33
- Pathologies ligamentaires aiguës ou chroniques
- Pathologies de l'aponévrose plantaire : inflammation, fibrose
- Névromes interdigitaux
- Syndrome du tunnel tarsien

Mais l'IRM présente tout de même des indications en pathologie osseuse :

- Recherche de fractures de fatigue Cf. figure 30
- LODA et ostéonécroses Cf. figure 31
- Ostéite et ostéomyélite
- Caractérisation de tumeurs osseuses primitives malignes ou non

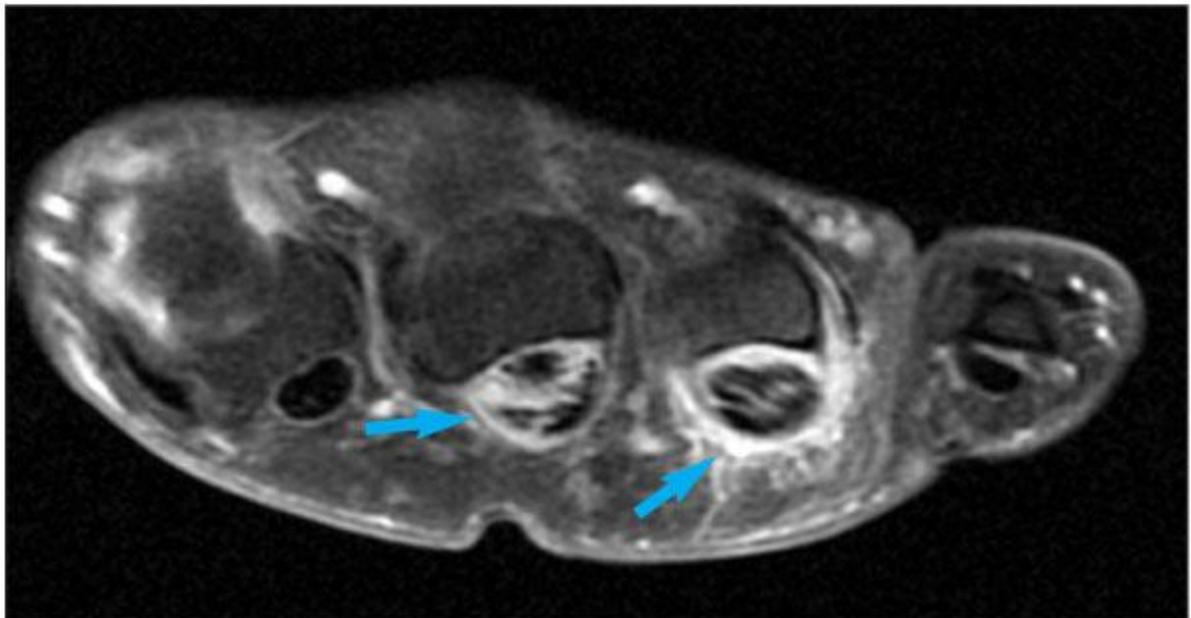


Figure 29 IRM du pied en coupe coronale montrant une prise de contraste des tendons fléchisseurs dans le cadre de ténosynovites

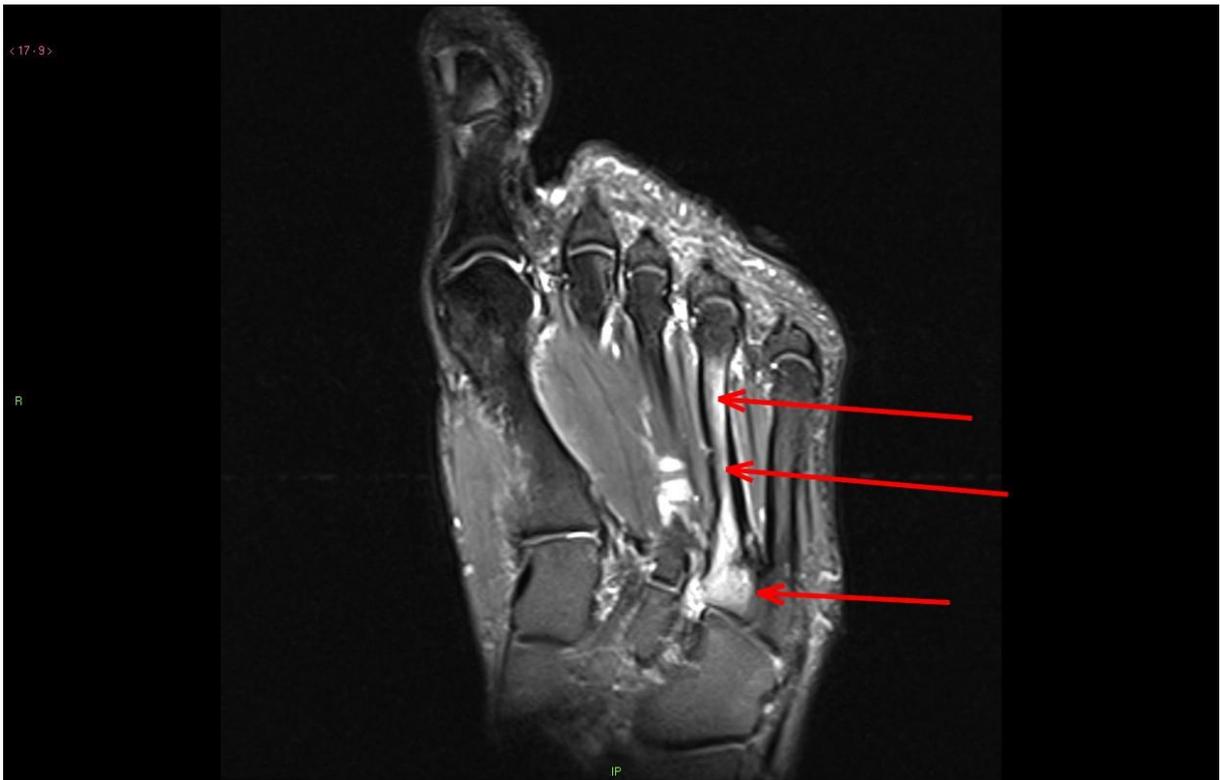


Figure 30 IRM du pied en coupe axiale montrant une fracture du 4 ème métatarsien



Figure 31 Arthro-IRM de la cheville en T2 FAT SAT retrouvant une LODA antéro latérale

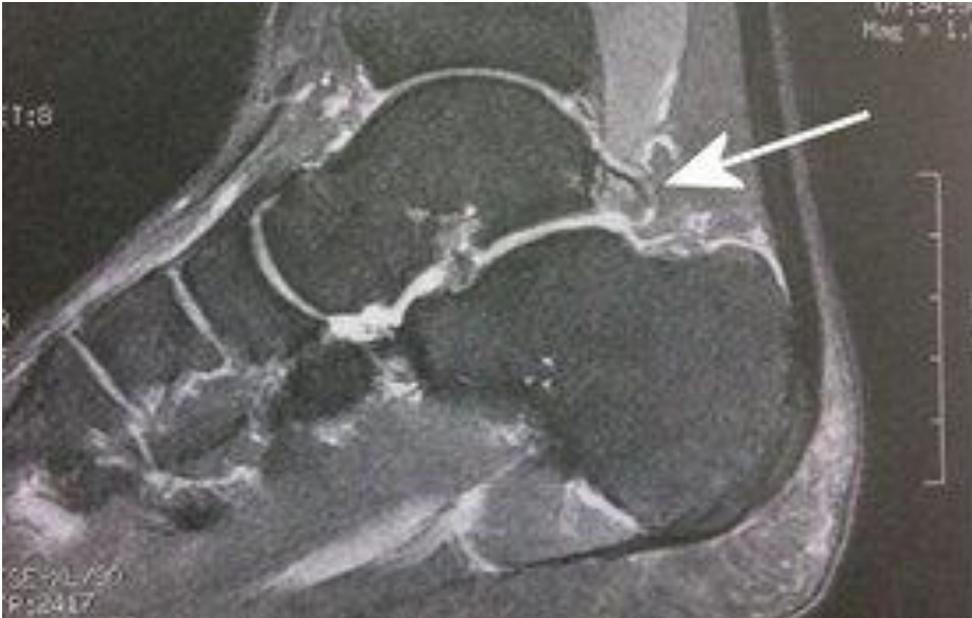


Figure 32 IRM T2 FAT SAT en coupe sagittale d'un pied droit présentant un syndrome du carrefour postérieur (flèche)

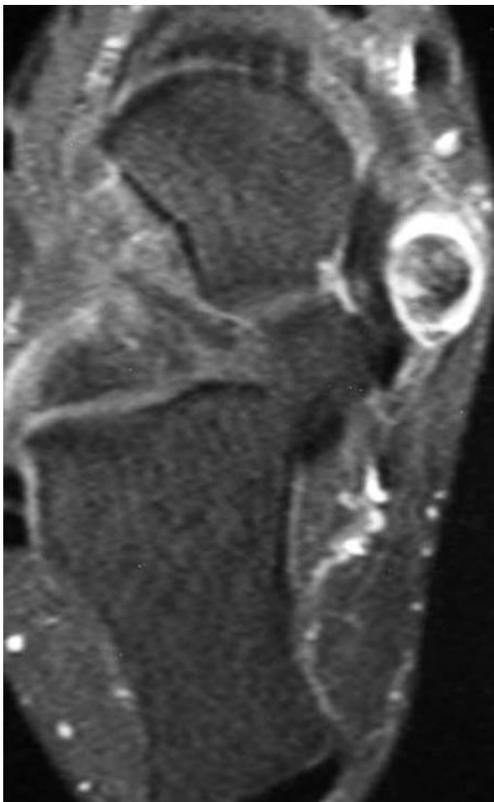


Figure 33 coupe transversale d'une IRM du pied droit en T1 FAT SAT avec injection de gadolinium montrant une ténosynovite du tibial postérieure.

D. Médecine nucléaire

1. Principe de la scintigraphie

Basée sur l'utilisation de sources radioactives non scellées qui peuvent donc être fractionnées et administrées au patient, principalement sous forme de radiopharmaceutiques (ou d'éléments figurés du sang marqués) injectés par voie intraveineuse le plus souvent (29)

Le traceur est choisi selon sa capacité à suivre un métabolisme donné ou à donner une information sur le fonctionnement d'un organe selon la question demandée.

Il peut être un atome seul radioactif comme l'iode dans la scintigraphie thyroïdienne, une molécule comme les biphosphonates dans la scintigraphie osseuse, une hormone, ou encore un anticorps par exemple.

Dans ces cas-là le traceur est "marqué" avec un isotope radioactif dont les propriétés physiques sont les plus adaptées aux machines, et au processus biologique étudié tout en étant le moins irradiant possible pour le patient.

Il s'agit donc d'une technique d'imagerie permettant de visualiser la biodistribution du traceur physiologique ou pathologique qui varie selon le fonctionnement du ou des organes ciblés d'où le terme d'imagerie fonctionnelle.

Pour la détection des rayonnements émis par le patient, on utilise une gamma caméra de type Anger (cf. figure 34). Elle est composée de plusieurs éléments montés à la chaîne depuis la détection du rayon gamma jusqu'à la constitution de l'image scintigraphique :

- **Le cristal scintillant**

Première surface de contact avec le rayonnement émis par le patient, il utilise le principe physique de la scintillation, qui correspond à l'émission de lumière (dans le spectre du visible ou proche du visible) par certaines matières lorsqu'elles absorbent un rayonnement énergétique.

Composés dans la majorité des gamma caméras de type Anger actuelles par de l'iodure de sodium (NaI) avec quelques impuretés de thallium pour améliorer son rendement lumineux, c'est-à-dire son pouvoir à transformer l'énergie du rayonnement incident en énergie lumineuse.

Deux lois régissent ce principe :

- Les photons gamma sont absorbés dans le cristal selon une loi exponentielle décroissante de type $1 - e^{-\mu x}$ ou x est l'épaisseur du cristal et μ son coefficient d'absorption linéaire.
- Le nombre de photon lumineux émis est proportionnel à l'énergie absorbée dans le cristal.

