

UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
FES



Année 2014

Thèse N° 098/14

L'OSTEOTOMIE DE GAUTHIER DANS LE TRAITEMENT DE LA MALADIE DE FREIBERG (A propos de 06 cas)

THESE

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 17/09/2014

PAR

Mme. ISSOUANI HAFSA

Née le 30 AOÛT 1988 à AIT ISHAQ

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE

MOTS-CLES :

Freiberg - Deuxième métatarsien - Gauthier

JURY

M. RACHID KHALID.....	PRESIDENT ET RAPPORTEUR
Professeur de Traumatologie-orthopédie	
M. EL MRINI ABDELMAJID.....	} JUGES
Professeur de Traumatologie-orthopédie	
M. AMMHAJJI LAARBI.....	
Professeur de Traumatologie-orthopédie	
M. EL IBRAHIMI ABDELHALIM	
Professeur agrégé de Traumatologie-orthopédie	

PLAN

INTRODUCTION	3
MATERIEL ET METHODE.....	5
I.Matériel	6
II.Méthode.....	6
RESULTATS ET ANALYSES	12
I. Etude épidémiologique	13
II. Etude clinique	15
III. Etude radiologique.....	16
IV. Traitement	20
V. Résultats.....	23
VI. Complications.....	26
DISCUSSION	27
I. Rappel anatomique	28
II. Rappel biomécanique	36
III. Anatomopathologie et étiopathogénie.....	40
IV. Etude épidémiologique	46
V. Etude clinique	50
VI. Etude radiologique.....	55
VII. Diagnostic	67
1. Diagnostic positif.....	67
2. Diagnostic différentiel	68
VIII. Le traitement	73
1. Le but	73
2. Les moyens thérapeutiques	73
3. Indications	85
IX. Résultats	88
X. Complications	92
CONCLUSION	94
RESUME.....	96
BIBLIOGRAPHIE	100

INTRODUCTION

La maladie de Freiberg est une maladie du pied connue depuis 1914, elle rentre dans le cadre des métatarsalgies, encore appelée deuxième maladie de Köhler, elle correspond à une ostéonécrose aseptique de la tête métatarsienne.

C'est une affection qui atteint avec prédilection la femme et débute pendant l'adolescence, elle touche essentiellement la tête du 2ème métatarsien, mais on sait à présent que le même type d'atteinte peut se voir au niveau d'autres têtes métatarsiennes en particulier celle du 3ème métatarsien. La tête du 1er, 4ème et 5ème métatarsien est très rarement atteinte. [1,2]

Sa physiopathologie reste encore sujette à discussion, deux grands groupes de théories s'opposent: certains auteurs sont partisans de l'origine traumatique des lésions alors que d'autres y ont vu un déterminisme vasculaire.

Au stade tardif, un simple examen physique et une radiographie standard permettent le diagnostic de la maladie, la scintigraphie osseuse et l'IRM présentent une aide précieuse dans le stade infra radiologique.

Le traitement médical et orthopédique sont toujours instaurés en première intention surtout dans le stade précoce de la maladie.

Les techniques chirurgicales sont nombreuses et varient entre le traitement conservateur et l'arthroplastie totale de la métatarso-phalangienne, mais la technique de choix reste l'ostéotomie de dorsiflexion de Gauthier.

Le but de notre travail est de mettre en évidence le résultat de l'ostéotomie de dorsiflexion de Gauthier dans le traitement de la maladie de Freiberg, en se basant sur la comparaison entre la littérature et l'expérience du service de traumatologie orthopédie de l'hôpital Moulay Ismaïl Meknès à propos de six observations de la maladie de Freiberg colligées dans le service au cours d'une période de dix ans allant du janvier 2003 au janvier 2013.

MATERIEL

ET METHODE

I. Matériel

Au service d'orthopédie traumatologie à l'Hôpital militaire de Meknès, nous avons colligé une série de six cas ayant la maladie de Freiberg traités par ostéotomie de dorsiflexion de Gauthier sur une période de dix ans allant de 2003 au 2013.

Les objectifs de cette étude sont :

- Analyser des données cliniques et radiologiques de la maladie de Freiberg.
- Décrire l'ostéotomie intra-articulaire de Gauthier dans le traitement de la maladie de Freiberg.
- Évaluer les résultats radiologiques et fonctionnels de cette technique chirurgicale.

II. Méthode

Pour la réalisation de ce travail, nous avons établi une fiche d'exploitation (page suivante) qui a étudié dans la première partie les données anamnestiques du malade: l'âge, le sexe, antécédents médicaux et chirurgicaux, antécédent de traumatisme du pied.

Dans la deuxième partie les données de l'examen radio-clinique et les modalités thérapeutiques.

Dans la dernière partie on a étudié l'évolution de nos patients en fonction des résultats anatomiques, fonctionnels et des complications.

LA FICHE D'EXPLOITATION

IDENTITE :

Nom et Prénom

Age

Sexe

Profession

Adresse

Téléphone

Numéro d'entrée(IP). Numéro d'ordre

Date d'entrée.

Date d'intervention.

Date de sortie

ANTECEDENTS :

Antécédent de traumatisme du pied

Diabète

HTA. Corticothérapie. Cardiopathie. Tuberculose. Autres.

ETUDE CLINIQUE :

Les signes fonctionnels : la douleur à la marche, limitation d'activité,

Le coté atteint

Le métatarsien atteint

L'examen clinique : Le type du pied, douleur à la palpation de l'articulation métatarso-phalangienne, tuméfaction articulaire en regard, déformations anatomiques, la mobilité de l'articulation métatarso-phalangienne (flexion plantaire et dorsale).

ETUDE RADIOLOGIQUE :

1. Radiologie standard :

Clichés de face

Cliché de profil

Cliché $\frac{3}{4}$

Pour classer ces lésions, nous avons adopté la classification de SMILLIE : (I, II, III, IV, V) (page suivante)

	Stade I : Fissuration épiphysaire sans modification du contour.
	Stade II : Aspect dense de la tête à la radiologie sans modification du contour.
	Stade III : Tassement progressif de la tête métatarsienne avec modification du contour.
	Stade IV : Formation et libération de corps étrangers.
	Stade V : Déformation importante de la tête métatarsienne et arthrose.

2. AUTRES : TDM, IRM, SCINTIGRAPHIE

TRAITEMENT :

- médical
- orthopédique
- Chirurgical :

Technique chirurgicale : L'ostéotomie cunéiforme de flexion dorsale type

Gauthier :

- ∞ Sous rachianesthésie + décubitus dorsal + garrot pneumatique à la racine du membre.
- ∞ Voie d'abord dorsale rectiligne centrée sur l'articulation métatarso-phalangienne atteinte.
- ∞ Arthrotomie.
- ∞ Ablation de corps étrangers intra-capsulaires et l'émondage des ostéophytes.
- ∞ Résection cunéiforme de la partie nécrosée de la tête métatarsienne et basculée de la partie plantaire vers la face antérieure.
- ∞ La fixation est assurée par deux broches ou par un cerclage.

RESULTATS

- Clinique : nous avons adopté la cotation établie par The American Orthopedic Foot and Ankle Society (AOFAS) qui tient compte de trois critères : la douleur, la fonction et l'alignement.

Le score de L'A.O.F.A.S est considéré comme : (fiche suivante)

- ✓ très bon de 80 à 100
- ✓ bon de 60 à 79
- ✓ moyen de 59 à 32
- ✓ passable de 26 à 31
- ✓ mauvais de 0 à 25

The American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS)

- Douleur : (40 points)
 - Aucune douleur-----40
 - Légère, occasionnelle-----30
 - Moyenne, quotidienne-----20
 - Vive, presque toujours présente -----10

- Fonction : (45 points)
 - Limitation d'activité
 - Aucune -----10
 - Pas de limitation des activités quotidiennes comme le travail -----7
 - limitation des activités quotidiennes et des loisirs-----4
 - limitation sévère activités quotidiennes et des loisirs-----0
 - exigence de chaussures
 - à la mode, chaussures classiques ne nécessitant pas d'orthèse interne ----10
 - chaussures de confort, orthèse interne de chaussures -----5
 - chaussures modifiées ou à armature (orthopédique) -----0
 - mouvement de l'articulation métatarso-phalangienne
 - normale ou limitation légère (75° ou plus)-----10
 - limitation moyenne (30-74°) -----5
 - limitation sévère (moins de 30°) -----0
 - mouvement de l'articulation inter phalangienne
 - pas de limitation-----5
 - limitation sévère (moins de 30°) -----0
 - stabilité métatarso-phalangiennes et interphalangiennes (toutes les directions)
 - stable -----5
 - instable-----0
 - cal lié à l'hallux métatarso-phalangienne ou inter-phalangien
 - pas de cal ou cal asymptomatique -----5
 - cal symptomatique-----0

- alignement : (15 points)
 - Bon -----15
 - Assez bon, quelques degrés de désalignement observés, pas de symptômes-----8
 - Médiocre, mauvais alignement symptomatique évident-----0

- Radiologique : des radiologies standards de face en charge, de profil strict et de $\frac{3}{4}$ ont été réalisées, avec pour objectif d'analyser **la sphéricité**, d'étudier **l'interligne** ainsi que **le raccourcissement** .

COMPLICATIONS :

❖ Précoce :

Infection

Nécrose de la tête métatarsienne

❖ Tardives :

Pseudarthrose

Douleurs

RESULTATS

ET ANALYSES

I. Etude épidémiologique

1. L'âge :

Dans notre série l'âge moyen était de 21 ans avec des extrêmes allant de 17 à 35 ans.

2. Le sexe :

Dans notre série, nos patients ont été répartis en :

- 2 hommes soit 33.3%.
- 4 femmes soit 66.6 %.

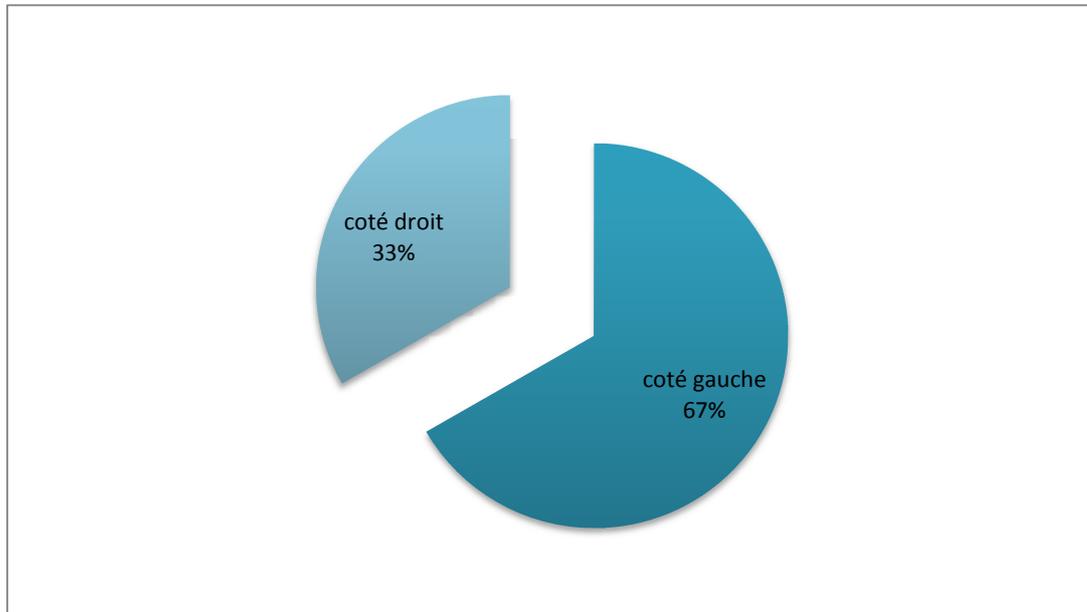
Avec un sexe ratio : homme/femme de 0.5



Graphique 1 : répartition des patients selon le sexe.

3. Le coté atteint :

Dans notre série on note une prédominance du coté gauche qui a présenté 66.6% contre 33,3% pour le coté droit.



Graphique 2 : Répartition des malades selon le coté atteint.

4. Le métatarsien atteint :

Dans notre série le **deuxième métatarsien** a été atteint **quatre fois** soit 66.6% et le **troisième** atteint **deux fois** soit 33.3%.

5. Morphotype :

Dans notre série, on a trouvé :

- 03 pieds grecs
- 02 pieds égyptiens
- 01 pied carré.

II. Etude clinique

Dans notre série la douleur était le motif principal de consultation pour tous les malades, c'est une douleur de type mécanique s'exacerbant lors du passage du pas et localisé de façon précise à l'articulation métatarso-phalangienne.

La limitation d'activité était marquée chez tous nos malades variait de la simple gêne au chaussage à l'esquive du pas avec marche sur le bord externe du pied.

L'examen clinique a permis de retrouver :

- A la palpation une tuméfaction en regard de la face dorsale du métatarsien atteint chez quatre cas soit 66.6%.
- Une douleur à la pression de la tête métatarsienne sur sa face dorsale chez tous les cas.
- La mobilité de l'articulation métatarso-phalangienne était normale chez un patient soit 16.6%, alors qu'elle est limitée chez cinq patients soit 83.3%.

Tableau 1 : les signes fonctionnels et le résultat de l'examen clinique dans notre série :

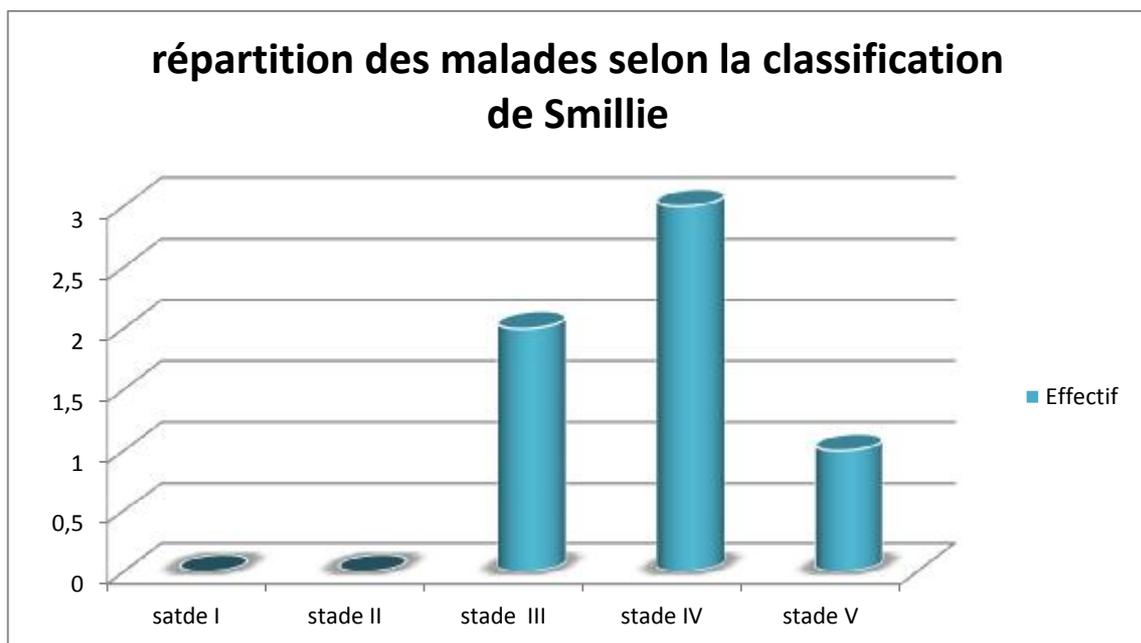
Symptômes et résultats de l'examen clinique	Nombre de cas	Pourcentage
Douleur	6	100%
Limitation d'activité	6	100%
Tuméfaction en regard de l'articulation métatarso-phalangienne	4	66.6%
Douleur à la pression de la tête métatarsienne	6	100%
Limitation articulaire	5	83.3%

III. Etude radiologique

1. Radiographie standard :

Tous nos patients ont bénéficié d'un bilan radiologique standard, analysé selon la classification de Smillie :

- ❖ stade III : 02 patients
- ❖ stade IV : 03 patients
- ❖ stade V : 01 patient



Graphique 3 : répartition des malades selon la classification de SMILLIE



Figure 1 : radiographie du pied face montrant la maladie de Freiberg du deuxième métatarsien stade IV chez un jeune de 17 ans.

(Service d'orthopédie traumatologie, hôpital militaire Moulay Ismail Meknès)



Figure 2 : radiographie du pied face montrant la maladie de Freiberg du troisième métatarsien stade III chez un malade de 25 ans.

(Service d'orthopédie traumatologie, hôpital militaire Moulay Ismail Meknès)

2. Scanner :

Dans notre série, un malade a bénéficié d'un scanner du pied qui a objectivé un pincement multifocal de l'interligne articulaire de la deuxième articulation métatarso-phalangienne, avec irrégularité de l'os sous chondral, des images géodiques et réaction ostéophytique intéressante la tête du deuxième métatarsien qui est hypertrophiée.



Figure 3 : radiographie du pied face et une coupe scannographique montrant la maladie de Freiberg du deuxième métatarsien stade V chez une patiente de 22 ans.

(Service d'orthopédie traumatologie, hôpital militaire Moulay Ismail Meknès)

IV. Traitement :

Les six malades opérés de notre série ont tous bénéficié d'une ostéotomie intra-articulaire de flexion dorsale type Gauthier.

✚ La technique chirurgicale :

- ∞ Sous rachianesthésie + décubitus dorsal + garrot pneumatique à la racine du membre.
- ∞ Voie d'abord dorsale rectiligne centrée sur l'articulation métatarso-phalangienne atteinte.
- ∞ Arthrotomie.
- ∞ Ablation de corps étrangers intra-capsulaires et l'émondage des ostéophytes.
- ∞ Résection cunéiforme et la tête métatarsienne est basculée vers la face dorsale.
- ∞ La fixation est assurée par deux broches ou par cerclage.

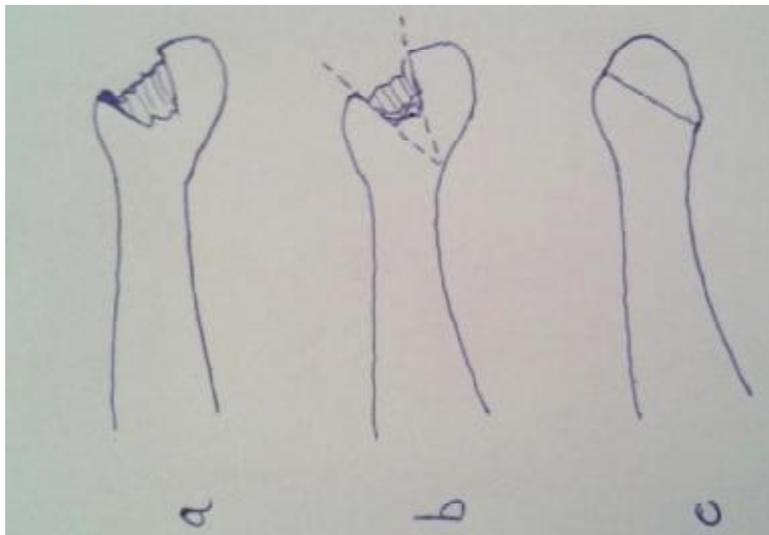


Figure 4 : l'ostéotomie de flexion dorsale intra-articulaire

- a. Ostéonécrose de la partie antérieure et supérieure de la tête métatarsienne.
- b. Résection de la nécrose en gardant une charnière basale.
- c. Fermeture de l'ostéopore et fixation par broche ou cerclage.

