

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de TIZI OUZOU

FACULTE DE MEDECINE



Thèse

Présentée en vue de l'obtention du Doctorat en Sciences Médicales

**Traitement Chirurgical du Pied Creux
Neurologique chez une population de 7 à 19 ans.**

Présentée par

HOUMRANI Hadjira épouse SAYOUD

Maitre Assistante en Chirurgie Orthopédique et traumatologique

Centre Hospitalo-universitaire de TIZI OUZOU

Membres du Jury :

Monsieur le Professeur BENBOUZID Abderrahmane.....Président.

Monsieur le Professeur HAMDAOUI TaharExamineur.

Monsieur le Professeur KARA ZoubirExamineur.

Monsieur le Professeur ADERKICHI Mourad.....Examineur.

Monsieur le Professeur LAZAR Ahmed Mohamed.....Examineur.

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur MELBOUCI Youcef.

Présentée et soutenue publiquement le: 26 Septembre 2020

Dédicaces

A la mémoire de mon Père et de ma Mère,

Qui ont été toujours dans mon esprit et dans mon cœur,

Je vous dédie aujourd'hui ma réussite que vous attendiez depuis.

Que dieu, le miséricordieux vous accueille dans son éternel paradis.

Je resterai toujours aux services de mes patients

A mon mari, pour son soutien et sa patience

A mes enfants, qui ont toujours été là pour m'encourager et me tolérer

A mes frères et sœurs pour vos encouragements et soutiens

A ma belle famille, mes beaux frères, mes belles sœurs, neveux, nièces avec toute mon
affection pour leurs encouragements et soutiens

A mes oncles, mes tantes et tous mes cousins et, cousines pour leurs encouragements et
soutiens

Et tous mes collègues, mes patients, mes amies, pour leurs attachements

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu de m'avoir guidé dans le bon chemin. Je me dois d'avouer pleinement ma reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont soutenue durant mon parcours pour atteindre mon objectif.

En premier, je tiens à remercier chaleureusement mon Maître et directeur de thèse Monsieur le Professeur Y.MELBOUCI, pour l'honneur que vous nous avez fait en acceptant de diriger ce travail, pour les précieux conseils, la confiance, l'écoute et l'aide que vous nous avez apportées. Merci encore pour le respect et la patience que vous avez pour tous les médecins, étudiants, malades, et aussi pour le partage du savoir. Vos directives, discussions scientifiques, conseils et encouragements m'ont été un véritable moteur.

A Monsieur le Professeur A.BENBOUZID ancien chef de service de chirurgie orthopédique et traumatologique à l'E.H.S de BEN AKNOUN, merci d'avoir accepté de présider le jury, Croyez cher maître en mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Z.KARA, Vous me faites l'honneur de faire partie de ce jury, recevez à cette occasion, mes sincères remerciements et le témoignage de ma profonde considération. Votre expertise est une valeur ajoutée dont je suis très fière, merci pour le temps consacré à examiner ce travail.

A Monsieur le Professeur T.HAMDAOUI, Vous me faites l'honneur de faire partie de ce jury, merci d'avoir pris le temps de lire, d'examiner, et de juger ce travail.

A Monsieur le professeur M. ADERKICHI pour m'avoir ouvert les portes du laboratoire de marche afin d'accomplir mon travail, je vous exprime mon profond respect et mes remerciements pour avoir accepté d'examiner et de juger mon travail.

A Monsieur le professeur A.M.LAZAR AHMED, merci d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Je souhaiterais remercier Madame le professeur H. ZIDANI qui m'a fait aimer la chirurgie de l'enfant, ses orientations. Ses conseils m'ont été d'un apport considérable, encore un grand merci.

A Monsieur AMALOU ALLAOUA, Merci de m'avoir guidée dans mes recherches et répondu à toutes mes préoccupations et questionnements, je vous témoigne toute ma gratitude.

A Madame le professeur D.KADI DJAMILA, tu as toujours répondu présente. Ta disponibilité, ton expérience et bien évidemment tes compétences m'ont été d'une aide sans pareil. Je n'oublie pas ta simplicité.

A Madame le professeur G. AMER EL KHEDOUD Professeur en neurologie à E.H.S de BEN AKNOUN d'avoir participé et collaborer dans mon travail par la prise en charge de l'exploration de tous les pieds creux neurologiques. Vos réponses sont un réel enrichissement

scientifique. Ils m'ont permis d'acquérir de nouvelles données en neurologie, je vous en remercie vivement.

A Madame le professeur ZINE CHARAF AMIR service d'anatomo pathologie au C.H.U de MUSTAPHA ainsi que son assistante Dr HALIL SONIA pour le travail initiateur dans le but de rechercher une réponse à cette neuropathie périphérique.

A Monsieur le professeur S.DAOUDI, d'avoir participé à ce travail par la prise en charge médicale des patients, je vous remercie vivement.

A Monsieur le professeur MESSAOUDI, doyen de la faculté de médecine Mouloud Mammeri de Tizi ousou de m'avoir ouvert toutes les portes du savoir, je vous suis très reconnaissante.

A Madame le Dr. HAMEG Assistante en Médecine Physique et Réadaptation Fonctionnelle qui a partagé son temps pour l'exploration des patients et qui a eu la patience et la gentillesse de les faire en priorité, merci encore une fois pour votre implication.

A mes Confrères et collègues Orthopédistes de Tizi ousou, de Sétif, de Boumerdes, d'Alger, de Douera, de Blida et, d'Adrar pour leurs soutien et aides.

Mes remerciements vont aussi :

A toute l'équipe du Service d'Epidémiologie du C.H.U de Tizi-Ouzou, avec à leurs tête Professeur TOUDEFT.

Au personnel de l'Administration, particulièrement Monsieur BENAÏSSA.

A toutes l'équipe d'anesthésie réanimation le Dr HAMIDANI, Dr REKIBI, Dr AHMED ZAID, Dr AIT OUARABI, Dr BOUNADI, ainsi que les axillaires en anesthésie madame N. TERMOUL et MAMA et S.CHELLI qui ont pu gérer des enfants dans un service d'adultes sans relâche.

A Monsieur BENGHALAB KAMEL du service d'appareillage (l'O.N.A.A.P.H) de Tizi-Ouzou

Un grand merci à nos radiologues et techniciens de radiologie du CHU de Tizi ousou et du secteur privé qui ont suivi tout le parcours des patients en pré per et en post opératoire à leur tête le Dr Haouali , LE Dr Debiane ; Mr Hamid Asma ,Amir Ali ;Ouali Malika ,Hamadou Kahina,Touati Tanina ;Izourane Lynda ,Kabeche Makhloof ,Asli Mourad

A madame le Pr Yebdri Malika d'anatomie générale au laboratoire d'anatomie de la faculté de médecine de TIZI OUZOU et le Pr Yebka Assia MCA en anatomie générale à la faculté de médecine d'ALGER pour la contribution scientifique.

A monsieur le Dr Guernine A maitre assistant en chirurgie orthopédique pour ses orientations et encouragements.

Un grand merci à nos résidents, moteurs de la santé publique sans oublier l'ensemble du personnel paramédical du bloc opératoire et du service pour la continuité des soins.

A toute l'Equipe de Chirurgie Orthopédique du C.H.U d'Amiens pour l'accueil , aides et, orientations, particulièrement le Professeur MERTL Patrice, le Professeur JARDE Olivier, Dr Bachar EL FATAYRI M.D et ,le Dr GABRION Antoine .

Un grand merci à Monsieur le Professeur CORNU Olivier de la Clinique Universitaire Saint Luc de l'U.C.L de Bruxelles , pour l'accueil et ses précieuses orientations ainsi que toute son équipe.

Mes remerciements vont aussi à toute personne qui a pu contribuer de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

S O M M A I R E

PARTIE THEORIQUE

	Pages
I- INTRODUCTION.....	01
II- HISTORIQUE.....	03
III- PROBLEMATIQUE.....	12
IV- EPIDEMIOLOGIE.....	14
V- RAPPEL ANATOMIQUE.....	15
A- Le rappel embryologique.....	15
B-La croissance du pied.....	21
C- anatomie descriptive du pied.....	22
D- L'anatomie du couple de torsion du pied.....	37
E- Physiologie et biomécanique du pied	41
F- Les différentes morphologies du pied.....	50
VI- LE SYSTEME NERVEUX.....	51
A- L'organisation du système nerveux périphérique.....	51
B- Le Neurone.....	51
C- Les nerfs périphériques.....	56
VII -ETIOPATHOGENIE.....	60
A- Le pied creux neurologique.....	60
1- Pied creux neurologique par atteinte périphérique (HMSN) type maladie de Charcot-Marie-Tooth(C.M.T).....	60
2- Les neuropathies héréditaires sensitivomotrices type III.....	64
3- La maladie de Friedrich.....	64
4- L'atteinte pyramidale ou extra pyramidale d'origine encéphalique (l'hémiplégie cérébrale infantile).....	64
5- Le dysraphisme ou Spina Bifida.....	64
6- Le pied creux sur myopathies.....	65
B- Le pied creux non neurologique.....	65
1- Le pied creux non paralytique.....	65
2- Le pied creux essentiel.....	65
VIII- PHYSIOPATHOLOGIE.....	66
A- La physiopathologie des pieds creux directs.....	66
1- Le pied creux direct antérieur.....	66
2- Le pied creux direct postérieur.....	66
3- Le pied creux mixte.....	67
B- La physiopathologie des pieds creux cavovarus ou antéro-interne.....	67
1- Le plan sagittal.....	68
2- Plan frontal.....	68
3- Plan horizontal.....	68
C- Les autres types de pieds creux.....	69
1- Le pied creux valgus (pied cavovalgus)	69

2- Le pied plat creux.....	69
IX- CLINIQUE.....	70
A- L'examen clinique du pied creux sur maladie de C.M.TA1.....	70
1- L'interrogatoire qui permet de recueillir des informations.....	70
2- Les signes fonctionnels.....	70
3- L'examen clinique statique du pied.....	74
4- L'examen dynamique.....	77
a- La podométrie électronique ou analyse baropodométrie.....	77
b- l'étude de la Marche.....	79
♦ La marche physiologique.....	79
► Cycle de marche (Gait cycle).....	80
♦ Exploration de la marche humaine normale.....	82
► Le système d'analyse des paramètres spatio-temporels (PST).....	82
• Les principaux paramètres spatiaux.....	83
• Les principaux paramètres temporels.....	84
X- Les examens complémentaires.....	84
A- Les explorations radiologiques.....	84
1- L'imagerie.....	84
a- Les radios standards	84
♦ Mesures radiographiques.....	85
► Incidence de profil en charge (plan sagittal)	85
► Incidence de face en charge.....	90
► L'incidence rétro tibiale ascendante.....	92
► L'incidence rétro tibiale descendante.....	93
2- La podoscopie	93
3- L'écographie.....	97
4- La Tomodensitométrie (TDM)	97
5- L'Imagerie par Résonance Magnétique(IRM)	97
6- L'analyse radiologique.....	98
B- La biopsie nerveuse.....	99
C- L'électro-neuromyogramme (EMG)	99
D- Etude génétique de la maladie de Charcot-Marie-Tooth de Type A 1 (C.M.T.A1)	99
XI- EVOLUTION DE LA MALADIE DE CHARCOT MARIE TOOTH...	100
I- Evolution spontanée et naturelle.....	100
XII- QUALITE DE VIE.....	101
XIII-TRAITEMENT DU PIED CREUX NEUROLOGIQUE.....	102
A- LES BUTS.....	102
B- LE TRAITEMENT MEDICAL.....	102
► Les orthèses plantaires.....	102
► Les chaussures orthopédiques.....	103
► Les appareillages nocturnes de type orthèse de PERLSTEIN.....	104
► Les bottes plâtrées dévibrillantes.....	105

► La rééducation.....	106
C- LE TRAITEMENT CHIRURGICAL.....	109
1- Les interventions sur l'os.....	109
a- Les ostéotomies du calcanéum.....	109
♦ L'Ostéotomie de Dwyer.....	109
♦ L'ostéotomie de MALERBA.....	113
♦ L'ostéotomie calcanéenne de MITCHELL.....	115
b- L'ostéotomie d'ouverture plantaire des os cunéiformes.....	117
c- Hémiepiphysiodèse dorsale du premier métatarse : chirurgie mini-invasive.....	119
2- Les interventions sur les parties molles.....	121
a- La libération plantaire à minima ou sélective.....	121
b- La Libération plantaire élargie.....	122
c- La Désinsertion de l'abducteur de l'hallux (AH)	124
3- Les interventions sur les articulations du médio-pied.....	124
• La Tarsectomie antérieure de MEARY.....	124
a- Les buts et principes.....	124
b- L'installation.....	125
c- La voie d'abord.....	125
d- L'incision et la résection osseuse.....	125
e- Les gestes associés.....	127
♦ L'aponévrotomie plantaire.....	127
f- La fermeture et soins postopératoires.....	127
g- Les Soins postopératoires.....	127
h- Les gestes complémentaires.....	128
• L'OSTEOTOMIE TARSO METATARSIENNE.....	128
• LES OSTEOTOMIES BASIMETATARSIENNE DE RELEVEMENT DU PREMIER METATARSE.....	129
• L'OSTEOTOMIE DE JAPAS.....	129
• L'OSTEOTOMIE DE CHIAPPARA.....	130
4- Les procédures tendino-musculaires.....	131
a- Les allongements tendineux.....	131
b- Le transfert du tendon long fibulaire.....	131
c- La correction des griffes.....	131
5- La triple arthrodèse (arthrodèse sous talienne, talo- naviculaire et calcanéo- cuboïdienne)	132
6- L'arthrodèse de cheville et la panarthrodèse de l'arrière-pied.....	136

PARTIE PRATIQUE

	Pages
A- INTRODUCTION.....	137
B- OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	137
I- Objectif principal.....	137
II- Objectifs secondaires.....	137
C- MATERIELS ET METHODES.....	138
I-Type de l'étude.....	138
II- Les critères d'inclusion des patients.....	138
III- Les critères de non inclusion des patients.....	138
IV- Le recrutement des patients.....	138
V- Méthode d'analyse des données	138
D- LES METHODES APPLIQUEES.....	139
I- Fiche technique.....	139
1- L'évaluation Clinique.....	139
2- L'évaluation Radiologique.....	140
3- L'évaluation Instrumentale de la marche par le système GAITRite 793, au laboratoire de marche.....	145
4- L'évaluation thérapeutique.....	147
II- La Présentation de la série.....	147
1- Profil épidémiologique.....	147
2- L'étude clinique préopératoire.....	155
a- L'examen clinique préopératoire.....	155
► Le score d'AOFAS.....	155
• La douleur.....	155
• La fonction.....	156
• L'alignement.....	159
► Le test de Coleman.....	160
b- Etude Radiologique préopératoire.....	161
c- Etude de l'empreinte plantaire sur podoscope	169
d- Etude instrumentale : étude de la marche préopératoire.....	171
3- La technique chirurgicale.....	171
4- Les techniques opératoires.....	175
► Les combinaisons chirurgicales.....	175
► La description détaillée des combinaisons chirurgicales pratiquées.....	175
► La répartition de l'effectif selon les procédures chirurgicales pratiquées...	186
E- RESULTATS AU DERNIER REcul.....	190
I- Les résultats cliniques.....	190
► Fonctionnel objectifs : score A.O.F.A.S.....	190
• La douleur.....	190
• La fonction.....	190
• L'alignement.....	194
► Le testing musculaire.....	194
II- Les résultats radiologiques.....	195
III- L'étude de l'empreinte plantaire sur podoscope	201

IV- Les résultats instrumentaux : étude de la marche.....	202
V- Les résultats thérapeutiques.....	203
1- Classification de Wicart et Seringe.....	203
2- Critères de Japas.....	203
3- Classification de Paoulos.....	204
F- ANALYSE DES RESULTATS ET DISCUSSION.....	205
I- Analyse des résultats cliniques.....	205
1- Analyse des résultats cliniques objectifs.....	205
• La douleur.....	205
• La fonction.....	206
• L'alignement.....	211
2- Analyse des résultats cliniques subjectifs.....	212
II- Analyse des résultats radiologiques.....	213
III- Analyse de l'empreinte plantaire sur podoscopie.....	218
IV- Analyses des résultats instrumentales.....	219
G- LES COMPLICATIONS	220
1- Complications per opératoire.....	220
2- Complications post opératoire.....	220
3- Complications tardives.....	220
H- DISCUSISON.....	224
I- LES LIMITES ET RECOMMANDATIONS.....	235
J- CONCLUSION.....	237
K- BIBLIOGRAPHIES.....	238
L- ANNEXES	

LES ABREVIATIONS

A/G	: Anesthésie Générale
AOFAS	: American Orthopaedic Foot and Ankle Society
APS	: Aponévrose Plantaire Superficielle
BCP	: Bloc Calcanéo-Pédieux
CF	: Court Fibulaire
CFO	: Court Fléchisseur d'orteil.
CFO	: Court fléchisseur des orteils
CHU	: Centre Hospitalo Universitaire
CMT	: Charcot Marie Tooth
3D	: Trois Dimensions
DNS	: Différence non significatif
DS	: Différence significatif
DSN	: Neuropathie de DEJERINE et SOTTAS
EMG	: Electromyogramme
HSMN	: Hereditary Motor and Sensory Neuropathy
IMC	: Infirmité Motrice Cérébral
IP	: Inter Phalangienne
IRM	: Imagerie par Résonnance Magnétique
37 J	: 37 Jours
LEH	: Long Extenseur de l'Hallux
LEO	: Long Extenseur des Orteils
LF	: Long Fibulaire
LFH	: Long Fléchisseur de L'Hallux
LFO	: Long Fléchisseur des Orteils
M1	: Premier Métatarse
MP	: Métatarso phalangienne
MPZ	: Myéline Protein Zéro
MRC	: Médical Research Council
P1	: Première Phalange
P2	: Deuxième Phalange
P3	: Troisième Phalange
PCV	: Pied Creux Varus (Pied Cavovarus)
PMP 22	: Peripheral Myelin Protein 22
PSD	: Pseudarthrose
SNC	: Système Nerveux Central
SNP	: Le Système Nerveux Peripherique
TA	: Triple Arthrodèse
TA	: Tibial Antérieur
TP	: Tibial Postérieure
TS	: Triceps Sural
UTTF	: Unité Talo-Tibio-Fibulaire
VCM	: Vitesse de Conduction Motrice
VCNM	: Vitesse de Conduction Nerveuse Motrice
VCNS	: Vitesse de Conduction Nerveuse Sensitive

PARTIE THEORIQUE

I- INTRODUCTION

Le pied est un organe de marche, il joue un rôle d'amortisseur, stabilisateur, et propulseur. Il arrive que le pied subisse des déformations sur le plan anatomique, tissulaire ou articulaire.

Parmi ces déformations, il ya le **pied creux** appelé «**pes cavus**» ou «**cavus foot**». Le pied creux de l'enfant et de l'adolescent est une déformation acquise mais il existe une forme congénitale exceptionnelle décrite par **SERINGE** (01) .Parfois, elle débute à la naissance comme la neuropathie sensitivomotrice autonome étudiée par **DYCK** en 1993 (02) et la neuropathie de **DEJERINE-SOTTAS** (03), (04).

La neuropathie constitue la plus rare des déformations acquises du pied et l'une des plus complexes qui survient le plus souvent chez l'enfant en pleine croissance et évoluera jusqu'à l'âge adulte.

Il n'y a pas de définition universellement acceptée du pied creux .Ainsi, il est admis que le pied creux est défini comme une augmentation anormale de la voûte plantaire longitudinale associée à un grand nombre de troubles musculo-squelettiques. Cette déformation peut être localisée à l'avant-pied, au médio pied, à l'arrière-pied ou dans une combinaison de tous ces sites. Il s'agit d'une pathologie progressive difficile à évaluer et à traiter pendant la croissance d'où la nécessité d'un examen minutieux de l'enfant afin d'élaborer un plan thérapeutique adapté(05), (06).

Toutefois, même si d'une manière générale de nombreuses connaissances sont acquises dans le domaine de la neuro-orthopédie, certaines causes du pied creux restent méconnues. Ainsi, on note que la prévalence et les études neuro-épidémiologiques, restent très rares voire absentes en **Algérie**.

MANN (07) a décrit la déformation osseuse comme ayant deux composantes à savoir une composante postérieure correspondant à l'arrière pied et une composante antérieure subdivisée en avant pied et l'articulation métatarso-phalangienne. Le pied creux de l'enfant et de l'adolescent est différent de celui de l'adulte dans la mesure où l'enfant est en pleine croissance. De ce fait, les anomalies morphologiques et dynamiques du pied creux sont potentiellement évolutives de configuration anatomique déjà complexe le plus souvent, secondaire à une affection neurologique qui imprime sa marque et sa spécificité.