Pour avoir une image scintigraphique de bonne qualité il faut donc un rayonnement émis par le radiotraceur qui soit adapté au cristal et à son épaisseur.



Figure 34 photo d'une gamma caméra équipant les services de médecine nucléaire du CHU

- **Le photomultiplicateur**

Il transforme les photons lumineux en impulsion électrique plus facilement manipulée que le précédent faisceau émis à la sortie du cristal. Cf. figure 35

Il s'agit d'un tube en verre dans lequel on fait le vide.

Il est composé de trois parties, l'anode à la sortie, la cathode où se passe la conversion photo électrique avec un rendement quantique (nombre d'électrons par photons reçus) maximum de 25%. Enfin les dynodes, environ une dizaine, situées entre la cathode et l'anode permettant d'amplifier le nombre d'électrons émis.

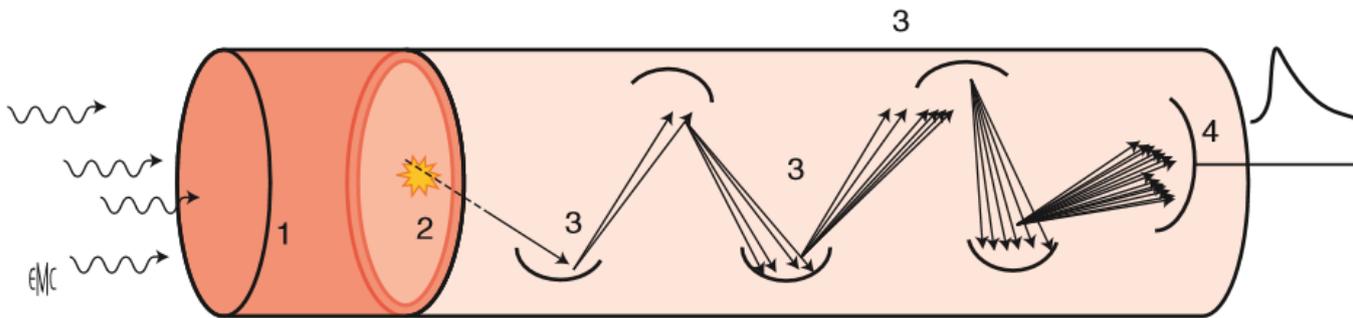


Figure 35 schéma d'un photomultiplicateur (28)

- **Le système électronique**

A la sortie du photomultiplicateur on obtient une impulsion électrique dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie absorbée.

Cette impulsion est traitée par ce système qui réalise une sommation de tous les signaux reçus permettant de reconstruire l'information énergie du photon incident.

Ce système réalise deux opérations majeures :

- La localisation de la position du photon incident dans le champ de vue, préalablement découpé selon la matrice, qui avec l'intégration du facteur temps permet de former l'image scintigraphique.

- Une analyse spectrométrique permettant de cibler à + ou – 10% du pic énergétique théorique du rayonnement reçu (appeler fenêtre énergétique) en effet il existe une différence entre le spectre théorique qui correspond à une raie à 140 keV pour le technétium et le spectre de sortie du cristal qui est continue. Tout photon d'énergie différente de 140 keV principalement des diffusés Compton va introduire du bruit dans l'image notamment par mauvaise détection de son origine.

Cela permet également de réaliser des examens en double isotope par sélection de deux fenêtres énergétiques correspondant aux deux isotopes utilisés permettant la visualisation séparée de la distribution des deux isotopes au cours d'une seule acquisition.

Les gamma caméras actuelles comprennent deux têtes de détection correspondant à plusieurs photomultiplicateurs mis en contact avec le cristal, grâce à un guide lumière en silicone, et entourées d'un blindage en plomb.

Pour permettre une projection correcte de la distribution de la radioactivité sur le cristal, l'utilisation d'un **collimateur** permet de privilégier une direction des photons incidents (la plus fréquente est perpendiculaire au cristal). Ceux qui auront une direction différente seront absorbés par le collimateur (galette de plomb dans laquelle sont percés des trous cylindrique ou conique) avant le cristal. CF figure 36

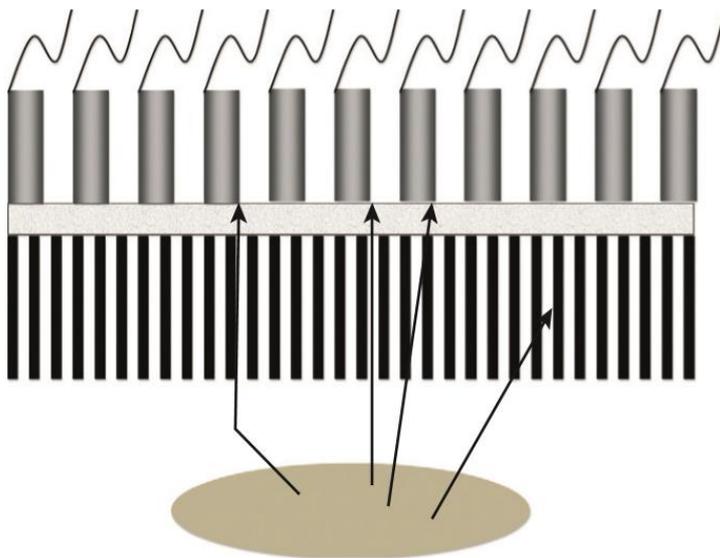


Figure 36 Schéma d'un collimateur parallèle

2. La scintigraphie osseuse

Développée dès les années 40, elle utilisait alors des isotopes comme le Calcium 45 ou 47, puis le strontium 85 ou 89, ce n'est que dans les années 70 que les traceurs à base de composés phosphatés apparaissent. Tout d'abord les polyphosphates puis le pyrophosphate et enfin les biphosphonates. De nos jours il s'agit de l'hydroxy méthylène diphosphonate marquée au technétium 99m. Cf. figure 37

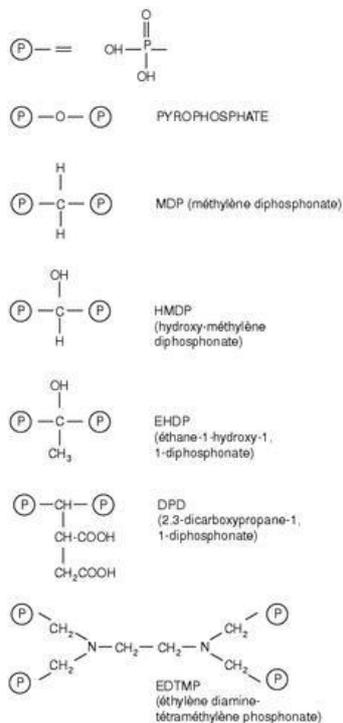


Figure 37 formules chimiques des différents traceurs osseux

Leur fixation se fait sur la matrice extra cellulaire de l'os, plus précisément sur les cristaux d'hydroxyapatite en formation ($\text{Ca}_{10}(\text{OH})_4(\text{PO}_4)_6$) qui ont la capacité d'adsorber à leur surface de nombreux type d'ions non présents physiologiquement dans l'organisme par exemple strontium, plomb, or, ou uranium.

Cette matrice est sécrétée par les ostéoblastes, cellules assurant le renouvellement osseux, contrairement aux ostéoclastes qui assurent sa résorption.

Cette sécrétion est stimulée par différents facteurs et notamment par les contraintes mécaniques, une fracture, mais également toute destruction osseuse d'origine tumorale ou infectieuse.

La scintigraphie osseuse est donc l'imagerie de l'activité ostéoblastique et possède une grande sensibilité de détection malgré une faible spécificité entre tous les différents mécanismes responsables.

Les nombreuses indications de l'examen sont nombreuses cf. annexe 2 :

- En oncologie, recherche de lésions secondaires de néoplasies ostéophiles plutôt ostéocondensantes.
- En rhumatologie, arthrites, algodystrophie, ostéonécrose...
- En infectiologie, ostéomyélites, spondylodiscite...
- En médecine du sport, fractures de fatigues, périostites...
- En orthopédie, descellement, pseudarthrose, viabilité de greffe osseuse...
- En pédiatrie, ostéochondrite de hanche, syndrome de Silverman...

L'isotope le plus utilisé en médecine nucléaire et principalement en scintigraphie osseuse est le **Technétium 99 m**. En effet il présente des caractéristiques idéales pour l'imagerie fonctionnelle :

- Un pic énergétique de 140 Kev adapté au cristal de NaI et au détecteur
- Une période physique de 6H et une période effective idéale pour la réalisation des images (distribution maximale du traceur sur le squelette entre 2 et 4 heures).
- Une dosimétrie favorable
- Une grande disponibilité en raison de sa production faite sur place à partir d'un générateur.

En effet, Le technétium 99m est obtenu à partir de la désintégration d'atome de molybdène 99. Obtenu soit par le bombardement d'atomes de molybdène 98 par un flux de neutrons, ou par séparation chimique des produits de désintégration d'uranium 235 également bombardé par un flux de neutrons. Le molybdène 99 obtenu est placé dans une colonne de chromatographie en phase liquide (générateur), son produit de désintégration soit le technétium 99m est obtenu par

élution sous forme de pertechnétate de sodium (TCO 4-). Il est ensuite fixé aux biphosphonates. Cf. figure 38.

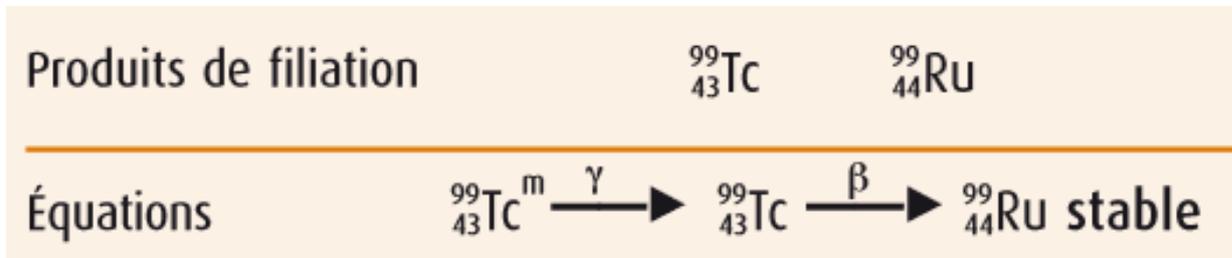


Figure 38 schéma de filiation du technétium 99 m

Ces organes cibles sont la thyroïde, le foie, et le tractus gastro-intestinal.

Déroulement de l'examen :

Après l'injection d'une activité comprise entre 8 et 10 MBq/Kg pour les adultes et une dose minimale de 35 MBq pour les enfants puis une dose adaptée en fonction poids selon les recommandations de l'European Association of Nuclear Medicine (EANM) (cf. annexe 3), on peut réaliser selon l'indication (douleurs, rhumatisme inflammatoire...) des acquisitions précoces statiques centrées sur la zone ou l'articulation douloureuse.

Ces images sont réalisées quelques minutes après l'injection, durent 5 minutes, elles correspondent à l'étude de la phase tissulaire, quand le traceur a diffusé dans les tissus mais de façon non appréciable sur l'os. Elles donnent des informations sur la vascularisation des éventuelles lésions osseuses ou articulaires.

Pour la réalisation de la scintigraphie osseuse à proprement dite, il faut attendre une distribution optimale du traceur, soit entre 2 et 4 heures après injection pour les biphosphonates technétiés. A ce moment-là, pour l'HDP, environ 60% de l'activité injectée est "fixée" sur l'os, 34% sont éliminés dans les urines (d'où la nécessité d'une bonne hydratation du patient pendant le laps de temps entre l'injection et les images pour améliorer le rapport signal/bruit), et 6% restent dans la circulation.

Pour visualiser l'ensemble du squelette entier, on réalise un balayage, c'est-à-dire un déplacement continu de la table où se tient le patient immobile en décubitus dorsal, par rapport aux détecteurs à une vitesse variant de 16 à 20 cm/minute selon l'activité injectée et la qualité de l'examen souhaitée.