- ✚ 01 malade de notre série a bénéficié d'une ostéotomie de raccourcissement du métatarsien adjacent type Weil pour éviter un transfert de charge.
- ✚ La chaussure de Barouk est prescrite pendant six semaines pour tous les patients.
- ✚ La broche a été enlevée en moyenne à la sixième semaine du postopératoire.



Figure 5 : radiographie du pied face avant et après l'ostéotomie de Gauthier sur le deuxième métatarsien et une ostéotomie de raccourcissement type Weil pour le troisième métatarsien.

(Service d'orthopédie traumatologie, hôpital militaire Moulay Ismail Meknès)



Figure 6 : radiographie du pied face avant et après l'ostéotomie de Gauthier sur le troisième métatarsien.

(Service d'orthopédie traumatologie, hôpital militaire Moulay Ismail Meknès)

V. Résultats :

1. Le recul :

Le recul moyen de revue des patients était de 12 mois (6–47mois).

2. Résultats cliniques :

L'évaluation en préopératoire de nos patients a été effectuée par le score de « The American Orthopedic Foot and Ankle Society (AOFAS) », qui tient compte de trois critères : la douleur, la fonction et l'alignement.

Ainsi, chez trois patients le score en préopératoire a été bon, et moyen chez trois autres patients.

Après l'ostéotomie intra articulaire de Gauthier et un recul de 12 mois, tous nos malades ont été améliorés, ils avaient des pieds indolores et ils ont pu reprendre leurs sports de loisir qu'ils pratiquaient avant la maladie ; la limitation de la mobilité de l'articulation métatarso-phalangienne en flexion a été de 10° (0 à 20) et en extension a été de 8° (0 à 15°).

L'évaluation des malades en postopératoire par le score de AOFAS a objectivé 100% de bons et excellents résultats.

Tableau 2 : le score d'AOFAS dans notre série :

patients	Classification de Smillie	score AOFAS préopératoire	score AOFAS postopératoire
1	III	72	90
2	III	75	90
3	IV	62	85
4	IV	52	80
5	IV	52	75
6	V	52	85

3. Résultats radiologiques :

Après l'ostéotomie de Gauthier, des radiologies standards de face en charge, de profil strict et de $\frac{3}{4}$ ont été réalisées pour tous nos malades afin d'évaluer : la sphéricité de la tête, l'interligne articulaire, et le raccourcissement du métatarsien.

Après un recul de 12 mois, tous les patients avaient un aspect normal de la tête métatarsienne avec une bonne sphéricité, le raccourcissement moyen du métatarsien fut de 2 mm (0 à 4 mm).



Figure 7 : radiographie du pied face correspondante au malade (figure 1) montrant le résultat radiologique après l'ostéotomie de Gauthier.

(Service d'orthopédie traumatologie, hôpital militaire Moulay Ismail Meknès)



Figure 8 : radiographie du pied face correspondante au malade (figure 2 ; 3) montrant le résultat radiologique après l'ostéotomie de Gauthier.

(Service d'orthopédie traumatologie, hôpital militaire Moulay Ismail Meknès)

VI. Complications

1. Les complications précoces :

Aucune complication type d'infection, hématome postopératoire ou de nécrose de la tête métatarsienne n'a été détectée dans notre série.

2. Les complications tardives :

Aucun cas de pseudarthrose n'a été décelé dans notre série après un recule de 6 à 47 mois.

DISCUSSION

I. Rappel anatomique :

1. Anatomie structurale descriptive :

Le pied se compose comme la main, de trois groupes osseux qui sont: le tarse, le métatarse et les phalanges. Il s'agit d'une véritable chaîne articulaire plurisegmentaire. [3]

1.1. Le tarse

Le tarse est un massif osseux qui occupe la moitié postérieure du pied. Il est formé par sept os courts, disposés sur deux rangées ; la rangée postérieure est constituée par le talus et le calcaneus qui sont superposés. La rangée antérieure comprend cinq os : le cuboïde, l'os naviculaire et les trois cunéiformes (latéral, médial, intermédiaire) qui sont au contraire juxtaposés.

Les sept os du tarse sont assemblés de manière à former avec le métatarse une voûte concave en bas sur laquelle repose tout le poids du corps.

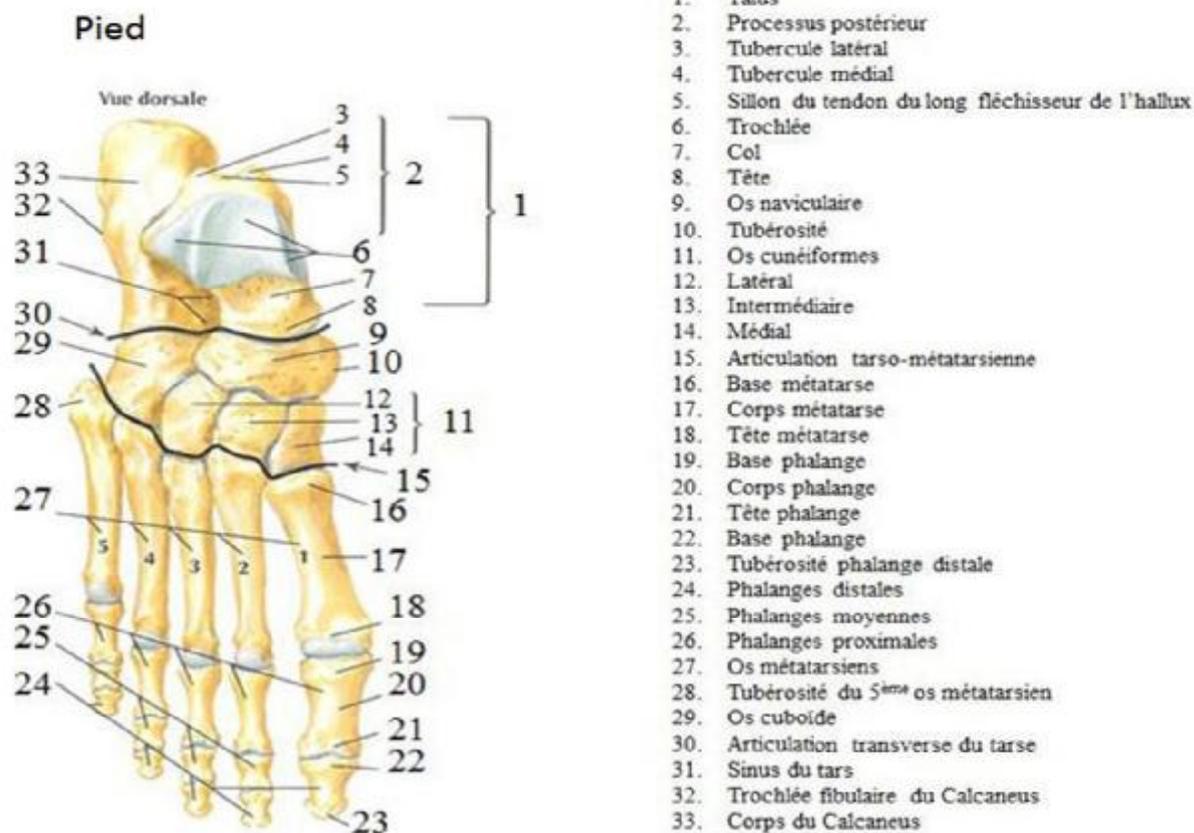


Figure 9 : vue dorsale du pied [4]

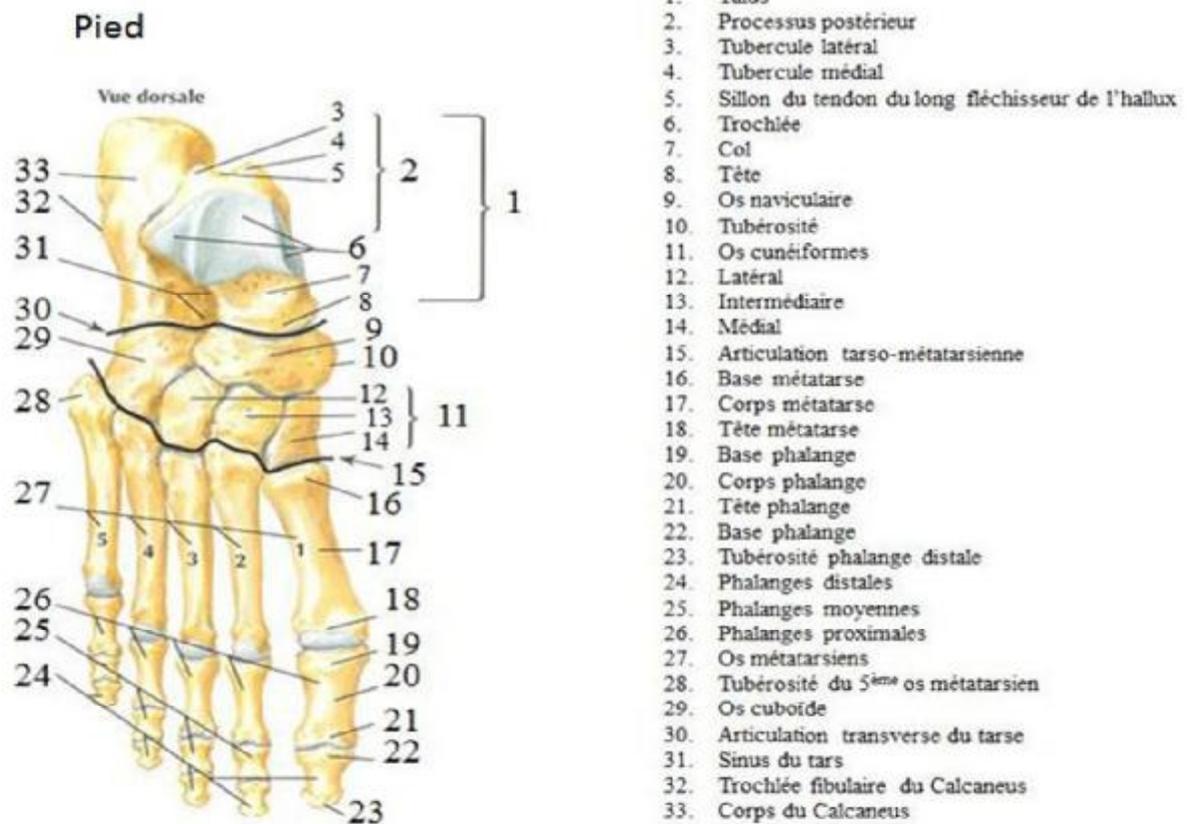


Figure 10 : vue plantaire du pied [4]

1.2. Le métatarse

L'étude anatomique de l'avant-pied montre qu'à côté des caractères communs à tous les métatarsiens, il existe un caractère particulier au deuxième métatarsien.

a. Caractères communs aux métatarsiens :

Le métatarse est composé de cinq os longs qui s'articulent en arrière avec les os de la deuxième rangée du tarse, et en avant avec les premières phalanges des orteils.

Ce sont des os longs à corps prismatique triangulaire, présentant une face dorsale étroite plus large en arrière qu'en avant, deux facettes latérales limitant l'espace inter métatarsien, deux bords latéraux dorsaux, interne et externe, un bord plantaire courbe à concavité inférieure. Les métatarsiens donnent attache aux muscles interosseux.

L'extrémité postérieure ou base est un coin à base supérieure et à arête plantaire. Sa face postérieure est articulaire en rapport avec les os du tarse, et ses faces latérales sont articulées avec les métatarsiens voisins par des facettes qui occupent la partie postéro-supérieure de ces faces.

L'extrémité antérieure ou tête est aplatie transversalement. Elle se termine par une surface articulaire convexe plus étendue du côté plantaire que du côté dorsal.

La surface articulaire est bordée en haut par un sillon rugueux qui présente à sa partie postérieure un tubercule où s'attache le ligament latéral de l'articulation.

b. Caractères particuliers au deuxième métatarsien :

Le deuxième métatarsien est le plus long de tous. La face postérieure de sa base s'articule par une facette triangulaire concave avec l'os cunéiforme intermédiaire.

Sur la face latérale interne de la base se trouve les deux surfaces articulaires : l'une pour le premier cunéiforme, l'autre pour le premier métatarsien. La face latérale externe de la base présente une surface articulaire pour l'os cunéiforme intermédiaire et deux facettes antérieures répondant au troisième métatarsien.

c. Données architecturales :

Chaque métatarsien présente un corps formé d'une gaine épaisse de tissu compact qui entoure un canal médullaire. Les extrémités sont constituées de tissu spongieux entouré de tissu compact.

1.3. Les phalanges :

Le squelette des orteils du pied est formé par trois osselets articulés, sauf le premier orteil qui n'en comporte que deux.

1.4. Os sésamoïdes du pied :

Ces os siègent toujours sur la face plantaire. Deux sont constants, ils sont placés sur la face inférieure de la première articulation métatarso-phalangienne.

[5]

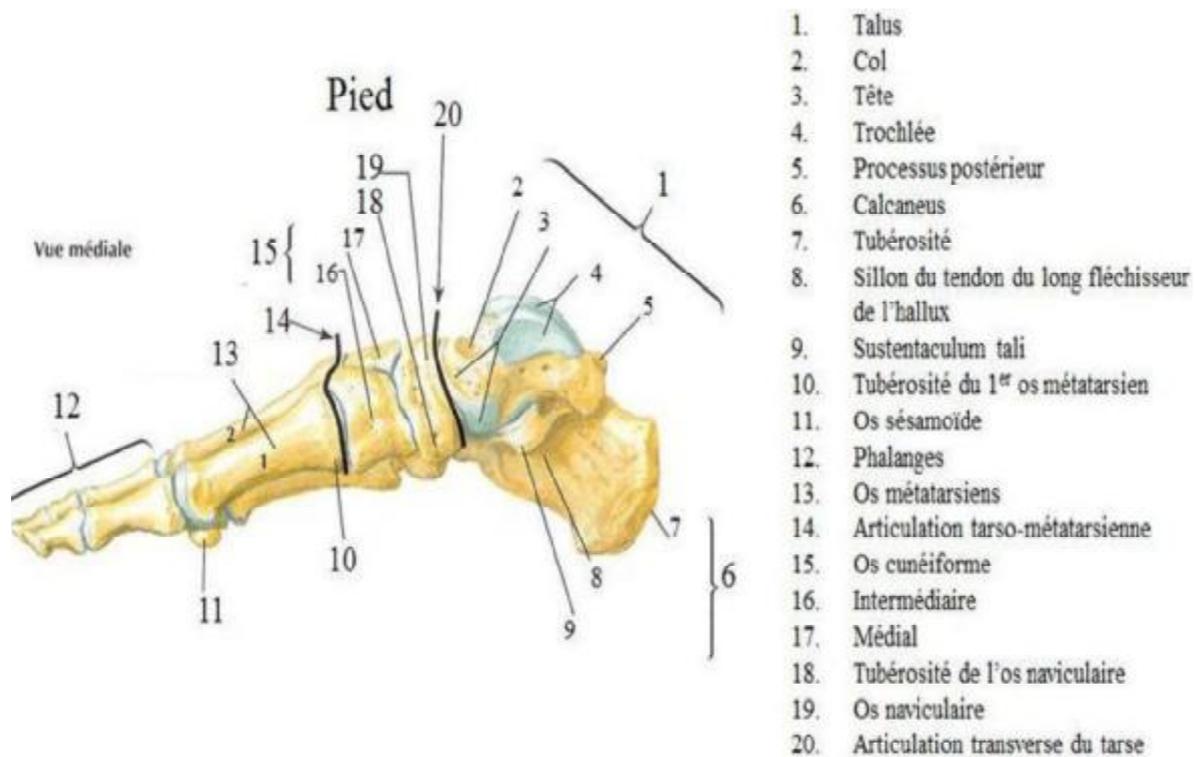


Figure 11 : os du pied : vue médiale [4]

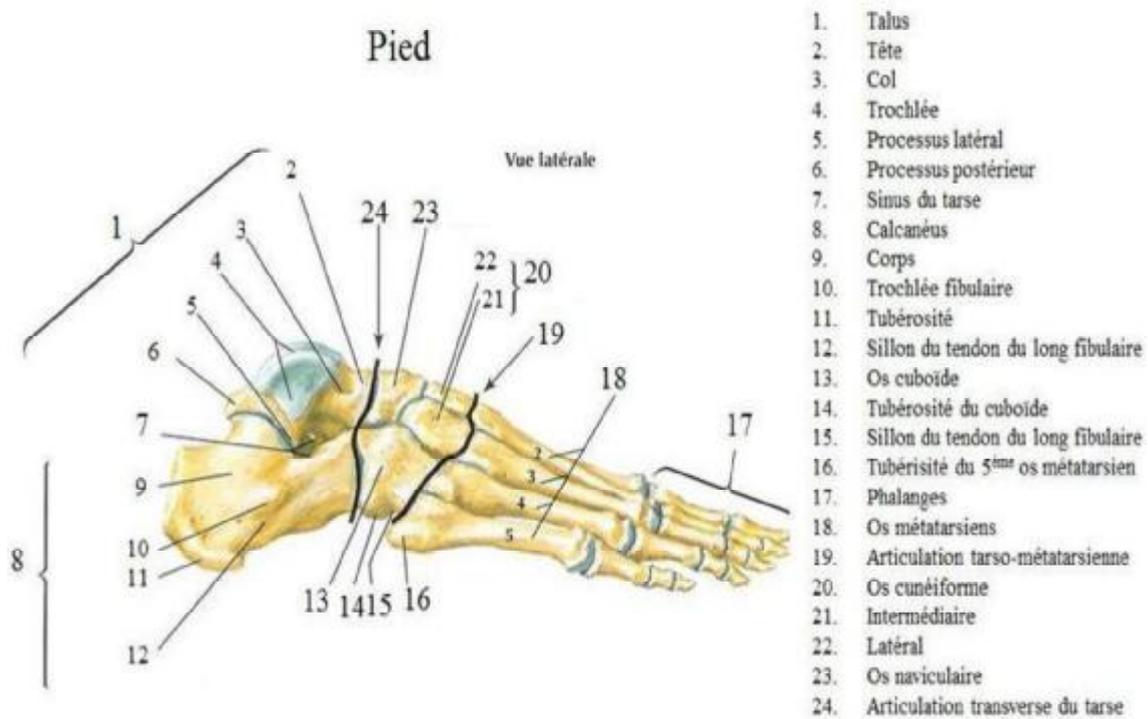


Figure 12 : os du pied : vue latérale [4]

2. Vascularisation-innervation

Au niveau du pied, toutes les artères de la région participent à la vascularisation des articulations.

Les articulations de l'arrière-pied sont tributaires des artères tibiale postérieure, pédieuse et péronière postérieure.