Cette neuropathie est parfois révélée par l'apparition d'un pied creux et doit être recherchée systématiquement devant toute faiblesse musculaire distale avec ou sans déformation. Cette déformation est presque toujours le signe d'un trouble neurologique sous jacent y compris les pathologies de la moelle épinière et les nerfs périphériques telles que l'ataxie spino cérébelleuse et la neuropathie périphérique héréditaire (08).A cet effet, tous les pieds creux devront être considérés comme neurologiques jusqu'à preuve du contraire.

Le pied creux neurologique est le plus souvent secondaire à une neuropathie héréditaire sensitivomotrice progressive type **Charcot-Marie-Tooth** avec différentes formes en fonction du phénotype (démýélinisante ou axonale), du mode de transmission (dominante ou récessif ou lié au chromosome X) et le locus en cause (plus de 30 localisations géniques).

Il existe des formes non progressives telles que la paralysie cérébrale et la poliomyélite.

La forme idiopathique nécessite un bilan neurologique approfondi (08), (09).

Le creux à lui seul peut être considéré comme un élément principal de la déformation. (10). Les radiographies debout des pieds et du rachis, l'imagerie par résonance magnétique et les études électro diagnostiques peuvent être utiles au diagnostic.

La simplicité apparente de cette description masque en réalité la complexité du pied creux, celui-ci regroupe des aspects bien différents selon l'âge, la morphologie, l'étiologie, et l'évolutivité (11).

Cette déformation est de nature multi planaire (tridimensionnelle) (12) qui est souple au début quand la déformation est modérée et deviendra raide et irréductible chez l'adolescent et l'adulte en l'absence d'une prise en charge thérapeutique précoce et adéquate (13).

Malheureusement cette déformation est parfois invalidante et handicapante sur le plan social, psychologique et, surtout fonctionnelle, d'où l'intérêt d'un diagnostic précoce à l'enfance et d'entreprendre un traitement adapté au type du pied creux. Cette prise en charge chirurgicale du pied creux neurologique est individuelle et tient compte de l'âge, du degré de réductibilité, de l'étiologie, type du pied creux, du siège de la déformation et le potentiel évolutif.

Le traitement réussi du pied creux a été un défi, une préoccupation et un problème pour les chirurgiens orthopédistes, depuis que la chirurgie a été acceptée comme méthode de traitement.

Ce travail modeste que nous présentons, aura pour but d'apporter une contribution à l'étude du pied creux neurologique, par le partage de l'information et en vue de sensibiliser, d'améliorer, et d'assurer une bonne prise en charge de ces patients.

Toutes les combinaisons chirurgicales adoptées ont pour objectifs, d'obtenir un pied plantigrade, une bonne stabilité et mobilité, une réduction voir suppression de la douleur, de leur permettre un bon chaussage, ainsi que la réinsertion de l'enfant dans son milieu scolaire et la reprise des activités, et donc en définitif recouvrir une fonctionnalité acceptable.

La prise en charge de nos patients a concerné principalement 52 pieds, soit 29 patients d'une tranche d'âge comprise entre 07 et 19 ans, présentant toutes des déformations non progressives de pieds creux neurologiques dictés par le recrutement.

Les patients sont orientés des services de Médecine physique et de réadaptation fonctionnelle, de Neurologie et de Chirurgie Orthopédique du **C.H.U de Tizi-Ouzou**, ainsi que d'autres wilayas.

Il est à signaler que le nombre de patients reçus est de plus en plus croissant depuis le début du recrutement en dehors de la série étudiée, et évidemment pris en charge par nos soins.

Le présent document comprend un volet théorique relatif à la ressource bibliographique et un volet pratique relatif aux techniques chirurgicales (matériels, méthodes), résultats et discussions et conclusions.

II- HISTORIQUE

Le pied humain est une structure anatomique sophistiquée, la science lui attribue même l'origine de l'évolution de l'hominidé vers l'homme (14).

Au fil des années, l'orthopédie est née comme spécialité de la correction des déformations des enfants.

Pour expliquer sa philosophie, **Nicolas ANDRY DE BOISREGARD** (1658-1742) professeur en médecine au collège royal de Lyon écrivait : « il faut éviter de négliger son corps au point de vue de laisser devenir difforme » en considérant l'enfant comme une créature spéciale en étant très concerné par la beauté des enfants.

C'est sur ce principe qu'il avait inventé le mot (orthopédie) en 1741, à partir de deux mots grecs (orthos) qui signifie « droit » et (*paideia*) qui veut dire « éducation des enfants ».

A l'origine, l'objectif était la prévention plus encore que la correction de « difformités » du corps des enfants par les manipulations douces, quelques exercices, attelles(15).

Il publiera alors en 1741 à **PARIS** son livre intitulé : « The ART OF CORRECTING AND PREVENTING DEFORMITIES IN CHILDREN »(16).



Fig 1 : Portrait de Nicolas ANDRY DE BOISREGARD (1658 -1742).

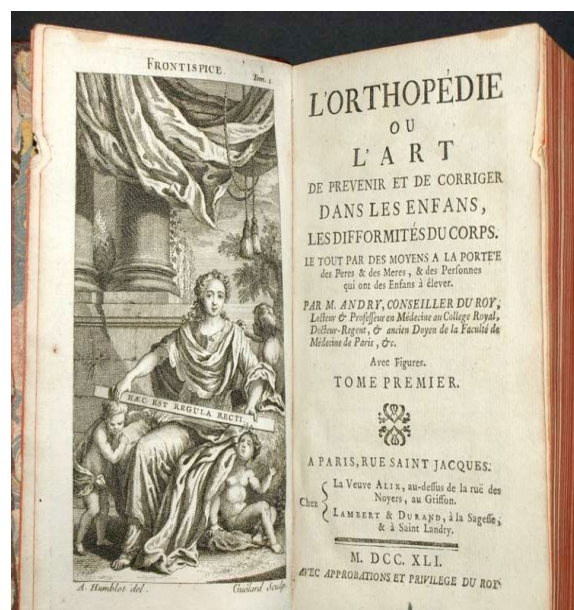


Fig 2: Page, planche et titre du livre "L'Orthopédie».

En effet, **Nicolas ANDRY DE BOISREGARD** a compris les principes cruciaux selon lesquels les muscles en équilibre sont les stabilisateurs du corps dans l'enfance et que la faiblesse d'un muscle entraînera un déséquilibre musculaire à l'origine d'une déformation pendant la croissance. Il a donc recommandé que le muscle incriminé soit soumis à un programme d'exercice permettant d'éviter ou de guérir les déformations (17).

Par la suite, **NICOLAS ANDRY DE BOISREGARD** est devenu célèbre grâce au mot orthopédie qu'il a forgé mais aussi à la fameuse gravure de l'arbre tordu qui illustre son travail et qui est devenu un symbole pour la spécialité (15).

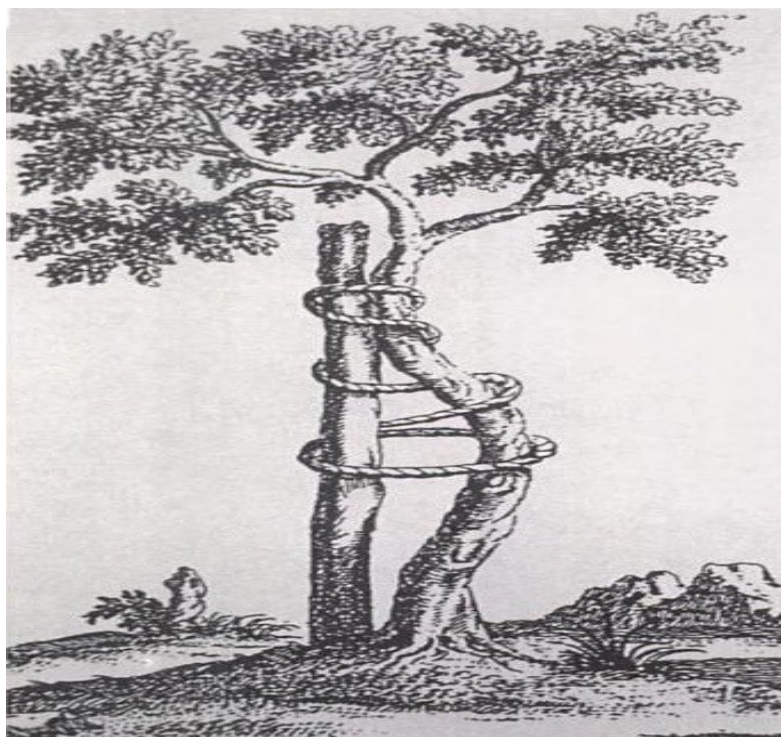


Fig 3 : Arbre d'ANDRY. « Analogie d'arbre tordu attaché à un poteau fort reflète la base de la chirurgie orthopédique pour corriger la déformation qui représente le symbole historique de l'arbre d'ANDRY ». (16)

En 1819, **FOURNIER BESCAY ET BEGIN** de PARIS ont déclaré que le mot orthopédie est incorrect car elle exclut les déformations de l'adulte (15).

En 1837, **WILLIAM John Little** a pratiqué une ténatomie du tendon calcanéen sur un enfant de 15ans en développant une technique propre à lui (18).



Fig 4 : Portrait de WILLIAM John Little (1810 -1894), Fondateur du premier Hôpital au monde dédié uniquement au traitement des troubles neuro-orthopédiques vers 1840 et, qui devient plus tard le Royal Orthopaedia Hospital à Londres. (15)

En 1838, **STROMEYER de HANOVRE** qui est le pionnier de la ténotomie du tendon calcanéen (15).



Fig 5 : Portrait de STROMEYER de HANOVRE (1804 -1876). (16).

L'expérience de **William John Little** en tant que malade et médecin dans le traitement des déformations des jeunes enfants le poussa à écrire des articles sur la spasticité, les déformations du membre supérieur, la raideur des membres. De plus, le lien établi entre les déformations osseuses, articulaires, musculaires et les troubles neurologiques révélèrent une importance particulière chez lui. (18). Il devint alors vers l'année **1853**, le premier qui identifia le pes cavus ou pied creux ou cavus foot (dénomination Anglo-Saxonne), où cette déformation passe d'un état souple, léger et indolore à un état sévère invalidant et handicapant avec callosités plantaires et instabilité de la cheville.

De plus **WILLIAM John Little** a décrit des cas de dystrophie musculaire hypertrophique neuro-orthopédique en même temps qu'**EDWARD MERYON** (1809-1880) (19) et avant la description de **DUCHENE GUILLAUME DE BOULOGNE** (1806-1875) de 8 ans. (18).

C'est le premier qui a travaillé dans le domaine de la neuro-orthopédie et son important travail continue d'avoir une influence sur ces deux domaines(20), (21), (22).

En 1867, **DUCHENE GUILLAUME DE BOULOGNE** croyait que la présence d'un pied creux avec griffes des orteils s'est produite simplement par la faiblesse des interosseux. Cette croyance s'est basée sur l'étude de 12 patients chez lesquels la stimulation électrique des interosseuses montre une réduction ou absence de réponse. Ces illustrations suggèrent qu'il s'agissait bien d'une déformation grave (23).



Fig 6 : Portrait de Guillaume-Benjamin Duchenne (1806 - 1875) surnommé Duchenne de Boulogne (18).

En 1927, le pied creux a fait l'objet de discussions lors d'une réunion de la section d'orthopédie de la société royale de médecine (18).

En 1928, **PLOWRIGHT** avait constaté cette association auparavant dans une grande famille dont certains avaient une atrophie musculaire péronière tandis que les autres avaient un pied creux sans troubles neurologiques décelables.(23)

En 1940, **SPILLANE** étudia une autre famille dont certains souffrent d'atrophie musculaire péronière et d'ataxie de **FRIEDREICH** et que ces patients peuvent avoir des enfants qui ont un pied creux mais d'apparence clinique normaux . (23)

En 1952, **TURNER** était probablement le premier à souligner l'existence d'une sous jacente anomalie du système nerveux central dans ce qu'on appelle les cas idiopathiques. (23)

En 1959, **O'CONNOR** exprime que la cause sous jacente devait être une anomalie du rachis. (23)

En 1973, **LEVITT LR., et al**, (24), ont rapporté que des procédures autres que la triple arthrodèse peuvent être utilisées avant que le squelette ne soit mature afin de retarder la progression de la déformation, mais une triple arthrodèse ne peut pas être finalement évitée.

En 1988, **MEDHAT MA., et al**, ont insisté dans leur publication sur les risques de complications de la double arthrodèse. Cette procédure empêche la mobilité de l'articulation du tarse et augmente par conséquent la surcharge sur l'articulation de la cheville. (25)

En 1989, **WETMORE RS., et DRENNAN JC.**, ont publié une étude menée sur 31 chirurgies effectuées chez 16 patients âgés de 15 ans en moyenne suivie pour maladie de **C.M.T (Charcot- Marie- Tooth)** ayant eu une triple arthrodèse. Les résultats étaient nettement moins satisfaisants : seulement 24 % des patients rapportaient un bon résultat à long terme. Pour 47 % d'entre eux, le résultat était insuffisant avec une nette perte du bénéfice fonctionnel. 06 arthrodèses de chevilles avaient été nécessaires. Des signes radiographiques de dégénérescence des articulations de cheville et du médio pied étaient présents chez 23 patients. Nous pensons que la triple arthrodèse ne devrait être considérée que comme une procédure de sauvetage chez les patients atteints de neuropathie périphérique progressive et devrait être limitée à ceux qui présentent une déformation rigide et sévère (26).

En 2008, **WARD CM.**, et al, ont publiés une étude portant sur 25 patients (41 chirurgies) âgés de 08 à 25 ans ,opérés d'une intervention associant une ostéotomie d'horizontalisation du premier métatarsien, un transfert du tendon du long fibulaire sur le tendon du court fibulaire, une aponévrotomie plantaire, un transfert de l'extenseur de l'hallux sur la tête du 1^{er} métatarsien et dans certains cas un transfert du tendon du tibial antérieur sur le cunéiforme latéral. Sur une moyenne de durée de suivi de 26 ans, aucune reprise chirurgicale pour double arthrodèse n'a été nécessaire bien que 07 patients (08 chirurgies) ont dû recourir à une reprise chirurgicale pour récurrence des déformations. L'utilisation des procédures décrites des tissus mous et de la première ostéotomie métatarsienne pour corriger la déformation du pied cavovarus entraîne des taux de dégénérescence arthrosiques et de reprise chirurgicales inférieurs à ceux rapportés lors du suivi à long terme des patients traités par triple arthrodèse(27).

En 2010,**LEEUEWESTEIJN AE., et al**, ont publiés une série de 33 patients (52 chirurgies) âgés en moyenne de 28 ans bénéficiant de gestes de rééquilibrage tendineux et aponévrotiques associé à une ostéotomie d'horizontalisation du premier métatarsien pour un pied creux fixé avec un tarse encore réductible. Sur une durée de suivi moyenne de 4,8 ans, il y a eu 02 reprises chirurgicales pour double arthrodèse, parmi les 52, (28).

En 2015,**FALDINI C., et al**, ont publiés une série de 24 chirurgies réalisées chez des patients âgés de 14 à 28 ans comprenant une aponévrotomie plantaire, ostéotomie du médio tarse, une ostéotomie d'horizontalisation du premier métatarsien, un transfert du long extenseur de l'hallux sur le premier métatarse. Les résultats ont été bénéfiques à 06 ans sans reprise et sans progression arthrosique des articulations(29).

En 2018, **IGNACIO SANPERA Jr., et al**, ont instaurés l'hémiépiphysiodèse dorsale de **M1** combinée à une libération du fascia plantaire qui a été utilisée auparavant pour traiter l'hallux valgus juvénile .Cette association thérapeutique a améliorée cliniquement et radiologiquement ces enfants car le traitement a été initié à un plus jeune âge ce qui a procuré une correction complète. (30).

Ce traitement offre une alternative moins agressive dans le traitement du pied cavovarus (PCV) chez les jeunes enfants et peut éventuellement réduire le nombre de chirurgies nécessaires à l'avenir.

A cela s'ajoutent plusieurs publications de quelques cas montrant les bons résultats d'une chirurgie réalisée à un stade relativement précoce des déformations (déformations réductibles, absence de lésions osseuses dégénératives).

Le pied creux est considéré comme l'une des déformations du pied les plus difficiles à gérer et à traiter car dans la plupart des cas, la déformation n'est pas toujours présente à la naissance mais évolue progressivement à mesure que le pied de l'enfant se développe.

Il est à noter que l'évolution historique de la technique chirurgicale de manière ordonnée est actuellement acceptée pour traiter la déformation.

Cet ordre de procédure est présenté comme suit :

1. Les procédures des tissus mous (libération du fascia plantaire, libération tendineuse, transfert tendineux).
2. Les procédures d'ostéotomie (métatarsienne du médio-pied, calcanéenne).
3. La triple arthrodèse.

La chronologie des différentes chirurgies développées pour la correction des déformations associées au pied creux est rapportée(14) et mise à jour en 1994 par **Richard J., et, Zirm, D.PM. :**

En 1912, **STEINDLER** : aponévrotomie du fascia plantaire au niveau du calcaneus.

En 1913, **FORBES** : transfert du long extenseur de l'orteil (LEO) sur les métatarsiens respectifs, capsulotomie dorsale du ligament métatarso phalangien.

En 1916, **JONES** : transfert du long extenseur de l'hallux (LEH) sur la tête du 1^{er} métatarsien.

En 1919, **HIBBS**: transfert du long extenseur de l'orteil (LEO) sur le troisième cunéiforme.

En 1921, **STEINDLER** : ostéotomie cunéiforme dorsale du talus et du cuboïde.

En 1923, **RYERSON**: triple arthrodèse.

En 1924, **STUART** : procédure de JONES associé à l'arthrodèse de l'inter phalangienne.

En 1924, **SHERBET HECKENBROCH** : ostéotomie dorsale du premier métatarse.

En 1926, **STEINDLER** : ostéoclasie ajoutée du calcaneus avec transfert du long extenseur de l'hallux (LEH) sur le long fléchisseur de l'hallux(LFH).

En 1926, **DICKSON, DIVELY** : transfert du tendon du long extenseur de l'hallux (LEH) sur le long fléchisseur de l'hallux (LFH).

En 1927, **SPITZY** : libération du ligament calcanéo-cuboïdien et calcanéo-naviculaire associé à une libération de Steindler.

En 1927, **ROYLE**: transfert du tibial postérieur sur le calcaneus.

En 1927, **LAMBRINUDI**: arthrodèse articulaire IP avec ténotomie du tendon du long extenseur de l'orteil (LEO).

En 1932, **HEYMAN** : Capsulotomie du ligament métatarso-phalangien.

En 1934, **WAGNER**: transfert du long extenseur de l'hallux(LEH) sur le premier métatarse et le long extenseur des orteils (LEO) sur le 5^{em} métatarse.

En 1935, **SAUNDERS**: transfert du long extenseur sur les cunéiformes ou le long extenseur de l'hallux (LEH) sur le premier métatarse avec allongement de la péronéus longus.

En 1938, **FORRESTER –BROWN**: transfert du LFH sur LEH.

En 1940, **COLES** : ostéotomie cunéiforme antérieure.

En 1943, **HAMMOND** : ostéotomie de flexion dorsale du 1^{er} métatarsien.

En 1954, **WATKINS** : transfert tendon du tibial postérieure à travers la membrane interosseuse.

En 1959 **FOWLER., BROOKS., PARRISH** : ostéotomie du cunéiforme médiale.

En 1959, **GUYER., FAGON** : libération des tissus mous plantaires.

En 1960, **SAMILSON** : ostéotomie du calcaneus.

En 1963, **DWYER** : ostéotomie de valgisation de fermeture pronatrice du calcaneus.

En 1965, **KELIKIAN**: arthrodèse d'IP de hallux, procédé de JONES.

En 1968, **JAPAS** : ostéotomie en V du médio tarse.

En 1973, **PARRICH** : transfert du tendon fléchisseur en cas de griffe des orteils.

En 1973, **WANG., SHAFFER** : ostéotomie multiples des métatarses.

En 1980, **JAHS** : arthrodèse des cunéiformes et ostéotomies tarso-métatarsiennes.

En 2018, **IGNACIO SANPERA JR** : Hémiepiphysiodèse dorsale de M1 combinée à une libération du fascia plantaire(30).

En 2019, **ZHEN –YU CHEN**: la libération plantaire combinée à une ostéotomie, épargnant les articulations a prouvée son efficacité dans la déformation du pied creux cavovarus chez les enfants plus âgés(31).

Les procédures antérieures ont été améliorées depuis leur création; la connaissance avancée et l'amélioration technique dans les domaines de la fixation interne, de l'instrumentation, ainsi que la technique chirurgicale ont tous amélioré l'ensemble des résultats chirurgicaux en chirurgie du pied creux neurologique.

Cependant, le processus de réflexion impliquant les facteurs étiologiques sous-jacents, l'analyse biomécanique et les méthodes chirurgicales restent primordiaux dans la sélection des interventions chirurgicales.