Comme les caméras actuelles possèdent deux têtes de détection on obtient simultanément deux images en incidence antérieure et postérieure.

D'un point de vue dosimétrique la scintigraphie est un examen peu irradiant avec des doses efficaces de l'ordre de 5,8 $\mu\text{Sv}/\text{MBq}$ chez un homme adulte et 7,1 chez la femme (30). cf. figures 39 et 40.

Radiobisphosphonates ($^{99\text{m}}\text{Tc-HMDP}$)						
Injection intra-veineuse						
Dose absorbée par unité d'activité administrée						
($\mu\text{Gy}/\text{MBq}$)						
Organes	Homme	femme	15 ans	10 ans	5 ans	1 an
Surfaces osseuses	63	82	82	130	220	530
Paroi vésicale	48	60	60	88	73	130
Moelle osseuse	9,2	10	10	17	33	67
Ovaires		4,6	4,6	6,6	7,0	12
Testicules	2,4		3,3	5,5	5,8	11
Utérus		7,6	7,6	12	11	18
Dose efficace ($\mu\text{Sv}/\text{MBq}$)	5,8	7,1	7,1	11	14	27

Figure 39 Dose absorbée selon le patient (14)

Study type	Average radiopharmaceutical activity (MBq)	Effective dose per unit activity (mSv/MBq) [11]	Average radiopharmaceutical effective dose (mSv)
^{67}Ga llium	370	0.1	37.0
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP	1110	0.0057	6.3
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI parathyroid	925	0.009	8.3
^{111}In -Octreotide	222	0.054	12.0
^{111}In -WBC	18.5	0.36	6.7
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ Ceretec	740	0.0093	6.9
^{131}I Uptake	74	0.52	38.5
^{131}I Posttherapy Scan	5550	0.52	2886.0
^{111}In Chloride (ProstaScint)	222	0.15	32.4

Figure 40 dose effective sur le corps entier selon le radiopharmaceutique (14)

3. La tomoscintigraphie par émission monophotonique osseuse couplée au scanner (TEMP/TDM) ou SPECT CT.

Rendue possible à la fin du siècle dernier grâce à l'apparition des gamma caméras hybrides, c'est-à-dire couplée à un scanner spiralé multicoupes (n allant de 2 à 16 actuellement), elle a connu un essor rapide et important compte-tenu de l'apport d'informations supplémentaires qu'elle peut donner.

Elle consiste en l'acquisition de multiples projections (distribution de la radioactivité selon un angle donné et pendant un temps préalablement fixé) obtenue par rotation des détecteurs autour de la zone étudiée. En général on réalise 60 à 64 angles de projection sur 360° durant de 10 à 30 secondes chacune (acquisition en step and shoot). Ensuite grâce aux reconstructions réalisées à l'aide un algorithme itératif de type ordered subset expectation maximisation (OSEM) on obtient une série d'images en coupe correspondant à la distribution de la radioactivité dans un volume que l'on peut aisément fusionner avec un scanner low dose réalisé juste après et dans les mêmes conditions d'installation du patient.

L'acquisition TEMP/TDM peut être appliquée à un champ de vue unique, dépendant de la taille du détecteur soit environ 39 cm, ou à plusieurs contigus ou non réalisés successivement.

Les avantages de cette technique sont

- Une meilleure sensibilité de détection, une meilleure résolution et un meilleur rapport signal sur bruit grâce notamment à la correction d'atténuation réalisée grâce au scanner, à la correction des diffusés et à la correction de la réponse spatiale du détecteur (consistant à prendre en compte la réponse intrinsèque du détecteur, la géométrie du collimateur...).
- Une **localisation anatomique précise** même dans les régions complexes (extrémités) grâce à la haute résolution du scanner. Elle renseigne également sur la taille, le nombre, la forme et la trame osseuse sous-jacente.

- La réorientation dans les trois plans de l'espace grâce aux reconstructions en multi planaire (MPR) permettant l'analyse de la trame osseuse dans l'axe de l'os étudié, importante pour l'étude des côtes, des os de la main et du pied.
- L'apport du fused VRT pour une vue d'ensemble en 3D des atteintes articulaires dans une région anatomique ciblée.
- Une amélioration de la spécificité de l'examen grâce aux éléments cités juste avant et également par l'intégration de la sémiologie de l'imagerie morphologique permettant de donner un diagnostic définitif dans 95% des cas référence... notamment entre lésions articulaires, lésions bénignes et lésions malignes. Dans d'autre cas elle permet d'orienter vers un autre examen complémentaire le cas échéant.

Les inconvénients en sont

- L'allongement du temps d'examen, ce qui pour certains patients algiques ou âgés peut être source d'artéfacts de mouvement ou simplement d'impossibilité de réalisation de la TEMP/TDM.
- L'irradiation supplémentaire, en effet, le scanner low dose majore jusqu'à 60% la dose effective délivrée par rapport à la scintigraphie seule(31) Cf. figures 41 et 42. La décision de réaliser la SPECT CT incombe donc à la responsabilité du médecin nucléaire selon les principes ALARA (as low as reasonably achievable).

Toutefois au niveau des extrémités l'irradiation supplémentaire est pratiquement négligeable avec souvent des produits dose longueur aux alentours de 30-40mGy/cm

CT scan region	No. of scans	CT ED (mSv)	Average effective dose from a diagnostic CT [14]
Chest	40	7.4 ± 2.7	7
Abdomen	41	8.6 ± 4.6	8
Pelvis	67	6.1 ± 2.0	6
Head	10	0.7 ± 0.5	2
Neck	81	5.2 ± 1.8	3
Head and neck	9	1.2 ± 0.7	—

Figure 41 Tableau de la moyenne des doses effectives délivrées lors d'un scanner selon la région anatomique étudiée

Study type	Average radiopharmaceutical effective dose (mSv)	CT effective dose (mSv)	% increase in effective dose by the inclusion of the CT
⁶⁷ Gallium	37.0	8.2	22%
→ ^{99m} Tc-MDP	6.3	3.8	60%
^{99m} Tc-MIBI parathyroid	8.3	5.4	65%
¹¹¹ In-Octreotide	12.0	7	58%
¹¹¹ In-WBC	6.7	6.4	96%
^{Tc99m} Ceretec	6.9	15.1	219%
¹³¹ I Uptake	38.5	5.6	15%
¹³¹ I Posttherapy Scan	2886.0	6.8	<1%
¹¹¹ In Chloride (ProstaScint)	32.4	9.5	29%

Figure 42 Tableau du pourcentage d'augmentation de la dose effective délivrée en incluant le scanner selon le type de scintigraphie

MATERIELS ET METHODES

A. Description de la population étudiée

1. Critères d'inclusion et d'exclusion

Sur une période allant de Décembre 2012 à Octobre 2014 nous avons analysé de façon rétrospective toutes les scintigraphies osseuses réalisées dans le service de médecine nucléaire de l'Hôpital Roger Salengro du CHU de Lille qui avaient pour indication une symptomatologie douloureuse chronique touchant le pied et/ou la cheville. Les critères d'inclusions étaient les suivants :

- Les patients majeurs,
- Douleur d'allure mécanique ou mixte de la cheville ou du pied,
- Unilatérale ou bilatérale,
- Chronique selon principalement le dernier critère de la définition de l'HAS,
- Ayant eu une consultation avec un chirurgien orthopédiste du CHRU de Lille avant et après l'examen
- Une consultation de suivi entre 3 et 6 mois post thérapeutique que ce soit une chirurgie, une infiltration, un traitement orthétique, ou une simple surveillance.

Pour les patients ayant réalisé deux scintigraphies successives dans l'histoire de leur maladie, chaque examen a été pris en compte séparément, si la question posée par le chirurgien concernait deux articulations différentes.

Les antécédents (et leurs traitements) suivants ont également été noté :

- Les traumatismes anciens que ce soit les entorses, les fractures ou les lésions tendino-ligamentaires.
- Les troubles de la statique congénitaux (pied bot varus équin, les coalitions du tarse...).
- Les acquis comme le pied plat valgus ou les pieds creux

Les critères d'exclusion étaient :

- Les patients mineurs au moment de l'examen
- Les suspicions d'algodystrophie
- Les antécédents de néoplasie
- Les antécédents de diabète compliqué d'une neuro-ostéoarthropathie de Charcot.
- Les patients sans consultation pré scintigraphie avec un chirurgien orthopédiste ou sans consultation post thérapeutique.

2. Caractéristiques des patients (tableau 1)

65 patients ont donc été inclus, 37 hommes et 28 femmes avec un âge moyen de 46,9 ans. 37 d'entre eux présentaient un antécédent post-traumatique principalement des entorses et des fractures malléolaires ou du calcaneus ainsi que lésions ostéochondrales du dôme talien. 24 avaient un antécédent de trouble de la statique soit un pied plat valgus (acquis ou congénital sur coalition du tarse), un pied creux ou un pied bot varus équin traité dans l'enfance. 3 patients souffraient de pathologies rhumatologiques comme la polyarthrite rhumatoïde ou de chondrocalcinose.

32 d'entre eux avaient déjà été opéré de la cheville ou du pied dont 9 avaient encore du matériel en place, dont 7 arthrodèses (talo-crutale, subtalaire, ou Talo-naviculaire) et 1 prothèse de cheville.

Ils présentaient tous une douleur mécanique ou mixte chronique évoluant en moyenne depuis 2,37 ans (de 4 mois à 14 ans).

Nous avons divisé les patients en trois groupes selon l'articulation suspectée au départ par le chirurgien orthopédique

- Le groupe A soit l'arrière pied pour les atteintes des articulations talo-crutale et sous taliennes.
- Le groupe B soit le médio-pied pour les atteintes de la sous talienne antérieure et de l'interligne articulaire de Chopart.
- Le groupe C soit l'avant pied pour les atteintes de l'interligne articulaire de Lisfranc, des intercunéennes ou naviculo-cunéennes et cuboïdo-cunéennes.

Ainsi on obtient 53 patients dans le groupe A, 14 patients dans le groupe B et 6 patients dans le groupe C.

Tableau 1 Caractéristiques de la population étudiée

Caractéristiques de la population		
Age moyen	46,9 ans	écart type =15
Sexe	37 hommes	28 femmes
Antécédents post-traumatiques	37 patients	
Antécédents de trouble de la statique	24 patients	
Antécédents rhumatologiques	3 patients	
Antécédents chirurgicaux	32 patients	9 matériel toujours en place
Groupe arrière pied	53 patients	
Groupe médio-pied	14 patients	
Groupe avant-pied	6 patients	
Délai moyen de la symptomatologie douloureuse	2 ,37 ans	écart type= 2,75

B. Protocole d'acquisition

1. Scintigraphie osseuse

Tous les patients ont bénéficié d'une scintigraphie osseuse trois phases après injection de 7,4 MBq/Kg d'HDP marqués au technétium 99 m avec un maximum de 925 MBq sur une caméra Siemens Symbia T2 (Siemens Healthcare Erlangen Allemagne) Cf. figure 34.

Pour les images précoces nous réalisons des images statiques en face antérieure et postérieure des pieds et des chevilles pour les patients souffrant de l'arrière pied et le médio pied et des images en face plantaire pour les patients souffrant de l'avant pied. Ces images durent 300 secondes, sont réalisées 3 à 5 minutes après injection avec une matrice 254*254.

Pour l'image corps entier on réalise entre 2 et 3 heures après injection un balayage du crâne aux pieds à 16 cm / minute avec une matrice de 254* 1024.

2. Tomoscintigraphie couplée à la TDM

En cas d'hyperfixation significative sur les images précoces et/ou tardives sur la cheville, le tarse ou le métatarse, une tomoscintigraphie couplée au scanner complémentaire est réalisée selon le protocole habituel (cf. page 44), comptant 64 projection sur 360 degré avec 15 secondes d'acquisition par pas avec une matrice de 128*128.