Les articulations du moyen-pied et de l'avant-pied sont vascularisées par des branches de l'artère pédieuse pour la partie dorsale et des artères plantaires et leurs arcades pour la région plantaire.

La vie du tissu osseux est orientée autour des vaisseaux. On distingue trois réseaux : artère nourricière, artères périostales diaphysaires et artères épiphysaires.

- ✚ L'artère nourricière : parcourt le trou nourricier de l'os, arrive à la moelle et se divise en deux branches:
 - ❖ L'une ascendante vers l'extrémité supérieure de l'os.
 - ❖ L'autre descendante vers l'extrémité inférieure, l'artère nourricière se termine en un riche réseau médullaire et irrigue le tiers interne de la corticale.
- ✚ Les artères périostales diaphysaires : forment un réseau sous périoste et irriguent les 2/3 externes de la cortical.
- ✚ Les artères épiphysaires: naissent du périoste ou des artères voisines et s'épuisent dans l'épiphyse.

Ces trois réseaux sont étroitement anastomosés chez l'adulte. Chez l'enfant, le cartilage de conjugaison sépare le réseau épiphysaire du réseau de l'artère nourricière.

Le sang veineux est collecté dans un large sinus veineux qui occupe toute la hauteur de la cavité médullaire. A partir de là, la presque totalité des veines se

dirigent vers les épiphyses et débouchent en dehors par des orifices nombreux et larges. Quelques veinules accompagnent l'artère nourricière.

L'innervation de l'arrière pied est assurée par les rameaux des nerfs tibiaux antérieur et postérieur, celle du moyen et de l'avant pied provient des rameaux dorsaux du nerf tibial antérieur et des rameaux plantaires des nerfs plantaires.

Les nerfs accompagnent l'artère nourricière et se distribuent à la moelle. D'autres naissent du périoste épiphysaire ou diaphysaire et en suivant les vaisseaux, se distribuent à la spongieuse et à la corticale de l'os.[5]

II. Rappel Biomécanique :

1. La marche : [6]

La marche peut être définie comme la combinaison dans le temps et l'espace de mouvements, plus ou moins complexes, des différents segments du corps aboutissant au déplacement de l'individu sur un plan horizontal.

La marche est une activité motrice fondamentale qui nécessite un apprentissage difficile, par la suite, sa réalisation devient quasi automatique.

Pour propulser vers l'avant, il est nécessaire de :

- ✚ Maintenir un équilibre dynamique lors des différents types d'appuis (phase unipodale ou bipodale).
- ✚ Coordonner les conditions de la propulsion en s'adaptant à chaque instant aux contraintes de l'environnement extérieur.

2. Cycle de marche : [7]

La description du cycle de marche est codifiée sur le plan international, et constitue la base de la description d'une marche normale ou pathologique.

Par convention, le cycle de marche normale débute lorsque le talon d'un pied se pose et se termine lorsque ce même talon se pose à nouveau de manière consécutive sur le sol ; il comprend deux phases essentielles qui sont *la phase d'appui* et la *phase oscillante*, il dure environ 1 seconde.

2.1. La phase d'appui :

Elle représente 60% du cycle complet et correspond à toute la période où le pied est en contact avec le sol, son début correspond au contact initial et sa fin au décollement des orteils.

La phase d'appui comprend trois sous phases :

2.1.1. Phase de double appui de réception :

Elle dure 10% du cycle. Les deux pieds sont en contact avec le sol, le pied qui atterrit se pose entièrement pendant que le pied controlatéral quitte progressivement le sol. C'est pendant cette période que s'effectue le transfert du poids du corps augmenté de l'effet dynamique, du pied d'appui controlatéral vers le pied receveur.

2.1.2 Phase d'appui unipodal :

Elle dure 40% du cycle et qui intervient immédiatement après que le transfert du poids ait été accepté. Un seul pied est en contact avec le sol, le corps qui était en arrière du pied receveur progresse vers l'avant du fait de la force inertielle produite par la masse et la vitesse du sujet.

2.1.3 Phase de double appui de propulsion :

Elle dure 10% du cycle, les deux pieds sont à nouveau simultanément en contact avec le sol, le pied porteur pousse en arrière et latéralement pour faire progresser le corps vers l'avant et vers le pied controlatéral qui devient receveur. Cette poussée se produit en même temps qu'un pivotement sur la première tête métatarsienne ; il en découle un début de flexion plantaire et de rotation externe du pied qui seront maximales en début de la phase oscillante.

2.2. La phase oscillante :

Elle représente 40% du cycle complet et correspond à toute la période où le pied n'est plus en contact avec le sol et qui permet l'avancée du membre inférieur, son début correspond au décollement des orteils et sa fin au contact initial suivant du même pied.

La phase oscillante peut aussi être divisée en trois sous phases :

2.2.1. L'oscillation initiale :

Le pied est décollé du sol, il est en rotation externe maximale (environ 20°), la cheville est en flexion plantaire maximale (10–20°), le genou est en flexion maximale (60–70°), la hanche fléchit. Le membre oscillant va croiser le membre porteur.

2.2.2 L'oscillation intermédiaire :

Le pied tourne vers l'intérieur, la cheville réduit sa flexion plantaire, le genou débute une extension, la hanche tend vers sa flexion maximale. Le membre oscillant croise le membre porteur.

2.2.3 L'oscillation terminale :

Le pied est en légère rotation externe (environ 10°), la cheville est en flexion neutre, le genou tend vers l'extension maximale, la hanche a atteint sa flexion maximale (30°). Le membre oscillant se pose sur le sol.

Le cycle est terminé, le suivant commence.

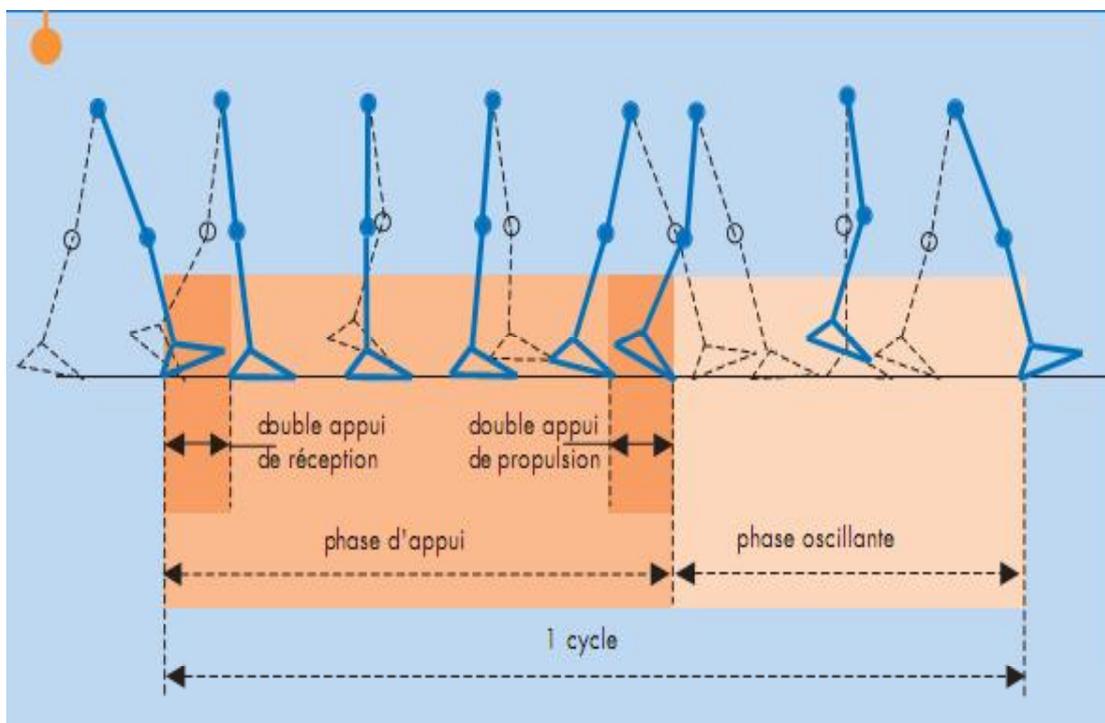


Figure 13: représentation schématique du cycle de marche et de ses principales phases et sous-phases [7].

3. Le mécanisme du pas : [8]

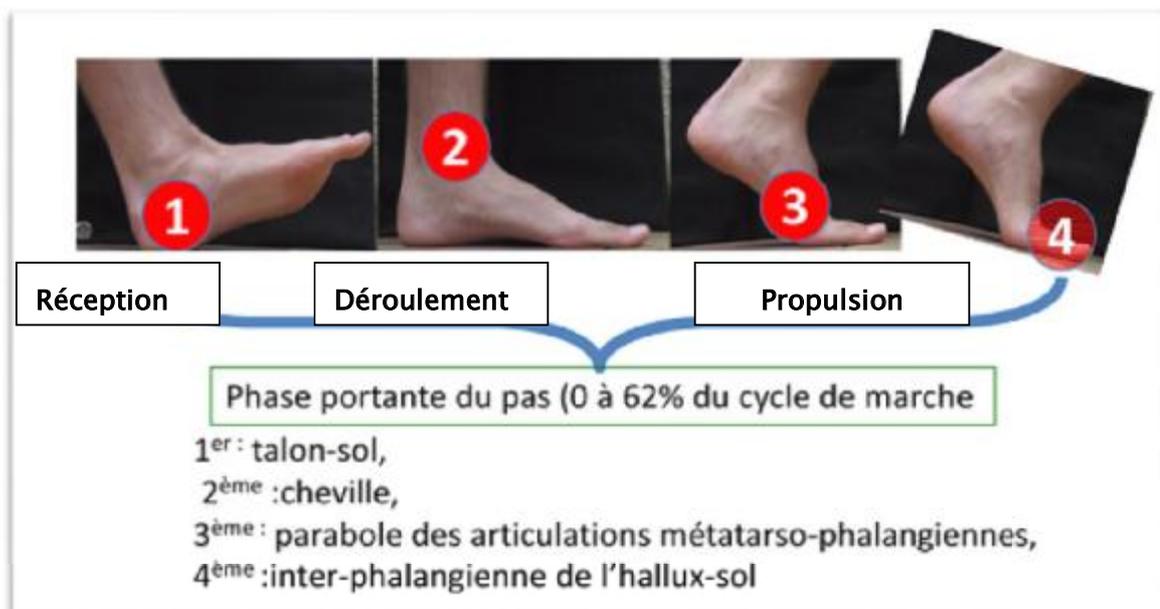


Figure 14 : les différentes étapes du pas [8]

Le pied articulé au membre inférieur par la cheville (articulation talo-fibulo-crurale) est un organe d'une extrême complexité, caractérisé par ses multiples morphotypes et ses variations anatomiques. Il est capable de supporter, diriger et propulser le poids du corps.

La réalisation d'un pas nécessite trois étapes :

- ✚ La réception : le talon est en contact avec le sol.
- ✚ Le déroulement.
- ✚ La propulsion : Les cinq rayons métatarso-phalangiens ont des longueurs différentes et vont décrire la parabole des articulations métatarso-phalangiennes dont le fonctionnement est nécessaire à la puissance de propulsion générée par la cheville (la résection des têtes métatarsiennes supprime cet effet).

c'est à cette phase où les rayons métatarsiens subissent le maximum de contraintes pour générer cette action, surtout c'est le métatarsien le plus long qui subit plus de pression.

III. Anatomopathologie et physiopathologie :

1. Physiopathologie :

L'éthiopathogénie de la maladie de Freiberg reste mal élucidée et deux grands groupes de théories s'opposent : certains auteurs sont partisans de l'origine traumatique des lésions alors que d'autres y ont vu un déterminisme vasculaire. [9]

1.1 Traumatisme :

Depuis 1914, un événement traumatique à été fréquemment cité comme cause de la maladie de Freiberg. [10]

Dans sa description originale, **Freiberg** a noté une histoire de traumatisme chez trois de ses six patients, et la description de Köhler en 1915 allait dans le même sens. [10]

Smillie en 1955 [11], a grandement approuvé le rôle du facteur traumatique et il a ajouté que le risque est d'autant plus important qu'il s'agit de pied structuralement faible (tel que insuffisance, varus ou hyper-mobilité du premier métatarsien) .

Dans son travail expérimental sur la deuxième jonction métatarso-phalangienne de cadavre, **Braddock** [12], a montré que l'épiphyse métatarsienne était la plus faible des sujets âgés entre 11 et 12.5 ans. Il a interprété que l'épiphyse était plus fragile à ce stade de maturation et que la position fixée du deuxième métatarsien le rend plus susceptible au traumatisme.

Mc Master [13], dans son étude « Hallux rigidus » a démontré un mécanisme d'empiétement de la base de la phalange proximale sur la tête métatarsienne ce qui explique pour lui la survenue de la lésion ostéochondrale au niveau du «site classique ».

En 1990, dans leur revue des causes de la Maladie de Freiberg, **Stanley et al** [14] , ont noté une histoire de traumatisme chez seulement 15% de

leurs cas. L'étude pédobarographique a montré une augmentation anormale de pression chez seulement 24% des pieds étudiés et que chez 15% seulement cette hyperpression a été localisée au niveau du site atteint.

Quoique le métatarsien atteint était le plus long chez 85% des cas, et chez 48% des cas, le site de pression maximale coïncide avec le site atteint.

Il est en effet très courant de constater que la maladie survient de préférence sur le morphotype métatarsien suivant 1<2>3>4>5. Le deuxième métatarsien est le plus long et le plus rigide du fait de son encastrement au niveau du tarse.

Autrement dit, le métatarsien le plus long subit des contraintes d'appui supérieures à ses voisins et finit par en souffrir et ceci, d'autant plus, qu'il s'agit d'enfants et/ou de sportifs.

L'os est un tissu de soutien vivant, les forces résultant de la pesanteur, de la résistance du sol et de la contraction réflexe des muscles s'exercent en chaque point du squelette.

Cette affection peut aussi survenir au niveau des deux pieds ou d'un seul côté, sur plusieurs têtes métatarsiennes. Les têtes les plus fréquemment touchées étant la deuxième et troisième métatarsiennes. [15]

1.2 Facteur vasculaire (déficience vasculaire)

Le substratum anatomo-pathologique est représenté par la nécrose osseuse, ceci signifie qu'il y a une insuffisance vasculaire sur une zone en croissance, fragile.

Plusieurs auteurs sont partisans de cette théorie : On peut noter particulièrement :

L'étude de **Wiley et Thurston** [16], en 1981 sur l'approvisionnement artériel des têtes métatarsiennes chez six cadavres. Ils ont constaté l'absence de

l'artère du deuxième métatarsien avec une suppléance artérielle du deuxième rayon par des branches vasculaires de la première et la troisième artère métatarsienne.

Ils ont conclu qu'une prédisposition vasculaire était présente chez 30% de leur modèle, ajoutée à une fatigue significative pourrait vraisemblablement donner une ostéonécrose avasculaire de la tête du deuxième métatarsien.

De la même façon, en 1989, **Bayliss et Klenerman** [17], ont présenté trois cas d'ostéonécrose de têtes métatarsiennes après chirurgie du pied.

Pour **Viladot** [18,19], le sang vascularisant l'épiphyse du second métatarsien dépend presque exclusivement de petits vaisseaux qui circulent des côtés de l'insertion capsulaire.

Ils incriminent des lésions de ces vaisseaux qui seraient l'événement initial de l'atteinte épiphysaire.

Le port de chaussure comprimant le pied engendre une compression de ces petites artères entre les têtes métatarsiennes.

Ces auteurs décrivent l'évolution de la maladie de Freiberg en cinq phases :

1. Compression mécanique des artères de la tête métatarsienne,
2. Spasme artériel,
3. Le spasme donne une ischémie de l'épiphyse,
4. La compression prolongée engendre une occlusion vasculaire et
5. Comme le tissu granulaire amène un nouveau sang de suppléance à l'épiphyse, l'os se résorbe, se remodèle, se collabe et laisse des séquelles d'arthrose de la jonction métatarso-phalangienne.

1.3 Autres théories :

- **Neal et al** [20], ont suggéré qu'un facteur génétique peut être incriminé dans la physiopathologie de la maladie de Freiberg, en raison de la survenue de l'ostéonécrose du deuxième métatarsien du pied du même côté chez deux vraie jumeaux.
- **Vung et al** [21], ont rapporté une série de sept malades diabétiques ayant la maladie de Freiberg.

2. Anatomie-pathologique :

L'ostéonécrose aseptique de la tête métatarsienne a fait l'objet d'études anatomo-pathologiques approfondies.

1.1. Etude macroscopique :

La tête métatarsienne apparaît plus ou moins déformée selon le stade de l'ouverture de la capsule. (De même pour la base de la première phalange).

- ✚ Aux stades de début, le cartilage articulaire reste longtemps intact mais dépressible en regard de la zone atteinte de nécrose.
 - ✚ Le cartilage présente des fissurations pour se décoller par la suite de l'os.
 - ✚ Aux stades ultimes : le cartilage articulaire disparaît totalement, de la face supérieure et antérieure de la tête métatarsienne avec des ostéophytes.
 - ✚ L'articulation peut contenir un certain nombre de corps étrangers libres.
- [22]

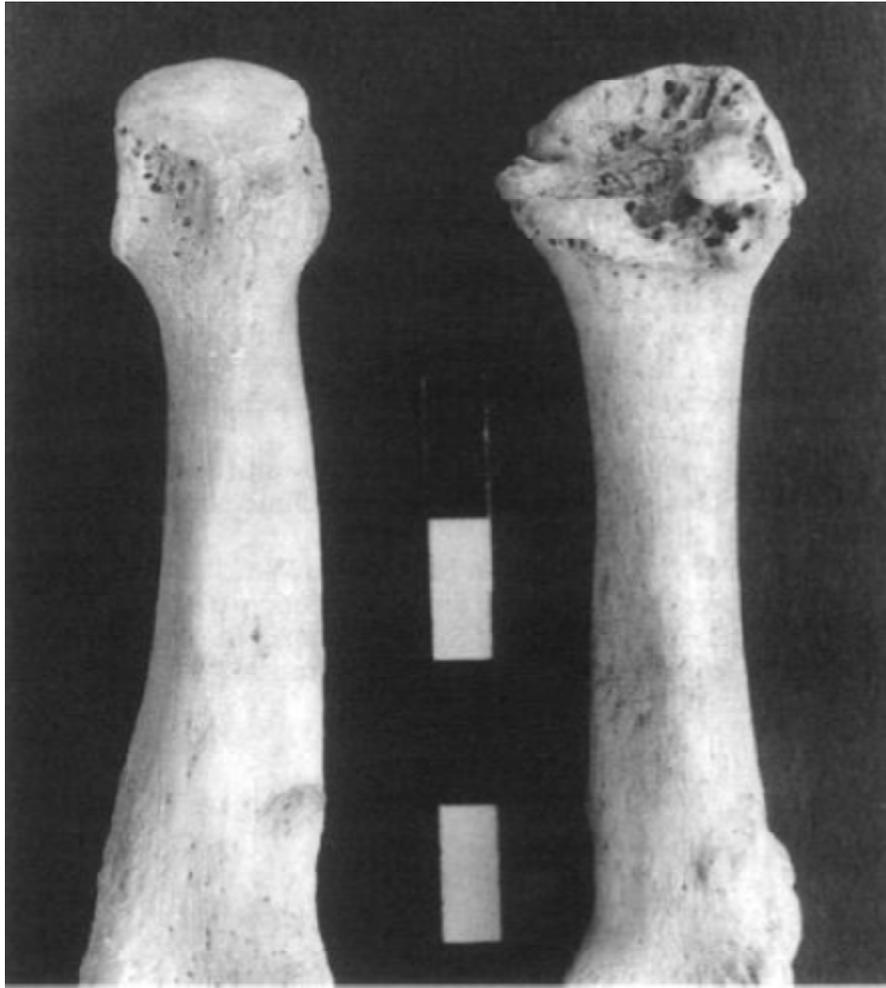


Figure 15 : Vue dorsale du deuxième métatarsien normal (à gauche) et pathologique (à droite). On note la destruction de l'aspect dorsal de la tête. [23]

1.2. Etude histologique :

Au début de la maladie, il existe une nécrose totale de l'épiphyse dans la région sous-chondrale. Cette nécrose affecte la moelle osseuse et le tissu spongieux mais respecte le cartilage de la tête, l'os métaphysaire et le cartilage de Conjugaison.