La planification chirurgicale est maintenant dirigée par les multiples niveaux et plans de déformation. L'attention est dirigée vers le sommet de la déformation, l'âge, l'étiologie et le degré de réductibilité.

Il ne faut pas omettre la place du traitement orthopédique, conservateur qui convient aux déformations légères ou non progressives du jeune enfant qui comprend :

- Des orthèses de **Perlstein** qui soutiennent l'avant-pied latéral et élimine l'inversion de l'arrière-pied peuvent être utiles.

- Des chaussures et des orthèses extra-profondes qui déchargent les points de pression peuvent aider dans des cas plus avancés.

- Des bottes plâtrées dévillantes relayées par des orthèses nocturnes.

- Les semelles orthopédiques pratiquées sur podomètre qui permettent de décharger les zones d'appui maximum avec un appui rétro capital.

- La rééducation qui permet un assouplissement des articulations et le renforcement musculaire.

La prise en charge chirurgicale doit répondre à un objectif fonctionnel qui est la correction de la déformation du cavovarus tout en préservant la mobilité articulaire et sera adaptée aux besoins des patients. Ce traitement est mieux effectué lorsque le pied est encore flexible et l'enfant est jeune.

Un algorithme approprié pour le traitement du pied creux n'est toujours pas disponible.

Les options chirurgicales qui comprennent des procédures des tissus mous (libération du fascia plantaire pour une déformation flexible, et des transferts de tendons pour rétablir l'équilibre musculaire), une ostéotomie pour une déformation fixe à partiellement fixe. La triple arthrodèse a de mauvais résultats à long terme chez les patients présentant une déformation progressive et une déficience sensorielle(32).

La chirurgie du pied creux neurologique reste une chirurgie individuelle et personnalisée propre à chaque patient et il y'a un développement de certaines techniques ou procédés en vue d'améliorer le pronostic à court et à long terme, de diminuer et voir reculer au maximum l'apparition de l'arthrose.

Les déformations progressives peuvent nécessiter plusieurs interventions chirurgicales durant l'enfance suivies d'une triple arthrodèse à la fin de la maturation osseuse si progression de la déformation ou invalidité .Le patient et sa famille doivent être avertis de cette possibilité. Dans ce cas il est préférable d'utiliser des procédures simples tôt avant la fixation de la déformation.

La majorité des auteurs recommandent l'association des différents procédés pour éviter une insuffisance thérapeutique et la récurrence de la déformation.

Depuis, la prise en charge de ces patients ne cesse de se développer car certains auteurs ont prouvé qu'une chirurgie combinée réalisée au jeune âge permet de modifier voire ralentir la dégénérescence arthrosique et que les complications de l'arthrodèse à court et à long terme surcharge l'articulation de la cheville et de l'avant pied (30).

De plus ,l'insuffisance dans l'orientation et la prise en charge précoce « stade enfant » par les différents acteurs de la chaîne à savoir (Obstétricien , Neurologue ,Rééducateur , Orthopédiste , Kinésithérapeute ,Orthésiste appareilleur ,Médecin de l'hygiène scolaire) a fait que l'on est toujours confronté à des enfants ou des adolescents qui sont orientés à la consultation à un âge où la déformation est déjà fixée sans aucune étiquette étiologique .

A ce stade, le traitement orthopédique n'est plus possible et il faut bien proposer une intervention chirurgicale combinée qui dépendra de l'âge, la réductibilité de la déformation, son étiologie et de son potentiel évolutif ou non .Ces interventions chirurgicales vont améliorer voir récupérer la fonction de la marche, soulager la douleur, permettre le chaussage, procurer une bonne santé mentale pour le patient lui-même et de son entourage familial et social.

De nombreuses questions demeurent sans réponse pour certaines maladies de **C.M.T**. Actuellement la thérapie génique dans les maladies neuromusculaires montre beaucoup de promesses .Compte tenu de la complexité physiopathologique de toutes les formes de maladie de **C.M.T**, les progrès thérapeutiques dans la recherche sont longs. L'analyse génétique a maintenant identifié plusieurs voies et mécanismes moléculaires impliquant la structure de la myéline, la myélinisation du nerf, la dynamique mitochondriale. Cependant la nature et le degré d'invalidité neuromusculaire est complexe chez les malades **C.M.T** et le traitement curatif n'est pas encore disponible.

III- PROBLEMATIQUE

Le pied creux neurologique est un terme générique décrivant un spectre de déformations du pied à arche haute(33). Cette arche haute est accompagnée par un varus calcanéen, une pronation de l'avant pied, une flexion plantaire du premier métatarsien et une griffe des orteils.

Cette déformation est causée par un déséquilibre des muscles intrinsèques survenant chez l'enfant, l'adolescent voir l'adulte qui peut être acquis ou rarement congénital comme décrit par **SERINGE** (34).

La présence d'un pied creux peut être le signe d'un trouble neurologique sous jacent, le plus souvent une neuropathie sensitivomotrice héréditaire en particulier la maladie de **Charcot-Marie-Tooth**, ce qui rend son traitement complexe. (27), (35), (36), (37)

La déformation du pied peut être très variable chez le même patient et nécessite donc une approche individualisée pour chaque pied .(38) Cette déformation doit être prise en charge avant qu'elle ne soit sévère et irréductible qui sera source d'arthrose par destruction articulaire que seule l'arthrodèse pourra corriger mais au prix d'une instabilité de la cheville si elle est pratiquée avant la maturité osseuse . Cette déformation est handicapante sur le plan fonctionnel, (difficulté d'effectuer les gestes quotidiens :la marche ,chaussage) et social ,de même esthétique .Le steppage engendré par cette déformation associé à la faiblesse musculaire du fait de la neuropathie sous jacente , attire le regard des gens et retentira après sur le psychisme de l'enfant et l'adolescent .

Les auteurs s'accordent à traiter la déformation tant qu'elle est flexible et que l'enfant soit jeune du fait de son aggravation avec la croissance et ce, par des procédés osseux et de rééquilibrage de la balance musculaire .A l'heure actuelle, de nombreux traitements chirurgicaux sont disponibles pour le pied cavovarus (29), il est important de préserver les articulations et de corriger la déformation autant que possible. Une libération adéquate des tissus mous et un équilibre musculaire sont les clés pour corriger la déformation et éviter la récurrence en postopératoire (31).

Au début, le pied creux est modéré, souple pour lequel les parents sont attirés par les troubles de la marche en général ou la fatigabilité, d'où l'intérêt d'un examen approfondi afin d'étiqueter sa cause avant la progression des déformations avec cavus du pied et varus calcanéen et griffe des orteils irréductibles. A ce titre, la plupart des auteurs conviennent que le traitement non opératoire n'a aucun rôle dans cette condition (39), (37) sauf pour le soulagement des symptômes, et la chirurgie est presque toujours indiquée. Cependant, il n'y a pas d'indications claires pour la chirurgie, ce qui conduit souvent à des résultats imprévisibles. Le pied cavovarus doit être considéré, au moins dans les premiers stades, comme un problème de l'avant-pied avec des changements adaptatifs du médio-pied et de l'arrière-pied (31), (37), (40).

Le problème de cette déformation est complexe :

- Le premier aspect est d'ordre fonctionnel, en effet cette attitude en varus et creux du médio pied et rétraction de l'aponévrose plantaire met l'enfant et l'adolescent dans une position telle

qu'il ne peut plus marcher ni aller à l'école, courir, de part la faiblesse musculaire des jambes. Cela remonte au niveau des mains dans les formes progressives, alors l'enfant présente des difficultés scolaires en particulier l'écriture par amyotrophie des muscles interosseux.

- L'autre aspect du problème, souvent négligé est le côté psychologique de l'enfant qui devait être en pleine activité physique. Il se retrouve incapable de terminer une course ou la monter des escaliers ou réussir ses devoirs ou se chausser du fait de la douleur et le conflit avec les chaussures et de la faiblesse musculaire. Cela conduit à l'absentéisme, puis une mise à l'écart et en fin l'échec scolaire. A la longue, du fait de la progression de la déformation, l'adolescent dans de rares cas se retrouve sur chaise roulante car les points d'appui au sol sont perturbés.

- Ensuite, se posera le choix d'une technique chirurgicale adaptée en fonction de l'âge, la réductibilité de la déformation et de l'étiologie qui pourront d'une part obtenir un pied plantigrade, indolore et chaussable et d'autre part éviter la rétraction musculaire par des mesures de rééducation fonctionnelle.

- Toutes les littératures s'accordent à combiner plusieurs procédures chirurgicales pour traiter le pied creux cavovarus tant qu'il est réductible, par des procédures simples agissant sur les parties molles et l'os tout en préservant les articulations.

La complexité de la déformation et la multiplicité des techniques chirurgicales ont amené le chirurgien à opérer les enfants tôt avant la fixation de la déformation et avant la maturité osseuse par des méthodes simples tenant compte de l'immaturité osseuse afin d'accompagner ces enfants jusqu'à l'âge adulte avec un pied bien axé et indolore. Pour certains auteurs, il était nécessaire d'associer dans presque la totalité des cas une aponévrotomie plantaire en fonction de la sévérité de la déformation avec une procédure osseuse du fait que la déformation est tridimensionnelle (12).

- Une réflexion pratique objective et légitime de la part de tout orthopédiste s'impose. Il doit s'exprimer pour identifier les enfants ou les adolescents ayant un pied creux souple réductible chez qui un traitement par libération des parties molles (aponévrose plantaire ou allongement du tendon calcanéen) associée (plus au moins en fonction de l'âge et les calculs radiologique et l'étiologie) à une ostéotomie à différents niveaux en préservant autant que possible les articulations afin de permettre une croissance osseuse et musculaire normale. Ainsi, pour les pieds creux irréductibles sévères, la triple arthrodèse reste la seule alternative afin d'obtenir un pied indolore et plantigrade avec un suivi régulier du fait que de la neuropathie évolue avec la croissance d'où récidive de la déformation.

- Après la chirurgie, ces enfants seront orientés au service de Médecine Physique et de Réadaptation Fonctionnelle afin de maintenir les amplitudes articulaires et un bon renforcement musculaire précédés par des semelles orthopédiques faites sur podomètre.

Avoir un pied plantigrade, indolore et chaussable est le but recherché par tous nos patients, ce qui est un but légitime car on sait que cette déformation neuro-orthopédique est progressive. Nous donnerons un gain fonctionnel qui va améliorer le confort social, psychologique des patients ainsi que leurs insertions dans le milieu scolaire et parfois sportif.

IV- EPIDEMIOLOGIE

Le pied creux est une pathologie peu fréquente qui atteint plus souvent les hommes que les femmes.

La prévalence dans la population générale est estimée de 9,7/100 000 à 82,3/100 000 d'après une revue systématique de la littérature publiée en 2016 par **Barreto et al** incluant des études épidémiologiques réalisées entre 1991 et 2013 dans les pays suivants : Royaume-Uni, Allemagne, Serbie, Suède, Turquie et Égypte. (41)

Par contre en Norvège, elle est entre 1/1214 et 1/2500 habitants. Des prévalences faibles ont été constatées en Italie 1/5700, en Espagne 1/3500, Islande 1/8300, Japon 1/9200 (42).

Les deux formes les plus fréquentes sont la forme **C.M.T1** (37,6 à 84 % des cas) et la forme **C.M.T2** (12 à 35,9 %).

La neuropathie sensitivomotrice de **Charcot-Marie-Tooth (NHSM types I et II)** débute dans l'enfance ou l'adolescence (43). C'est une maladie héréditaire (44) de transmission autosomique ou récessive selon le type. C'est l'étiologie la plus fréquente du pied creux chez l'enfant, dans la série de **Wicart** (45), elle est la première étiologie du pied creux dans 68 % des cas. La maladie de **C.M.T** est la plus fréquente des neuropathies héréditaires sensitivo- motrices. Sa prévalence est de 1/2500 habitants en France(44).

Il existe une forme particulière de pieds bandés en **Chine** qui est une tradition datant du X^e siècle durant la dynastie de Tang en Chine. Cette habitude était réservée au début aux filles de la noblesse qui consistait à replier les orteils vers la voute plantaire et maintenu par des bandage à changer chaque jours avec le port de chaussures pointus. Avoir une femme à pied bandé était un symbole fort pour les hommes : montrer leur puissance et leur richesse car avoir un petit pied était un critère de beauté(46).



Fig 7 : Aspect des pieds bandés chinois (46).

V- RAPPEL ANATOMIQUE

L'existence d'un pied creux est souvent attribuée à une déformation acquise, mais il est notifié aussi qu'il existe une forme congénitale exceptionnelle décrite par **SERINGE** (34) et rapportée par **DWYER**, qui l'avait attribuée à une malposition intra-utérine. Nous avons donc jugé utile d'incérer un bref rappel embryologique du pied, du fait que la formation du pied s'intègre dans la morphogénèse du membre inférieur.

A- Le rappel embryologique

1- Le développement du pied de 04-08 semaines

Les membres inférieurs se forment pendant la période embryonnaire entre le stade 13-22 de la classification de **CARNEGIE** (12), (47), en retard par rapport aux membres supérieurs (48). (49).

Stade 15(vers 33j, embryon de 7-9mm), la palette du pied apparaît par allongement de la moitié caudale de l'ébauche des membres inférieurs. La moitié crâniale arrondie et la moitié caudale aplatie (palette du pied).



- vers 33^{ème} jour.
- Embryon de 7-9 mm de long.
- la palette du pied apparaît par allongement de la moitié caudale de l'ébauche des membres inférieurs.
- la moitié cranial arrondie et la moitié caudale aplatie (palette du pied).

Fig 8 : Première ébauche du pied (vers 33^{ème} jour).

Stade 16 (vers 37j, embryon de 11-14mm) s'individualisent trois centres de croissance dont le plus distal donnera le pied.



Fig 9 : Centre de croissance du pied.

Stade 17 (vers 41j, embryon 11-14mm). Condensation mésenchymateuse distinctes apparaissent pour le tibia et la fibula tandis que les masses pérимusculaires deviennent identifiables. La limite entre la jambe et le tarse devient nette (50).

Stade 18 (vers 44j, embryon 13-17mm), allongement du membre inférieur tandis que le tarse et le métatarse commencent leur chondrification et que les rayons des 2 et 4 orteils apparaissent comme des prolongements de condensation mésenchymateuse.



Fig 10 : Allongement global du pied « rayons des orteils visibles ».

Stade 19 (47- 48j, embryon 17-20mm), les axes des membres inférieurs et supérieurs sont plus au moins parallèles et chaque pied présente un bord pré axial et un bord post axial.



Fig 11 : Les deux membres inférieurs sont parallèles.

Stade 20 (vers 50-51, embryon 21-23mm), les membres inférieurs s'incurvent vers la ligne médiane et les pieds présentent des encoches interdigitales .Une condensation mésenchymateuse s'individualise pour le tubercule du calcaneus et apparition des ébauches des ligaments latéraux de la cheville.

Stade 21 (vers 52j, embryon 22-24mm), les deux pieds se rapprochent, le pied est alors plat, la petite apophyse du calcaneus (sustentaculum tali) se présente comme une condensation mésenchymateuse tandis que se forment la tubérosité postérieure du calcaneus, l'os naviculaire, le cuboïde, le cunéiforme médial .Les métatarsiens apparaissent et les phalanges proximales des trois rayons médiaux(51).



Fig 12 : Stade de formation du naviculaire, calcaneus, cuboïde, métatarses, phalanges

Stade 22 (vers 54j, embryon 25-27mm), le degré de l'équin et la flexion plantaire commence à diminuer, ce qui rend plus évident l'inversion et l'adduction physiologique du pied. Il ya une importante flexion physiologique du pied, à ce stade où les ébauches des os sont encore totalement cartilagineuses.



1 - Vue inférieure d'un embryon.
les orteils se rejoignent sur la ligne médiane
avec équin et flexion plantaire des pieds.



2 - Coupe histologique axiale du pied.

Fig 13 : Vue inférieure d'un embryon au stade 22 (vers 54 j).(52).

Stade 23 (fin 8^{ème} semaine vers 56j, embryon 23-32mm), les pieds d'une longueur de 4,5mm sont en varus, équin et adduction et les surfaces plantaires regardent l'une, l'autre en direction médiale

2- Le développement du pied de 09-12 semaines

L'équin, le varus, l'adduction diminuent vers 10 semaines pour atteindre la position neutre à 11 semaines.

À la fin de la période embryonnaire : La formation de deux pieds est achevée.



Fig 14 : Vues dorsales du pied d'un embryon au stade 22 (vers 54 j) et dans un fœtus vers 11 semaines Disparition de l'adduction du 1er métatarsien et du 1er orteil. (52).

c- Le développement du pied pendant la vie fœtale

Le développement embryonnaire a permis un achèvement de la formation des deux pieds à la fin de la période embryonnaire. La suite du développement est marquée par une rotation médiale du membre inférieur qui commence dès la fin de la période embryonnaire pour se terminer après la naissance (53). La formation des pieds s'accompagne d'une différenciation tissulaire qui se poursuit pendant la vie fœtale et après la naissance.

♦ La chondrification et ossification

Les ébauches cartilagineuses à l'origine des futures pièces osseuses sont chondrifiées à la fin de la période embryonnaire (54). A ce stade, aucun os du pied n'a commencé à s'ossifier. L'ossification des pieds commence au niveau des métatarses entre 08-10 semaines par l'apparition d'une collerette périostique suivie vers 11 semaines d'une invasion vasculaire et d'une ossification enchondrale de chaque ébauche. Les phalanges proximales et intermédiaires s'ossifient tardivement vers 16 semaines.



Fig 15 : Coupe histologique axiale d'un orteil dans un fœtus vers 16 semaines. (12)

An niveau du tarse : l'ossification du calcaneus se fait vers (13-14 semaines). L'essentiel de l'ossification du tarse se produit après la naissance avec l'apparition successive: du cuboïde (01-06 mois), l'os cunéiforme (01-03 ans) l'os naviculaire (03-05 ans). Les noyaux secondaires du calcaneus apparaissent vers 08-09 ans et les noyaux d'ossification épiphysaire des métatarses vers 03-04 ans.

♦ La formation articulaire

Les formations articulaires sont préformées sauf pour les ligaments et les tendons qui se forment in situ par condensation du mésenchyme. La cheville est visible vers 09 semaines et l'ensemble de la cavité articulaire avec sa synoviale est visible 10-11 semaines, ce qui permet l'apparition du mouvement (52).

♦La formation des vaisseaux

Les vaisseaux apparaissent dès les premiers stades : l'artère tibiale postérieure se termine par l'artère plantaire latérale qui ne se forme que secondairement (55). Les réseaux nerveux et lymphatiques se développent parallèlement et sont en place à la fin de la période embryonnaire.

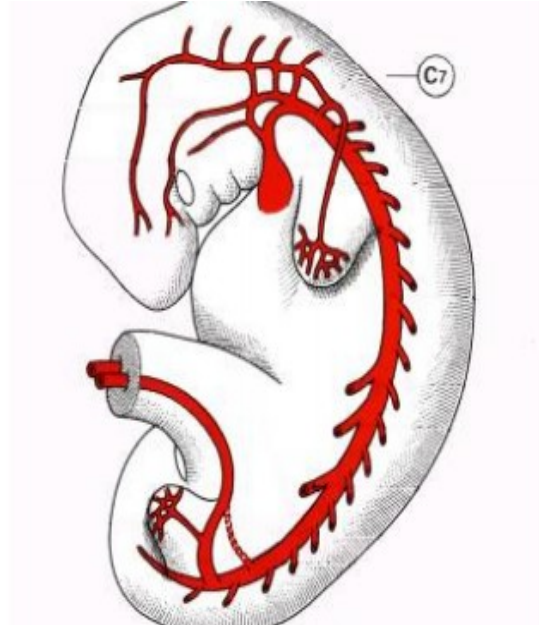


Fig 16 : Le système vasculaire(53).

B- La croissance du pied (12)

.A la naissance, le pied mesure 7,5 cm soit environ 30% de sa taille et seulement 25% de ces os sont formés

.A la première année, il grandit vite, il mesure 12 cm. il a ainsi gagné 4,5 cm en longueur

.A 5 ans il mesure déjà 17cm soit environ 60% de sa taille adulte. Cette longueur est identique chez les filles et les garçons.