Le scanner centré sur la région ciblée par la tomoscintigraphie est effectué avec un champs de vue identique ou plus réduit que celui de la tomoscintigraphie. L'intensité et le voltage sont adaptés par le logiciel Care dose (Siemens Healthcare Erlangen Allemagne) et sont en moyenne pour les extrémités de 120-130 Kv et 25-30 mA.

Les images tomoscintigraphiques obtenues sont reconstruites avec un algorithme itératif (Flash 3D) comprenant 5 itérations et 8 sous-ensembles ainsi qu'un filtre

gaussien de 5 mm. Ensuite une correction d'atténuation est appliquée grâce au scanner réalisé et la correction du diffusé n'est pas appliquée.

Les images sont ensuite fusionnées à la TDM qui est reconstruite en MPR en fenêtre partie molle avec un filtre B 30 et osseuse avec un filtre B 70 et avec une épaisseur de coupe de 2 mm.

Ainsi pour les extrémités on obtient une PDL de l'ordre 30 à 40 mGy/cm.

3. Critères d'interprétation des examens

Les examens scintigraphiques ont donc tous été relu de façon rétrospective sur une console Syngo (Siemens Erlangen Allemagne)

Les critères suivants ont été notés :

- Au temps précoce, une hyper vascularisation focale ou diffuse Cf. figure 43.
- Au temps osseux, toute hyperfixation articulaire ou osseuse Cf. figure 44.

Sur les images tomoscintigraphiques, une articulation était donc considérée positive et donc comme potentiellement responsable de la symptomatologie douloureuse si :

- Elle présentait une hyperfixation significative (soit nettement supérieure au bruit de fond)
- Elle était associée à des signes scanographiques d'atteinte dégénérative (pincement articulaire, ostéocondensation sous chondrale, géodes sous chondrales, et ostéophytes).

L'absence de traduction scintigraphique d'une articulation même si elle présentait une arthrose sur les images TDM était considérée comme négative, car cela témoignait d'une maladie non évolutive

De plus toute fixation des articulations métatarso phalangiennes et de l'inter phalangienne proximale du premier rayon était, si elle n'était pas suspectée au départ par le chirurgien orthopédique, et si elle n'était pas la seule articulation présentant une hyper fixation n'était pas considérée comme non positive.

4. Analyse statistique

Les performances diagnostiques de l'examen ont été calculées en terme de sensibilité, spécificité, valeurs prédictive positive et négative. L'efficacité diagnostique a également été calculée.

Les comparaisons entre les variables des différents groupes ont été réalisées par un test exact de Fischer, (réalisé sur le logiciel BIOSTATGV) compte tenu de faibles effectifs.

Les résultats sont donnés avec un intervalle de confiance de 95%.

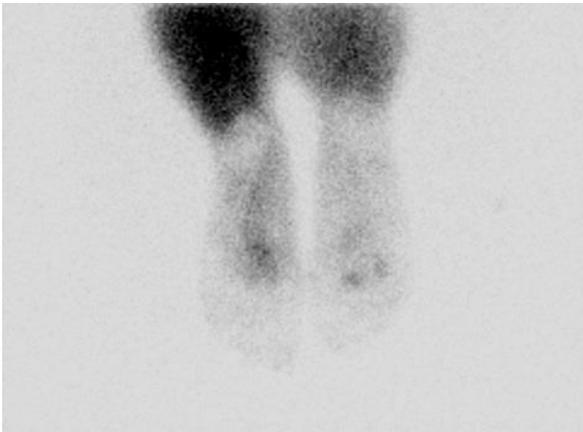


Figure 43 Image centrée sur les pieds au temps précoce montrant une hyperhémie des 2ème et 3ème métatarsiens

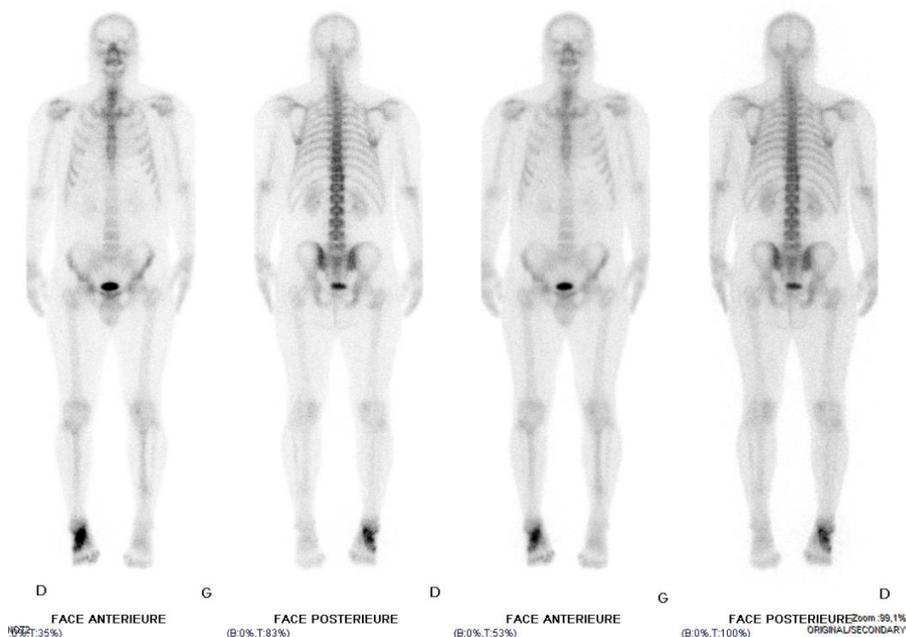


Figure 44 balayage corps entier retrouvant une hyperfixation de la cheville et du pied droits

RESULTATS

Performances diagnostiques

Au total, 106 articulations sont cliniquement et/ou scintigraphiquement positives après relecture des 65 examens. 55% d'entre elles (58/106) étaient concordantes (groupe 1)

Cf. figure 45

- 29 talo-crurales
- 15 sous taliennes postérieures et 1 antérieure
- 4 talo naviculaires
- 5 calcanéocuboidiennes
- 2 interlignes de Lisfranc
- 2 autres

45% (48/106) étaient discordantes (groupe 2) cf. figure 46 :

- 9 talo-crurales
- 14 sous taliennes postérieures, 2 moyennes et 2 antérieures
- 10 talo-naviculaires
- 6 calcanéocuboïdiennes
- 1 interligne de Lisfranc
- 4 autres

Parmi ces discordances, 27 articulations étaient cliniquement suspectes et indemnes en scintigraphie.

Pour 21 autres c'était l'inverse.

Il n'y avait pas de différence statistiquement significative dans la répartition des articulations des deux groupes $p=0,87$.

L'analyse des SPECT CT par articulation montre une sensibilité de 97%, une spécificité de 77%, une VPP de 91% et une VPN de 92%. L'efficacité diagnostique

est de 92%. Cf. tableau 2.

Si on s'intéresse non plus aux articulations mais aux patients, nous obtenions 48 % d'examens concordants (31/65). Parmi eux, 90% (28/31) présentaient une atteinte mono articulaire et 10% (3/31) une atteinte poly articulaire.

Dans 52% des patients (34/65), une discordance clinico-scintigraphique était retrouvée. Parmi eux 41% (14/34) présentaient une atteinte mono-articulaire dont 4 SPECT CT normales, et 10 examens où nous retrouvions une autre articulation que celle suspectée cliniquement. Dans 59% (20/34), l'atteinte était poly-articulaire, la SPECT CT apportant une information supplémentaire en plus ou en moins par rapport à l'examen clinique.

Statistiquement, il y avait plus d'atteintes poly-articulaires dans le groupe discordant : $p < 0,000001$ IC 95% [3,99 ; 199,07].

Si on s'intéresse à la localisation des atteintes dans le pied, l'analyse montre 47% (25/53) de discordance clinico-scintigraphique dans le groupe A. La sensibilité était de 96%, la spécificité de 74%, la VPP de 91% et la VPN de 88%. L'efficacité diagnostique était de 91%.

Dans le groupe B, nous obtenions 79% (11/14) de discordance, la sensibilité est de 100%, la spécificité de 92%, la VPP de 93% et la VPN de 100%. L'efficacité diagnostique est donc de 96%.

Dans le groupe C, nous avons 67% de discordance. Les performances n'étaient pas calculables compte tenu du faible effectif. Cf. tableau 2

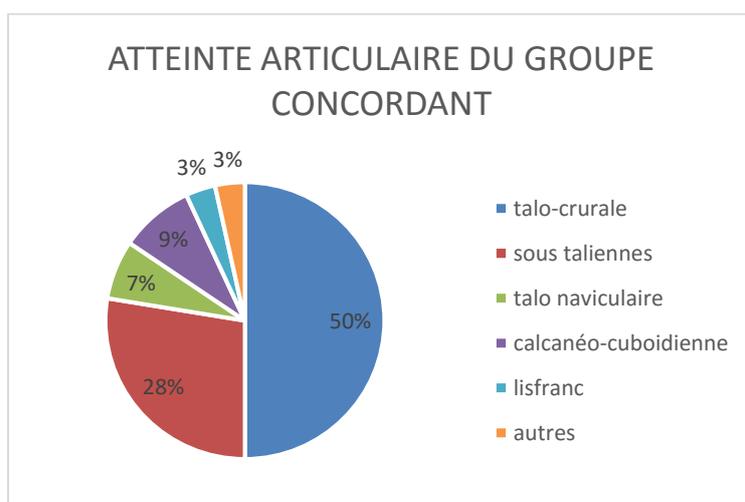


Figure 45 répartition des atteintes articulaires dans le groupe concordant

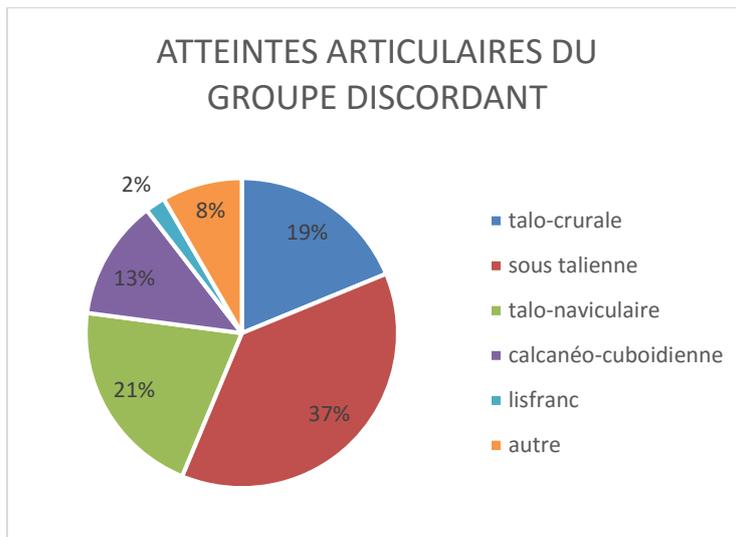


Figure 46 répartition des atteintes articulaires dans le groupe discordant

En SPECT CT, quand il existe une atteinte de l'articulation talo-crurale (n=30), elle était associée à une atteinte sous talienne (Cf. figure 47) dans 9 cas, une atteinte talo-naviculaire dans un cas et isolée dans 19 cas.

En cas d'atteinte de la sous talienne (Cf. figure 48 et 49) (n=24), elle était associée à la talo-crurale dans 9 cas, la talo-naviculaire dans 2 cas, la calcanéocuboidienne dans 2 cas et seule dans 11 cas.

En cas d'atteinte de la talo-naviculaire (n=9), elle était associée à la talo-crurale dans 1 cas, la sous talienne dans 2 cas, la calcanéocuboidienne dans 1 cas et seule dans 5 cas.

En cas d'atteinte de la calcanéocuboidienne (n=5), elle était associée à la sous talienne dans 2 cas, la talo-naviculaire dans 1 cas et seule dans 2 cas.

En cas d'atteinte du Lisfranc (n=3), elle était associée à la sous talienne dans 1 cas, à la calcanéocuboidienne dans 1 cas et seule dans 1 cas.