Très vite, un processus de régénération osseuse s'annonce à l'angle du cartilage articulaire , où par une effraction limitée, pénètre une coulée de tissu conjonctif jeune issue du périoste métaphysaire qui va occuper les espaces médullaires sous-jacents à la nécrose «creeping substitution ». Sous l'action de

facteurs mécaniques, l'épiphyse fragilisée va se tasser, mais entre la zone de nécrose et l'os sain se développe une bande de tissu conjonctif d'ostéosclérose doublée de prolifération vasculaire qui va fixer les limites du mort et du vivant ; D'autre part, on observe une fragmentation osseuse dans la zone nécrotique qui aboutit à la formation de spicules osseux qui peuvent se séparer du reste de l'épiphyse. Enfin, on voit se produire un épaississement de la métaphyse et de la diaphyse sous-jacente. [24]

Dans certains cas, les déformations sont irréversibles et, subissant les effets des facteurs mécaniques, ne peuvent aller qu'en s'accroissant, ce sont elles qui aboutissent à de véritables résorptions de la tête métatarsienne.

Chez l'adolescent, ces déformations peuvent s'améliorer grâce à la vitalité de l'ostéogenèse endochondrale qui peut autoriser une régularisation progressive.

Tous les intermédiaires peuvent se voir entre la destruction massive de la tête et les lésions « à minima ».

L'arthrose métatarso-phalangienne constitue un facteur inévitable dans les suites des nécroses massives de la tête métatarsienne.

La maladie de Freiberg présente donc les caractéristiques d'une nécrose osseuse aseptique : nécrose initiale - régénération - guérison ou cicatrisation.[25]

IV. Etude Epidémiologie

1. Répartition selon l'âge :

La maladie de Freiberg est l'apanage de l'adulte jeune [26], avec une moyenne d'âge de 21 ans selon notre série, et des extrêmes allant de 17 à 35 ans.

Tableau 3: comparaison de la moyenne d'âge :

Auteurs	Nombre de cas	Age moyen
Kuo-Hua Chao 1999, <i>Acta Orthop Scand</i> [27]	13	26(19-58)
Ben Dali N 2008, <i>Tunisie orthop</i> [9]	30	28(16-66)
Benhima MA 2009, <i>Med-Chir-Pied</i> [28]	11	22
THAR A ,2010 <i>CHU Ibn-Sina</i> [29]	8	23(16-45)
Edmondson Mc 2011, <i>Foot and ankle surgery</i> [30]	17	49.5 (22-68)
Kim J 2012, <i>clin orthop surgery</i> [31]	19	33.6 (17-62)
kilic A 2013, <i>Foot and ankle surgery</i> [32]	26	29(12-58)
Al Ashhab M 2013, <i>The foot</i> [33]	10	18.3 (14-24)
Ihedioha U 2013, <i>The foot</i> [34]	8	44(17-64)
Lee H J 2013, <i>Foot and ankle International</i> [35]	13	29 .1 (12 -68)
Notre série 2014	6	21(17-35)

2. Répartition selon le sexe :

La maladie de Freiberg atteint avec prédilection la femme [36,37] , avec dans notre étude un sex-ratio Homme /Femme de 0.5.

Tableau 4 : comparaison de la répartition des cas selon le sexe:

Auteurs	Sexe ratio h /f
Ben Dali N 2008, <i>Tunisie orthop</i> [9]	0.2
Benhima MA 2009, <i>Med-Chir-Pied</i> [28]	0.3
THAR A, 2010 <i>CHU Ibn-Sina</i> [29]	0.1
Edmondson Mc 2011, <i>Foot and ankle surgery</i> [30]	0.3
Kilic A 2013, <i>Foot and ankle surgery</i> [32]	0.07
Al Ashhab M 2013, <i>The foot</i> [33]	0
Ihedioha U 2013, <i>The foot</i> [34]	0.6
Lee H J 2013, <i>Foot and ankle International</i> [35]	0.08
Notre série 2014	0.5

3. Répartition selon le coté atteint :

Dans notre série et celle de **Ben Dali** [9], nous avons noté une prédominance de la maladie de Freiberg dans le coté gauche soit 66,6% par rapport au coté droit 33,3%, tandis que les deux séries de **Thar A** [29] et **Edmondson Mc** [30] ont noté une prédominance du coté droit soit 60%.

KIM KJ [38], a publié un cas de 42 ans qui avait une ostéonécrose bilatérale du deuxième métatarsien, alors que dans notre série aucune atteinte bilatérale n'a été marquée.

4. Répartition selon le métatarsien atteint :

L'ostéonécrose touche essentiellement la tête du deuxième métatarsien, mais on sait à présent que le même type d'atteinte peut se voir au niveau d'autres têtes métatarsiennes.

Gauthier et Elbaz [1], ont rapporté 88 cas ayant la maladie de Freiberg, dont 68% avaient une atteinte du deuxième métatarsien, 27% du troisième, 3% du quatrième et un cas du cinquième.

Maresca G et al [2], ont rapporté un cas de la maladie de Freiberg bilatérale du premier métatarsien.

L'atteinte de plus d'un rayon métatarsien du même pied est rarement décrite, **Norton et Eyress** [39], ont rapporté la forme aiguë de la maladie de Freiberg avec atteinte du deuxième et troisième métatarsien chez une fille de 13 ans. **Hay SM et al** [40], ont rapporté l'atteinte à la fois du deuxième et troisième métatarsien chez une femme de 60 ans.

Dans notre étude, 66,6% des malades avaient une atteinte du deuxième métatarsien et 33,3% du troisième métatarsien.

Tableau 5 : comparaison de la répartition des cas selon le métatarsien atteint :

Auteurs	Nombre de cas	Atteinte du 2ième métatarsien	Atteinte du 3ième métatarsien
Ben Dali N 2008, <i>Tunisie orthop</i> [9]	30	83.3%	16.6%
Benhima MA 2009, <i>Med-Chir-Pied</i> [28]	11	81.8%	18.18%
Thar A, 2010 <i>CHU Ibn-Sina</i> [29]	8	87.5%	12.5%
Edmondson Mc 2011, <i>Foot and ankle surgery</i> [30]	17	65%	35%
Kim J 2012, <i>clin orthop surgery</i> [31]	19	100%	-
Lee H J 2013, <i>Foot and ankle International</i> [35]	13	92.3%	7.6%
Al Ashhab M 2013, <i>The foot</i> [33]	10	100%	-
Notre série 2014	6	66 .6%	33.3%

V. Etude clinique :

La douleur est le symptôme essentiel, et les patients consultent le plus souvent pour des métatarsalgies.

1. Le début [29]

Le mode de début de l'affection est le plus souvent progressif, exceptionnellement brutal par des douleurs de l'avant-pied survenant après un traumatisme faisant évoquer une fracture.

La douleur est particulièrement vive lors de la marche en temps d'appui sur l'avant-pied, pendant la phase propulsive. Elle cède par la mise au repos de l'articulation.

Elle est localisée de façon assez précise à l'articulation métatarso-phalangienne concernée.

Initialement, les signes cliniques sont vagues et la douleur est ressentie comme une simple gêne, mais elle devient vive et plus marquée lors de l'orthostatisme prolongé, de la marche et/ou de la course, elle peut même s'exprimer par une claudication obligeant le malade à s'arrêter ou à marcher sur le talon ou sur le bord externe du pied afin d'éviter la douleur.

A cette douleur locale, il n'est associé aucun syndrome inflammatoire général. En particulier, on ne note pas de fièvre.

L'examen clinique retrouve la douleur lors : [41]

- de la pression de la tête métatarsienne sur sa face dorsale, lorsque la métatarso-phalangienne est en légère flexion,
- de la pression dans l'axe de l'articulation,
- de la mise en flexion dorsale forcée de l'articulation,
- de la pression transversale de l'avant-pied.

- L'inspection peut parfois retrouver une tuméfaction siégeant au niveau de l'articulation atteinte. A ce stade, la mobilité articulaire n'est pas entravée.

Une ponction de la métatarso-phalangienne peut montrer l'existence d'une hydarthrose ; elle prouve surtout l'absence d'arthrite microbienne ou métabolique.

2. La phase d'état [29]

Au bout de quelques mois, la douleur persiste comme maître-symptôme.

Elle reste localisée et garde son caractère mécanique.

Une tuméfaction dorsale de la métatarso-phalangienne s'y associe fréquemment. Cette tuméfaction peut être suffisamment importante pour provoquer une gêne au chaussage.

Un enraidissement articulaire d'intensité variable peut être également allégué par le patient.

L'examen clinique retrouve :

- une grosse articulation raide et douloureuse.
- une douleur vive à la pression de la tête métatarsienne, ainsi que lors de la compression axiale.
- une tuméfaction est souvent bien visible à la face dorsale de l'articulation sans caractère inflammatoire.
- une articulation est limitée dans ses amplitudes, et est douloureuse lors des mouvements actifs et passifs.
- un durillon plantaire est parfois retrouvé.

A ce stade, le diagnostic est aisément confirmé par des examens radiologiques et l'évolution se poursuivant, aboutit au dernier stade : L'arthrose métatarso-phalangienne.

3. L'arthrose métatarso-phalangienne : [29]

A ce stade, la douleur est constante, d'intensité variable, avec une évolution par poussées entrecoupées de phase de rémission.

L'articulation est déformée : épaissie et siège d'un empâtement des parties molles adjacentes. Les déformations anatomiques sont visibles et comportent :

- Un orteil en griffe parfois associé,
- Un raccourcissement de l'orteil,
- Une déviation axiale de l'articulation.

4. L'évolution : [27]

L'évolution spontanée se fera :

- Cliniquement, vers l'exagération de la douleur mécanique ;
- et, radiologiquement, vers le passage d'un stade radiologique à un autre, traduisant l'atteinte articulaire qui peut aller de l'arthrose métatarso-phalangienne jusqu'à l'ankylose en position vicieuse, entraînant une perturbation de l'arche antérieure du pied.
- L'appréhension à la marche sera à l'origine d'un syndrome neuro-algo-dystrophique, imposant une prise en charge médicale et des séances de rééducation fonctionnelle.

Tableau 6 : répartition des symptômes et résultats de l'examen clinique pour chaque série:

symptômes et examen clinique	Ben Dali N (30 cas) [9]	Thar A (8cas) [29]	Kilic A (13 cas) [32]	Lin SY (2 cas) [42]	Al Ashhab M (10cas) [33]	Notre série 2014 (6 cas)
métatarsalgies	100%	100%	100%	100%	100%	100%
limitation d'activité	-	-	100%	100%	100%	100%
tuméfaction en regard de l'articulation métatarso - phalangienne	70%	-	-	100%	-	66.6%
douleur à la pression de l'articulation	100%	100%	100%	100%	100%	100%
limitation articulaire	33.3%	40%	60%	100%	55%	83.3%

Nous remarquons que les métatarsalgies représentaient le principal motif de consultation constatées dans chaque série.

A l'examen clinique, la douleur à la pression de l'articulation métatarso-phalangienne a été retrouvée chez tous les patients de chaque série, alors qu'elle a été associée à une tuméfaction en regard chez 70% des cas dans la série de **Ben Dali N** [9], 100% des cas dans la série de **Lin SY** [42] et 66.6% des cas dans notre série.

La mobilité de l'articulation métatarso phalangienne (flexion dorsal et plantaire) a été limitée chez tous les malades dans la série de **Lin SY** [42], alors que dans les séries de **Ben Dali N** [9], **Thar A** [29], **Kilic A** [32], **Al Ashhab M** [33] et notre série, elle n'a été limitée que chez 33.3% ,40%, 60%, 55% et 83.3% respectivement.

VI. Etude radiologique :

1. Radiographies standards :

Les constatations radiographiques de la maladie de Freiberg sont variables et tendent à être corrélées avec le stade pathologique de la maladie, mais pas nécessairement avec les plaintes physiques.

L'examen radiologique reste capital, les images rencontrées sont assez caractéristiques, et permettent souvent à elles seules de poser le diagnostic. [43]

1.1. Les incidences :

La nécessité d'apprécier au plus juste l'état des lésions rend nécessaire la réalisation de plusieurs clichés.

1.1.1. Le cliché de face :

Le patient est en décubitus dorsal, jambes et cuisses fléchies, pieds posés à plat sur la plaque disposée horizontalement, orteils séparés et étalés.

Le rayon incident est incliné de 15° vers l'arrière dans le plan sagittal.

Le point de centrage est au milieu de la face dorsale du pied pour une vue unilatérale, entre les pieds pour une vue bilatérale.

Cette incidence précise le siège des lésions et l'existence d'éventuelles lésions associées : brièveté du premier rayon, excès de longueur du métatarsien porteur de la lésion.

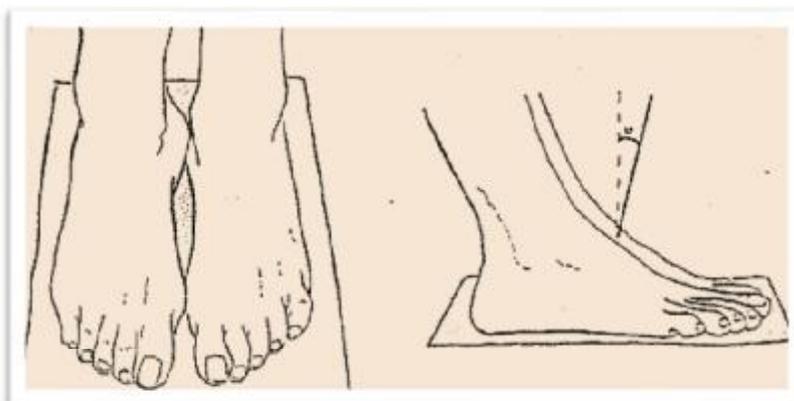


Figure 16 : Radiographie de face des deux pieds

1.1.2. Le cliché du profil en charge :

Le patient est debout en station bipodale, plaque placée verticalement à la face interne de la cheville.

C'est une radiographie tangentielle, évitant les déformations de l'image et la superposition des têtes métatarsiennes.

Le sujet est debout, les talons reposant sur un bloc de liège, orteils légèrement surélevés.

Le rayon incident est horizontal.

Le point de centrage correspond aux têtes métatarsiennes.

Cette incidence permet de voir les sésamoïdes, les têtes métatarsiennes qui doivent être alignées, la voûte de l'avant-pied dont le deuxième métatarsien forme la clé. On peut y associer les clichés centrés sur l'articulation concernée et des agrandissements.

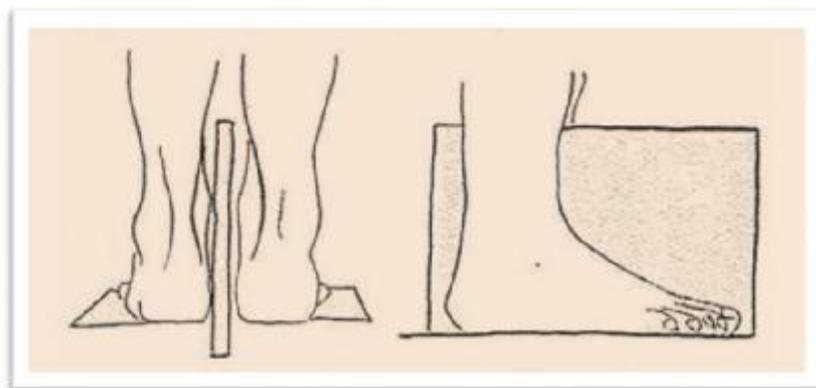


Figure 17 : Radiographie de profil en charge des deux pieds

Le diagnostic, aisément porté sur le cliché de face, est complété par la recherche de lésions associées sur les autres incidences . [43]

1.2. Stades et classifications :

Différents schémas de classification ont été proposés par différents auteurs, corrélant les constatations physiques et radiographiques aux différentes options thérapeutiques.

Smillie en 1955 [44], a divisé le processus en 5 stades (de I à V), comme l'ont fait **Gauthier et Elbaz** [1] en 1979 (schéma V).

En 1987, **Thompson et Hamilton** [45] ont présenté une classification avec quatre types, avec le type IV étant un phénomène rare qui pourrait représenter une forme de dysplasie épiphysaire.

Niveau A : correspond au stade I de la classification de Smillie et au type I de la classification de Thompson et Hamilton. Il représente les premières manifestations de la maladie.

Un trait isole un fragment de la tête métatarsienne, il est souvent invisible sur les radiographies, mais on le retrouve à l'intervention chirurgicale.

Le fragment osseux limité, d'une part par le cartilage articulaire et, d'autre part par le trait, est privé de toute vascularisation et exposé à la nécrose.

Niveau B : correspond au stade II de Smillie, la tête métatarsienne n'est pas modifiée dans son contour mais présente des altérations de structure. On peut ainsi voir une image condensée, séparée de l'os normal par une bande d'ostéolyse.

Cette image correspond à la zone nécrosée qui, en évoluant, va faire apparaître une image pommelée faite de la juxtaposition de plages denses et claires.

Dans certains cas, la lésion est unique, correspondant à un foyer de nécrose cunéiforme affleurant le cartilage. Ce foyer est le plus souvent en situation dorsale, mais peut occuper tout le noyau épiphysaire.

Le reste du métatarsien est normal. La base de la phalange est intacte, de même que l'interligne articulaire.



Figure 18 : Radiographie du pied face + profil montrant une ostéochondrite de la tête du deuxième métatarsien (M2) stade II de Smillie chez une patiente de 22 ans . [31]

Niveau C : correspond au stade III de Smillie

Les contraintes mécaniques continuent d'exercer leurs actions alors que le fragment osseux nécrosé voit sa résistance s'affaiblir. Ce phénomène entraîne un tassement progressif de la tête métatarsienne. Le cartilage articulaire subit, du fait de la déformation de la tête, des pressions exagérées. De ce fait, le cartilage a tendance à se plier, se fissurer et se décoller en demeurant, cependant, solidaire du reste du cartilage par un isthme plantaire demeuré intact.