.A 8 ans, l'ossification du pied est presque terminée

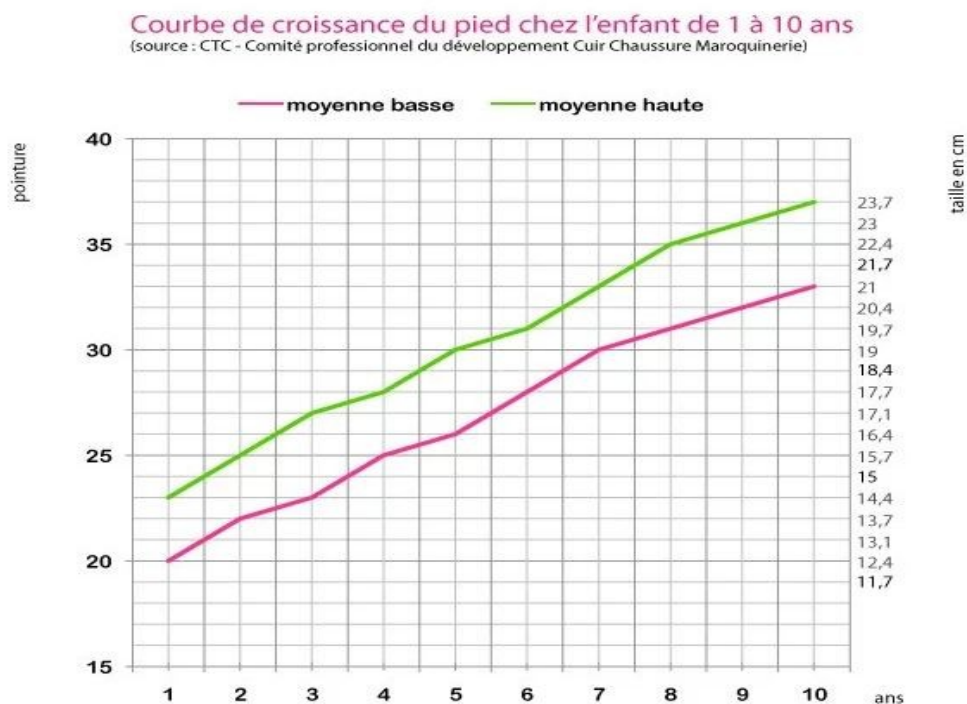
.A 10 ans, le pied est à 80% de sa taille adulte

.De 5 ans à la puberté

Le pied va grandir entre 0,9 cm à 1,2 cm par an jusqu'au début de la puberté (11 ans d'âge osseux chez la fille et 13 ans d'âge osseux chez le garçon). Jusqu'à l'âge de la puberté, il n'y a pas de différence significative, l'écart commence à se creuser vers l'âge de 12 ans.

.Puberté

Le pied est le premier organe de l'appareil locomoteur à entrer véritablement en puberté et le premier organe à s'arrêter de grandir. La poussée de croissance du pied précède de quelques mois le démarrage pubertaire.



Cette courbe illustre la croissance du pied qui est proportionnelle à la taille chez des enfants de 01 à 10 ans.

Cela permet de contrôler la pointure des enfants tous les 03 mois et de suivre leur croissance.

C- Anatomie descriptive du pied

Les déformations du pied creux concernent tous les os du pied d'où l'intérêt de faire une description des éléments anatomiques qui constituent le pied.

1- Le système osseux

Le tissu osseux résiste aux contraintes et s'adapte à leur orientation. Chez l'enfant dont seulement 25 % du squelette du pied sont ossifiés à la naissance, la relation entre maturation squelettique et charge est ajustée par une croissance qui devance largement la progression de la courbe de poids : à 1 an, le pied a déjà atteint 44 % de sa taille finale pour atteindre 81 % à 11 ans. Le squelette est organisé en une architecture spécifique.

A la différence des animaux plantigrades dont le talon est relevé vers l'arrière, le talon humain s'abaisse au sol, élevant le talus et une partie du médio-pied.

Le pied comprend 26 os constants pour chaque pied (dont deux sésamoïdes sur la face plantaire de la tête du premier métatarse) et des os surnuméraires tarsiens et/ou sésamoïdes plus inconstants qui sont répartis en 3 groupes : tarse postérieur, tarse antérieur, les métatarses et les phalanges.(56)

Selon **Thévenet**, le pied est formé par 32 articulations avec 56 ligaments ,42 muscles extrinsèques et intrinsèques ,500 vaisseaux sanguins ,500 nerfs.

Un réseau veineux profond et superficiel formant une semelle veineuse (57). (58). (59). (60). L'organisation du squelette du pied permet de diviser ces os en 3 groupes :

- le tarse,
- métatarse et,
- les phalanges.



Fig 17 : Vue plantaire du pied montrant le tarse, métatarse et les phalanges ainsi que le plan des articulations sur une pièce plastinée.(61).

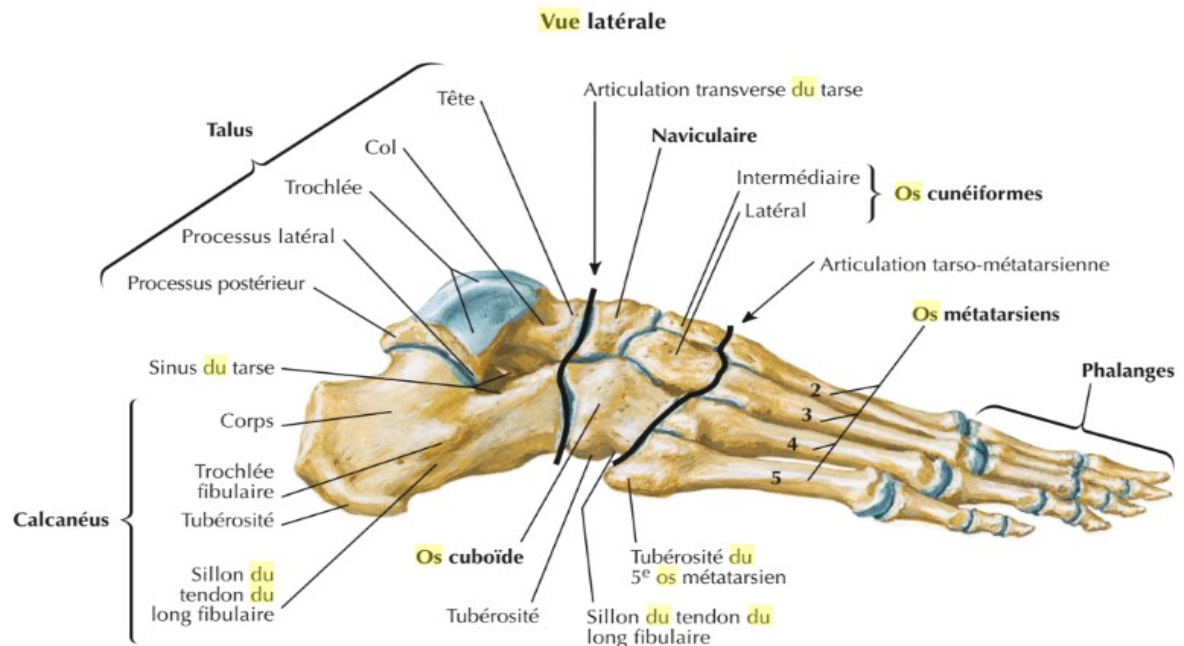


Fig 18 : Vue latérale des os du pied (62).

a- L'arrière pied

correspond au tarse postérieur , comprend deux os volumineux disposés sur deux étages :

- **Le talus** encore nommé l'astragale qui est l'os le plus élevé du pied , il repose sur le calcaneus et s'articule avec les deux os de la jambe formant ainsi l'articulation talo-crurale encore appelée la cheville .C'est l'os qui reçoit le poids du corps transmis par les os de la jambe et les répartit sur l'ensemble du pied . Le talus reçoit la charge qu'il répartit avec un relais articulaire sur l'appui calcanéen et avec de multiples relais sur le métatarse à partir du naviculaire. Aucun muscle ne s'y insère, sa stabilité est purement passive. Au cours du développement, la trochlée subit une rotation latérale tandis que la tête du talus se dirige en médio plantaire (63).

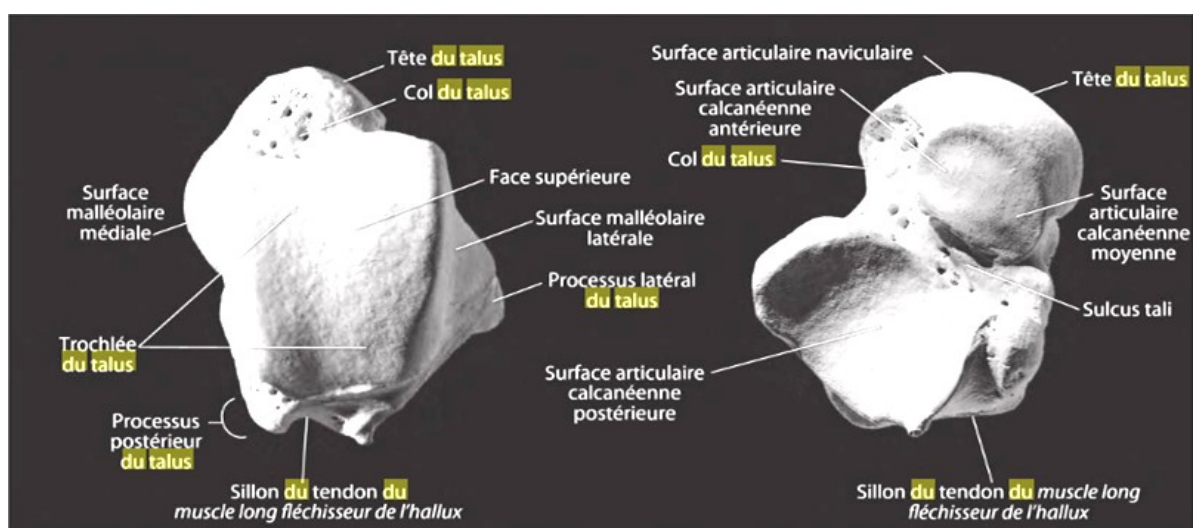


Fig 19 : Structure du talus, à gauche : vue dorsale (supérieure) ; à droite : vue plantaire (inférieure) (64).

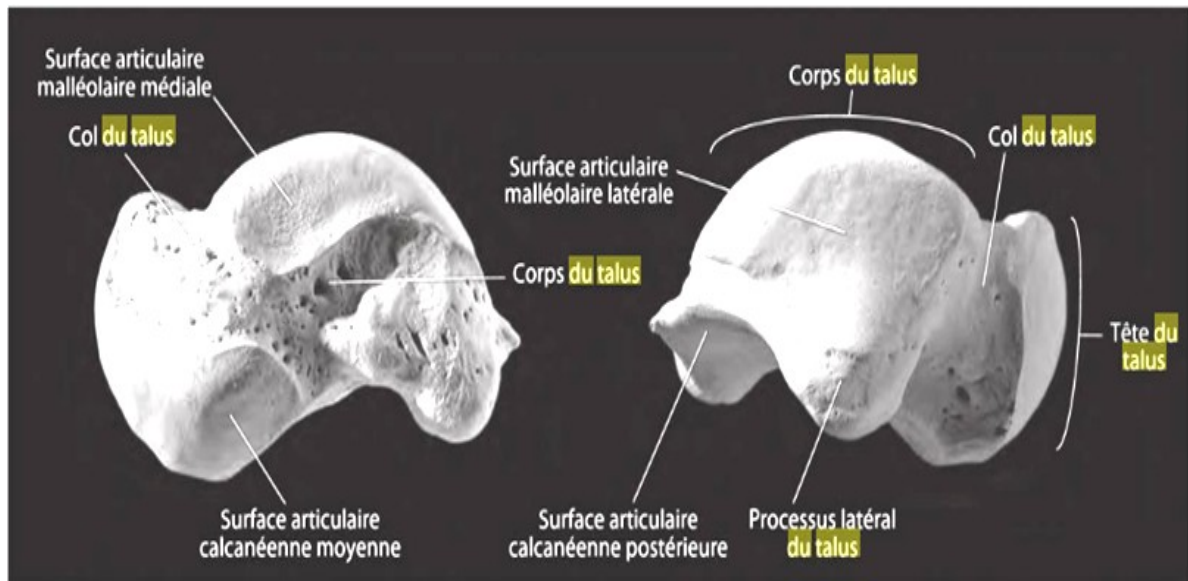


Fig 20 : Schéma du talus vue médiale(à gauche) , vue latérale(à droite) (64).

• **Le calcanéus** est l'os le plus volumineux du pied. Il forme l'ossature du talon, s'articulant avec le cuboïde en avant et avec le talus en haut, son grand axe est orienté en haut, en avant et légèrement en dehors ; seule sa partie postérieure repose sur le sol. Il est en léger valgus ($3,5^\circ$ à 07°), son positionnement détermine le porte-à-faux de la charge et, il existe un lien direct entre le valgus du talon et la hauteur de l'arche. Le positionnement adulte est acquis vers l'âge de 06 ans ; quant aux nourrissons, leur arche est abaissée et non pas masquée par le coussin adipeux plantaire.

On lui décrit 6 faces :

- La face supérieure est divisée en deux parties :
 - Les 2/3 antérieures : c'est la partie articulaire qui est recouverte par le talus.
 - Le 1/3 postérieure non articulaire, étroit, et criblé de trous vasculaires. Il est en rapport avec une bourse séreuse le séparant du tendon calcanéen.
- La face inférieure est de forme rectangulaire, étroite au milieu et renflée à ses extrémités. En avant se trouve le tubercule calcanéen où s'insère le ligament calcanéocuboïdien plantaire.

Au milieu, se trouve l'insertion du ligament plantaire long, entre les insertions des deux chefs du muscle carré plantaire. En arrière, se trouve la tubérosité calcanéenne où s'insèrent :

- sur le processus médial, les muscles abducteurs de l'hallux et CFO.
- sur le processus latéral, les muscles abducteurs du cinquième orteil et CFO.
- en arrière des processus, s'insère l'aponévrose plantaire qui s'imbrique avec le tendon calcanéen et le court fléchisseur des orteils qui s'insère aussi entre les 2 processus.
- La face antérieure est articulaire avec la face postérieure du cuboïde.
- La face postérieure du talon est circulaire et divisée en trois parties :
 - 1/3 Supérieur : présence d'une bourse séreuse.
 - 1/3 moyen : insertion du tendon calcanéen.
 - 1/3 inférieur : insertion des fibres superficielles du tendon calcanéen et de l'aponévrose plantaire superficielle. C'est la partie portante du talon en continuité avec la face plantaire.

La partie supérieure est séparée du tendon calcanéen par une bourse séreuse.

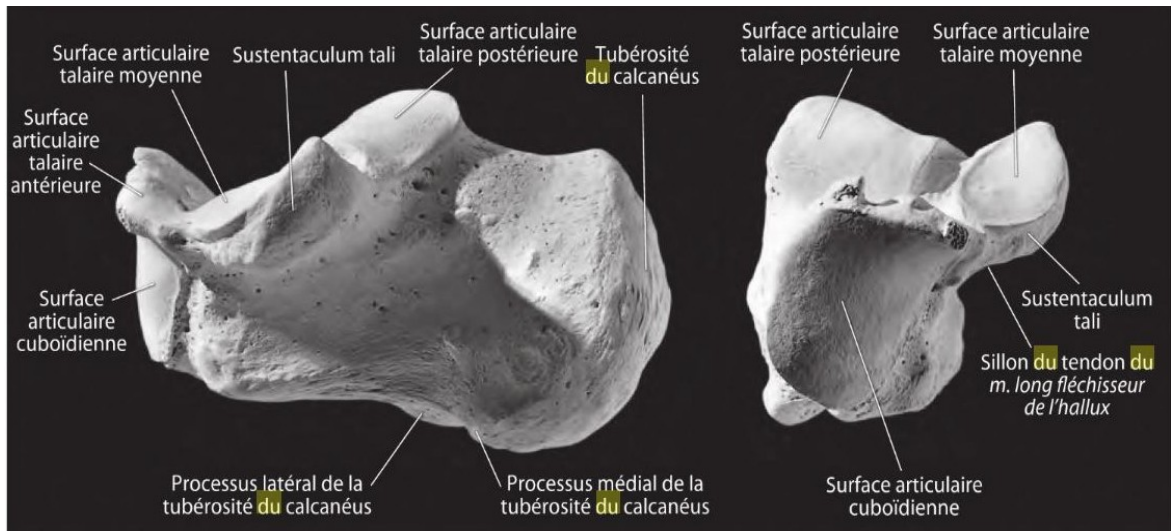


Fig 21 : Vue médiale du calcaneus (à gauche), vue antérieure (à droite).(64).

- La face latérale :

Elle présente une saillie au niveau du 1/3 antérieur : la trochlée des fibulaires. Sur cette trochlée s'insère le rétinaculum latéral des fibulaires .Au-dessus, glisse le tendon du muscle court fibulaire. En dessous, glisse le tendon du muscle long fibulaire .Au-dessus et en arrière, s'insère les ligaments calcanéo-fibulaire et talo-calcanéen latéral

- La face médiale :

Elle est en forme de gouttière, limitée par deux saillies :

-une saillie postéro-inférieure : processus médial de la tubérosité du calcaneus.

-une saillie antéro-supérieure : sustentaculum tali

Dans cette gouttière, débord le chef médial du muscle carré plantaire.

Le sustentaculum tali présente :

- une face inférieure : sillon du tendon du LFH

- un bord libre : insertion des ligaments calcanéo-naviculaire plantaire et tibio-calcanéen, et du muscle tibial postérieur. Il présente aussi une petite gouttière où glisse le tendon du LFO

Notons une particularité : le talus est positionné sur le calcaneus mais le débord dans le "vide". On dit que le talus est en porte à faux

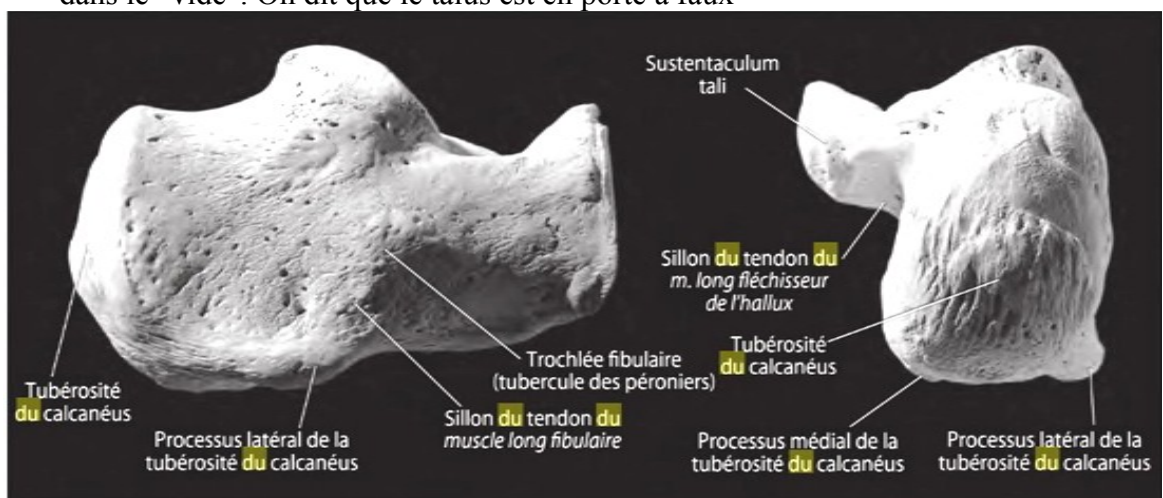


Fig 22 : Vue latérale du calcaneus (à gauche),vue postérieure (à droite) (64).

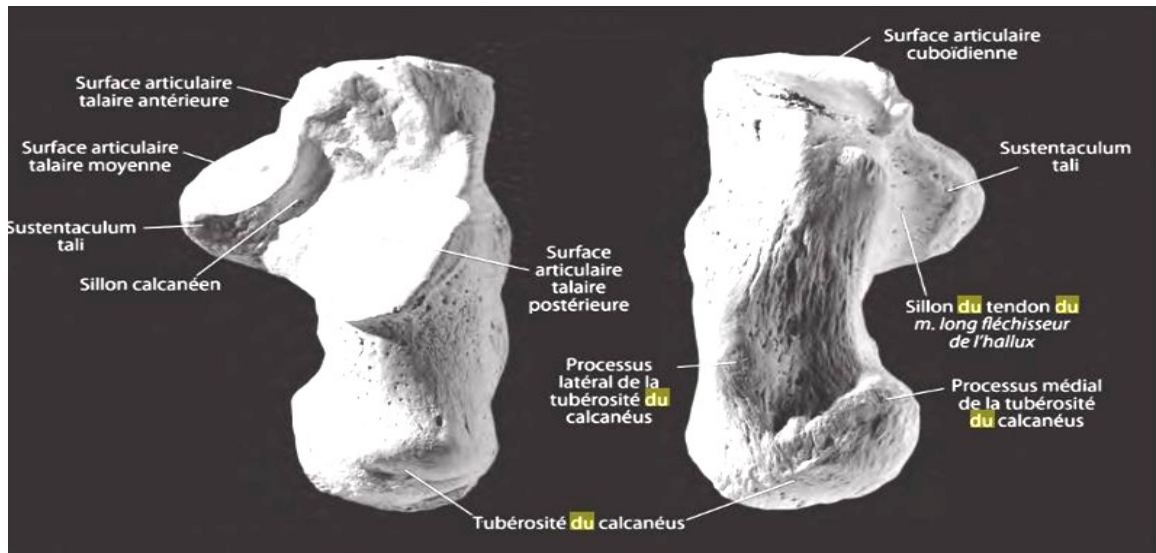


Fig 23 : Vue dorsale du calcaneus (à gauche), vue plantaire (à droite) (64).

b- Le médio-pied

Le médio-pied (naviculaire, cuboïde et trois cunéiformes) transmet les contraintes sans contact avec le sol et la force transmise au naviculaire par la tête du talus est plus importante qu'au cuboïde vers le calcaneus. Une partie du médio-pied appartient au pied dit « calcanéen » (calcaneus, cuboïde, 4^{em} et 5^{em} métatarsiens) au plus près du sol, et un pied dit « talien » (talus, naviculaire, cunéiformes, trois métatarsiens médiaux) en suspension.