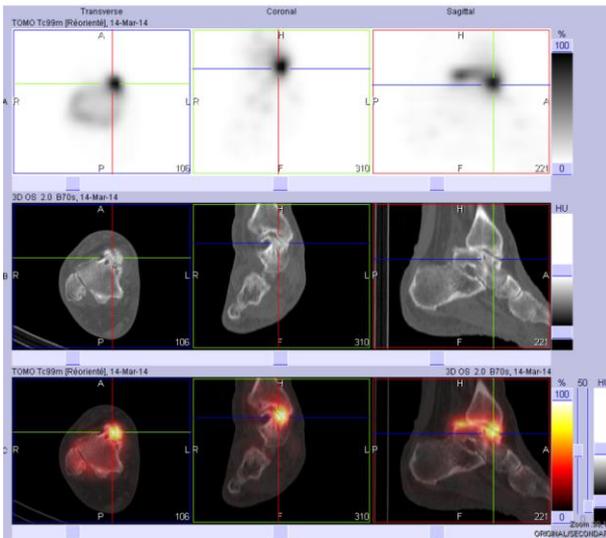


Figure 47 SPECT CT montrant une hyperfixation isolée de l'articulation talo-crurale

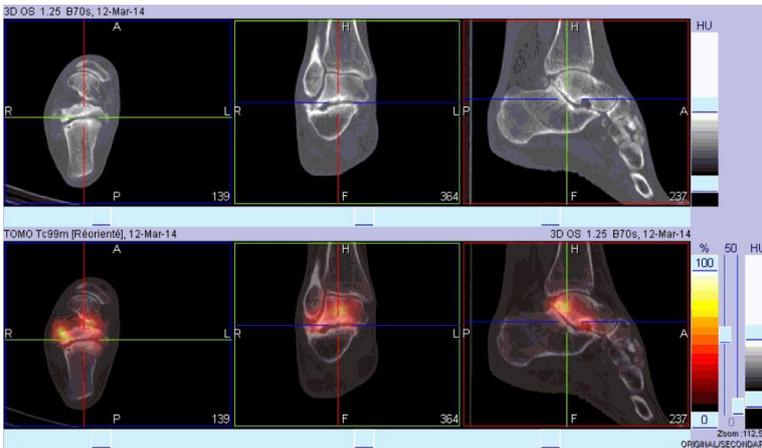


Figure 48 SPECT CT montrant une hyperfixation isolée de l'articulation sous talienne postérieure

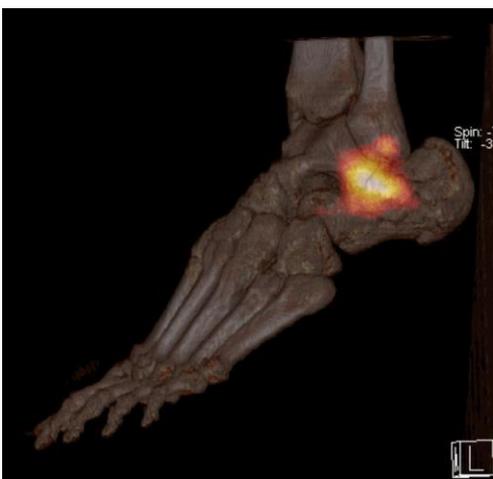


Figure 49 Fused VRT d'une arthropathie évolutive sous talienne gauche

Modifications thérapeutiques

Après l'examen scintigraphique, on observe un changement dans la prise en charge du patient dans 37% des cas (23/65), uniquement lorsqu'il existe une discordance entre la SPECT CT et la clinique. Cf. figure 50.

Lorsque l'atteinte est mono-articulaire, nous observons un changement dans la prise en charge dans 21% des cas (9/42) :

- 5 abstentions thérapeutiques
- 3 infiltrations de la seule articulation qui fixe en scintigraphie
- 1 changement d'arthrodèse

En cas d'atteinte poly-articulaire, un changement thérapeutique est observé dans 61% des cas (14/23) :

- 5 arthrodèses sous taliennes postérieures supplémentaires
- 1 arthrodèse du Chopart supplémentaire
- 1 mosaïc plastie devant l'atteinte isolée d'une LODA
- 4 infiltrations de toutes les articulations fixant en scintigraphie (SPECT CT positives)
- 3 chirurgies uniquement sur les articulations positives

Les changements thérapeutiques, étaient plus fréquents dans les atteintes poly-articulaires $p= 0,002$ IC 95% [0,0495 ; 0,61].

Nous observons également un allègement de la prise en charge chez 10 patients et une majoration dans 10 cas. Chez les 3 derniers patients la prise en charge été identique, le changement résidait uniquement sur sa topographie.

L'analyse par groupe articulaire montre, un taux de modification de la prise en charge post SPECT CT dans 32% (17/53) dans le groupe A, de 36% (5/14) dans le groupe B, et 17% (1/6) dans le groupe C. Cf. figure 50. Il n'est pas mis en de groupe articulaire où il existe un taux de modification de la prise en charge statistiquement significative :

- Groupe A $p= 0,72$ IC 95% [0,29 ; 16,04]
- Groupe B $p= 0,53$ IC 95% [0,33 ; 5,93]

- Groupe C $p= 0,66$ IC 95% [0,009 ; 4,56]

Si l'on prend les antécédents comme référence, nous avons 31% (11/37) de modifications thérapeutiques dans le groupe post traumatique, 25% (6/24) en cas de troubles de la statique et 31% (10/32) s'il y a déjà eu une intervention chirurgicale.

Là également il ne se dégage aucun groupe où la proportion de changement de prise en charge est statistiquement plus élevée :

- Post traumatique : $p= 0,79$ IC 95% [0,31 ; 3,64]
- Trouble de la statique : $p= 0,78$ IC 95% [0,19 ; 2,5]
- Chirurgical : $p= 0,79$ IC 95% [0,36 ; 4,04]

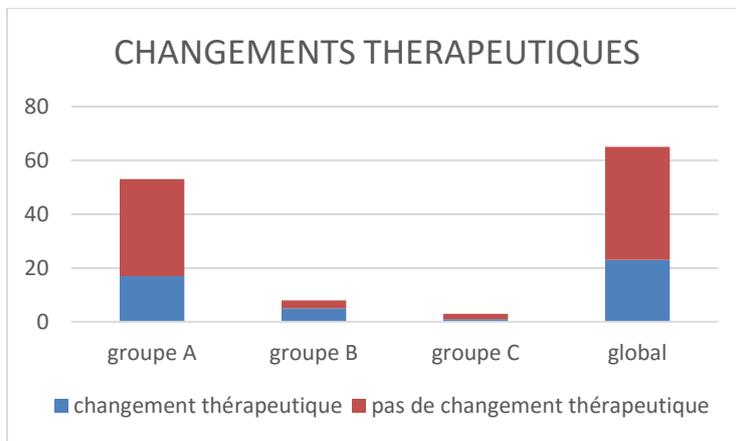


Figure 50 histogramme montrant les changements thérapeutiques

Evolution post thérapeutique

Les résultats de la SPECT CT sont pris en compte dans 83% des cas comprenant les examens concordants et les discordants avec changement thérapeutique (54/65 examens). Quand le résultat scintigraphique est pris en compte, il y a 83% (45/54) de bonne évolution clinique tandis qu'en cas contraire, le taux d'évolution favorable baisse à 73% (8/11). Cette différence n'est pas statistiquement significative avec $p=0,412$ IC 95% [0,266 ; 9,33].

Dans le groupe A, le taux de sédation des douleurs a été de 81%, il montait à 84% (38/45) quand le résultat de la scintigraphie était suivi et il baissé à 62% (5/8) quand ce n'était pas le cas. Cette baisse n'est toutefois pas statistiquement significative avec $p=0,349$ IC 95% [0,349 ; 17,678].

Dans le groupe B, le taux de sédation des douleurs a été dans 79% (8/14) des cas il monte à 88% (7/8) quand la SPECT CT est suivie et baisse à 67% (4/6) dans le cas contraire. Cette baisse n'est toutefois pas statistiquement significative avec $p=0,538$ IC 95% [0,127 ; 23,493].

Dans le groupe C, le taux de sédation des douleurs a été dans 67% (4/6). Il passe à 100% (3/3) si la SPECT CT est suivie et il baissé à 33%(1/3) sinon. $p=0,4$ IC 95% [0,201 ; ∞]. Cf. tableau 2.

	Groupe A	Groupe B	Groupe C	Globale
Nombre de patients				
Taux de discordance clinique/SPECT	47% (25/53)	79% (11/14)	67% (4/6)	45%
Taux de changement de prise en charge	32% (17/53)	36% (5/14)	17% (1/6)	37% (23/65)
Taux d'évolution favorable	81%	79% (8/14)	67% (4/6)	83% (54/65)
Performance de la scintigraphie				
Sensibilité	96%	100%	Nc	97%
Spécificité	74%	92%	Nc	77%
VPP	91	93%	Nc	91%
VPN	88%	100%	Nc	92%

Tableau 2 Récapitulatifs des résultats

DISCUSSION

La scintigraphie osseuse est un examen d'imagerie médicale connu pour avoir une excellente sensibilité, mais souffrant d'un manque de spécificité. L'objectif de cette étude était donc d'analyser l'apport de la SPECT CT, principale évolution technologique de ces dernières années, dans le bilan étiologique des douleurs chroniques du pied et de la cheville

Dans ce travail rétrospectif et monocentrique, la SPECT CT présente une bonne sensibilité et spécificité pour la détection des lésions responsables de douleurs chroniques du pied et de la cheville d'allure mécanique. Elles sont équivalentes à celles de la littérature notamment Claassen et al (32) retrouvent une sensibilité de 94% et une spécificité de 57% et Singh et al (33) une sensibilité de 94% et une spécificité de 95,45%. Les petites différences peuvent être en relation avec le nombre moins important de patients inclus et surtout une plus importante hétérogénéité de notre population qui compte un nombre important de patients ayant déjà été opérés de la région douloureuse, et d'autre part, les patients inclus dans ce travail présentaient des atteintes d'âge variable et également des pathologies multiples associées (LODA ou coalitions du tarse).

Nous retrouvons bien l'idée développée en imagerie médicale (9) que l'arthrose de la cheville et du pied touche souvent un groupe articulaire de même fonction, en effet nous n'avons pas retrouvé d'atteinte de l'arrière pied associée à l'avant pied et peu d'atteintes de la cheville associées au médio-pied.

Dans ce travail, la SPECT CT présente un intérêt majeur dans les atteintes poly-articulaires plus particulièrement à deux niveaux :

Premièrement, lors des atteintes de l'arrière pied (sensibilité 96%, spécificité 74%) principalement dans la recherche de l'atteinte de l'articulation sous talienne postérieure associée aux lésions dégénératives de la cheville. En effet cette atteinte peut avoir des conséquences importantes dans la prise en charge du patient, car elle peut être une contrindication à la pose d'une prothèse de cheville (20), ou poser

l'indication d'une arthrodèse sous talienne postérieure en complément d'une prothèse totale (34), ou d'une arthrodèse Talo-crurale déjà en place, complication fréquente à long terme de ces interventions (18).

Deuxièmement quand il s'agit d'éliminer ou de confirmer l'atteinte du médio pied associée à celle de l'arrière pied (VPN de 100% dans le groupe médio pied). Ce diagnostic est très important pour le chirurgien devant adapter sa prise en charge en fonction des atteintes articulaires, par exemple hésitant entre une arthrodèse mono-articulaire et une arthrodèse du couple de torsion chez un patient présentant un pied plat valgus.

Récemment, Stollfuss et al (35) ont comparé les performances de la SPECT CT et des images planaires dans la localisation précise de lésions arthrosiques inflammatoires du pied et de la cheville et il n'en ressort qu'une différence significative dans le médio-pied. C'est d'ailleurs dans ces localisations que les discordances clinique/ SPECT CT sont les plus fréquentes dans notre travail, car il s'agit de régions complexes sur le plan anatomique notamment s'il existe des lésions fracturaires ou des troubles de la statique sévères déjà opérés.