Le cliché de face montre un décrochage de la portion centrale de la tête qui s'enfonce; la densification de la zone de nécrose s'accroît et la trabéculatation sous-jacente se raréfie.

En arrière de cette zone claire, se dessine un liseré hypercondensé dont la limite postérieure affleure la métaphyse.

Le col du métatarsien s'épaissit, l'interligne articulaire s'élargit, mais la base de la phalange proximale reste intacte.

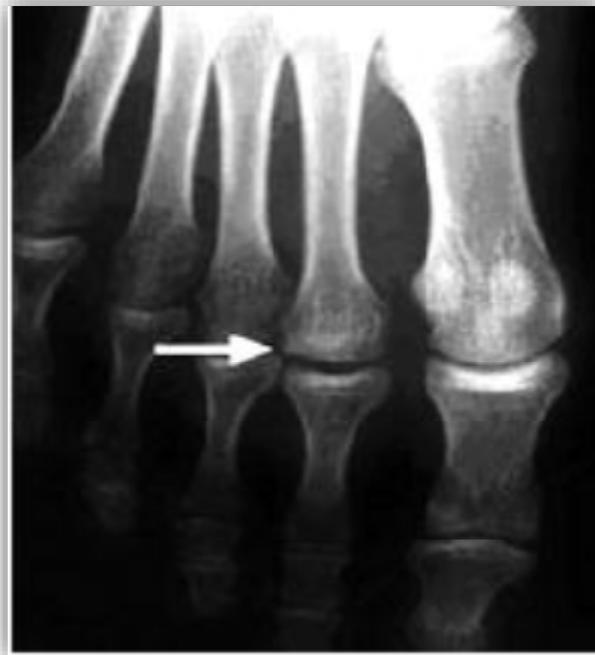


Figure 19: Radiographie du pied face montrant une ostéochondrite de la tête du deuxième métatarsien (M2) stade III de Smillie chez une patiente de 20 ans . [29]

Niveau D : correspond au stade IV de Smillie. On assiste à une rupture de l'isthme plantaire et à la libération du fragment nécrosé dans l'articulation.

L'interligne s'élargit de plus en plus. La base de la phalange est encore intacte.

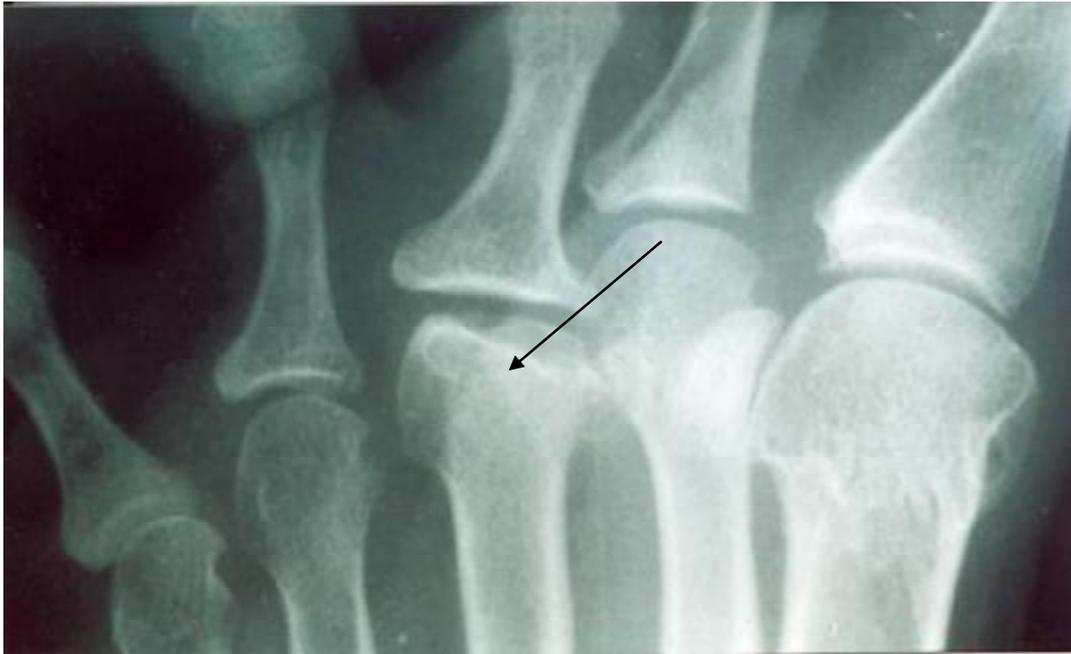


Figure 20: Radiographie du pied face montrant une ostéochondrite de la tête du troisième métatarsien (M3) stade IV de Smillie chez une patiente de 34 ans associée à un Hallux valgus avec un aspect massif de la diaphyse de M3. [29]

Niveau E : c'est le dernier stade de la maladie, il correspond au stade V de Smillie et 4 de Gauthier-Elbaz.

Il est marqué par la déformation considérable de l'articulation et la présence de corps étrangers intra-articulaires aboutissant à l'arthrose métatarso-phalangienne.

La tête est très déformée, implantée par un col évasé sur une diaphyse épaissie.

La base de la phalange est déformée et élargie.

On remarque le développement d'ostéophytes au niveau de la tête métatarsienne et de la base de la phalange.

L'interligne, en raison des déformations, des surfaces articulaires, est rarement pincée.

On peut également voir des calcifications au niveau des tissus mous péri-articulaires.

Au fur et à mesure du développement des lésions épiphysaires, la diaphyse s'épaissit progressivement et prend, dans sa partie distale, un aspect concave et hypercondensé.

Le col disparaît, tandis que le canal médullaire se rétrécit, faisant perdre à la diaphyse son aspect élancé normal. [41]



Figure 21: Radiographie du pied face et profil montrant la maladie de Freiberg de la tête du troisième métatarsien (M3) stade V de Smillie chez une patiente de 36 ans . [42]

Tableau 7 : Stades et classification de la maladie de Freiberg :

Niveau	SMILLIE	GAUTHIER & ELBAZ	THOMPSON & HAMILTON
A	Stade I	Stade 0+1	Type 1
B	Stade II	Stade 2	Type 2
C	Stade III	Stade 2	Type 2
D	Stade IV	Stade 3	Type 3
E	Stade V	Stade 4	Type 3

Tableau 8 : classification de Smillie dans notre série en comparaison avec les résultats des autres auteurs :

stades	Ben Dali N 2008 [9]	CHU Ibn Sina 2010 [29]	Edmondson Mc 2011 [30]	Kim J 2012 [31]	Lee H, J 2013 [35]	Notre série 2014
stade I	-		-	20%	-	-
stade II	-	12.5%	41.3%	55%	23%	-
stade III	30%	62.5%	35.3%	5%	23%	33.3%
stade IV	63.3%	25%	17.6%	10%	47%	50%
stade V	6.7%	-	5.8%	10%	7%	16.6%

2. Autres moyens d'imagerie :

2.1. Apport de la scintigraphie :

A l'opposé de la radiographie, au stade précoce, la scintigraphie pourrait permettre le diagnostic d'ostéonécrose aseptique épiphysaire.

Par ailleurs, on peut l'utiliser à la recherche d'une ostéonécrose controlatérale infra-clinique chez un sujet connu porteur de la maladie de Freiberg. [46]

2.1.1. Technique :

Il existe deux types de traceurs :

Le strontium 87 m sous forme de citrate, Le technétium 99 m, servant au marquage instantané de polyphosphates ou diphosphates.

Dans les cas précis des ostéonécroses, le strontium 87 m paraît donner les meilleurs résultats scintigraphiques, suivi par les polyphosphates marqués au technétium 99m.

L'exploration isotopique intervient 2 à 4 heures après l'injection intraveineuse du traceur.

L'activité administrée est de 5 millicuries pour le TC 99m, L'irradiation de l'os est faible : 0.3 rad.

Une scintigraphie squelettique totale est d'emblée réalisée :

Soit avec un détecteur mobile (scintigraphie) qui explore les régions à étudier en défilant au dessus ligne par ligne ;

Soit avec un détecteur fixe (Caméra à scintillation, gamma caméra), la caméra explore simultanément tous les points de la zone choisie;

Soit avec une caméra à scintillation, couplée avec un lit mobile à déplacement automatisé, ce dernier procédé convient parfaitement aux examens de dépistage.

2.1.2. Résultats :

- Au stade précoce : (stade de nécrose)

L'image scintigraphique se traduit par une image lacunaire photopénique avec une couronne hyper active. Cette image constitue une preuve précoce et un résultat significatif pour l'ostéonécrose aseptique qui peut évoluer six mois avant l'apparition des signes typiques de la maladie de Freiberg à la radiographie standard.

Mandell et Harcke [47], ont rapporté un cas d'une fille de 12 ans qui avait des métatarsalgies intenses. Le diagnostic de la maladie de Freiberg à ce stade précoce a été posé par la scintigraphie qui a objectivé une image lacunaire photopénique avec une couronne hyper active, alors que la lésion à la radiographie standard n'était visible qu'après 6 mois d'évolution.

- Au stade tardif : (stade de reconstruction).

L'image scintigraphique se traduit par l'aspect classique qui est celui de l'hyperactivité ou l'hyperfixation diffuse. Cet aspect est secondaire à la phase de revascularisation diffuse.

Mandell et Harcke [47], ont rapporté un cas d'une fille de 15 ans qui avait des métatarsalgies, chez qui la radiographie standard a montré une déformation importante de la tête métatarsienne, la scintigraphie a objectivé un aspect classique en hyperactivité diffuse.

Dans notre série aucun malade n'a bénéficié d'une scintigraphie.

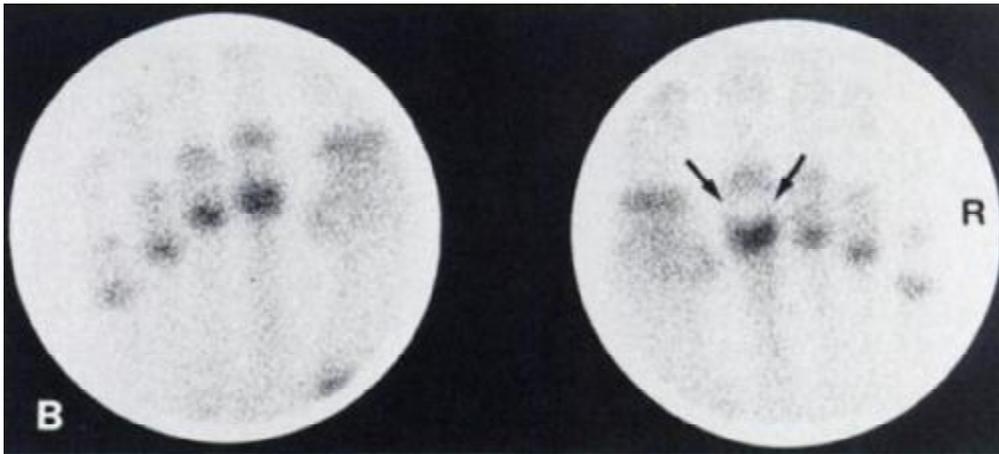


Figure 22 : une image scintigraphique utilisant le traceur TC 99m montrant une hyperfixation au niveau du deuxième métatarsien. [47]

2.2. Le scanner :

La tomodensitométrie permet un bilan lésionnel complet notamment la reconstruction tridimensionnelle qui permet d'étudier le cartilage plantaire restant dont le rôle est important dans la restitution thérapeutique de l'articulation.

Dans notre série un malade a bénéficié d'un scanner qui a objectivé des signes de l'arthrose métatarso-phalangienne du deuxième métatarsien.



Figure 23 : (A) coupe scannographique transversal en préopératoire révélant la séparation complète du fragment osteochondral distale de la deuxième tête métatarsienne. (B) le plan sagittal montre encore une séparation complète d'un fragment distal dorsale. [48]

2.3. L'imagerie par résonance magnétique :

Elle est peu utilisée en matière de la maladie de Freiberg; généralement, la clinique et la radiographie standard suffisent au diagnostic.

Son intérêt majeur est au stade où la radiographie du pied est normale. **Mifune Y et al** [49], ont posé le diagnostic de la maladie de Freiberg à un stade précoce par l'IRM chez une femme de 51ans, la lésion apparaît en hyposignal en T1 et en combinaison hypo hypersignal en T2.

Norton et Eyress [39], ont montré que L'IRM a permis de poser le diagnostic de la maladie de Freiberg dans sa forme aigue avec atteinte de deux rayons, en montrant un œdème de la moelle osseuse et des tissus mous des deux métatarsiens.

Quoique coûteux, l'IRM permet un diagnostic plus précoce et par conséquent une thérapeutique plutôt conservatrice et des résultats plus satisfaisants.

Dans notre étude aucun malade n'a bénéficié de l'IRM.



Figure 24 : imagerie par résonance magnétique du pied montrant une ostéonécrose étendue de la deuxième tête métatarsienne qui apparaît en hypo-signal sur La séquence pondérée en T1. [49]

VII. Diagnostic :

1. Diagnostic positif :

Le diagnostic positif de la maladie de Freiberg se pose différemment, selon les stades où on l'observe.

➤ A La phase précoce : (stade I)

Il est difficile de poser le diagnostic à ce stade, d'une part, parce que la maladie est très souvent muette, d'autre part, parce que l'expression clinique est tellement banale pour être évocatrice (gêne, ou légère douleur de l'avant-pied à la marche).

De même, les radiographies sont encore négatives à ce stade et donc d'aucune aide.

Actuellement, au stade précoce, la scintigraphie et l'IRM pourraient permettre un diagnostic assez précis.

➤ A la phase d'évolutivité : (stade II III, et IV)

La clinique est plus parlante. Les radiographies montrent des altérations caractéristiques, et permettent le plus souvent de poser le diagnostic. Ce dernier sera confirmé par l'examen anatomopathologique.

➤ Au stade V d'Arthrose hypertrophique Métatarso-phalangienne:

L'histoire clinique de l'affection recherchée par l'interrogatoire minutieux permet d'éliminer les autres causes d'arthrose :

- Mécanique.
- Post-traumatique.

Les signes radiologiques retrouvés à ce stade permettent de retenir le diagnostic de la maladie de Freiberg :

- Présence de séquestres intra-articulaires;
- Une interligne peu pincée, voire conservée ou élargie ;

- L'absence de subluxation métatarso-phalangienne.

A ce stade, l'examen anatomo-pathologique est indispensable pour confirmer le diagnostic. [50]

2. Diagnostic différentiel :

L'expression clinique commune que constitue une métatarsalgie, est un motif très fréquent de consultation en podologie.

Le trouble mécanique d'appui de l'avant pied est responsable d'un déséquilibre de répartition des contraintes plantaires objectivé par la souffrance cutanée (cors, durillons plantaires).

On peut les regrouper comme suit :

- ❖ Les atteintes extra-articulaires.
- ❖ Les atteintes articulaires.

2.1. Les atteints extra-articulaires :

Elles regroupent divers affections qui, malgré une expression clinique de douleur métatarsienne, se déroulent à distance de l'articulation métatarso-phalangienne.

2.1.1. Fracture de fatigue ou maladie de DEUTSCHLANDER :

Surviennent dans le cadre de la pathologie d'adaptation de l'os à l'effort: normalement, l'activité physique régulière élève ou maintient la masse osseuse là où les contraintes sont appliquées (Loi de WOLFF).

A contrario, des contraintes de caractère inhabituel, répétitives et intensives, peuvent empêcher cette régulation locale et entraîner une fragilisation paradoxale de la zone hypersollicitée.

Ce phénomène définit la pathologie d'adaptation de l'os à l'effort ; Cette pathologie évolue en deux stades :

- ✓ Un syndrome préfracturaire qui associe :
 - Une douleur osseuse d'effort progressive,
 - Des radiographies normales et / ou montrant tardivement des images de construction osseuse (apposition périostée et / ou endostale).
 - Un foyer d'hyperfixation scintigraphique en regard de la zone douloureuse.

- ✓ La fracture de fatigue qui associe :
 - Une douleur osseuse aigue et
 - Une impotence fonctionnelle majeure.
 - La radiographie met en évidence un trait fracturaire associé ou non des images de construction osseuse.

Au niveau de l'avant pied, l'atteinte métatarsienne : reste la plus classique, elle se traduit par une douleur de la face dorsale du pied avec un œdème effaçant les reliefs des tendons extenseurs. La décompensation fracturaire siège souvent en pleine diaphyse. L'atteinte des têtes métatarsiennes est de diagnostic radiologique difficile. Les lésions multiples bilatérales se voient dans 20% des cas.

L'atteinte du sésamoïde : survient dans un contexte de piétinement avec douleur persistance en regard de la base du premier métatarsien. Un trait fracturaire sera difficile à différencier d'un sésamoïde interne bipartite. L'hyperfixation scintigraphique évocatrice n'exclut pas le diagnostic d'ostéonécrose. L'évolution vers la pseudarthrose est classique.

2.1.2. Névrome de MORTON [51,52]

Il s'agit d'une hyperplasie bénigne de la bifurcation d'un nerf interosseux, presque toujours celui du troisième espace.

Cliniquement, le syndrome douloureux est particulier. Il s'agit d'une métatarsalgie parfois brutale et excruciante, survenant en éclair à la marche chaussée ; réalisant souvent une douleur de type « courant électrique » irradiant volontiers vers les faces de la commissure interdigitale correspondante, ou s'accompagnant de paresthésies dans ce territoire. Elle est soulagée par l'abandon de la chaussure, et ce signe du « déchaussement fréquent » est très évocateur. Le patient profite de toute occasion pour quitter sa chaussure, ne serait-ce que momentanément.

L'examen retrouve :

- ❖ Une douleur provoquée à la pression de l'espace interosseux, entre deux têtes métatarsiennes, en « pinçant » cette zone entre deux doigts, l'un plantaire l'autre dorsal.
- ❖ La compression transversale de l'avant-pied, en approchant les unes des autres les têtes métatarsiennes, comprime le nerf entre ces dernières et déclenche elle aussi le syndrome douloureux.
- ❖ Parfois enfin, on notera une hypo ou une anesthésie des faces latérales des orteils dans le territoire correspondant.

2.1.3. Métatarsalgie de la nécrose aseptique des sésamoïdes du premier orteil (maladie de Renander)

Elle traduit une ostéodystrophie des sésamoïdes du premier métatarsien : à prédominance féminine, elle se rencontre chez l'enfant et l'adolescent entre 9 et 17 ans : elle est favorisée par les microtraumatismes sportifs ou professionnels, un trouble statique du pied, une chaussure mal adaptée.

Elle peut avoir deux expressions cliniques :

- ❖ Une douleur plantaire, tableau le plus fréquente, à l'appui de la première articulation métatarso-phalangienne au temps final du pas. Elle s'atténue au repos.
- ❖ Une allure pseudo-goutteuse : plus rare mais trompeuse.