Le concept de l'arche fait du médio-pied la clé de voûte du système, dont la rigidité est assurée en compression par l'encastrement squelettique du médio tarse et de la jonction tarso métatarsienne. En revanche, la jonction transverse du tarse (talo-naviculaire et calcanéocuboïdienne), très mobile, donne toute leur importance au système de stabilisation en traction.

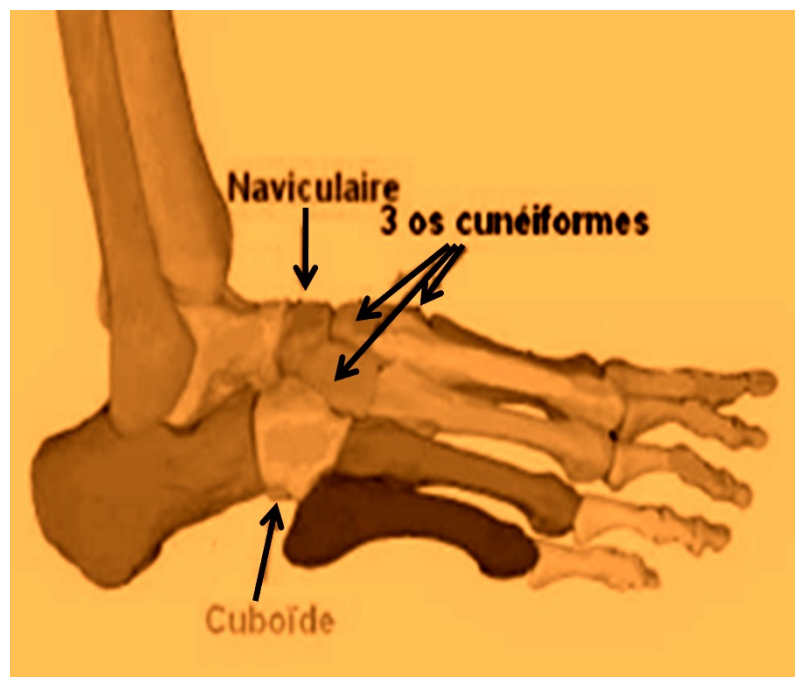


Fig 24 : Les os du médio pied (65).

c- L'avant pied

Il est formé des métatarses qui sont constitués de 5 os longs. M1 se différencie en étant plus court et plus épais que les autres. Ils supportent une charge plus importante. Chaque métatarse s'articule avec la phalange proximale qui lui correspond et avec les os du tarse antérieur.

Il est aussi formé par les phalanges qui sont fines et longues, elles sont au nombre de 03 (proximale-moyenne-distale) sauf pour le M1 nommé hallux qui n'en possède que deux métatarses. La base de chaque phalange s'articule avec le métatarse lui correspondant.

Il existe des os surnuméraires inconstants appelés sésamoïdes qui se trouvent au niveau de la tête du premier métatarsienne, et qui jouent un rôle important dans le déroulement du pas.



Fig 25 : Les os de l'avant pied (65).

2- Le système ligamentaire et articulaire

L'arche s'abaisse sous la charge avec un réarrangement squelettique stabilisé par le manchon capsulo ligamentaire. (58), (59), (60), (66), (67)

Le ligament calcanéo naviculaire plantaire maintient les connexions tibio-calcanéo-naviculaires et prévient la plongée plantaire et médiale de la tête du talus. Il est formé de deux faisceaux divergeant du sustentaculum tali au bord inférieur et à l'extrémité médiale du naviculaire, son faisceau médial couvert de fibrocartilage bien avant la marche.

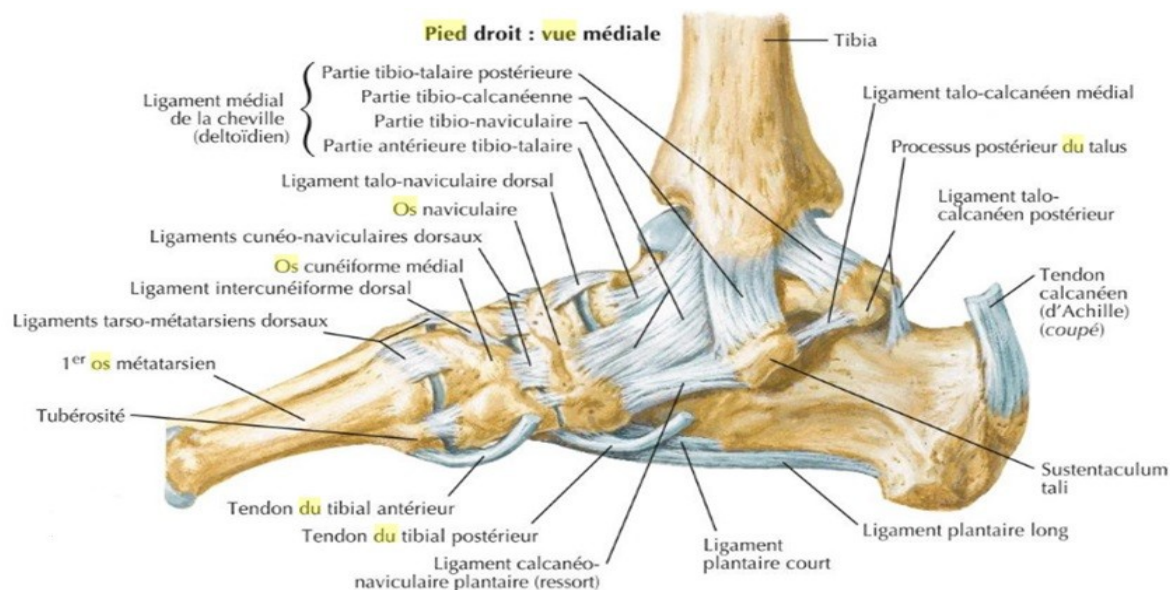


Fig 26 : Squelette du pied avec une vue médiale montrant les structures ligamentaires ; ligament calcanéo naviculaire plantaire.(62)

Le système est complété par le ligament collatéral médial qui le relie à la malléole tibiale. dénommé « spring ligament » par les anglo-saxons du fait de ses capacités de déformation. Une autre structure de stabilisation passive au niveau du medio pied : le ligament en Y de Chopart comporte un faisceau calcanéo- cuboïdien horizontal, et un faisceau vertical calcanéo-naviculaire.

3- L'aponévrose plantaire

L'aponévrose plantaire superficielle est une membrane fibreuse de forme triangulaire, épaisse, étroite et résistante .Elle s'attache à une tubérosité postéro-médiale du calcaneus puis s'élargit vers l'avant du pied au niveau de chacune des phalanges proximales des orteils et verrouille l'ensemble en fonction de l'enroulement métatarso phalangienne. Elle est recouverte en surface par un tissu cellulo-fibreux plantaire qui contient 03 bourses séreuses l'une sous la tubérosité médiale du calcaneus et les autres sous les 1ers et 5 ème métatarses.

L'aponévrose plantaire superficielle se divise en 03 faisceaux ; central, médial et latéral puis se termine en 5 bandelettes épaisses qui rejoinent les phalanges(56). (58).

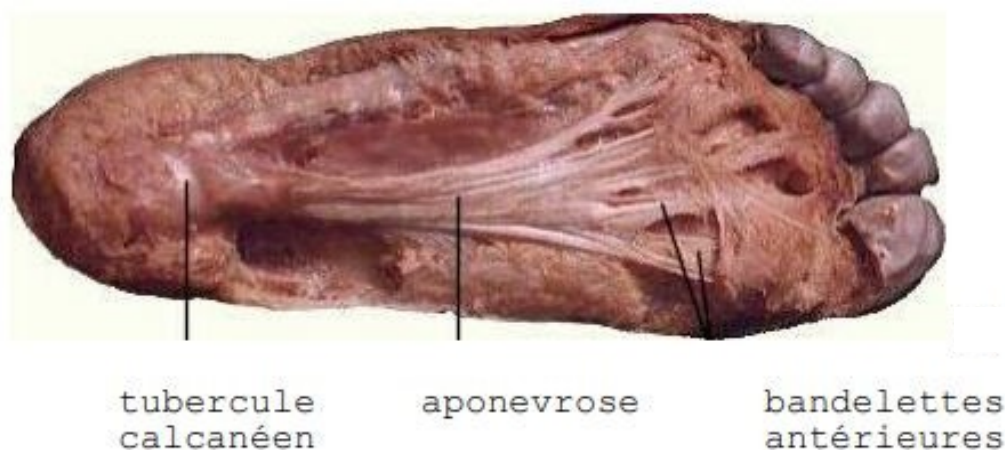


Fig 27 : La structure de l'aponévrose plantaire (68).

L'aponévrose plantaire superficielle recouvre un plan musculaire profond et superficiel :

a- Le plan superficiel

L'aponévrose plantaire superficielle centrale recouvre le court fléchisseur plantaire.

L'aponévrose plantaire superficielle médiale épaisse et résistante recouvre le muscle abducteur de l'hallux.

L'aponévrose plantaire latérale recouvre l'abducteur du 5^{em} orteil.

b- Le plan profond

Quadratus plantae ou carré plantaire et long fléchisseur de l'hallux. (68). Les muscles de la plante du pied protègent des chocs extérieurs, contribuent également à la stabilité de l'arche plantaire lors de la marche et transmet la force nécessaire à la propulsion du pied de l'arrière vers l'avant.

4- Le système musculaire et tendineux

Le pied compte une trentaine de muscles qui déterminent le mouvement, rigidifient les structures osseuses et, stabilisent le pied. Les muscles du pied sont classés en deux groupes (intrinsèques et extrinsèques), contrôlant ainsi plusieurs articulations à la fois, et fonctionnent ensemble de façon synergique

a- Les muscles extrinsèques (69).

Les muscles extrinsèques interviennent dans le mouvement du pied. Les releveurs du pied ou fléchisseurs dorsaux sont : le muscle tibial antérieur (TA), le long extenseur de l'hallux (LEH), le long extenseur des orteils (LEO).

Dans la loge latérale de la jambe, s'insèrent les muscles longs et court fibulaire (LF) et (CF).

Enfin dans la loge postérieure, les muscles tibiaux postérieurs (TP), long fléchisseur de l'hallux (LFH) et long fléchisseur des orteils (LFO) sont recouverts par le triceps sural (TS).



Fig 28 : Vue antérolatérale du cou-de-pied gauche montrant le plan tendineux(61).

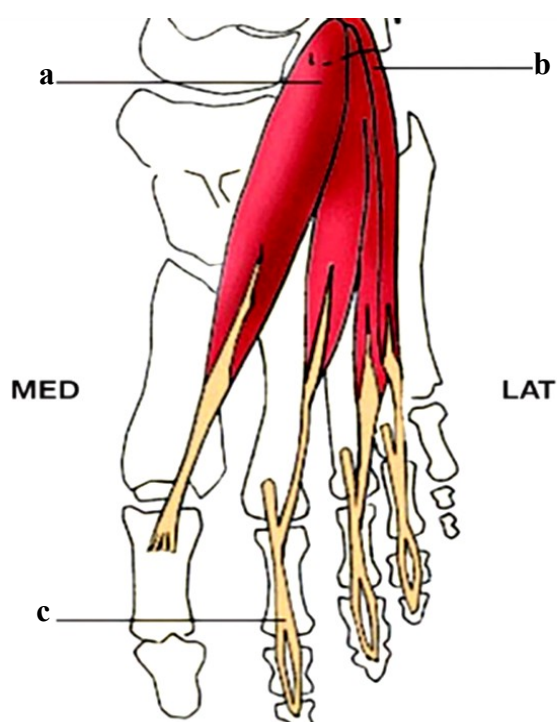
- 1-Tendon du muscle tibial antérieur, 2-Tendon du muscle long extenseur de l'hallux, 3-Tendon du muscle long extenseur des orteils, 4-Tendon du muscle troisième fibulaire, 5-Le muscle court extenseur des orteils, 6-Gaine des muscles fibulaires.

b- Les muscles intrinsèques

Ce sont des muscles qui ont une action au niveau du pied et de la cheville.

Il y a un seul muscle intrinsèque sur le dos du pied qui est le court extenseur des orteils. Tous les autres muscles appartiennent à la plante du pied. Ces muscles intrinsèques modifient les actions des longs tendons et permettent des mouvements relativement indépendants des orteils. Ils sont innervés par le nerf fibulaire profond. Les deux premiers interosseux peuvent aussi être partiellement innervés par le nerf fibulaire profond.

-Les muscles dorsaux : court extenseur des orteils et court extenseurs de l'hallux



a: muscle court extenseur de l'hallux,

b: muscle court extenseur des orteils,

c: tendon du muscle long extenseur des orteils,

Fig 29 : Le muscle court extenseur des orteils. (70)

Tableau 1: Les muscles dorsaux (71).

Muscles	Origines	Terminaisons	Actions
Court extenseur de l'hallux	Calcanéum	P1(première phalange)de l'hallux	Extension de l'hallux
Court extenseur des orteils	Calcanéum	Tendon du long extenseur des orteils	Extension du 2,3,4 orteils

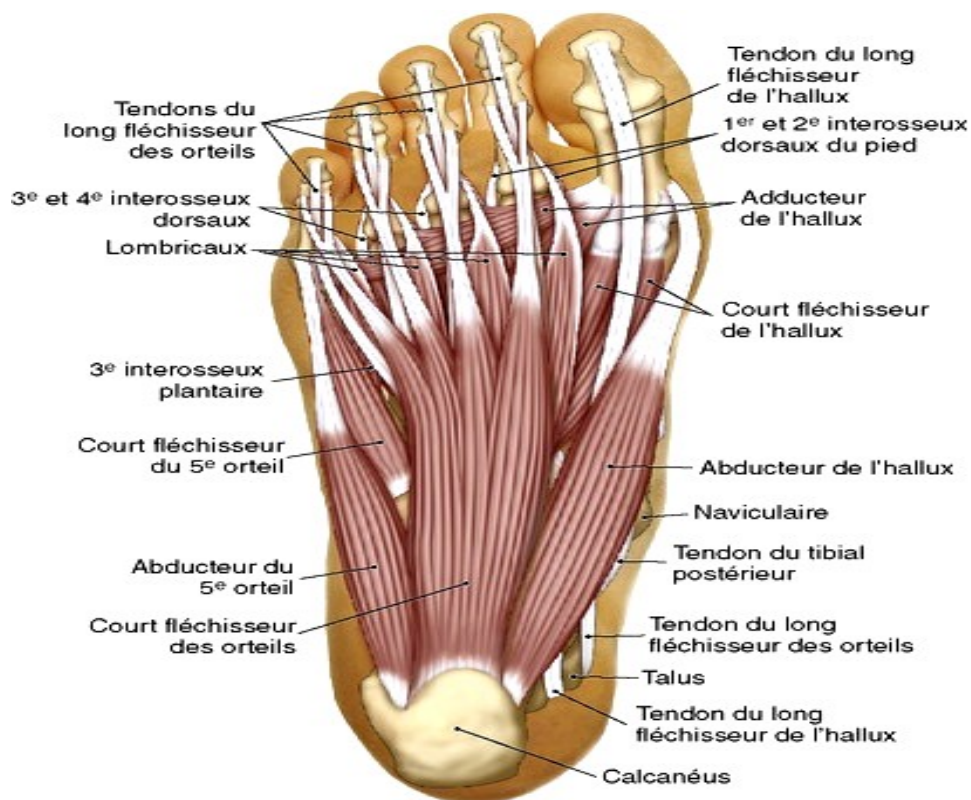


Fig 30 : Vue superficielle des muscles intrinsèques du pied. (72)

Tableau 2: Les muscles plantaires latéraux (71).

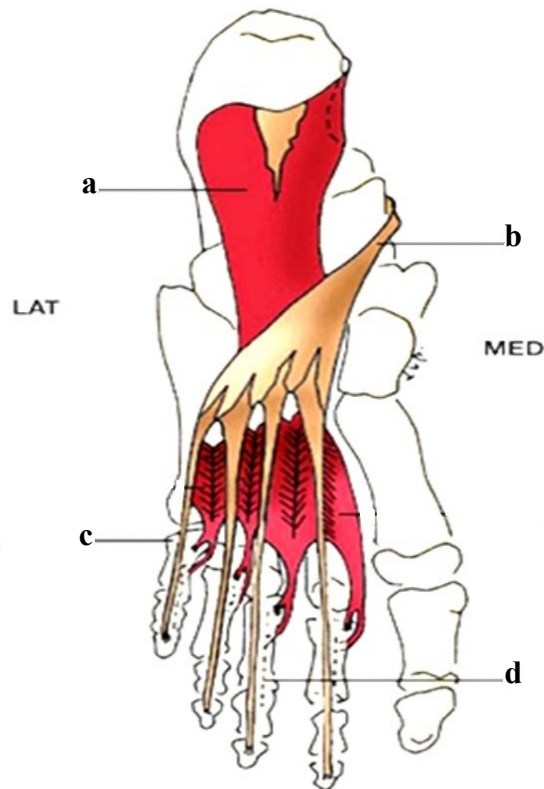
Muscles	Origines	Terminaisons	Action
Court fléchisseur de l'hallux	Cuboïde et cunéiformes	Tendon des muscles adducteurs et abducteurs de l'hallux	Fléchisseur de l'hallux
Abducteur de l'hallux	Calcaneus	P1 (première phalange) de l'hallux	Abducteur de l'hallux
Adduction de l'hallux	Cuboïde, cunéiformes latéral, 3,4 métatarses	P1 de l'hallux	Adducteur de l'hallux

Tableau 3 : Les muscles plantaires intermédiaires (71).

Muscles	Origines	Terminaisons	Action
Le carre plantaire	calcaneum	Tendon du long fléchisseur des orteils	Fléchisseur des 4 derniers orteils
Le court fléchisseur des orteils	Calcaneum	P1 (premier phalange) des 4 derniers orteils	Fléchisseur des 4 derniers orteils
Les interosseux plantaires	3, 4, 5, métatarsiens	P2(deuxième phalange) des 3 derniers orteils	Adducteur des 3 derniers orteils
Les interosseux dorsaux	Les 5 métatarses	P1 (premier phalange) du 2,3 ,4 orteils	Ecartement des orteils
Les lombricaux	Tendon du long fléchisseur des orteils	P1 (premier phalange) des 4 derniers orteils	Fléchisseur de P1 et extenseur de P2P3 des 4 derniers orteils

Tableau 4 : Les muscles plantaires médiaux (71).

Muscles	Origines	Terminaisons	Action
Court fléchisseur du cinquième orteil (V)	Calcanéum	P1 du cinquième orteil (V)	Fléchisseur du cinquième orteil (V)
Abducteur du cinquième orteil (V)	Cuboïde et 5 métatarsien	P1 du cinquième orteil (V)	Abducteur du cinquième orteil (V)



a : muscle carré plantaire ,

b : muscle long flechisseur V des orteils ,

c : phalange proximale ;

d : tendon du muscle long extenseurs des orteils

Fig 31 : Vue plantaire du muscle carré plantaire et les lombricaux.(70)

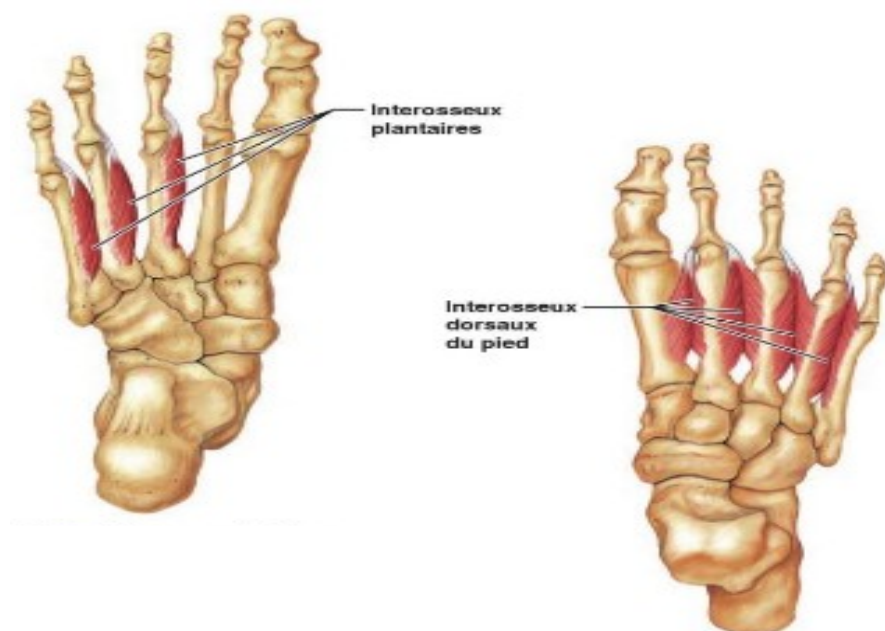


Fig 32 : Les muscles interosseux plantaires et dorsaux. (58)

5-Les structures anatomiques impliquées lors de la marche :

♦Les articulations :

. L'articulation coxo-fémorale

. L'articulation du genou

. L'articulation talo-crurale (articulation de cheville) qui a un rôle primordial dans la marche. C'est une articulation synoviale. Le ligament médial ou deltoïde est un ligament solide formé de faisceaux (profond et superficiel) qui stabilisent l'articulation en médial. Les ligaments latéraux stabilisent l'articulation en latéral (talo-fibulaire antérieure et postérieure et calcanéo-fibulaire).