D'ailleurs, nous observons 79% de changement thérapeutique dans le médio-pied, ce qui est comparable à l'étude rapportée par Claassen et al qui retrouve des taux de changement thérapeutique de 75% pour l'interligne de Chopart et de Lisfranc.

Or nous avons retrouvé cette seule étude dans la littérature qui a relaté les changements dans la prise en charge thérapeutique des douleurs de la cheville et du pied après une scintigraphie osseuse. Dans notre étude, nous retrouvons un taux de changement thérapeutique de 61% en ne prenant en compte que les atteintes poly-articulaires, similaire à ce travail de Claassen et al (32) qui retrouvaient un taux de plus de 68,6%. Mais les patients présentaient des pathologies plus complexes, sans antécédents chirurgicaux, dont la prise en charge pré SPECT CT n'était pas clairement définie. Nos patients n'étaient pas sélectionnés sur la complexité de leur pathologie et étaient plus représentatifs de la population générale avec une proportion d'atteinte mono-articulaire supérieure diminuant nettement le taux de modification thérapeutique (37%) mais également plusieurs types d'antécédents et d'étiologies initiales de la symptomatologie algique.

Néanmoins, il existe bel et bien un apport de la SPECT CT sur la prise en charge thérapeutique principalement en cas d'atteinte polyarticulaire où l'examen clinique peut être pris à défaut par la proximité anatomique des lésions articulaire ou les douleurs projetées.

De plus la SPECT CT améliore, grâce à l'hybridation des images tomoscintigraphiques avec les images haute résolution de la tomодensitométrie, la détection des hyperfixations peu intenses et la précision de la localisation anatomique. Elle améliore également la spécificité de l'examen : (d'abord décrit pour la détection des métastases osseuses principalement vertébrales(1,36)), grâce aux images fusionnées SPECT et TDM en coupe et à leur reconstruction MPR dans les trois plans, il est plus facile de se placer dans l'axe de n'importe quelle articulation, permettant un diagnostic différentiel de l'atteinte plus aisée quels que soit les antécédents et les remaniements chirurgicaux éventuels associés.

La localisation de l'atteinte dégénérative responsable de la douleur est donc cruciale pour la suite de la prise en charge et la scintigraphie osseuse apparait donc comme un examen très sensible et maintenant spécifique pour différencier les pathologies ostéo-articulaires responsables de la symptomatologie douloureuse. Dans la plupart des cas, un bilan morphologique est réalisé en première intention. La sémiologie des radiographies standards ou de la tomодensitométrie est basée sur des changements physiques visibles : pincement articulaire, ostéophytose, qui sont plus tardifs et moins bien corrélés à la symptomatologie douloureuse et parfois correspondent à une maladie dégénérative inactive souvent séquellaire d'un traumatisme ancien (37). Ha et al (38) ont comparé les performances respectives de l'IRM et de la SPECT CT dans le diagnostic de douleurs du pied et de la cheville. Ils rapportent une sensibilité, spécificité, VPP et VPN comparables avec pour chacune des modalités des domaines où l'une était meilleure que l'autre : la scintigraphie pour la détection des lésions osseuses et l'IRM dans la caractérisation des lésions tendino-ligamentaires. En ce qui concerne les atteintes articulaires, les performances étaient similaires pour les deux examens. La SPECT CT apparait donc comme un examen très sensible pour la détection des lésions dégénératives même de façon précoce c'est-à-dire avant les modifications anatomiques (38,39), apportant des informations complémentaires principalement sur l'os sous chondral, (même dans des régions anatomique complexes où de petites articulations sont très proches les unes des autres), avec une très bonne reproductibilité inter et intra observateur(40).

La SPECT CT apparait donc complémentaire de l'IRM lors du bilan pré chirurgical d'atteintes dégénératives du pied et de la cheville, et indispensable quand cette dernière n'est pas concluante ou ne peut être réalisée en raison de la présence de matériel métallique (19).

Nos patients ayant été revus systématiquement 3 à 6 mois après le traitement, nous avons observé un taux élevé (84%) de sédation des douleurs qui est équivalent à ceux retrouvés dans la littérature. 81% pour Nathan et al (41), Singh et al (17) 91% pour Singh et al (17) et 93% pour Claassen et al (16).

Ces résultats, sont tous concordant avec le travail de Kretzschmar et al (42).

30 patients présentant des douleurs de la cheville et du pied depuis au moins trois mois sans indication chirurgicale formelle, ont reçu une infiltration de dérivés cortisonés à chaque hyperfixation articulaire du pied. Cela a permis d'obtenir 90% de sédation des douleurs. En effet, la scintigraphie osseuse étant un examen d'imagerie fonctionnelle et l'augmentation du turn-over osseux, se traduit par un foyer d'hyperfixation, qui correspond dans pratiquement tous les cas au foyer douloureux avec une plus grande valeur prédictive que l'examen clinique (42).

Ainsi une articulation présentant des signes radiographiques ou scanographiques d'atteinte dégénérative mais une absence d'hyperfixation sur la scintigraphie osseuse n'est pas responsable de la douleur car il n'existe pas d'évolutivité des lésions dégénératives. C'est également le cas dans d'autres pathologies ostéo-articulaires du pied et de la cheville comme les LODA (43). Cf. figure 51

Ha et al (38) ont également montré qu'une analyse semi-quantitative de l'intensité de la fixation permet de distinguer les lésions symptomatiques de celles qui ne le sont pas. Une gradation des lésions en fonction de leur intensité, pourrait être envisagée permettant au chirurgien d'adapter sa prise en charge dans le temps selon l'atteinte plus ou moins sévère des différentes articulations.

Enfin, l'irradiation supplémentaire du patient lié au scanner est très faible aux extrémités (produit dose longueur située dans une fourchette entre 30 et 40 mGy/cm) et paraît nettement justifiée compte tenu des bénéfices diagnostiques apportés par cette technique.



Figure 51 SPECT CT montrant une hyperfixation d'une LODA médiale du pied gauche

CONCLUSION

Notre travail a permis d'une part, de confirmer l'intérêt diagnostique croissant des techniques de SPECT CT dans les pathologies du pied et de la cheville, et d'autre part, d'évaluer leur impact dans la prise en charge thérapeutique des patients. En effet nous avons montré que 23 patients sur 65, soit 37% voyaient leur indication thérapeutique modifiée après réalisation de l'examen scintigraphique. Si, à court terme, ces modifications thérapeutiques semblent bénéfiques, il reste cependant à confirmer cette impression sur le long terme.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Paycha F, Richard B. Scintigraphie de l'appareil locomoteur. [Httpwwwem-Premiumcomdoc-Distantuniv-Lille2frdatatraitesap14-22824](http://www.em-premium.com/doc-distant.univ-lille2.fr/doi/10.1016/j.annrhum.2014.05.001) [Internet]. [cited 2016 May 21]; Available from: [http://www.em-premium.com.doc-distant.univ-lille2.fr/article/7567/resultatrecherche/1](http://www.em-premium.com/doc-distant.univ-lille2.fr/article/7567/resultatrecherche/1)
2. Lewis OJ. The joints of the evolving foot. Part I. The ankle joint. *J Anat.* 1980 May;130(Pt 3):527–43.
3. Perry J. Anatomy and biomechanics of the hindfoot. *Clin Orthop.* 1983 Aug;(177):9–15.
4. Baron-Sarrabère M-P, Hoa D, Thouvenin Y, Cyteval C. Radioanatomie du pied. [Httpwwwem-Premiumcomdoc-Distantuniv-Lille2frdatatraitesrx30-54130](http://www.em-premium.com/doc-distant.univ-lille2.fr/doi/10.1016/j.annrhum.2009.12.001) [Internet]. 2009 Dec 28 [cited 2016 Mar 24]; Available from: <http://www.em-premium.com.doc-distant.univ-lille2.fr/article/238355>
5. Damiano J. Diagnostic d'une douleur du pied chez l'adulte. [Httpwwwem-Premiumcomdoc-Distantuniv-Lille2frdatatraitespg027-63867](http://www.em-premium.com/doc-distant.univ-lille2.fr/doi/10.1016/j.annrhum.2015.08.001) [Internet]. 2015 Aug 28 [cited 2015 Dec 27]; Available from: <http://www.em-premium.com.doc-distant.univ-lille2.fr/article/996854/resultatrecherche/3>
6. Chevalier X. Physiopathologie de l'arthrose. [Httpwwwem-Premiumcomdoc-Distantuniv-Lille2frdatatraitesap14-45638](http://www.em-premium.com/doc-distant.univ-lille2.fr/doi/10.1016/j.annrhum.2008.03.001) [Internet]. 2008 Mar 12 [cited 2016 Jan 21]; Available from: <http://www.em-premium.com.doc-distant.univ-lille2.fr/article/194133>
7. Riordan EA, Little C, Hunter D. Pathogenesis of post-traumatic OA with a view to intervention. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2014 Feb 1;28(1):17–30.
8. Valderrabano V, Horisberger M, Russell I, Dougall H, Hintermann B. Etiology of

- Ankle Osteoarthritis. *Clin Orthop*. 2009 Jul;467(7):1800–6.
9. Mathieu P, Morvan G, Wybier M, Busson J. Arthrose et pathologie dégénérative articulaire de la cheville et du pied. [Httpwwwem-Premiumcomdoc-Distantuniv-Lille2frdatatraitesrx31-11005](http://www.em-premium.com/doc-distant.univ-lille2.fr/article/21941) [Internet]. [cited 2016 Feb 12]; Available from: <http://www.em-premium.com.doc-distant.univ-lille2.fr/article/21941>
 10. Ladeb MF, Chelli Bouaziz M, Meherzi MH. Arthrose du pied. *EMC - Radiol Imag Médicale - Musculosquelettique - Neurol - Maxillofac*. 2012 Sep;7(3):1–11.
 11. Lübbecke A, Salvo D, Stern R, Hoffmeyer P, Holzer N, Assal M. Risk factors for post-traumatic osteoarthritis of the ankle: an eighteen year follow-up study. *Int Orthop*. 2012 Jul;36(7):1403–10.
 12. Wang B, Saltzman CL, Chalayon O, Barg A. Does the subtalar joint compensate for ankle malalignment in end-stage ankle arthritis? *Clin Orthop*. 2015 Jan;473(1):318–25.
 13. Maynou C, Naudi S, Staquet V, Parent S, Boniface O. Pied plat valgus statique de l'adulte (y compris synostoses congénitales). *EMC - Appar Locomoteur*. 2010 Jan;5(1):1–12.
 14. Menz HB, Munteanu SE, Zammit GV, Landorf KB. Foot structure and function in older people with radiographic osteoarthritis of the medial midfoot. *Osteoarthr Cartil OARS Osteoarthr Res Soc*. 2010 Mar;18(3):317–22.
 15. Denning JR. Tarsal Coalition in Children. *Pediatr Ann*. 2016 Apr 1;45(4):e139–43.
 16. Santos ALG, Demange MK, Prado MP, Fernandes TD, Giglio PN, Hintermann B. Cartilage lesions and ankle osteoarthrosis: review of the literature and treatment algorithm. *Rev Bras Ortop*. 2014 Nov 11;49(6):565–72.
 17. Holzer N, Salvo D, Marijnissen ACA, Vincken KL, Ahmad AC, Serra E, et al. Radiographic evaluation of posttraumatic osteoarthritis of the ankle: the Kellgren-Lawrence scale is reliable and correlates with clinical symptoms. *Osteoarthr Cartil OARS Osteoarthr Res Soc*. 2015 Mar;23(3):363–9.