La radiographie (en incidence spéciale dite de Walter-Müller) montre des remaniements caractéristiques : déminéralisation, condensation inégale tigrée, isolée ou associée à un aplatissement antéropostérieure. [53]

2.1.4. Le syndrome douloureux aigu du deuxième espace intermétatarsien

Il s'agit d'un syndrome caractérisé par une douleur aiguë, localisée à la partie antérieure du second espace intermétatarsien et qui s'accompagne parfois de signes inflammatoires locaux.

Généralement, ce syndrome est unilatéral, se manifeste par les douleurs intenses de la portion distale du second espace intermétatarsien, ces douleurs n'irradient pas, disparaissent au repos et s'aggravent à la marche.

L'examen radiologique n'objective pas de lésions ostéo-articulaires mais fait la preuve d'une brièveté du 1^{er} rayon.

Test diagnostique : l'infiltration locale de corticoïdes entraîne une amélioration spectaculaire, apportant par là, la preuve diagnostique. [54]

2.2. Les atteintes articulaires :

- ❖ Les luxations métatarso-phalangiennes,
- ❖ Les fractures post-traumatiques,
- ❖ Les décollements épiphysaires.

Leur diagnostic est facile devant leur survenue brutale et Post-traumatique associé à l'examen radiologique.

2.3. Causes rares de métatarsalgies isolées :

- ❖ Les rhumatismes inflammatoires ;
- ❖ Les arthropathies microcristallines ;
- ❖ Les arthrites septiques ;
- ❖ Les arthrites tuberculeuses ;
- ❖ Les algodystrophies ;
- ❖ La maladie de Paget ;
- ❖ Tumeurs osseuses bénignes ou malignes primitives ou dans le cadre de métastase ;
- ❖ Ostéoarthropathie hypertrophiante ;
- ❖ Synovite villonodulaire ;
- ❖ Ostéochondromatose synoviale ;
- ❖ Tumeur à cellules géantes ;
- ❖ Kyste anévrismal.

Dans ces diverses affections, outre la clinique, la biologie et la radiologie, le diagnostic est confirmé par l'examen histopathologique. [55]

2.4. Variante anatomique normale :

Selon l'étude faite par LEGARTH effectuée sur 72 sujets normaux : sans antécédents ni signes physiques de maladie du pied.

L'examen radiologique des pieds de ces sujets montre chez 10% environ un aplatissement bilatéral de la tête du deuxième métatarsien avec élargissement de l'espace articulaire.

Cet aspect ne doit pas être confondu avec la maladie de Freiberg à ses stades finaux. [56]

VIII. Traitement :

1. Le but :

L'objectif du traitement est d'avoir un pied indolore avec une bonne récupération fonctionnelle.

2. Les moyens thérapeutiques :

Si la plupart des auteurs sont d'accord sur l'utilité d'un traitement médical et/ou orthopédique au stade de début de la maladie, l'indication d'un traitement chirurgical ne se pose qu'au stade de séquelles et de gêne fonctionnelle, cependant les modalités opératoires diffèrent tous comme leurs résultats . [57]

a. Traitement médical :

Ce traitement n'est en réalité que symptomatique.

- But : Permettre un soulagement au patient.
- Principe : Suppression des facteurs susceptibles d'aggraver la métatarsalgie par :
 - ❖ Réduction de la marche, de l'activité physique et de la surcharge pondérale,
 - ❖ Utilisation de chaussage à semelle épaisse, souple et amortissante.
 - ❖ Administration des antalgiques par voie générale seule ou associée à des applications locale de diathermie.
- Avantage : Apporte un certain soulagement surtout devant une douleur très gênante.
- Inconvénient : L'amélioration n'est que passagère.

b. Traitement Orthopédique :

Il devrait idéalement précéder tout acte chirurgical et parfois lui succéder pour en aménager les résultats.

- But : Supprimer ou soulager l'appui qui se fait sur les têtes métatarsiennes, donc décharger la zone douloureuse, en l'occurrence la deuxième tête métatarsienne.
- Principe : Ainsi, pourra-t-on recourir soit :
 - ❖ à l'immobilisation par botte plâtrée de marche qui peut être simple ou moulée avec appui rétro-capital.
 - ❖ aux orthèses plantaires : la confection de ces orthèses plantaires fait appel à plusieurs éléments prenant en considération la trophicité du capiton plantaire, le volume chaussant du patient, entre autres.
- Inconvénient : Malheureusement, le diagnostic est souvent tardif obligeant à recourir à des méthodes chirurgicales. [58]
- **Sproul et al** [59] ont rapporté une série de 11 athlètes ayant la maladie de Freiberg, l'utilisation des orthèses plantaires pour ces malades permet d'améliorer la symptomatologie en diminuant la pression sur la tête métatarsienne.

c. Traitement chirurgical :

Le traitement chirurgical a été utilisé très tôt. Les premières thérapeutiques chirurgicales proposées ont eu pour but la résection large des lésions. Mais, on a tendance de plus en plus vers les thérapeutiques à visée conservatrice.

1. Thérapeutiques visant à une résection large :

a. L'opération de Machacek :

- But : résection large.
- Principe: régularisation des surfaces articulaires associée à la résection des 2/3 proximaux de la phalange.
- Avantage: justifiée au stade d'arthrose métatarso-phalangienne.
- Inconvénient: Pas d'intérêt pour les stades de début. [9]

b. Résection capitale ou capito-phalangienne :

- But : résection large.
- Principe: la résection capitale est associée à l'amputation de l'orteil.
- Avantage: pourrait être bénéfique au stade de séquelles.
- Inconvénient: mutilante, la résection de la tête métatarsienne (sans remplacement prothétique) entrave grandement la biomécanique du pied.
- Dans la série de **Hoskinson** [60], à propos de 28 cas, 8 cas ont bénéficié d'une résection capitale avec 37% de bons résultats.

2. Thérapeutiques conservatrices :

Dans ces techniques, la résection est le plus souvent minime, et effectuée dans le but de favoriser une reconstruction osseuse.

a. L'intervention de GAUTHIER ou ostéotomie de flexion dorsale intra articulaire : +++++++

❖ Principe : cette technique a été initialement décrite par Gauthier et Elbaz en 1979, elle est fondée sur la localisation assez élective de la nécrose à la partie dorsale de la tête métatarsienne, la zone plantaire étant le plus souvent épargnée. Même au stade V de la maladie, la tête métatarsienne peut avoir une zone basale

suffisante pour restaurer une articulation. Celle-ci est relevée pour venir, au contact de la base phalangienne. [61]

❖ Technique : [9]

- Sous anesthésie générale ou rachidienne, le patient était mis en décubitus dorsal avec la mise d'un garrot pneumatique à la racine du membre.
- Une incision dorsale rectiligne centrée sur l'articulation métatarso-phalangienne atteinte ; puis le tendon extenseur est isolé après avoir lié quelques petits vaisseaux, en particulier des veines superficielles.
- Une arthrotomie est effectuée par incision dorso-latérale ou médiale de l'expansion du tendon extenseur puis de la capsule.
- Ce geste d'ostéotomie, peut être associé à un émondage articulaire avec libération des ostéophytes et des corps étrangers intra-capsulaire.
- Une résection cunéiforme à l'aide de la scie oscillante de petit calibre, dont la base est constituée par la partie pathologique de la tête métatarsienne, est alors effectuée. La tête métatarsienne est ainsi basculée vers la face dorsale, ramenant une surface articulaire de bonne qualité en regard de la base de la première phalange.
- L'ostéosynthèse du fragment est laissée à un cerclage dorsal par fils résorbable. Il est parfois nécessaire d'effectuer un embrochage temporaire, pour lutter contre la tendance à l'hyperextension métatarso-phalangienne dorsale.
- L'avant pied est déchargé par une chaussure de Barouk six semaines, avec appui talonnier.
- La broche sera enlevée en moyenne à la septième semaine de post-opératoire et l'appui autorisé dès l'ablation du plâtre.

- Ce geste entraîne un raccourcissement du métatarsien qui est parfois bénéfique, car cette lésion survient souvent sur un syndrome de dysharmonie de longueur du clavier métatarsien prédominant justement sur le rayon atteint. Il est parfois nécessaire d'associer au geste focale une ostéotomie d'adaptation du ou des métatarsiens adjacents pour rétablir l'harmonie de longueur de l'ensemble des métatarsiens.
- ❖ Avantages :
 - L'ostéotomie de Gauthier est une technique logique, simple, fiable, non destructive, généralement réussie avec de bons résultats. Elle peut être effectuée pour tous les stades de la maladie.
 - Permet une reprise de la marche dès le troisième jour postopératoire et une activité normale dès la quatrième à la sixième semaine. [62]
- ❖ Inconvénients : La difficulté réside dans l'appréciation de la qualité et la vitalité d'un isthme plantaire résiduel qui ne peut être mieux apprécié qu'en per-opératoire . [1]
- ❖ **Gauthier et Elbaz** [1], ont rapporté sur une série de 53 malades, 99% d'excellents résultats.
- ❖ Sur une série de 15 cas, **Kinnard et Lirette** [63], ont décrit l'ostéotomie de flexion dorsale intra articulaire avec fixation par sutures absorbables et ils ont rapporté 98% de bons et excellents résultats avec un recul moyen de 50 mois.
- ❖ Dans l'étude de **Lee SK et al** [64], 12 cas ayant la maladie de Freiberg traités par ostéotomie dorsale de flexion intra articulaire avec fixation par des broches absorbables, 95% de bons et excellents résultats ont été rapportés avec un recul moyen de 45 mois.

- ❖ Dans notre série, tous les malades ont bénéficié de l'ostéotomie de Gauthier avec 100% de bons et excellents résultats sur un recul moyen de 12 mois.

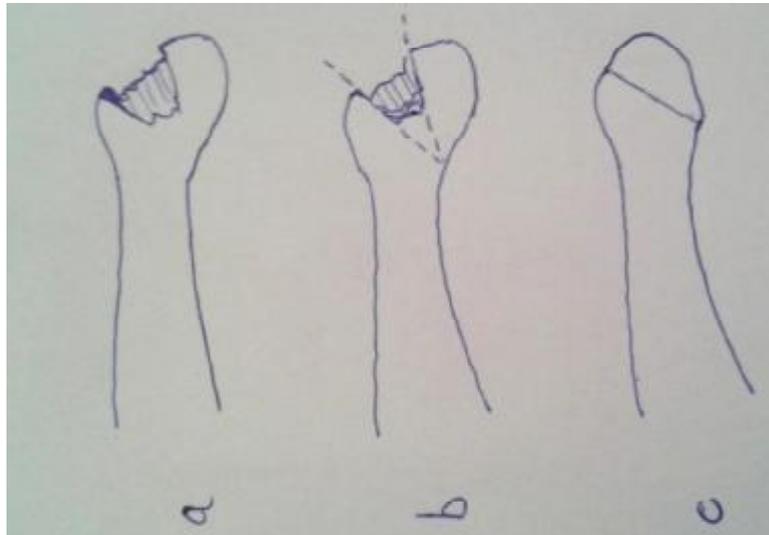


Figure 25 : l'ostéotomie de flexion dorsale intra-articulaire

- Ostéonécrose de la partie antérieure et supérieure de la tête métatarsienne.
- Résection de la nécrose en gardant une charnière basale.
- Fermeture de l'ostéoporose et fixation par broche ou cerclage.

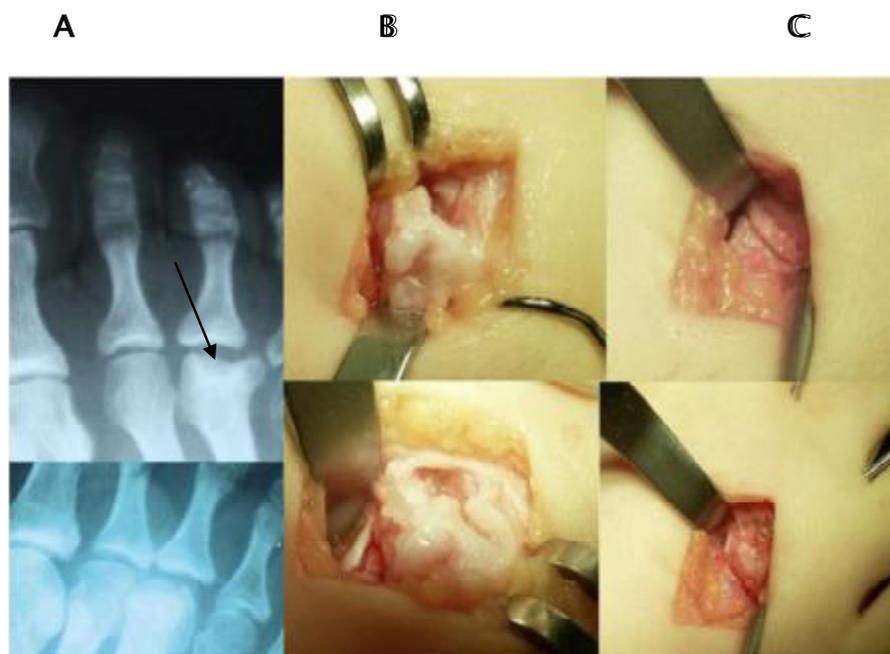


Figure 26: A : radiographies du pied montrant une ostéonécrose du troisième métatarsien, B : image peropératoire de la lésion C : image après ostéotomie dorsale de flexion montrant l'alignement de l'articulation. [32]

b. **L'ostéotomie dorsale de flexion dorsale extra articulaire :**

- Technique : réaliser une ostéotomie du col métatarsien par résection d'un coin osseux, suivi d'une flexion dorsale de la tête, puis la fixation sera effectuée par deux broches [27].
 - Avantages :
 - facilite la fixation par rapport à l'intra articulaire.
 - permet un raccourcissement du métatarsien pour rétablir l'harmonie de longueur de l'ensemble des métatarsiens.
- [26]

Kuo-Hua Chao et al [27], ont décrit en 1999 l'ostéotomie de flexion dorsale extra articulaire sur une série de 13 patients, ils ont rapporté 84,6% d'excellents résultats avec un recul moyen de 40 mois.

Ikoma K et al [65] ont décrit une ostéotomie de flexion dorsale extra articulaire avec fixation par polyblend sutures chez 13 cas de la maladie de Freiberg. Ils ont rapporté 98.8% de bons et excellents résultats avec un recul moyen de 17 mois.

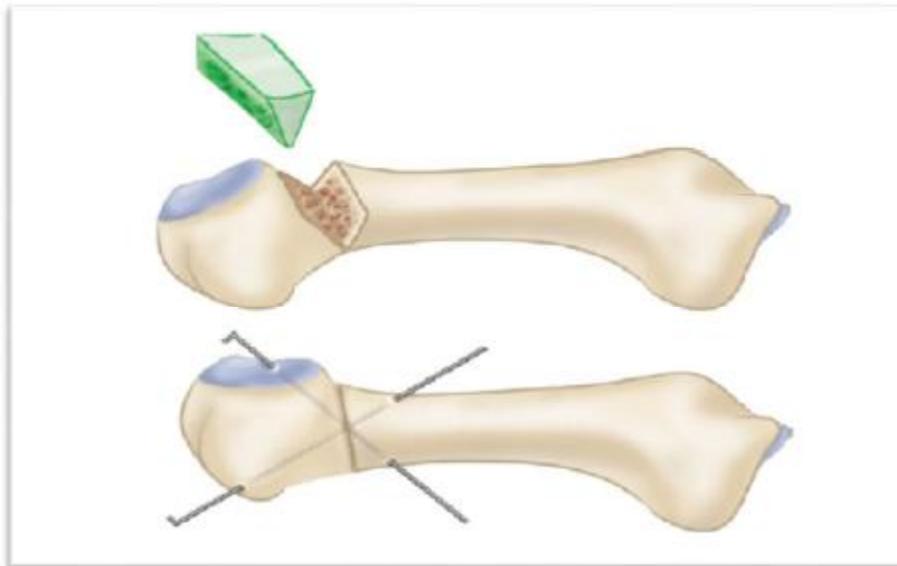


Figure 27 : ostéotomie de flexion dorsale extra articulaire [27]

c. Le forage de BECK :

Technique : on réalise une incision en regard de l'articulation métatarso-phalangienne, puis une dissection jusqu'à la capsule et le périoste qui restent intacts, par une broche de Kirshner plusieurs trous sont percés dans la tête métatarsienne et dans la base de la première phalange, puis la peau est fermée par des sutures absorbables. [66]

Cette décompression de base est destinée à soulager la pression intra-osseuse élevée associée à la nécrose avasculaire, afin de permettre la revascularisation de la zone nécrosée avant que les changements structuraux se produisent. [46]

Le forage de Beck peut donner de bons résultats qui sont longs à obtenir mais il ne convient qu'au premier stade de la maladie, car il ne peut modifier la configuration de la tête une fois déformée [46,66].

Les résultats de cette technique ont été rapportés dans deux séries (1 cas dans chaque série) [46,66], les deux patients ont présenté des métatarsalgies, dont la radiographie du pied était normale, le diagnostic a été posé par la scintigraphie osseuse et l'IRM. La décompression a été effectuée par une broche de Kirschner de 1,1 mm, cela a conduit à la disparition des symptômes et le suivi ultérieur n'a révélé aucune altération de la tête métatarsienne dans les deux cas.

d. L'intervention de SMILLIE: Curetage - bourrage :

Elle a été décrite par son auteur en 1957 sur une série de 41 cas, consistant à l'excision de la synoviale épaissie, l'ablation des corps étrangers et le cartilage articulaire délamination, ainsi que la résection d'ostéophytes périphériques, l'étalement de la réparation un greffe d'os spongieux permettant d'établir de nouveaux approvisionnement en sang à l'épiphyse à travers le cartilage de conjugaison; ce curetage-bourrage a pour but de restituer à la tête métatarsienne son aspect

anatomique normal, et apporter une vascularisation de suppléance au fragment distal ischémié.

Helal et Gibb [67] ont modifié la technique de Smillie en utilisant le fil de Kirschner pour une meilleure fixation de l'articulation.

Cette technique permet de garder une surface articulaire cartilagineuse mais ne s'applique qu'aux stades précoces tant que la partie plantaire du cartilage articulaire reste intact. [44, 68, 59]

Dans l'étude de **Helal B** [69], la technique de Smillie a été réalisée chez 25 patients avec 72% de bons résultats.

e. **La résection économique de la tête métatarsienne ou intervention de TAVERNIER :**

- ❖ Principe: Elle combine une résection à minima des lésions et un modelage de la surface articulaire qui sera remise en charge.
- ❖ Avantage : thérapeutique conservatrice.
- ❖ Inconvénient : cette thérapeutique fut toutefois progressivement abandonnée au profit de l'implant en silastic. [22]

f. **Intervention de KEHR ou autoplastie tendineuse :**

- ❖ Principe: associe un remodelage des surfaces articulaires par l'interposition d'un lambeau en "U " prélevé aux dépens de l'appareil extenseur, avec suture à la capsule plantaire.
- ❖ Avantage: Résection à minima.
- ❖ Inconvénients: Elle entraîne un déficit d'extension et ne restitue pas une surface articulaire normale, ce qui laisse évoluer l'érosion osseuse de la tête métatarsienne et de la base de la première phalange. [70]
- ❖ Dans la série **d'El Tayeby** [71], 13 cas ayant la maladie de Freiberg ont bénéficié d'une plastie de Kehr. Avec un recul de 16 mois il a rapporté 84%

de bons résultats, 61,5% des patients ont eu un déficit d'extension de l'orteil et 15% ont eu une hyperesthésie en regard de l'incision.