. L'articulation du tarse est le siège de faibles mouvements qui multiplient les contraintes subies par le pied lors de son contact avec le sol en course et en saut.

♦La myologie

Ces muscles sont importants à connaître pour comprendre le fonctionnement de la marche

*le muscle psoas iliaque ou muscle ilio-psoas est puissant bi-articulaire. Au cours de la marche, les fléchisseurs de la hanche sont très actifs entre la propulsion et le début de la phase d'oscillation. La contraction concentrique de l'ilio-psoas est déterminante pour élever le pied et accélérer la vitesse en avant.

*Le muscle gluteus maximus (muscle grand fessier) débute son activité en fin de phase oscillante (action de contrôle de la flexion de hanche) ; il est indispensable lors du contact initial

*Le muscle gluteus médius (muscle moyen fessier) ; il stabilise le bassin au cours de l'appui monopodal. Au cours de la marche, le moyen et le petit fessier débutent leur activité en fin de phase oscillante

*Le quadriceps est un muscle volumineux composé de 4 chefs (muscles vaste latéral, vaste intermédiaire ou crural et vaste médiale, droit fémoral). Il est extenseur du genou. Il se contracte en fin d'oscillation pour tendre la jambe et préparer le contact initial. Il est donc important de noter qu'au cours de la marche que ces muscles sont pratiquement inactifs tout au long de la phase d'appui monopodal

*Le muscle tibialis antérieur (jambier antérieur) est fléchisseur dorsal de cheville et inverseur, il est actif en début de phase oscillante et la poursuit jusqu'en fin de la phase de mise en charge, il permet de relever le pied évitant l'accrochage du pied lors du passage du pas. Lors du contact initial et la mise en charge il a un double rôle freinant la flexion plantaire participant ainsi à l'amortissement (travail excentrique) et permettant l'avancée du tibia

* Le muscle péronéus longus ou long fibulaire (long péronier) est éverseur du pied mais aussi abaisseur du premier métatarsien.

* Le muscle péronéus brévius ou court fibulaire (court péronier) a une action d'éverseur du pied. Les muscles fibulaires ont une activité en période d'appui. Ils n'ont aucune activité durant la phase oscillante.

* Le tendon calcanéen : Il est formé par le relief du muscle triceps sural, c'est une lame tendineuse qui naît de la réunion des deux chefs des gastrocnémiens (latéral et médial) et le muscle soléaire. Son action débute en milieu de phase de mise en charge .

Leur activité diminue en phase pré-oscillante alors que la cheville passe rapidement de la flexion dorsale à la flexion plantaire car il s'agit d'une période de double appui et donc il y a transfert du poids du corps vers l'autre membre inférieur

* Le muscle tibialis postérieur ou tibial postérieur, ou encore appelé Jambier postérieur. Il a une action d'inverseur du pied et de fléchisseur plantaire. Son activation n'est qu'en phase d'appui.

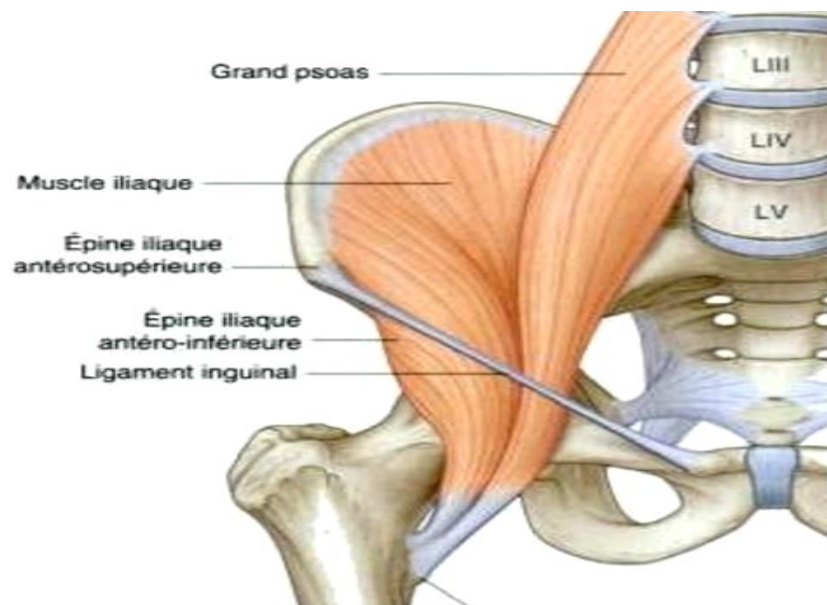


Fig 33 : Le muscle psoas iliaque. (58)

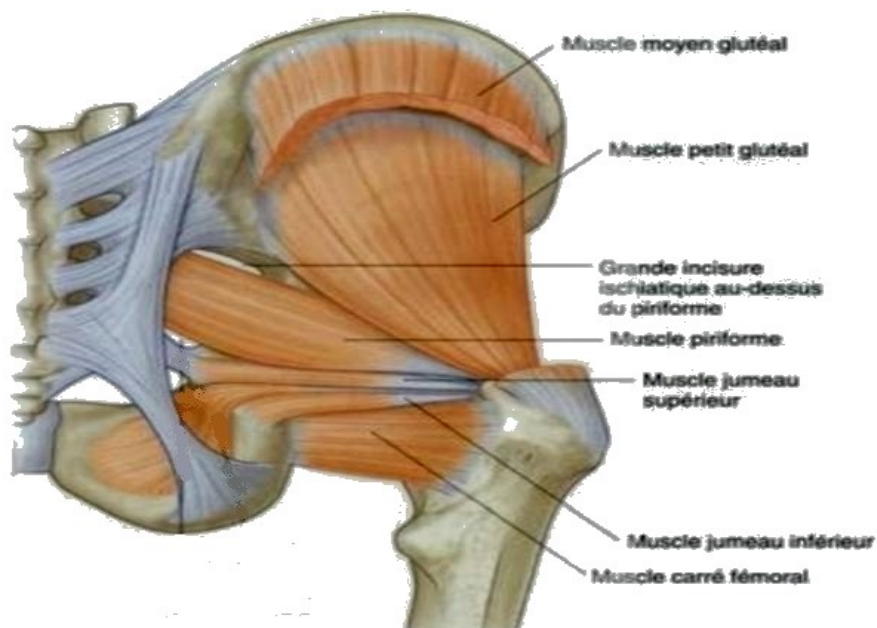


Fig 34 : Le muscle grand fessier et moyen fessier. (58)

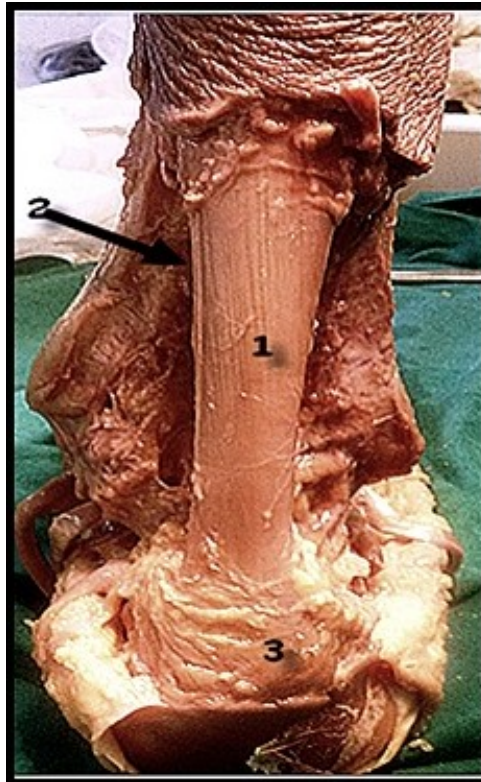


Fig 35 : Le tendon calcanéen (61).

1- Tendon calcanéen 2- Tendon du muscle plantaire 3- Le calcaneus

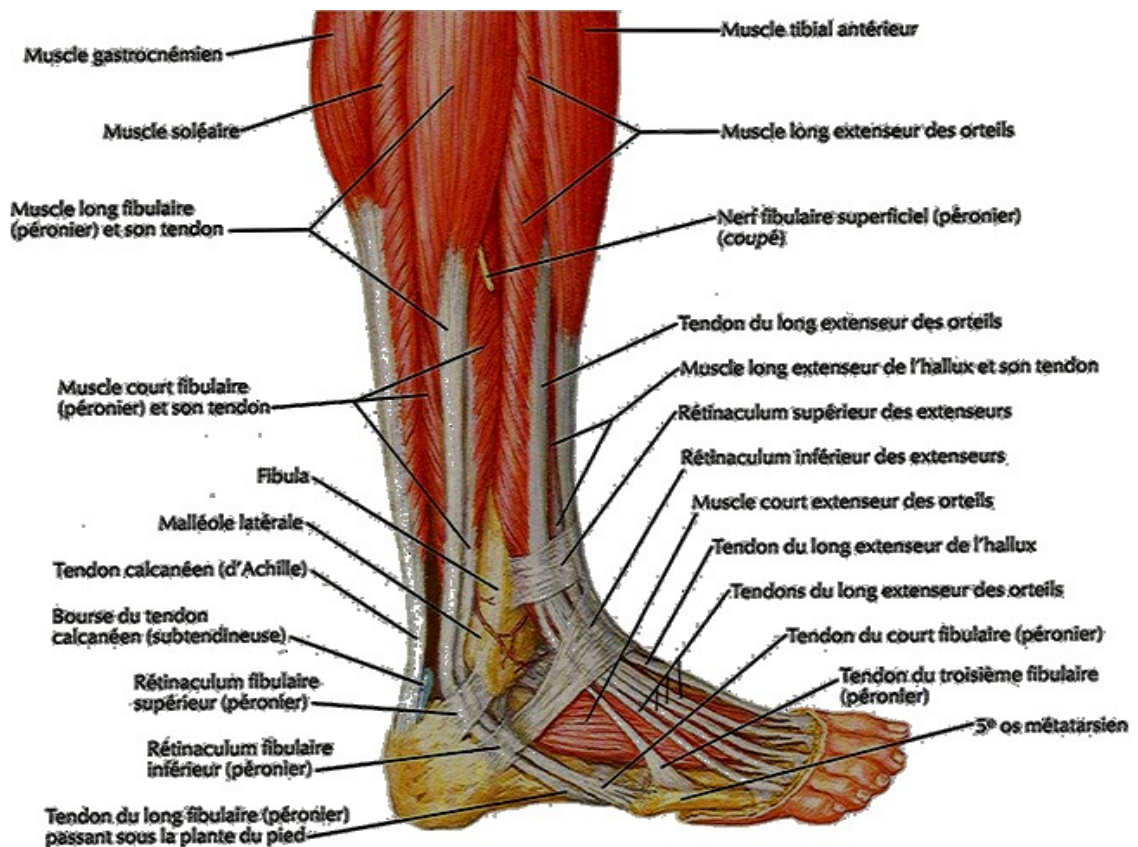


Fig 36 : Vue latérale des tendons péronier et le muscle tibial antérieur. (62)

6- Le système vasculo-nerveux

► Les artères : la vascularisation du pied est assurée par une artère dorsale qui irrigue la face dorsale et une artère tibiale postérieure qui irrigue la face plantaire. Ce sont les zones d'appuis qui sont les mieux vascularisées.

► Les veines : le système veineux est composé d'un réseau profond calqué sur le système artériel, les veines plantaires forment la semelle veineuse plantaire de **LEJARS** ; au cours de la marche la semelle de **LEJARS** est écrasée .

► Les nerfs : (60), (66), (73).

L'innervation des muscles et des téguments du pied est assurée par le nerf sciatique qui se divise en deux branches d'une part, le nerf fibulaire commun qui innerve la face dorsale alors que la seconde branche, le nerf tibial innerve le tendon calcanéen et la face plantaire.

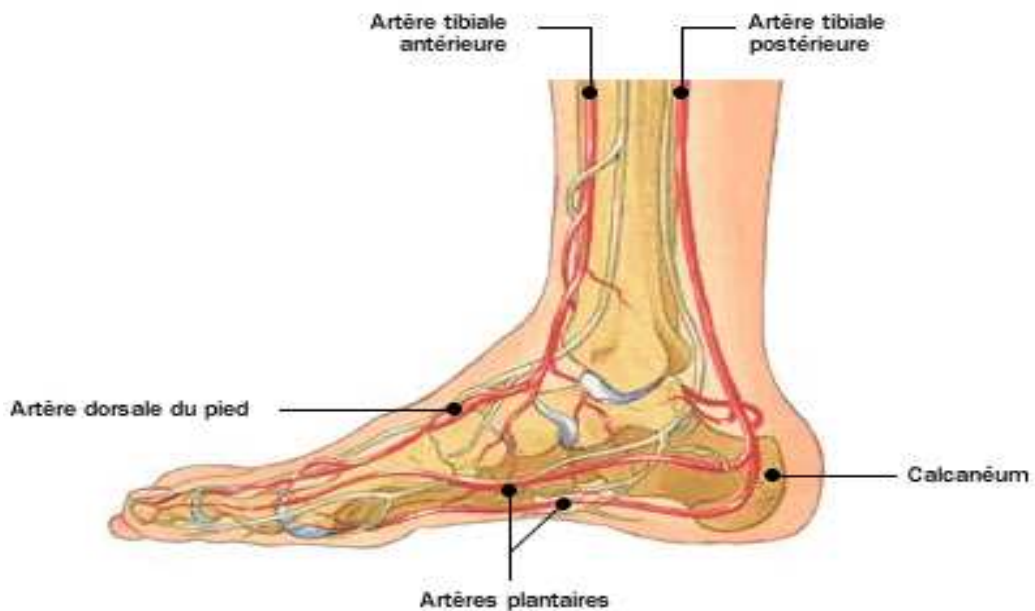


Fig 37 : La vascularisation du pied. (74)

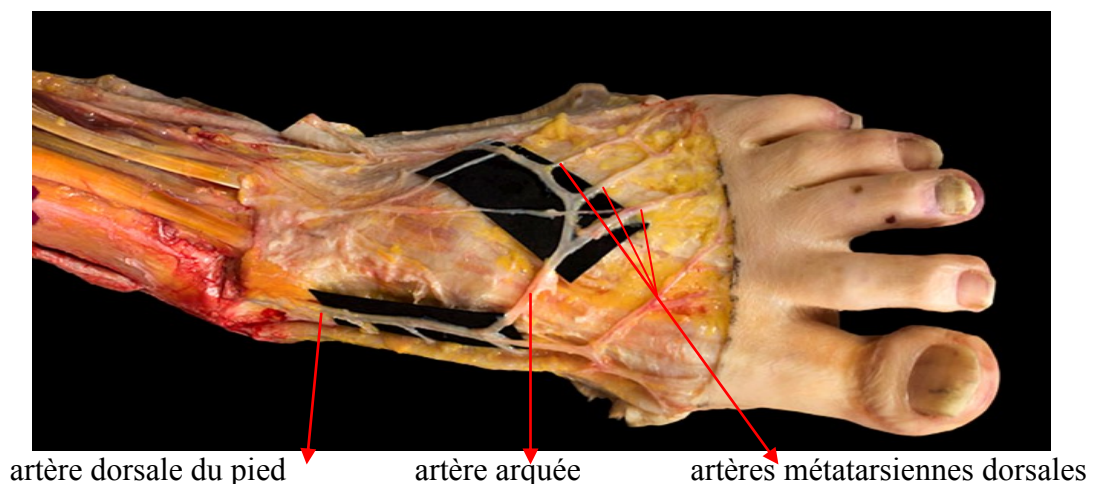


Fig 38 : l'arcade vasculaire dorsale du pied. (75)

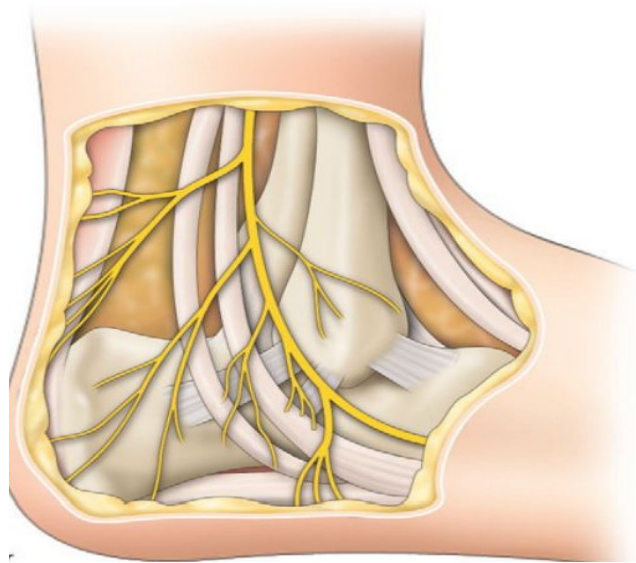


Fig 39 : Les branches de division du nerf cutané sural. (76)



**Ecrasement de la
semelle plantaire**

Fig 40 : Semelle veineuse plantaire de LEJARS. (77)

D- Anatomie du couple de torsion du pied

Il constitue les articulations de l'arrière du pied : l'articulation subtalaire et l'articulation transverse du tarse.

1- L'articulation subtalaire ou talo-calcanéenne

Elle est aussi appelé l'articulation sous- astragalienne ou sous talienne. Elle unit le talus au calcaneus, c'est une articulation synoviale de type ellipsoïde .Le ligament interosseux est le principal ligament, très puissant tendu verticalement dans le sinus talo-calcanéen permettant d'unir le talus au calcaneus pour assurer les mouvements complexes d'inversion et d'éversion.

Il permet au pied de rester en contact avec le sol dans les différentes positions debout et de s'adapter aux irrégularités du terrain.