18. Barg A, Pagenstert GI, Horisberger M, Paul J, Gloyer M, Henninger HB, et al. Supramalleolar osteotomies for degenerative joint disease of the ankle joint: indication, technique and results. *Int Orthop*. 2013 Sep;37(9):1683–95.
19. Takakura Y, Tanaka Y, Sugimoto K, Akiyama K, Tamai S. Long-term results of arthrodesis for osteoarthritis of the ankle. *Clin Orthop*. 1999 Apr;(361):178–85.
20. Bonasia DE, Dettoni F, Femino JE, Phisitkul P, Germano M, Amendola A. TOTAL ANKLE REPLACEMENT: WHY, WHEN AND HOW? *Iowa Orthop J*. 2010;30:119–30.
21. MORVAN G, BUSSON J, WYBIER M, MATHIEU P, VUILLEMIN-BODAGHI V. Les imageries du pied et de la cheville. [Httpwwwem-Premiumcomdoc-Distantuniv-Lille2frdatarevues0762915X0021000134](http://www.em-premium.com.doc-Distantuniv-Lille2frdatarevues0762915X0021000134) [Internet]. 2008 Feb 19 [cited 2015 Dec 14]; Available from: <http://www.em-premium.com.doc-distant.univ-lille2.fr/article/86645/resultatrecherche/15>
22. Wybier M, Mathieu P, Morvan G, Vuillemin-Bodaghi V, Guerini H. [Muculoskeletal radiology: ankle and foot in adults]. *J Radiol*. 2008 May;89(5 Pt 2):711–24, quis 735–6.
23. Saliou G, Kocheida M, Vernois J, Bonnaire B, Lehmann P, Vanden Abeel B, et al. [Ankle and foot sprains: conventional radiography aspects]. *J Radiol*. 2007 Apr;88(4):541–7.
24. Brasseur J-L, Zeitoun-Eiss D, Renoux J, Bach G. Apport de l'échographie dans l'exploration du pied et de la cheville. [Httpwwwem-Premiumcomdoc-Distantuniv-Lille2frdatatraitesspg027-53770](http://www.em-premium.com.doc-Distantuniv-Lille2frdatatraitesspg027-53770) [Internet]. 2009 Nov 18 [cited 2016 Jan 11]; Available from: <http://www.em-premium.com.doc-distant.univ-lille2.fr/article/232106/resultatrecherche/25>
25. Ekinci S, Polat O, Günalp M, Demirkan A, Koca A. The accuracy of ultrasound evaluation in foot and ankle trauma. *Am J Emerg Med*. 2013 Nov;31(11):1551–5.
26. Morrison R, McCarty J, Cushing FR. Three-dimensional computerized tomography: a quantum leap in diagnostic imaging? *J Foot Ankle Surg Off Publ Am Coll Foot Ankle Surg*. 1994 Feb;33(1):72–6.

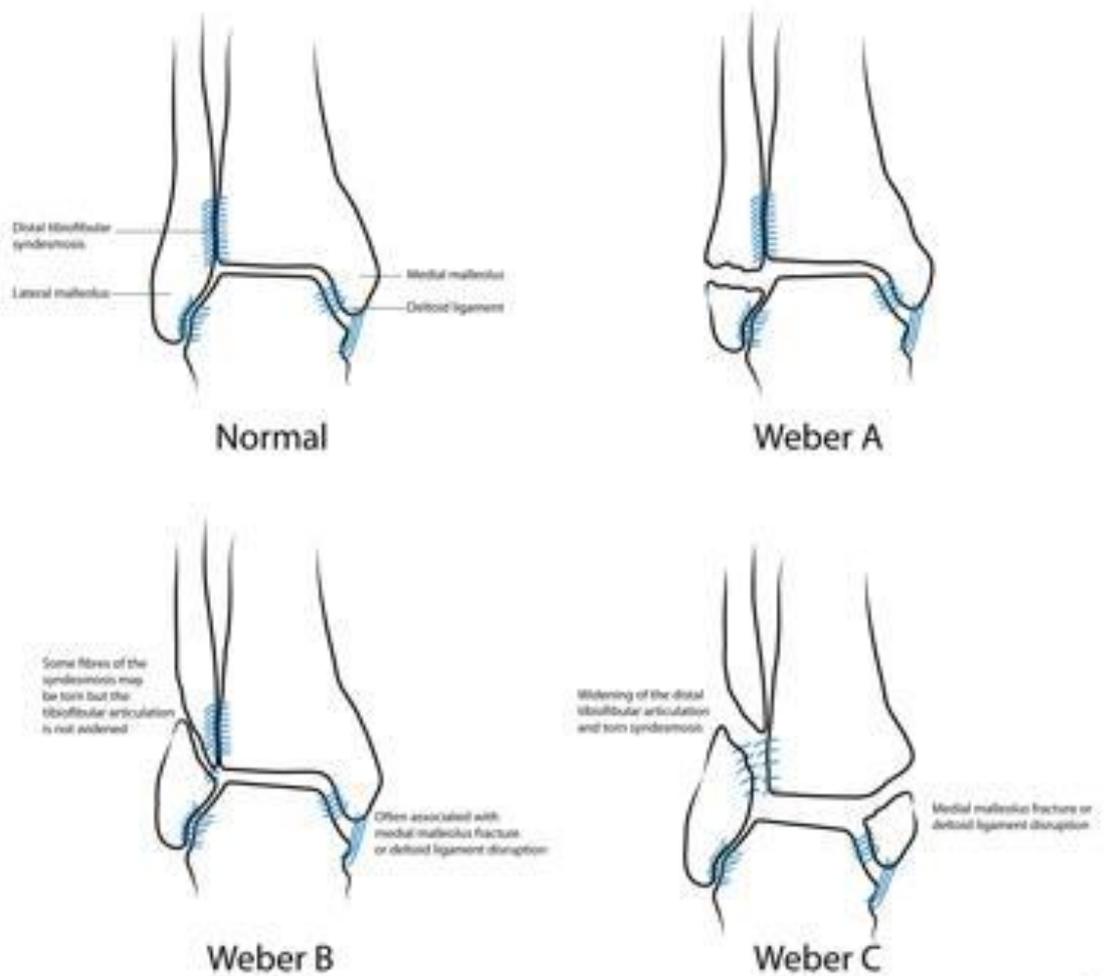
27. Lawrence DA, Rolan MF, Morshed KA, Moukaddam H. MRI of heel pain. *AJR Am J Roentgenol*. 2013 Apr;200(4):845–55.
28. Iyer RS, Thapa MM. MR imaging of the paediatric foot and ankle. *Pediatr Radiol*. 2013 Mar;43 Suppl 1:S107–19.
29. Huglo D, Dubois P, Vermandel M. Principes et techniques de scintigraphie et tomographie par simple photon. [Httpwwwem-Premiumcomdoc-Distantuniv-Lille2frdatatraités635-60168](http://www.em-premium.com/doc-distant.univ-lille2.fr/datatraités/635-60168) [Internet]. 2012 Jun 11 [cited 2016 May 15]; Available from: [http://www.em-premium.com.doc-distant.univ-lille2.fr/article/757476/resultatrecherche/2](http://www.em-premium.com/doc-distant.univ-lille2.fr/article/757476/resultatrecherche/2)
30. Société Française de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire (SFMN). Guide pour la rédaction de protocole pour la scintigraphie osseuse [Internet]. [cited 2016 Mar 24]. Available from: <http://www.sfmn.org/index.php/la-societe/guides-des-procedures-examens-diagnostiques?showall=&start=4>
31. Larkin AM, Serulle Y, Wagner S, Noz ME, Friedman K, Larkin AM, et al. Quantifying the Increase in Radiation Exposure Associated with SPECT/CT Compared to SPECT Alone for Routine Nuclear Medicine Examinations, Quantifying the Increase in Radiation Exposure Associated with SPECT/CT Compared to SPECT Alone for Routine Nuclear Medicine Examinations. *Int J Mol Imaging Int J Mol Imaging*. 2011 Jul 4;2011, 2011:e897202.
32. Claassen L, Uden T, Ettinger M, Daniilidis K, Stukenborg-Colsman C, Plaass C. Influence on therapeutic decision making of SPECT-CT for different regions of the foot and ankle. *BioMed Res Int*. 2014;2014:927576.
33. Singh VK, Javed S, Parthipun A, Sott AH. The diagnostic value of single photon-emission computed tomography bone scans combined with CT (SPECT-CT) in diseases of the foot and ankle. *Foot Ankle Surg Off J Eur Soc Foot Ankle Surg*. 2013 Jun;19(2):80–3.
34. Gross CE, Lewis JS, Adams SB, Easley M, DeOrio JK, Nunley JA. Secondary Arthrodesis After Total Ankle Arthroplasty. *Foot Ankle Int*. 2016 Mar 30;

35. Stollfuss JC, Freudenberg LS, Wieder H. 99mTc-DPD SPECT/CT for localisation of inflammatory and chronic osteoarthritis of the foot and ankle. Comparison with planar imaging and SPECT as a clinical adjunct in radiosynovectomy. *Nukl Nucl Med*. 2016 Apr 11;55(4).
36. Savelli G, Maffioli L, Maccauro M, De Deckere E, Bombardieri E. Bone scintigraphy and the added value of SPECT (single photon emission tomography) in detecting skeletal lesions. *Q J Nucl Med Off Publ Ital Assoc Nucl Med AIMN Int Assoc Radiopharmacol IAR*. 2001 Mar;45(1):27–37.
37. Khan KM, Tress BW, Hare WS, Wark JD. Treat the patient, not the x-ray: advances in diagnostic imaging do not replace the need for clinical interpretation. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med*. 1998 Jan;8(1):1–4.
38. Ha S, Hong SH, Paeng JC, Lee DY, Cheon GJ, Arya A, et al. Comparison of SPECT/CT and MRI in diagnosing symptomatic lesions in ankle and foot pain patients: diagnostic performance and relation to lesion type. *PloS One*. 2015;10(2):e0117583.
39. Kim H-R, So Y, Moon S-G, Lee I-S, Lee S-H. Clinical value of 99mTc-methylene diphosphonate (MDP) bone single photon emission computed tomography (SPECT) in patients with knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2008 février;16(2):212–8.
40. Pagenstert GI, Barg A, Leumann AG, Rasch H, Müller-Brand J, Hintermann B, et al. SPECT-CT imaging in degenerative joint disease of the foot and ankle. *J Bone Joint Surg Br*. 2009 Sep 1;91-B(9):1191–6.
41. Nathan M, Mohan H, Vijayanathan S, Fogelman I, Gnanasegaran G. The role of 99mTc-diphosphonate bone SPECT/CT in the ankle and foot. *Nucl Med Commun*. 2012 Aug;33(8):799–807.
42. Kretzschmar M, Wiewiorski M, Rasch H, Jacob AL, Bilecen D, Walter MA, et al. 99mTc-DPD-SPECT/CT predicts the outcome of imaging-guided diagnostic anaesthetic injections: a prospective cohort study. *Eur J Radiol*. 2011 Dec;80(3):e410–5.

43. Leumann A, Valderrabano V, Plaass C, Rasch H, Studler U, Hintermann B, et al. A novel imaging method for osteochondral lesions of the talus--comparison of SPECT-CT with MRI. *Am J Sports Med.* 2011 May;39(5):1095–101.