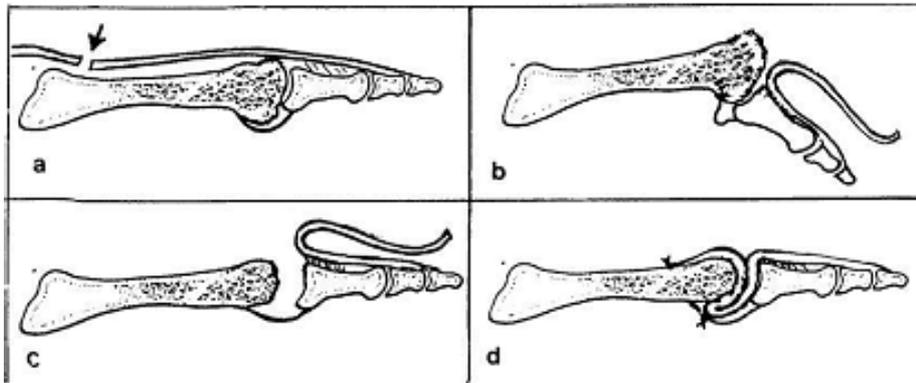


Figure 28 : L' autoplastie tendineuse [71]

g. Ostéotomie de raccourcissement: intervention de Smith :

- ❖ Principe : la mise en place d'une plaque en T permettant le raccourcissement du métatarsien.
- ❖ Technique : après la mise d'un garrot pneumatique à la racine du membre, une incision de 4 à 5 cm dorsale est appliquée dans l'axe de la diaphyse du métatarsien affecté. Le col du métatarse et l'articulation métatarsophalangienne sont exposés, mais une arthrotomie n'est pas effectuée.

Une ostéotomie est réalisée à travers le col du métatarse engendrant un raccourcissement de l'os d'environ 4 mm. La plaque en forme de T est fixée pour maintenir les deux fragments réduits et elle sera retirée après un minimum de 12 mois.

- ❖ Inconvénient : risque de transfert de charge aux métatarsiens voisins [72].
- ❖ Dans la série de **Smith et al** [72] incluant 15 malades ayant bénéficié d'une ostéotomie de Smith, 86% d'excellents résultats avec un recul de 4ans.

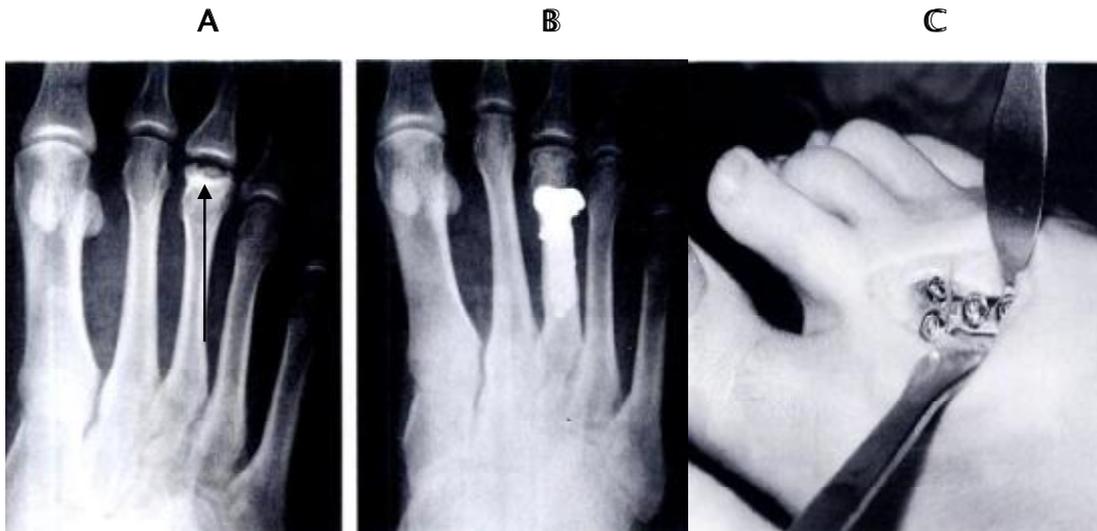


Figure 29 : A : La maladie de Freiberg affectant le troisième métatarsien, B, C L'ostéotomie métatarsienne a été effectuée et la plaque en T est fixée. [72]

h. Les implants :

- ❖ Principe : mise en place d'une prothèse s'insérant dans le métatarse et la phalange après résection de la portion nécrosée en marche d'escalier.

Plusieurs types d'implants peuvent être utilisés:

- Cupule radial de petit calibre;
 - Prothèse de REGNAULT;
 - Prothèse silastic "finger-joint" de SWANSON.
 - Implants de Ceramic ;
- ❖ Avantage: très bénéfique lorsque l'état des lésions condamne à une exérèse large.
 - ❖ Inconvénient: risque de complications infectieuses, réaction à corps étranger si l'indication n'est pas bien faite, en particulier si elle est posée en plein stade d'évolution de la maladie chez le sujet très jeune. [73]

- ❖ **Townshned et Greiss** [74] ont rapporté sur une série de 9 patients ayant la maladie de Freiberg traités par prothèse Céramic, dont 4 patients avaient un stade V de Smillie ; 89% ont eu de bons et excellents résultats.

i. Les remplacements par greffon osseux :

- ❖ Principe : remplacement par greffon iliaque autogène ou une greffe ostéo-articulaire totale lyophilisée.
- ❖ Avantage: restitution d'un os apparemment normal.
- ❖ Inconvénient: Le greffon iliaque n'apporte pas une surface articulaire cartilagineuse.
- ❖ Sur une série de 4 cas classés stade V de Smillie, ayant bénéficié d'une transplantation par greffe osseuse prélevée du condyle fémoral latéral, **Miamoto et al** [75] ont rapporté 97,5% de bons et excellents résultats avec un recul de 52 mois.
- ❖ **Hayachi et al** [76] ont rapporté un excellent résultat chez un cas de la maladie de Freiberg bilatérale classé stade IV de Smillie et traitée par un greffon du condyle fémoral latéral.

j. Traitement arthroscopique :

Décrite en 1996 par Gaetano Maresca et collaborateurs.

- ❖ Avantage : Réduction de la morbidité.
- ❖ Inconvénient: Valable surtout pour les stades vus précocement. [2]
- ❖ **MARESCA G et al** [2] ont rapporté un excellent résultat sur un recul de 2ans, chez un patient de 28 ans qui avait la maladie de Freiberg bilatérale et ayant bénéficié d'un traitement arthroscopique avec forage de la partie métaphysaire distale des deux têtes métatarsiennes.

3. Indications :

Il paraît logique que la décision thérapeutique soit concordante avec le stade évolutif de la maladie, allant des moyens les plus simples aux thérapeutiques plus ou moins agressives que le praticien juge utiles selon les cas.

Le traitement de la maladie de Freiberg au stade précoce chez le jeune adolescent doit jouer la carte de la guérison spontanée. Une semelle plâtrée avec immobilisation stricte de la métatarso-phalangienne en légère flexion plantaire et suivi radiologique régulier de l'évolution sont les thérapeutiques de choix. [77]

En cas d'échec ou chez les sujets plus âgés ou vu tardivement, ou lorsque la forme de la tête est déjà déformée, il est conseillé d'opérer. [2,64] Le but du traitement chirurgical [78] est de soulager l'hyperpression sous la tête du 2ème métatarsien sans entraîner un déséquilibre statique qui amènera une métatarsalgie au niveau des rayons voisins. [79] L'ostéotomie du métatarsien par résection d'un coin osseux à base dorsale selon la technique décrite par Gauthier [80] est la technique de choix.

Au Stade II de la maladie, l'intervention de Smillie peut amener la restitution ad integrum, mais nécessite un diagnostic précoce. De plus, l'intervention reste délicate avec des risques de lésions traumatiques du cartilage et passage brutal vers le stade III. C'est pourquoi, nous pensons que même à un stade précoce, l'intervention de Gauthier peut avoir sa place. Cette assertion est d'autant plus valable que l'on constate dans la maladie de Freiberg un excès de longueur du deuxième métatarsien dont la correction est souhaitable pour une meilleure répartition des contraintes mécaniques. [81, 82, 83,61]

Au stade III, l'intervention de Smillie reste possible mais avec une grande difficulté de réduction correcte et un risque d'aggravation des lésions. L'ostéotomie de Gauthier semble être le traitement de choix associée à une résection de corps étrangers et à un nettoyage articulaire. [81, 82, 83 ,61]

Au stade IV, c'est l'ostéotomie de Gauthier qui donne les meilleures chances de récupération à une articulation qui garde une certaine souplesse. [81, 82, 83 ,61]

Au Stade V, c'est le stade dont l'indication est la plus difficile. Il faut pousser au maximum les indications de l'ostéotomie de Gauthier. Cependant elle est limitée lorsque la nécrose de la tête métatarsienne est subtotale sans zone inférieure susceptible d'être amenée en position fonctionnelle.

Ce n'est qu'en cas de détérioration complète de la tête chez des malades relativement âgés que les remplacements prothétiques capitaux sont envisagés. [81, 82, 83 ,61]

En conclusion, plusieurs techniques chirurgicales sont décrites pour le traitement de la maladie de Freiberg, mais la technique la plus conservatrice et de choix même à un stade avancé reste l'ostéotomie cunéiforme à base dorsale et à charnière plantaire décrite par Gauthier, grâce à son double effet, d'une part le recul modéré de la tête du deuxième métatarsien diminue l'excès de longueur, d'autre part elle relève l'épiphyse métatarsienne ce qui supprime l'hyper-appui.

Dans notre série tous les malades ont bénéficié d'une ostéotomie de Gauthier avec 100% de bons et excellents résultats.

Tableau 9 : Comparaison des résultats en fonction des techniques chirurgicales tous stades confondus :

Auteurs	Nombre de cas	Méthodes	Résultats
Hoskinson 1974, Proc R Soc Med [60]	8	Résection Capitale	37% Bons
Helal 1975, J Bone Joint Surg [69]	25	Intervention de Smillie	72% Bons
GAUTHIER Et ELBAZ 1979, Clin Orthop [1]	53	Ostéotomie de Gauthier	99% excellents
Smith 1991, J Bone Joint Surg [72]	15	Ostéotomie de raccourcissement de Smith	86% excellents
Eltayeb 1998, J Bone Joint Surg [71]	13	Plastie de Kehr	84 % bons
Kuo-Hua Chao 1999, Acta orthop Scand [27]	13	Ostéotomie dorsale de flexion extra articulaire	84.6% excellents
Ben Dali 2008, Tunisie orthop [9]	20	Ostéotomie de Gauthier	90 % bons et excellents
Thar A, CHU Ibn Sina 2010 [29]	8	Ostéotomie de Gauthier	87 .5% excellents
Notre série	6	Ostéotomie de Gauthier	100 % bons et excellents

IX. Résultats :

A. Clinique :

Pour évaluer le résultat clinique après l'ostéotomie de Gauthier, nous avons adopté la cotation établie par « The American Orthopedic Foot and Ankle Society » (AOFAS) qui tient compte de trois critères: la douleur, la fonction et l'alignement. Nous avons retrouvé des résultats concordants à ceux rapportés dans la littérature.

Tableau 10 : Tableau comparatif des résultats cliniques de l'ostéotomie de dorsale de flexion selon la cotation de l'AOFAS :

Auteurs	recul moyen	% des bons et excellents résultats	% des moyens et mauvais résultats
Gauthier Et Albaz 1979, Clin Orthop [1]	-	99%	1%
Kinnard & Lirette 1991, J Bone Joint Surg [63]	4ans	98%%	0%
Mendes A 1993, Te Foot [84]	5ans	92,3%	7,7%
Kuo-Hua Chao 1999, Acta orthop Scand [27]	4ans	84.6%	16%
Ben Dali 2008, Tunisie orthop [9]	5 ans	90%	10%
Thar A 2010, CHU Ibn Sina [29]	3 ans	87,5%	12.5%
Notre série	1ans	100%	0%

En 1979, **Gauthier** [1] a trouvé un seul cas de douleur occasionnelle persistante parmi une série de 53 patients (1%).

Kuo-hua Chao [27] a présenté une série de 13 cas traités par ostéotomie cunéiforme dorsale de flexion extra articulaire où deux patients ont présenté des douleurs occasionnelles (16%).

En 1991, **Kinnard & Lirette** [63] sur une série de 15 patients, ont trouvé trois malades qui présentaient des douleurs occasionnelles.

Ben Dali [9] a présenté une série de 30 cas traités par ostéotomie de Gauthier, seulement vingt patients qui sont évalués en post opératoire, alors qu'une indolence totale a été marquée chez 15 patients et une douleur occasionnelle chez 5 cas. Tous les patients ont récupéré une marche normale et aucun n'a présenté de boiterie ou de limitation de ses activités.

Dans notre série avec un recul moyen de 12 mois, tous nos patients avaient des pieds indolores et ils ont pu reprendre leur sport de loisir qu'ils pratiquaient avant.

La limitation de la mobilité passive après une ostéotomie dorsale de flexion est retrouvée dans les différentes séries de la littérature, dans notre série au dernier recul, nous avons retrouvé un déficit moyen d'extension de 8° (0-15) pour un déficit moyen de flexion de 10° (0-20).

Tableau 11 : perte de la mobilité après l'ostéotomie pour chaque série :

Auteurs	Perte de flexion	Perte d'extension
Kinnard & Lirette 1991, Acta orthop Scand [63]	-15°	-10°
Kuo-Hua Chao 1999, Acta orthop Scand [27]	-15°	-8°
Ben Dali 2008, Tunisie orthop [9]	-15°	-10°
Al Ashhab M 2013, The foot [33]	-15°	-10°
notre série	-10°	-8°

B. Radiologique :

Le résultat radiologique après une ostéotomie de Gauthier était évalué sur des radiographie standards de face en charge, de profil strict et de $\frac{3}{4}$, pour apprécier la **sphéricité, l'interligne métatarso-phalangienne et le raccourcissement.**

Dans la série de **Ben Dali** (30 cas) avec un recul moyen de 5ans ; la tête métatarsienne avait un aspect normal avec une bonne sphéricité dans 19 cas et aplati dans un cas. Le raccourcissement était en moyenne de 2 mm (0 à 4mm), avec une interligne normale chez 18 patients et irrégulière chez 2 patients. [9]

Dans la série de **Kuo-Hua-Chao** (13 cas) avec un recul moyen de 4ans ; le raccourcissement était en moyenne de 2.1 mm (0- 3mm). Une légère irrégularité de l'articulation métatarso-phalangienne sans rétrécissement de l'espace articulaire était marquée chez tous ses patients. [27]

Dans la série de **Kinnard et Lirette** avec un recul moyen de 4ans ; le raccourcissement était en moyenne de 2.5 mm et l'interligne était régulière chez tous ses patients. [63]

Dans la série de **Kim J** avec un recul moyen de 71 mois ; le raccourcissement était en moyenne de 3.4 mm, l'élargissement de l'interligne articulaire et la

dégénérescence de l'articulation métatarso-phalangienne ont été noté chez tous ses patients. [31]

Dans la série de **Lee H J** (13 cas) avec un recul moyen de 44 mois ; le raccourcissement était en moyenne de 0.5mm, trois patients ont présenté une tête allongée. [35]

Dans notre série la tête métatarsienne avait un aspect normal avec une bonne sphéricité chez tous les malades, Le raccourcissement était en moyenne de 2 mm (0 à 4mm), avec un interligne métatarso-phalangienne normale.

Tableau 12 : raccourcissement des métatarsiens après ostéotomie pour chaque série :

Auteurs	Raccourcissement
Kinnard & Lirette 1991, Acta orthop Scand [63]	2,5mm
Kuo-Hua Chao 1999, Acta orthop Scand [27]	2,1 mm
Ben Dali 2008, Tunisie orthop [9]	2mm
Kim J 2012, clin orthop surgery [31]	3.4mm
Lee J 2013, Foot and ankle International [35]	0.5mm
Al Ashab M 2013, The foot [23]	2.4mm
Notre série	2mm

X. Complications :

A. Précoce :

Comme toute chirurgie, des complications peuvent survenir après l'ostéotomie de Gauthier nécessitant ainsi une prise en charge adéquate.

- Infection : dont le taux dans la littérature reste < 3%.
- Syndrome douloureux régional ou algodystrophie < 6% : il s'agit d'une réaction réflexe de l'organisme cela se traduit essentiellement par des douleurs et un enraidissement des articulations du voisinage de la zone opérée et parfois à distance. Un traitement antalgique doit être prescrit à la veille de l'intervention pour prévenir la douleur.
- Phlébites : La chirurgie de l'avant pied n'est pas reconnue comme favorisant des phlébites, leur prévention par l'héparine n'est pas donc nécessaire.
- L'hématome : il peut s'accompagner de douleurs lancinantes, il est prévenu en suivant les consignes postopératoires de prudence à la reprise de la marche dans les premiers jours. Une fois avéré, il nécessite un glaçage régulier jusqu'à sa disparition en trois semaines environ.
- Le gonflement (œdème) : n'est pas une complication, mais un élément normal des suites opératoires en cas d'ostéotomie. Lorsqu'il est important, un drainage lymphatique avec kinésithérapie semblent efficaces.
- Les complications neurologiques : rarement des hypoesthésies et paresthésie et exceptionnellement une anesthésie. Généralement ces signes sont régressifs.
- Dans notre série aucune complication précoce n'a été décelée après l'ostéotomie dorsale de flexion, ceci est concordant avec les autres séries.

B. Tardives :

- Cal vicieux : par déplacement de l'os, le patient alors doit éviter tout choc dessus ainsi que les marches prolongées pendant 2 à 4 mois.
- Les pseudarthroses sont exceptionnelles et ne seront réopérées que si elles sont douloureuses.
- L'arthrose métatarsophalangienne reste possible nécessitant une simple résection de la tête du métatarsien ou la mise en place d'une prothèse.
- La nécrose de la tête métatarsienne : très rare.
- Dans notre série aucune complication tardive n'a été décelée après l'ostéotomie dorsale de flexion, ceci est concordant avec les autres séries.

CONCLUSION

La maladie de Freiberg est une ostéonécrose aseptique d'une tête métatarsienne. C'est une affection rare posant un problème de choix thérapeutique.

Les aspects épidémiologiques et cliniques de nos malades confirment les notions classiques de la pathologie : rareté, prédominance féminine, métatarsalgies...

Un simple examen physique et radiographique permet le diagnostic de la maladie, la scintigraphie osseuse et l'IRM présentent une aide précieuse dans le stade infra radiologique.

La maladie évolue en 5 stades :

- Stade I : infra radiologique ;
- Stade II : nécrose débutante ;
- Stade III : perte de la sphéricité de la tête ;
- Stade IV : séquestration du fragment central ;
- Stade V : arthrose métatarso-phalangienne.