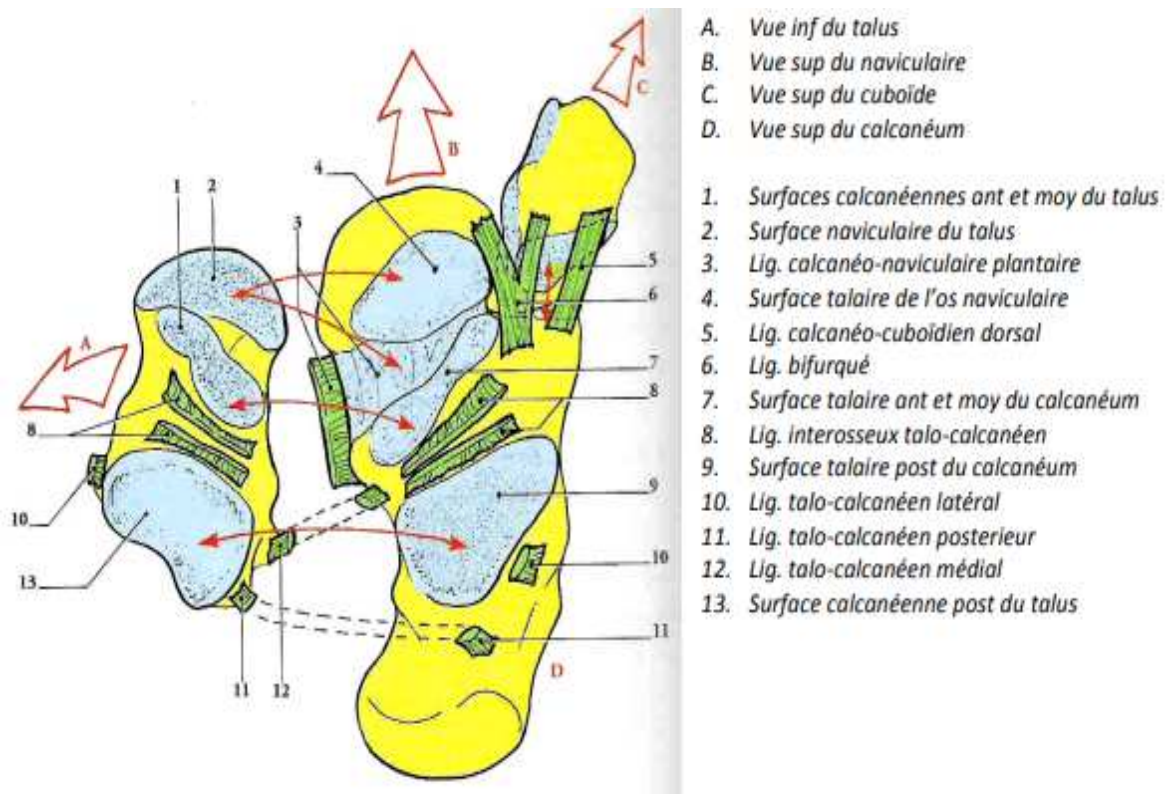
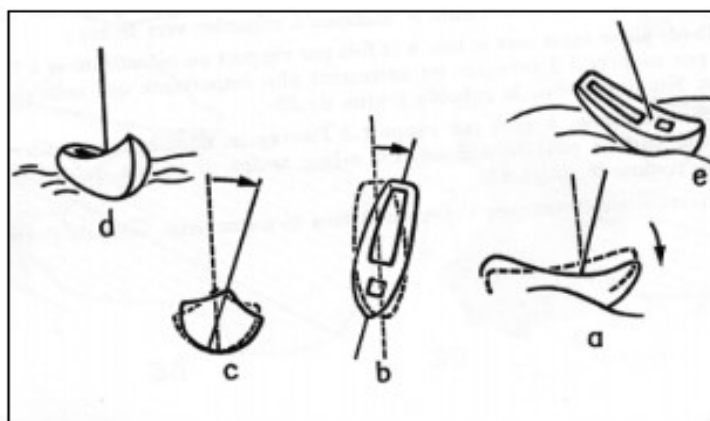


Fig 41 : L'articulation sous talienne et transverse du tarse. (56)

La sous-talienne est constituée des articulations talocalcanéennes antérieure et postérieure, séparées par le sinus du tarse. Ces deux articulations ont un fonctionnement commun. Elles se déplacent en sens opposé autour de l'axe sous-talaire de Henke. Cet axe est dirigé obliquement en haut, en avant et en dedans. Les déplacements du calcaneus sous le talus s'effectuent dans les trois plans de l'espace et réalisent un mouvement d'inversion et d'éversion. Lors de la marche sur terrain plat, l'amplitude totale de la sous-talienne est de l'ordre de 8° à 18° . Les mouvements du calcaneus sous le talus sont complexes. D'après Farabeuf, le calcaneus est mobilisé comme un bateau agité par la houle. « Il roule, vire, et il tangue » sous le talus en inversion et en éversion selon l'axe de **Henké**



(d)- au repos

(c)- il roule

(b)- il vire

(a)- il tangue

(e)- résultats des mouvements combinés

Fig 42: Illustration des mouvements du calcaneus sous talus. (78)

Autour de l'axe sagittal, le calcaneus effectue des mouvements de rotation latéral et médial :
« il roule »

Autour de l'axe vertical, s'effectue des mouvements d'abduction et d'adduction :
« le calcaneus vire »

Autour de l'axe transversal, s'effectue des mouvements de flexion et d'extension :
« le calcaneus tangué » (79).

2- L'articulation transverse du tarse

C'est une articulation médio tarsienne de **Chopart**. Cette articulation permet l'union du tarse antérieur et le tarse postérieur par l'intermédiaire de deux articulations : calcanéocuboïdienne et talo-calcanéonaviculaire. Bien qu'indépendantes l'une de l'autre, ces deux articulations possèdent en commun un ligament appelé **le ligament en Y**.

Les articulations subtalaire et transverse du tarse forment un ensemble fonctionnel indissociable car tout mouvement dans la première articulation provoque un mouvement dans la deuxième également appelé : complexe articulaire de l'arrière pied dont le rôle est d'orienter le pied et d'adapter la forme de la voûte plantaire selon les terrains.

Cette articulation permet donc d'amplifier et d'harmoniser les mouvements d'éversion – inversion initiés au niveau subtalaire.

3- L'articulation talocrurale

C'est une petite articulation mobile et très solide qui permet d'unir les parties inférieures des deux os de la jambe au talus : le talus avec une forme de trapèze et d'autre part, le tibia et le péroné solidement unis par des ligaments, leurs extrémités inférieures forment une pince : la pince tibio-fibulaire.



Fig 43 : L'articulation talo crurale: vue dorsale(droite) , vue ventrale (gauche) . (61)

Le talus est emprisonné dans une structure osseuse fermée, ce qui lui assure une grande stabilité articulaire renforcée par de nombreux ligaments (dont les ligaments latéraux et médiaux) mais une faible mobilité.

a- Particularité de l'arrière pied : porte à faux

Le tibia et le péroné transmettent le poids du corps à l'arrière pied (flèche verte) ; Le calcaneus reçoit l'appui du sol (flèche rouge). On observe un décalage nommé également porte à faux qui est source de déséquilibre. Pour stabiliser l'arrière pied, lors de la marche ou de la course, il existe des systèmes de soutien composés de tendons, muscles, ligaments qui évitent l'effondrement du pied à travers ce trou. Tout défaut anatomique du talus modifie le réglage précis de la transmission des forces, notamment vers la sous-talienne antérieure(65). Le calcaneus est décalé en dehors par rapport au tibia, c'est le valgus physiologique qui est soutenu par le ligament médial et renforcé par le tibia postérieur : c'est l'amortisseur de Schwartz (80).

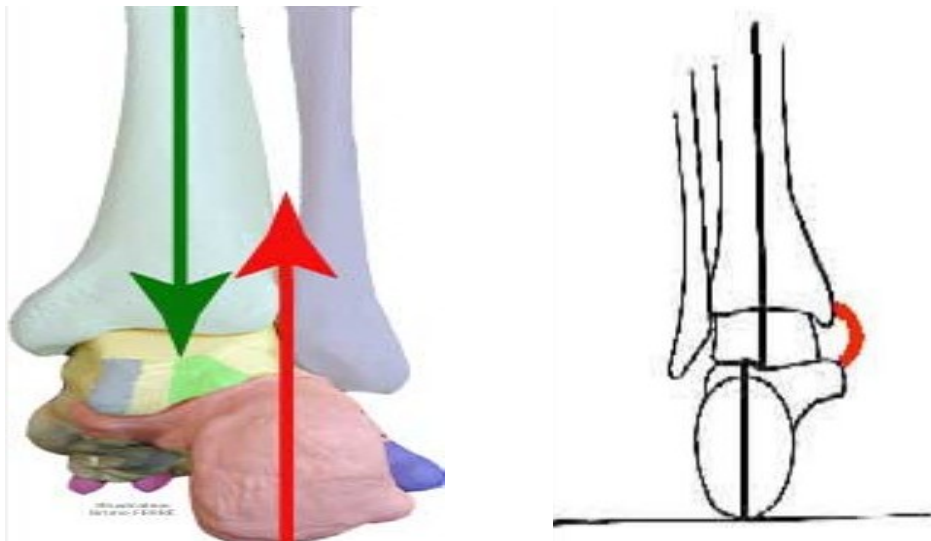


Fig 44 : Vue postérieure du pied et de la cheville (65),(80).

4- L'articulation du tarse antérieur

Les os du tarse sont unis entre eux par l'intermédiaire de cinq articulations. Elles démultiplient les contraintes subies par le pied lors de son contact avec le sol. Elles assurent également la souplesse du pied.

5- L'articulation de l'avant pied

Elle est associée aux articulations du tarse. Ces articulations interviennent pour maintenir ou modifier les courbures de la voûte plantaire sur laquelle se répartit le poids du corps.

♦L'articulation tarso-métatarsienne ou articulation de LISFRANC

C'est l'ensemble des articulations qui réunit la base des cinq métatarses avec le tarse antérieur plus précisément les 3 cunéiformes avec les 3 premiers métatarses et le cuboïde se

lie au 4 et 5 métatarse .On note que le deuxième métatarse est encastré dans les cunéiformes donc immobile.

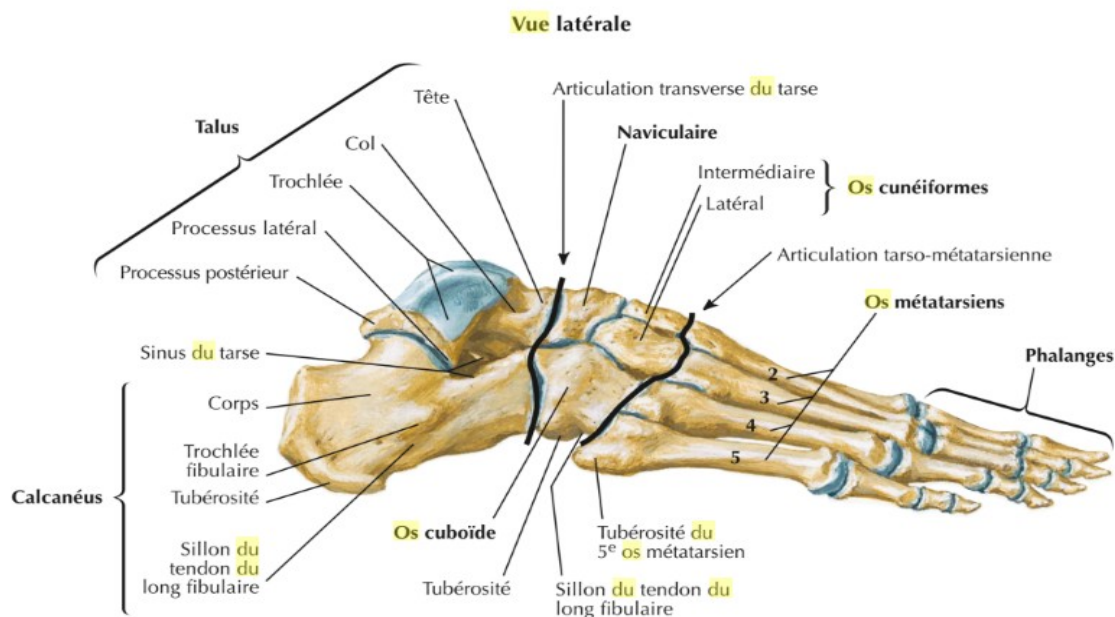


Fig 45 : L'articulation tarso métatarsienne (articulation de LISFRANC) . (62)

Cette articulation possède une grande stabilité grâce à son interligne brisé et l'important système ligamentaire .Elle participe à la stabilisation du pied.

♦ Les articulations métatarso-phalangiennes

Elles lient les têtes métatarsiennes à la base des phalanges proximales des orteils en autorisant des mouvements de flexion –extension , d'adduction et d'abduction. La présence des 4 ligaments métatarsiens transverse les reliant entre eux comme une unité de cohésion fonctionnelle .

♦ Les articulations inter-phalangiennes

Elles rejoignent les phalanges entre elles, ces articulations sont renforcées par des ligaments qui aident au maintien de l'arche du pied, permettant le déroulement du pied notamment la phase de propulsion.

E- Physiologie et biomécanique du pied

1- Physiologie du pied

Le pied humain accomplit quatre actions quasi simultanément (81) :

- . Amortissement des chocs consécutifs à l'attaque du talon et à la propulsion.
- . Maintien de l'équilibre en dépit des impulsions déstabilisantes latérales auto-infligées par le déport du bassin à chaque pas et récupérées par un appui ferme sur le bord externe du pied et par un mouvement de rotation dans l'articulation médio tarsienne.
- . La propulsion du corps du marcheur, réalisée par le bord externe du pied et toute la surface antérieure.

. Les changements soudains de direction, pivotements sur place, qui s'exécutent toujours sur la région sous-jacente à l'articulation métatarso-phalagienne

2-Neurophysiologie de la marche

La marche correspond à une activation musculaire cyclique, coordonnée et automatique, qui peut être modulée par le contrôle volontaire, en particulier lors des situations de changement de direction ou d'augmentation de la vitesse de marche (83).

La marche suppose un contrôle postural dynamique efficient. L'intégrité des structures gérant la stabilisation du sujet est donc nécessaire (84) :

- système vestibulaire,
- système proprioceptif
- système visuel
- système cérébelleux.

Leur dysfonctionnement interférera avec le déroulement de la marche. La physiologie du mouvement comprend la motricité, les réflexes et le tonus musculaire. L'activité locomotrice s'inscrit dans le groupe des activités motrices programmées. Les mécanismes qui contrôlent le mouvement sont complexes. Au niveau médullaire, la moelle épinière est le siège des processus moteurs automatiques notamment ceux de la locomotion.

La longueur des pas et la vitesse de déplacement sont régulées au niveau des centres locomoteurs spinaux sous l'influence des entrées proprioceptives. C'est pourquoi, dans la prise en charge rééducative, il est essentiel de stimuler ces entrées par des exercices répétés et progressifs.

Au niveau des centres supérieurs, on peut noter le rôle des ganglions de la base qui permettent la préparation et la planification du mouvement. Ils seront également responsables de l'exécution automatique des actes moteurs appris. (83)

Le cervelet contrôle l'exécution et détecte un élément imprévu dans l'exécution du programme.

Le tronc cérébral assure le redressement et les adaptations posturales grâce aux afférences vestibulaires et cutanées.

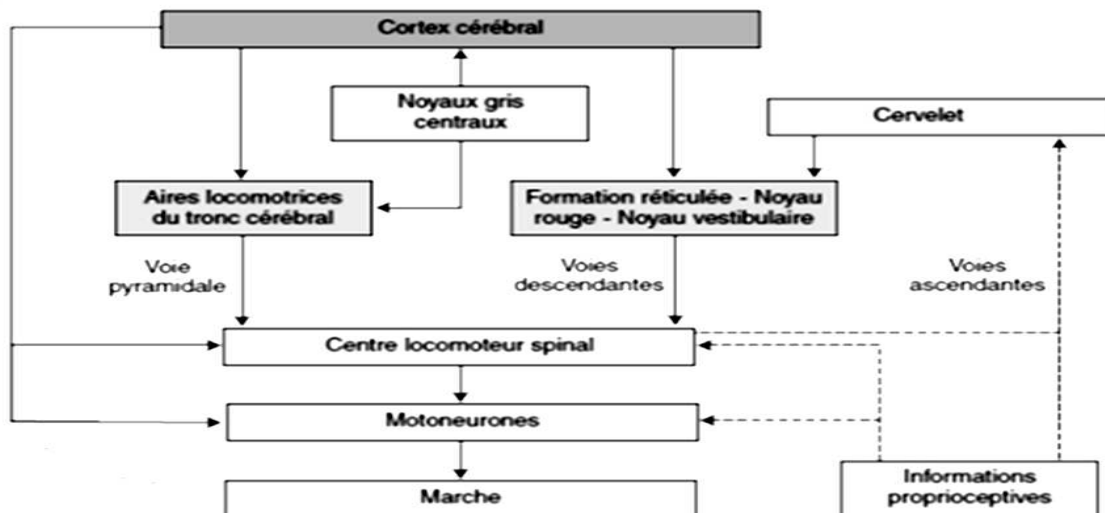


Fig 46 : Les principales structures cérébrales impliquées dans l'organisation de la marche .(83)

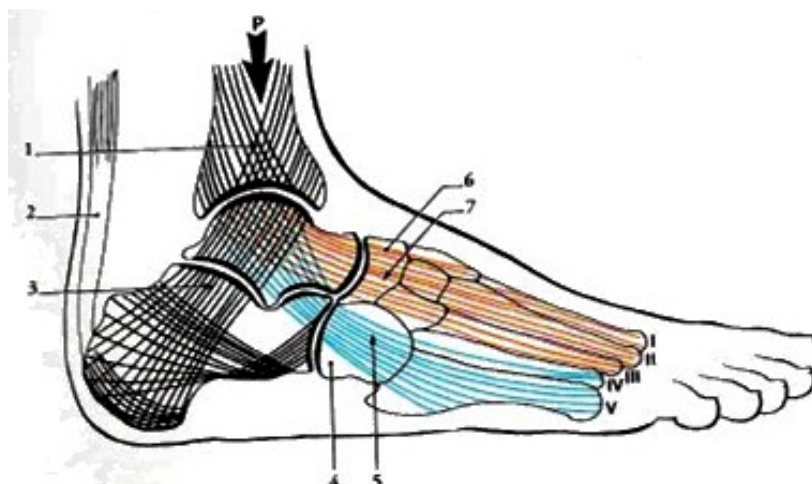
3-Biomecanique du pied

Le pied est un ressort intelligent qui doit répondre à une double exigence. (82)

- statique pour maintenir l'appui
- dynamique pour assurer la marche

Le talus est l'os charnière du tarse, libre de toute insertion musculaire, il répartit les contraintes en compression verticales venant du tibia entre les trois systèmes trabéculaires du pied (79) :

- Le système trabéculaire postérieur qui transmet les 3/5 du poids du corps.
- Les systèmes trabéculaires antéro-médial et antéro-latéral qui transmettent les 2/5 du poids du corps.



P : pression du corps.

1- Tibia.

2- Tendon calcanéen.

3- Système trabéculaire post.

4- Os cuboïde.

5- Système trabéculaire ant-lat.

6- Os naviculaire.

7- Système trabéculaire ant-med.

Fig 47 : Systèmes trabéculaires de la cheville et du pied. (79)

► **Les différents mouvements du pied**, Ils peuvent être définis comme suit :

Flexion et Extension :

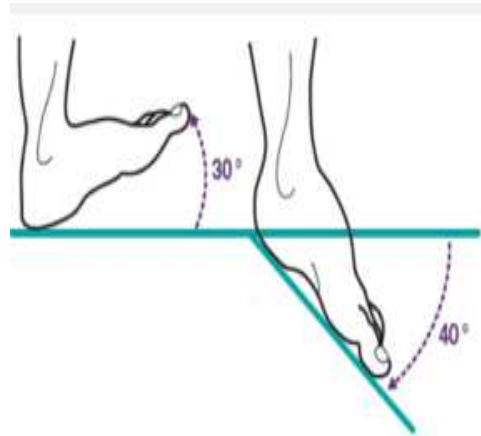
Le pied réalise le mouvement de la flexion et de l'extension grâce à l'articulation tibio-tarsienne (talocrurale).

A - Flexion plantaire (Extension) :

*Articulation de 30° à 60° vers le bas.

B - Flexion dorsale :

*Articulation de 20° à 30° vers le haut.



L'abduction :

Le pied s'éloigne de l'axe de symétrie du corps, il tourne (15°) vers l'extérieur.

L'adduction :

Le pied se rapproche de l'axe de symétrie du corps, il tourne (10°) vers l'intérieur. Ils sont permis par les articulations subtalaire et transverse du tarse.

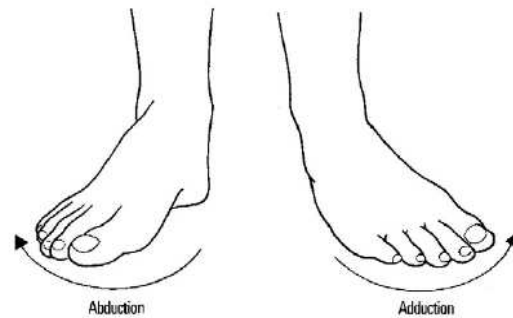


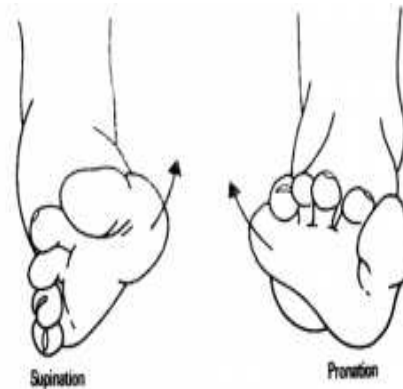
Fig 48 : Les mouvements du pied en ; flexion, extension, abduction, adduction (86),(87).

La supination :

La plante du pied s'oriente (30°) vers l'intérieure, c'est une association de 03 mouvement de rotation le pied varus associe une supination et une adduction

La pronation :

La plante du pied s'oriente vers l'extérieur (20°), c'est associé à un mouvement de rotation le pied valgus associe une pronation et une abduction



L'éversion :

C'est une combinaison des mouvements d'abduction-de pronation -et de flexion dorsale.

L'inversion :

C'est une combinaison des mouvements d'adduction – de supination et de flexion plantaire

Il se font grace à l'articulation sous talenne et transverse du tarse .