ANNEXES

ANNEXE 1 : CLASSIFICATION DE WEBER



F. Gaillard
2009
Orthopaedics © ICM, SA-BF

Annexe 2 : Indications de la scintigraphie osseuse

Oncologie	<p>Cancers solides ostéophiles : sein, prostate, bronches, rein... Hémapathies malignes à localisations osseuses : Maladie de Hodgkin, lymphomes non hodgkiniens... Tumeurs primitives et dysplasies osseuses : ostéosarcome, ostéome ostéoïde, ostéoblastome, dysplasie fibreuse, tumeur à cellules géantes (ostéoclastome), ostéopécilie... Sarcomes des tissus mous (rhabdomyosarcome...) Syndromes paranéoplasiques : ostéoarthropathie hypertrophante pneumique de Pierre Marie-Bamberger, algodystrophie, pseudopolyarthrite rhizomélique, poly(dermato)myosite, ostéomalacie, pseudo-polyarthrite rhizomélique...</p>
Rhumatologie	<p>Ostéonécrose : tête fémorale, condyle fémoral, plateau tibial... Algodystrophie réflexe locorégionale : main, hanche, genou, pied... à la phase « chaude » (pseudo-inflammatoire) ou froide (d'emblée ou en phase II) Arthrose : arthrose inter-apophysaire postérieure (syndrome facéaire), coxarthrose, arthrose fémoro-tibiale, arthrose fémoro-patellaire, rhizarthrose... Rhumatismes inflammatoires chroniques (polyarthrite rhumatoïde, spondylarthropathies et rhumatismes apparentés [spondylarthrite ankylosante, rhumatisme psoriasique, syndrome de Fiessinger-Leroy-Reiter, syndrome SAPHO, ostéomyélite récurrente multifocale chronique]...) Enthésopathies (aponévrosite plantaire, tendinopathie ou bursite achilléenne...) Syndrome de Tietze (chondrite costale) Polymyosites Maladie de Paget Histiocytoses langheransiennes (granulome éosinophile, maladie de Hans-Schüller-Christian, maladie de Letterer-Siwe) et non langheransiennes (maladie de Erdheim-Chester, syndrome de Schnitzler) Autres pathologies ostéo-articulaires rares (sarcoïdose ostéo-articulaire, maladie de Behçet, maladie périodique...)</p>
Infections ostéo-articulaires	<p>Ostéomyélite aiguë, subaiguë ou chronique, à germes banals, à mycobactérie, fongique... Arthrite septique Spondylodiscite et spondylite Descellement septique ou complication mécanique d'ostéosynthèse (os long, rachis) et de prothèse (hanche, genou, cheville, épaule...)</p>
Traumatologie du sport	<p>Fractures de fatigue par hypersollicitation (ou de surmenage) Périostites (tibiales ou shin splints...) Enthésopathies (tendinopathie ou bursite achilléenne, aponévrosite plantaire...) Isthmolyse (aiguë ou subaiguë) de l'adolescent sportif</p>
Ostéopathies métaboliques	<p>Hyperparathyroïdie Ostéomalacie Ostéodystrophie rénale Manifestations osseuses rares d'autres endocrinopathies (hyperthyroïdie, acromégalie...)</p>
Orthopédie	<p>Fractures traumatiques occultes (infraradiologiques) Fractures de fatigue par insuffisance osseuse (fractures-tassements vertébraux ostéoporotiques, fracture du sacrum, de la tête fémorale, du tarse, des métatarsiens...) Descellement septique ou complication mécanique d'ostéosynthèse (os long, rachis) et de prothèse (hanche, genou, cheville, épaule...) Pseudarthrose (atrophique, hypertrophique) Ostéome para-articulaire Viabilité de greffe osseuse</p>
Pédiatrie	<p>Ostéochondrite de hanche (maladie de Legg-Calvé-Perthes) Synovite transitoire de hanche Ostéome ostéoïde Syndrome des enfants battus Drépanocytose</p>

Annexe 3 : Algorithme de calcul de dose à injecter en pédiatrie recommandée par L'EANM.



Dosage Card (Version 1.2.2014)

Multiple of Baseline Activity

Weight kg	Class A	Class B	Class C	Weight kg	Class A	Class B	Class C
3	1	1	1	32	3.77	7.29	14.00
4	1.12	1.14	1.33	34	3.88	7.72	15.00
6	1.47	1.71	2.00	36	4.00	8.00	16.00
8	1.71	2.14	3.00	38	4.18	8.43	17.00
10	1.94	2.71	3.67	40	4.29	8.86	18.00
12	2.18	3.14	4.67	42	4.41	9.14	19.00
14	2.35	3.57	5.67	44	4.53	9.57	20.00
16	2.53	4.00	6.33	46	4.65	10.00	21.00
18	2.71	4.43	7.33	48	4.77	10.29	22.00
20	2.88	4.86	8.33	50	4.88	10.71	23.00
22	3.06	5.29	9.33	52-54	5.00	11.29	24.67
24	3.18	5.71	10.00	56-58	5.24	12.00	26.67
26	3.35	6.14	11.00	60-62	5.47	12.71	28.67
28	3.47	6.43	12.00	64-66	5.65	13.43	31.00
30	3.65	6.86	13.00	68	5.77	14.00	32.33

$$A[\text{MBq}]_{\text{Administered}} = \text{Baseline Activity} \times \text{Multiple}$$

- For a calculation of the administered activity, the baseline activity value has to be multiplied by the multiples given above for the recommended radiopharmaceutical class (see reverse).
- If the resulting activity is smaller than the minimum recommended activity, the minimum activity should be administered.
- The national diagnostic reference levels should not be exceeded!

Examples:

- ¹⁸F FDP-PET Brain, 50 kg: activity to be administered [MBq] = 14.0 x 10.71 [MBq] ≈ 150 MBq
- ¹²³I mIBG, 3 kg: activity to be administered [MBq] = 28.0 x 1 [MBq] = 28 MBq < 37 MBq (Minimum Recommended Activity)
→ activity to be administered: 37 MBq

This card is based upon the publication by Jacobs F, Thierens H, Piepsz A, Bacher K, Van de Wiele C, Ham H, Dierckx RA. Optimized tracer-dependent dosage cards to obtain weight-independent effective doses. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2005 May; 32(5):581-8.

This card summarizes the views of the Paediatric and Dosimetry Committees of the EANM and reflects recommendations for which the EANM cannot be held responsible.

The dosage recommendations should be taken in context of „good practice“ of nuclear medicine and do not substitute for national and international legal or regulatory provisions.



Android App



iPhone App

EANM Executive Secretariat

Hollandstrasse 14/Mezzanine · 1020 Vienna, Austria

Phone: +43-1-2128030, fax: +43-1-21280309

office@eanm.org - www.eanm.org - fb/officialEANM

Recommended Amounts in MBq

Radiopharmaceutical	Class	Baseline Activity (for calculation purposes only)	Minimum Recommended Activity ¹
		MBq	MBq
¹²³ I (Thyroid)	C	0.6	3
¹²³ I Amphetamine (Brain)	B	13.0	18
¹²³ I HIPURAN (Abnormal renal function)	B	5.3	10
¹²³ I HIPURAN (Normal renal function)	A	12.8	10
¹²³ I mIBG	B	28.0	37
¹³¹ I mIBG	B	5.6	35
¹⁸ F FDG-PET torso	B	25.9	26
¹⁸ F FDG-PET brain	B	14.0	14
¹⁸ F Sodium fluoride	B	10.5	14
⁶⁷ Ga Citrate	B	5.6	10
^{99m} Tc ALBUMIN (Cardiac)	B	56.0	80
^{99m} Tc COLLOID (Gastric Reflux)	B	2.8	10
^{99m} Tc COLLOID (Liver/Spleen)	B	5.6	15
^{99m} Tc COLLOID (Marrow)	B	21.0	20
^{99m} Tc DMSA	B	6.8	18.5
^{99m} Tc DTPA (Abnormal renal function)	B	14.0	20
^{99m} Tc DTPA (Normal renal function)	A	34.0	20
^{99m} Tc ECD (Brain perfusion)	B	32.0	110
^{99m} Tc HMPAO (Brain)	B	51.8	100
^{99m} Tc HMPAO (WBC)	B	35.0	40
^{99m} Tc IDA (Biliary)	B	10.5	20
^{99m} Tc MAA / Microspheres	B	5.6	10
^{99m} Tc MAG3	A	11.9	15
^{99m} Tc MDP	B	35.0	40
^{99m} Tc Pertechnetate (Cystography)	B	1.4	20
^{99m} Tc Pertechnetate (Ectopic Gastric Mucosa)	B	10.5	20
^{99m} Tc Pertechnetate (Cardiac First Pass)	B	35.0	80
^{99m} Tc Pertechnetate (Thyroid)	B	5.6	10
^{99m} Tc RBC (Blood Pool)	B	56.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin (Cancer seeking agent)	B	63.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin ² (Cardiac rest scan 2-day protocol min)	B	42.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin ² (Cardiac rest scan 2-day protocol max)	B	63.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin ² (Cardiac stress scan 2-day protocol min)	B	42.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin ² (Cardiac stress scan 2-day protocol max)	B	63.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin ² (Cardiac rest scan 1-day protocol)	B	28.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin ² (Cardiac stress scan 1-day protocol)	B	84.0	80
^{99m} Tc Spleen (Denatured RBC)	B	2.8	20
⁹⁹ Tc TECHNEGAS (Lung ventilation) ³	B	70.0	100

¹ The minimum recommended activities are calculated for commonly used gamma cameras or positron emission tomographs. Lower activities could be administered when using systems with higher counting efficiency.

² The minimum and maximum values correspond to the recommended administered activities in the EANM/ESC procedural guidelines (Hesse B, Tagil K, Cuocolo A, et al). EANM/ESC procedural guidelines for myocardial perfusion imaging in nuclear Cardiology. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2005 Jul;32(7):855-97.

³ This is the activity load needed to prepare the Technegas device. The amount of inhaled activity will be lower.

AUTEUR : Nom : Leprince

Prénom : Charles

Date de Soutenance : 15/06/2015

Titre de la Thèse : Apport de la tomoscintigraphie couplée à la TDM dans les douleurs chroniques post-traumatiques ou malformatives du pied pour le chirurgien orthopédique.

Thèse - Médecine - Lille 2016

Cadre de classement : Médecine nucléaire

DES + spécialité : DES de Médecine nucléaire

Mots-clés : scintigraphie osseuse, SPECT CT, arthrose, extrémités inférieures

Résumé

Contexte : L'arrivée de la tomoscintigraphie puis de l'hybridation avec la TDM permettant les images fusionnées SPECT/CT (single photon emission computed tomography) a révolutionné les indications de la scintigraphie osseuse. L'objectif de notre travail est d'évaluer d'une part son apport diagnostique et d'autre part son influence sur la prise en charge dans les douleurs chroniques de la cheville et du pied.

Méthode : Nous avons analysé de façon rétrospective, 65 patients (totalisant 106 articulations) ayant reçu une scintigraphie osseuse complétée par une SPECT CT du pied et/ou de la cheville, de Décembre 2012 à Octobre 2014. Nous avons divisé les patients en trois groupes selon l'articulation suspectée au départ par le chirurgien orthopédique. Le groupe A soit l'arrière pied pour les atteintes des articulations talo-crutale et sous taliennes. Le groupe B soit le médio-pied pour les atteintes de la sous talienne antérieure et de l'interligne articulaire de Chopart. Le groupe C soit l'avant pied pour les atteintes de l'interligne articulaire de Lisfranc, des intercunéennes ou naviculo-cunéennes et cuboïdo-cunéennes.

Résultats : L'analyse des SPECT CT montre un taux de discordance clinico-scintigraphique de 45% Elles sont plus fréquentes en cas d'atteinte poly-articulaire : $p < 0,000001$ IC 95% [3,99 ; 199,07]. Par articulation nous retrouvons une sensibilité de 97%, une spécificité de 77%, une VPP de 91% et une VPN de 92%. Nous observons un changement dans la prise en charge du patient dans 37% des cas (23/65) mais ils étaient plus fréquents dans les atteintes poly-articulaires le taux de changement passant à 61% (14/23), $p = 0,002$ IC 95% [0,0495 ; 0,61]. L'analyse par groupe articulaire montre, un taux de modification de la prise en charge post SPECT CT dans 32% (17/53) dans le groupe A, de 36% (5/14) dans le groupe B, et 17% (1/6) dans le groupe C. Quand le résultat scintigraphique est pris en compte, il y a 83% (45/54) de bonne évolution clinique tandis qu'en cas contraire, le taux d'évolution favorable baisse à 73% (8/11). Cette différence n'est pas statistiquement significative avec $p = 0,412$ IC 95% [0,266 ; 9,33].

Conclusion : Notre travail confirme l'intérêt diagnostique croissant des techniques de SPECT CT dans les pathologies du pied et de la cheville. Si, à court terme, les modifications thérapeutiques apportées semblent bénéfiques, il reste cependant à confirmer cette impression sur le long terme.

Composition du Jury :

Président : Professeur Damien Huglo

Assesseurs : Professeurs Carlos Maynou,

Professeur Xavier Demondion,

Docteur Grégory Petyt

Directrice de thèse : Docteur Claude Hossein Foucher