Le traitement médical et orthopédique sont toujours instaurés en première intention surtout dans les stades de début (I+II). Le traitement chirurgical n'est indiqué qu'après échec de ces derniers ou dans les stades évolués de la maladie.

Les techniques chirurgicales sont nombreuses et varient entre le traitement conservateur et l'arthroplastie totale de la métatarso-phalangienne mais la technique de choix reste l'ostéotomie de flexion dorsale intra articulaire décrite par Gauthier.

Au terme de notre travail, après analyse des résultats cliniques et radiologiques de six cas de la maladie de Freiberg traités par ostéotomie de flexion dorsale intra articulaire décrite par Gauthier . A un recul de 12 mois nous concluons que l'ostéotomie de Gauthier donne des résultats cliniques et radiologiques satisfaisants, avec amélioration du score d'AOFAS allant de moyens et bons résultats aux bons et excellents résultats.

RESUME

RESUME

La maladie de FREIBERG ou 2^{ème} maladie de Kohler, est une ostéonécrose aseptique qui touche essentiellement la tête du 2^{ème} métatarsien et qui peut évoluer vers l'instabilité de l'arche antérieure du pied.

Au service de traumatologie-orthopédie de l'hôpital militaire Moulay Ismail Meknès nous avons colligé une série de six cas de la maladie de Freiberg traités par ostéotomie de Gauthier sur une période de 10 ans allant de janvier 2003 au janvier 2013. Avec un recul moyen de 12 mois.

L'âge moyen de nos patients était de 21 ans, avec une prédominance féminine.

La symptomatologie clinique est dominée par des métatarsalgie et limitation d'activité.

Le diagnostic a été posé grâce la radiographie standard et selon la classification de Smillie, le stade III a été retrouvé dans 2cas, stade IV dans 3cas et le stade V dans 1 cas.

Le traitement était chirurgical, les six cas ont bénéficié d'une ostéotomie de flexion dorsale intra articulaire décrite par Gauthier avec des résultats cliniques et radiologiques satisfaisants, et une amélioration du score d'AOFAS allant de moyens et bons résultats aux bons et excellents résultats.

SUMMARY

Freiberg's disease or 2nd Kohler disease is an avascular necrosis affecting mainly the head of 2nd metatarsal and may progress to the instability of the anterior arch of the foot.

In Trauma-Orthopedics Moulay Ismail Meknes military hospital we collected a series of six cases of Freiberg's disease treated with osteotomy Gauthier on a 10-year period from January 2003 to January 2013 with a mean follow-up 12 months. The average age of our patients was 21 years with a female predominance. The clinical features were dominated by metatarsalgia and activity limitation.

The diagnosis was made by plain radiography and as classified by Smillie, stage III was found in 2 cases, 3 cases in stage IV and stage V in 1 case.

The treatment was surgical, six cases have received dorsiflexion osteotomy intra articular described by Gauthier with satisfactory clinical and radiological results, and an improvement in the AOFAS score from moderate and good results to good and excellent results.

ص خلم

مرض فرايبيرغ أو المرض الثاني لكولهر هو تنخر العظم العقيم الذي يؤثر بشكل رئيسي على رأس مشط القدم الثاني والذي يمكن أن يقدم إلى عدم استقرار القوس الأمامي من القدم .

بمصلحة الرضوخ و تقويم العظام في المستشفى العسكري بمكناس قمنا بتجميع

6 حالات من مرض فرايبيرغ على مدى عشر سنوات من سنة 2003 إلى 2013

متوسط عمر المرضى هو 21 سنة مع غلبة الإناث

الأعراض الأولية عبارة عن ألم من نمط آلي يتوقف بإراحة المفصل المشطي السلامي دائما

في هذه السلسلة، تم إجراء التشخيص المؤكد عن طريق التصوير الشعاعي العادي. وفقا لتصنيف سميلي، عثرنا على المرحلة الثالثة في ثالث حالات، المرحلة الرابعة في حالتين و المرحلة الخامسة في حالة واحدة.

استفاد المرضى الستة جميعا من الشق الجراحي لعنق العظم المشطي و بتر لإسفين عظمي باستخدام التقنية التي وصفها غوتبيه و كانت النتائج دائما مرضية سواء على المستوى السريري و الشعاعي مع متوسط متابعة إثني عشر شهر ، وتحسن مقياس AOFAS من ضعيف وحسن إلى حسن وممتاز.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Gauthier G, Elbaz R.**
Freiberg´s infraction:a subchondral bone fatigue fracture. A new surgical treatment. Clin Orthop. 1979; 142:93–5.
- [2] **Maresca G, Adriani E, Falez F, Mariani Pp.** Arthroscopic treatment of bilateral Freiberg´s infraction. Arthroscopy.1996; 12:103–108.
- [3] **Brizon J , Castaing J.** Les feuillets d'anatomie, fascicule V.
- [4] **Frank H. Netter, M.D.** Atlas d'anatomie humaine deuxième édition, 488, 489.
- [5] **Rouviere H.** Anatomie humaine descriptive et topographique, 10^{ème} édition tome III.
- [6] **Gillet C.**
Analyse biomécanique de la marche et proposition de classes de marcheurs. Thèse de doctorat en sciences et techniques des activités physiques et sportives ; l'université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis ; 2004.
- [7] **Darmana R .**
La Lettre de l'observatoire du mouvement N°11 / 2004 ; hôpital Purpan, Toulouse.
- [8] **Maestro M, Ferre B.**
Anatomie fonctionnelle du pied et de la cheville de l'adulte. Revue du rhumatisme monographies. 2014 ;81 : 61 –70
- [9] **Ben Dali N, Sghaier B, Belcadhi Z, Haddad N, Kanoun M.L, KraiemH et al.**
Résultats de l'ostéotomie cunéiforme dorsale de flexion dans le traitement de la maladie de Freiberg. Tunisie Orthopédique. 2008 ; 1 : 35–40.

- [10] **Freiberg AH.**
 Infraction of second metatarsal bone, atypical injury. Surg Gynaecol Obstet. 1914 ; 19:191.
- [11] **Smillie Is.**
 Treatment of Freiberg's infraction. Proc R Soc Med. 1967 ; 60:29 – 31.
- [12] **Braddock Gtf.**
 Experimental epiphysial injury and Freiberg's disease. J Bone Joint Surg. 1959;41:154 –159.
- [13] **Mc Master M.**
 The pathogenesis of hallux rigidus. J Bone Joint Surg Br. 1978;60:82–87.
- [14] **Stanley D, Betts Rp, Rowley Di, Smith Tw**
 Assessment of etiologic factors in the development of Freiberg's disease. Foot Surg. 1990 ; 29:444–447.
- [15] **Walsh Hp, Dorgan Jc.**
 Etiology of Freiberg's disease: trauma. J FootSurg. 1988;27:243– 4.
- [16] **Wiley J, Thurston P.**
 Freiberg's disease. J. Bone jojunt Surg. 1981 ; 63 : 459.
- [17] **Bayliss Nc, Klenerman L.**
 Avascular necrosis of lesser metatarsal heads following fore foot surgery. Foot Ankle. 1989 ; 10:124–128.
- [18] **Viladot, Beito Lavery.**
 Freiberg's disease and dislocation of the second metatarsophalangeal joint: aetiology and treatment. Clin Pod Med Surg . 1990 ; 7 :619 – 31.
- [19] **Viladot A**
 Osteochondroses aseptic necrosis of the foot. The foot and ankle.1991 : 617 – 638.

- [20] **Neal M, Jonathan H.**
Freiberg's infraction in Identical Twins : A case Report. The journal of Foot and Ankle Surgery. 2005 ; 44 : 218–221.
- [21] **Nguyen M, Vung D, Keh D, Robert W, Daehler MD.**
Freiberg's disease in Diabetes Mellitus. Skelet Radiol.1991 ; 20 : 425 – 428.
- [22] **Tavernier L.**
L' épiphysite métatarsienne, son évolution à longue échéance. Déduction thérapeutiques. Lyon Chir. 1943; 38 :219.
- [23] **Anderson T, Carter A.R.**
Freiberg's infraction : a case from medieval Kent. 1995 ; 5 : 202–3.
- [24] **Axhausen H.**
Der anatomische Krankheitsablauf bei der kohlerschen und der Perthchen Krankheit der huftkopf. Arch. Klin. Chir. 1923, 124, 511–542.
- [25] **Axhausen H.**
Die Atiologie der kohlerchen Erkrankung. Beitrag Klin. Chir. 1929, 126 : 451–476.
- [26] **Georgeanne B ; Anderson A ; Balis G.**
Dorsiflexory wedge osteotomy to treat freiberg's infraction of the second metatarsal head. The foot and ankle Journal. 2008 ; 1 : 240–45.
- [27] **Kuo-Hua C, Chian Her L, Leou Chyr L.**
Surgery for symptomatic Freiberg disease: extra articular closing-wedge osteotomy in 13. Acta orthop Scand .1999; 70:483–6.

- [28] **Benhima MA, Bouyarmane A, Ngamai K, Hassoun J, Arssi M, et al**
L'ostéotomie de dorsiflexion dans le traitement de la maladie de Freiberg . 2009 ; 25 ; 60–65.
- [29] **Thar A**
La maladie de Freiberg à propos de 8 cas ; thèse de médecine ; faculté de médecine et de pharmacie Mohamed V Rabat 2008.
- [30] **Edmondson MC, Sherry KR, Afolyan J, Armitage AR, Skyrme AD.** Case series of 17 modified Weil's osteotomies for Freiberg's and Kohler's II AVN ,with AOFAS scoring pre- and post-operatively. 2011 ; 17 : 19–24.
- [31] **Kim J, Choi W, Yoo P, Lee J.**
Modifed weil osteotomy for the treatment of freiberg's disease. Clinics in Orthopedic Surgery .2012 ; 4 : 300–6.
- [32] **Kilic A, Cepni S , Aybar A ,Polat H, May C, Parmaksizoglu A.**
A comperative study between two different surgical techniques in the treatment of late-stage Freiberg's disease. Foot and Ankle Surgery. 2013 ; 19 : 234–238 .
- [33] **Al-Ashhab M , Kandel W , Shawkat A.**
A simple surgical technique for treatment of Freiberg's disease. The Foot. 2013 ; 23 :29–33.
- [34] **Ihedioha U,Sinha S, Campbell AC.**
Surgery for symptomatic Freiberg's disease: excision arthroplasty in eight patients. The Foot .2003 ; 13 :143–145.
- [35] **LeeH J, Kim JW, Min WK.**
Operative treatment of freiberg disease using extra-articular dorsal closing-wedge osteotomy: technical tip and clinical outcomes in 13 patients. Foot & Ankle International.2013 ; 34 : 111–116.

- [36] **Katcherian DA.**
Treatment of Freiberg's disease. *Orthop Clin.* 1994 ; 25 :69–81.
- [37] **Duthie RB, Houghton GR.**
Constitutional aspects of the osteochondroses. *Clin Orthop.* 1981 ; 158 :19–27.
- [38] **Kim KJ, Park YJ, Cho CS. Bilateral Freiberg diseases.**
Journal clin Rhumatol. 2011 ; 17 : 224.
- [39] **Norton M.R, Eyres K.S**
Acute Freiberg's diseases in adjacent metatarsals. *The foot.* 1998 ; 8 : 230–32.
- [40] **Hay S M, Harris N J, Duckworth T.**
Freiberg's disease present in adjacent metatarsals.the foot .1995 ; 5 : 95–97.
- [41] **Digiovanni CW; Patel A; Calfee R; Nickisch F.**
Osteonecrosis in the foot. *JAAOS.* 2007 ; 15:208 – 217.
- [42] **Lin SY, Cheng YM, Huang PJ.**
Freiberg's infraction : treatment with metatarsal neck dorsal closing wedge osteotomy: report of two cases. *Kaohsiung J Med Sci.* 2006 ; 22 :580–83.
- [43] **Pittet I, Barbier A.**
Imagerie des métatarsalgies. *Rhumatologie.* 1995, 47 :91–93.
- [44] **Smillie Is.**
Freiberg's infarction (Kohler's second disease). *J Bone Joint Surg Br.* 1957 ; 39:580.
- [45] **Thompson F, Hamilton W.** Problems of the second metatarsophalangeal joint. *Orthopaedics.* 1987;10:83–89.

- [46] **Frieberg, AA; Freiberg, RA.**
Core decompression as a novel treatment for early Freiberg's infraction of the second metatarsal head. Orthopedics. 1995 ; 18 :1177 - 1178.
- [47] **Mandell, JA, Harcke, HT.**
Scintigraphic manifestations of infarction of the second metatarsal (Freiberg's disease). J Nucl Med. 1987 ; 28 :249 - 251.
- [48] **Devries G, Amiot R, Cummings P, MD, Sockrider N.**
Freiberg's infraction of the second metatarsal treated with autologous osteochondral transplantation and external fixation. The journal of foot & Ankle surgery. 2008 ; 47 :565-70.
- [49] **Mifune, Y; Matsumoto, T; Mizumo, T; Ikuta, S; Kurosaka, M.Kuroda, R:**
Idiopathic osteonecrosis of the second metatarsal head. Clin Imaging. 2007 31:431 - 433.
- [50] **Mangin P.**
Contribution à l'étude de la maladie de Freiberg, intérêt de la chirurgie reconstructive dans les stades avancés. Thèse de Doctorat en médecine, Nancy I, 1983.
- [51] **Decherchi P**
Métatarsalgie de Thomas George Morton. La presse médicale. 2007 ; 36 :1098- 1103 .
- [52] **Jorde O**
Morton's métatarsalgia. Foot and ankle surgery. 1998 ; 4 :187-191.
- [53] **Renander A.**
Two cases of typical osteo-chondropathy of the medial sesamoid bone of the first metatarsal. Acta Radiol .1924 ; 3 : 521-527.

- [54] **Doury P.**
Les métatarsalgies autres que statiques. *Rhumatologie*. 1995 ; 47 : 73-77.
- [55] **Claustre J, Simon L.**
Les métatarsalgies statiques. Paris, Masson.1990 ,169-177.
- [56] **Legarth E, Jensen Et De Carvalho A.**
A normal variant simulating Freiberg disease. *Acta radiologica*. 1987 ; 28 : 51-54.
- [57] **David A Katcherian.**
Treatment of Freiberg's disease. *Foot and ankle injuries in sports*. 1994 ; 25.
- [58] **Daniel G.Esm K.P.**
Traitement podologique de la maladie de Freiberg. Feuille de technologie de S.O.
- [59] **Sproul, J; Klaaren, H; Mannarino, F.**
Surgical treatment of Freiberg's Infraction in athletes. *Am J Sports Med*.1993 ; 21:381 - 384 .
- [60] **Hoskinson J.**
Freiberg's disease. *Proc R Soc Med*. 1974; 67:106-7.
- [61] **Kinnard & Lirette.**
Dorsiflexion osteotomy in Freiberg's disease. *Foot and Ankle*. 1989;9:226-231.
- [62] **PELTRE G. Delagoutte JP**
Résultats de l'intervention de Gauthier dans le traitement de la maladie de Freiberg, 1990.

- [63] **Kinnard P, Lirette R.**
Brief report Freiberg's disease and dorsiflexion osteotomy. *J Bone Joint Surg Br.*1991 ; 73 :864-5.
- [64] **Lee SK, Chung Ms, Beak GH, Oh GH, Lee YH, Gong HS.**
Treatment of Freiberg disease with intra articular dorsal wedge osteotomy and absorbable pinfixation. 2007 ;28 : 43-8.
- [65] **Ikoma K, Maki M, Kido M, Mikami Y, Kubo T, Imai K et al.**
Extra articular dorsal closing- wedge osteotomy to treat late- stage Freiberg disease using polyblend suture. 2014 ; 38 :1401-5.
- [66] **Dolce M.A, Osher L.B, Eneaney P.C, Prins D.B.** The use of surgical core decompression as treatment for avascular necrosis of the second and third metatarsal heads. *The Foot* .2007; 17:162-6.
- [67] **Helal, B; Gibb, P.**
Freiberg's disease: a suggested pattern of management. *Foot Ankle.*1987 ; 8:94 - 102.
- [68] **Salvi, AE; Metelli, GP .**
A case of Freiberg's disease in an adult patient.*Chir Organi Mov* 2004 ; 6 :325 - 328 .
- [69] **Helal B.**
Metatarsal osteotomy for metatarsalgia. *J Bone Joint Surg* .1975; 57B:187-92.
- [70] **Kehr T.**
A new surgical technique for the treatment of Freiberg's disease. *J Am Pediatr Assoc.* 1982; 72:130-4.

- [71] **El Teyeb H.M.**
Freiberg's infraction: A new surgical procedure. Foot and Ankle. 1998; 37:23-7.
- [72] **Smith Tw, Stanley D, Rowley Di.**
Treatment of Freiberg's disease: a new operative technique. J Bone Joint Surg Br. 1991 ; 73:129 -130.
- [73] **Bordelon RI**
Silicone implant for Freiberg's disease. South Med J. 1977;70:1002-4.
- [74] **Townshend DN, Greiss ME.**
Total ceramic arthroplastie for painful destructife disorders of the lesser metatrso-phalangeal joints. The foot. 2007 ; 17 : 73-75.
- [75] **Miyamoto, W; Takao, M; Uchio, Y; Kono, T; Ochi, M.**
Late stage Freiberg disease treated by osteochondral plug transplantation: a case series. Foot Ankle Int. 2008 ; 29 : 950 - 955.
- [76] **Hayashi, K; Ochi, M; Uchio, Y; et al.**
New surgical technique for treating bilateral Freiberg's disease. Arthroscopy 2002 ; 18 : 660 - 664.
- [77] **Gauthier G.**
La Maladie de Freiberg . In cahiers Ens. Sofcot. 1996, 54, 139-152.
- [78] **Valtin B.**
Les ostéotomies du col du 2éme métatarsien type Gauthier dans le syndrome de surcharge du 2éme rayon. Méd. Chir. Pied.1995, 11, 3 : 155-158.
- [79] **Barouk L.S.**
Nouvelles ostéotomies de l'avant pied. Description. Insertion dans un concept thérapeutique global. In cahiers Ens. SOFCOT. 1996, 54 : 55-84.

- [80] **Gauthier G.**
La Maladie de Freiberg ou 2^e maladie de Kohler. Proposition d'un traitement de reconstruction au stade évolué de l'affection. In 48^{ème} réunion annuelle de la SOFCOT, Rev. Chir. Orthop. 1974 ; 60 :337-342.
- [81] **Smillie I.**
Freiberg infraction. JBJs. 1927 ; 39 : 580.
- [82] **Deconinck J.P.**
La maladie de Freiberg ou ostéonécrose aseptique des têtes métatarsiennes. Université Claude Bernard, Lyon A propos de 47 cas opérés.
- [83] **Delagoutte JP.**
Pathologie dystrophique: la maladie de Freiberg. Pathologie du pied. Paris, MASSON .1988:207-11.
- [84] **A. Mendes, E. Mendes, J. Alves, C. Teles.**
Freiberg's disease (Koehler II):Revision of 52 patients at a late stage submitted to Gauthier's operation Te Foot . 1993; 3, 114-6.