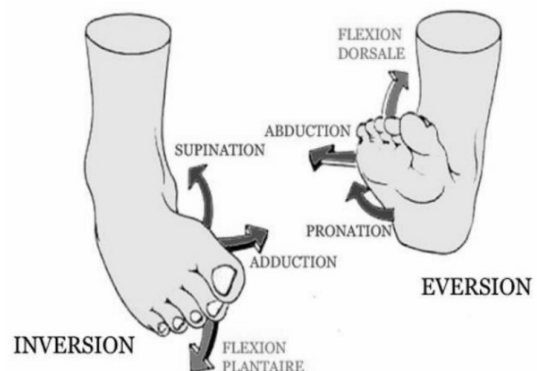


Fig 49 : Les mouvements du pied en; inversion, éversion, supination, pronation(88),(89)

Ces mouvements de varus et valgus sont possibles grâce aux articulations talo-crurale et inter-tarsienne .Les mouvements d'abduction-adduction - de supination et de pronation ne sont pas possible seuls pour des raisons anatomiques et géométriques .

► Le pied statique

Le pied s'appuie sur le sol par trois points d'appui principaux qui forment le triangle de sustentation encore appelé triangle statique. Ces trois points sont : le calcaneus, la tête du premier métatarsien, la tête du cinquième métatarsien.

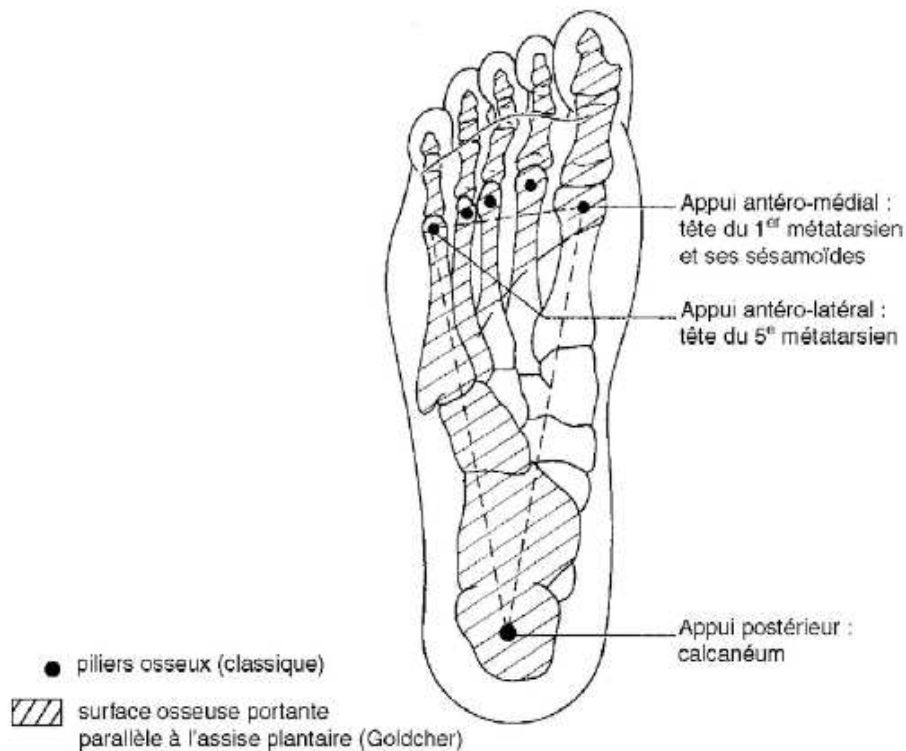


Fig 50 : La conception des appuis osseux. (87)

L'architecture du pied permet de résister à la charge grâce à 3 arches osseuses :

- L'arche externe ou l'arche longitudinale latérale s'étend du calcaneus à la 5^{em} tête metatarsienne. C'est une arche d'appui. C'est la plus basse, formée par le calcaneus, le cuboïde et les deux derniers métatarsiens.

- L'arche interne ou l'arche longitudinale médiale relie le calcaneus à la première tête métatarsienne plus élevée comportant le calcaneus, le talus (astragale), l'os naviculaire (scaphoïde), les cunéiformes et les trois premiers métatarsiens. Ces arches sont sous-tendues par l'ensemble des parties molles plantaires.

- L'arche transversale se situe entre le premier et le cinquième metatarses. C'est une arche de liaison. Ces trois arches définissent un triangle dont les sommets sont les 3 points d'appui du pied qui lui garantissent la plus grande stabilité.

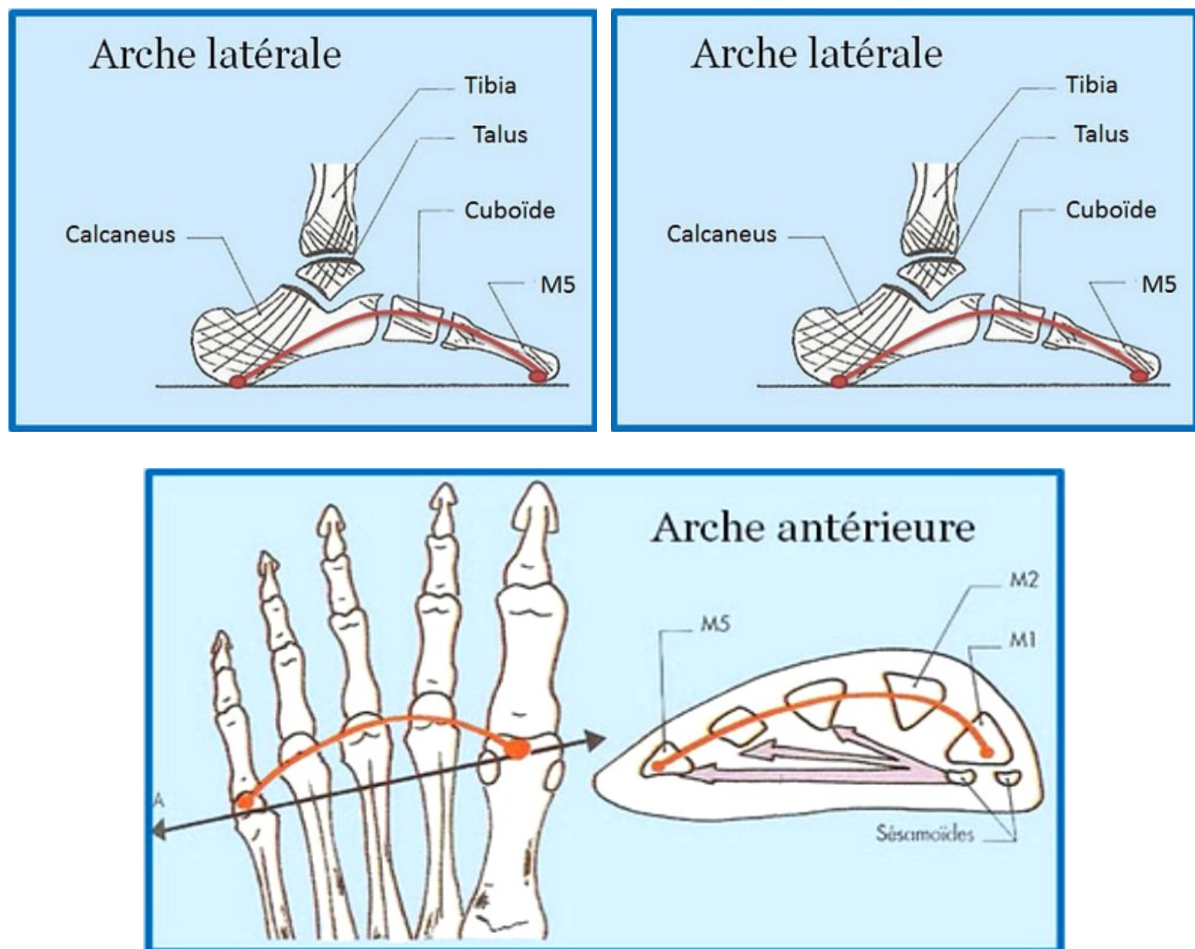


Fig 51 : Les trois arches du pied(80).

En dynamique, ce sont de véritables ressorts, la voûte plantaire associe les éléments ostéo-articulaires, les muscles, les ligaments et l'aponévrose plantaire et grâce à son élasticité, elle permet l'adaptation à toutes les inégalités du sol mais aussi les différents chocs pour les amortir.

Cette structure en arche réceptionne le poids du corps et le distribue de façon harmonieuse aux pieds au niveau des trois points d'appui. Elle participe à la phase de propulsion. Cette organisation complexe confère au pied à la fois sa souplesse et sa rigidité. **De Doncker et Kowalski** (87), comparent le pied à une ferme qui correspond à une charpente triangulaire supportant le faîtage du toit. Cette ferme est constituée de deux arbalétriers obliques antérieure et postérieure qui subissent des forces de compression.

Ces deux arbalétriers sont sous-tendus par un entrait horizontal qui est soumis à des forces de traction et qui est constitué de l'ensemble des formations musculo-tendineuses et ligamentaires de la plante du pied, qui se tendent lorsque le pied est en charge, évitant ainsi l'aplatissement de la ferme.

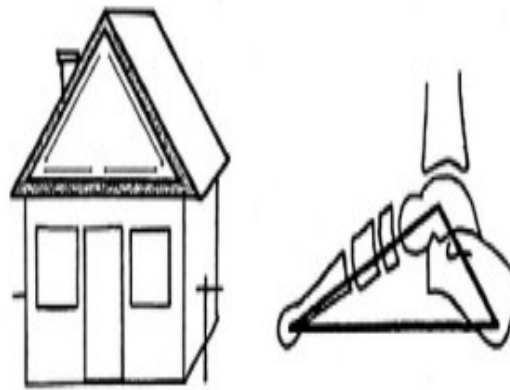


Fig 52 : La ferme podale de Doncker et Kowalski. (87)

Dans le pied creux, la rétraction de l'entrait s'accompagne de la verticalisation des arbalétriers qui creuse la ferme et approfondit sa concavité. La structure architecturale du pied en charge subit une légère détorsion hélicoïdale qui met en tension les ligaments plantaires à l'origine du pied creux varus.

► Le pied dynamique

Pour un bon déroulement du pied au sol ,deux triangles

- Le triangle statique postérieur qui assure un appui stable au sol .
- Le triangle dynamique antérieur qui assure le déroulement du pas et la propulsion .

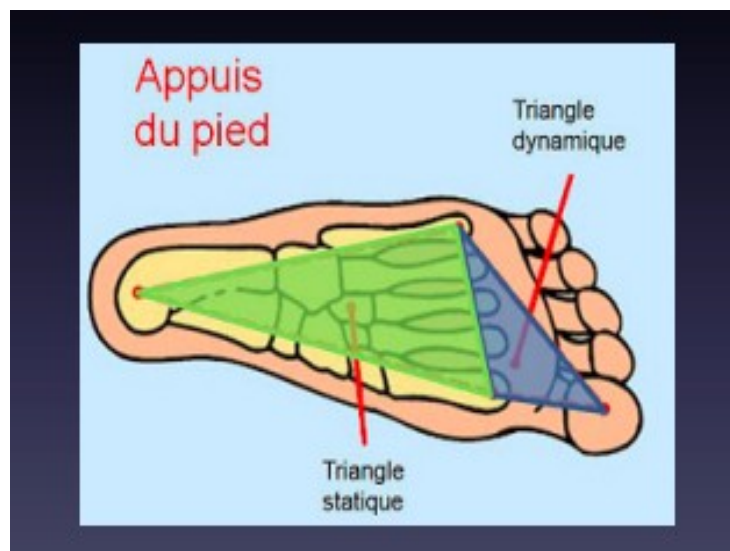


Fig 53 : La statique et la dynamique du pied. (90)

► Les caractéristiques biomécaniques du pied

L'alignement harmonieux des têtes métatarsiennes dans les plans horizontaux et frontaux est indispensable pour un bon équilibre de l'avant-pied en mouvement et une bonne répartition de l'équilibre des pressions plantaires. Le temps de mise en charge d'une tête est

lié à sa position par rapport à la parabole d'alignement. Plus la tête est en avant, plus la durée de la charge est longue et inversement (87).

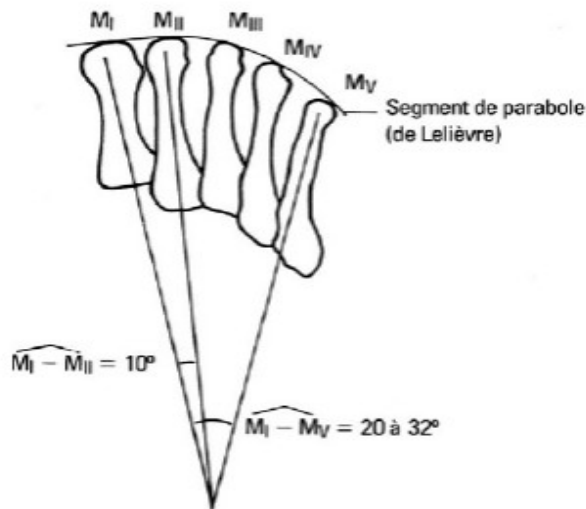


Fig 54 : La palette métatarsienne (87).

Dans un pied normale il ya un équilibre de charges sur toutes les têtes métatarsiennes

Dans le cas d'un pied creux ,la charge s'exerce plus sur la tête du premier métatarse et sur le cinquième métatarse (91).

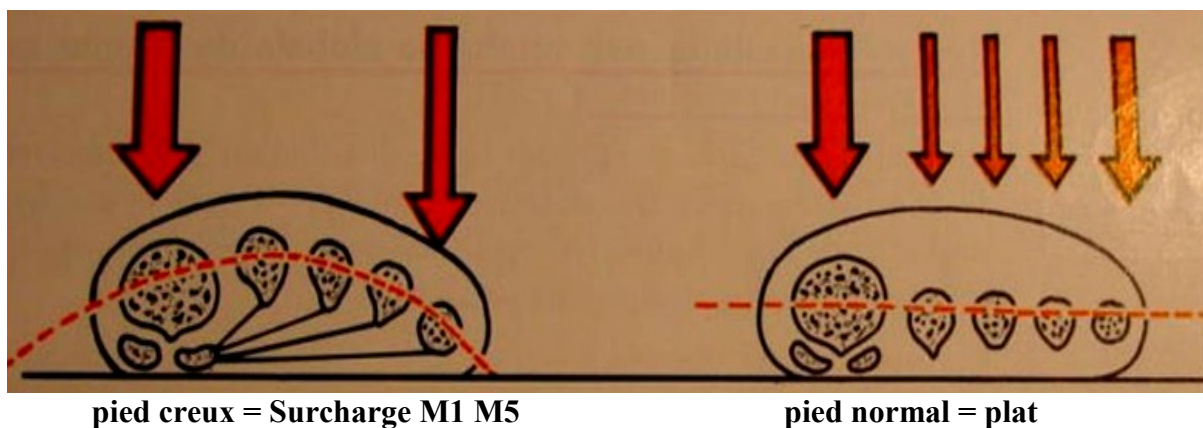
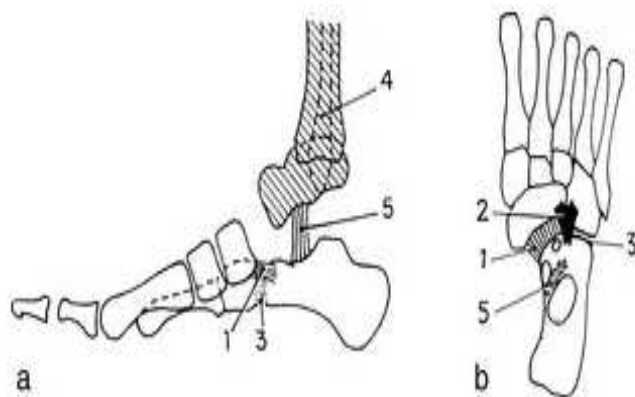


Fig 55 : Répartition des Charges sur le pied. (91)

► Le bloc calcanéo-pédieux. (92)

Le BCP est formé par le calcanéus et le médio-avant-pied, solidement unis entre eux par les ligaments calcanéo-cuboïdien, le ligament en **Y** de **Chopart** et le ligament calcanéo-naviculaire inférieur (ligament glénoïdien). Cette chaîne ostéo-articulaire se caractérise par une faible mobilité liée à la brièveté et à la solidité du complexe ligamentaire calcanéo-cuboïdien, en particulier plantaire, du ligament interosseux naviculo cuboïdien renforcé par le ligament en **Y**.



a- Le BCP séparé de l'UTTF(4), par le ligament Talo calcanéen interosseux (5).

b- Vue dorsale du BCP : il est formé par le calcanéus et le médio-avant-pied solidement unis par les ligaments calcanéonaviculaire plantaire (1), calcanéocuboïdo-naviculaire en Y de Chopart (2) et, calcanéocuboïdien (3).

Fig 56 : Le bloc calcanéopédieux. (92)

C'est **Mc Connail** qui reprend ce concept en 1945 sous le terme de «**lamina pedis**». En 1953, **Hicks**, puis **Inman** de 1964 à 1969, ont parfaitement intégré dans leurs travaux d'anatomie fonctionnelle le concept de **BCP**.

C'est seulement en 1950 que **R. Méary** et, **P. Queneau** ont donné ce nom à l'ensemble des os du pied à l'exception du talus.

C'est toujours autour de l'axe de **Henke** (oblique en bas, en arrière et en dehors) que se font les mouvements du **BCP** par rapport à l'UTTF.

Le mouvement d'inversion qui porte la pointe du pied en bas et en dedans s'accompagne d'un mouvement opposé de la tubérosité du calcanéus qui se porte en haut et en dehors. Le pivot est représenté par le ligament interosseux talo-calcanéen ou ligament en haie de **Farabeuf** avec deux faisceaux talo-calcanéen antérieur et postérieur, véritable ligament croisé.

► L'axe de HENKE

C'est une ligne fictive autour de laquelle s'effectuent les mouvements d'inversion et d'éversion, grâce à la participation de toutes les articulations de l'arrière-pied et du médio-pied avec une orientation oblique d'avant en arrière, de dehors en dedans et de bas en haut, on le fait passer pour être l'axe de la seule articulation sous-talienne. L'inclinaison de l'axe de **HENKE** est d'environ 45° dans le plan sagittal et frontal et d'environ 23° dans le plan horizontal. Il a pour caractéristique d'être parallèle à la ligne de marche grâce à l'ouverture du pas qui est d'environ de 15°. Cet axe pénètre en bas par la tubérosité postéro-externe du calcanéus et ressort en haut en avant, et en dedans par le col de l'astragale, dans sa partie interne. Il est donc oblique en haut, en avant, en dedans. Le mouvement dominant au niveau de la sous-astragaliennne étant la prono-supination.

L'articulation sous-astragaliennne combine des mouvements dans les trois plans de l'espace. Le calcanéus tourne par rapport à l'astragale suivant les trois axes anatomiques de référence. Les mouvements de supination (varus) et de pronation (valgus) s'effectuent dans le plan frontal. Les mouvements de flexion dorsale et plantaire se réalisent dans le plan sagittal.

L'abduction et l'adduction sont les mouvements horizontaux.

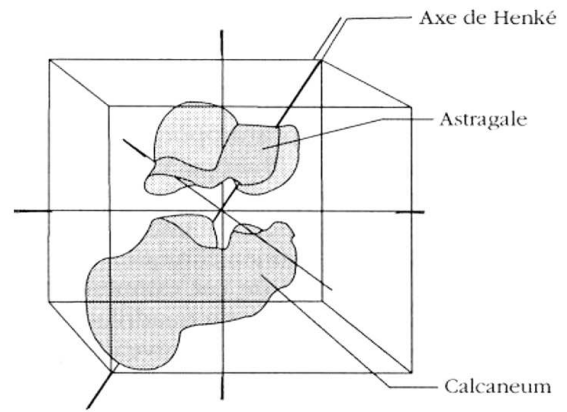


Fig 57 : L'axe de Henké d'après Calais-Germain. (93)

F- Les differentes morphologies du pied

Le pied egyptien se caracterise par un hallux plus long que les autres orteils.

Le pied grec c'est le deuxieme orteil qui depasse les autres.

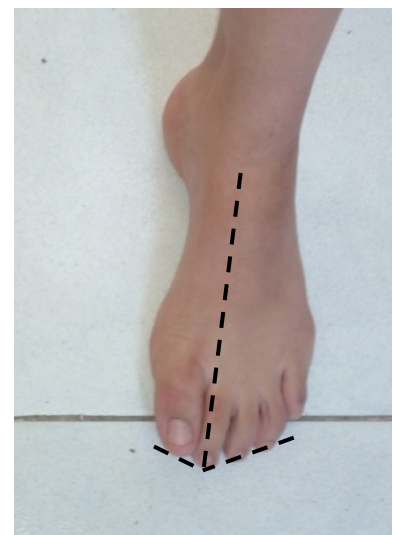
Le pied romain qui a des orteils de meme taille surtout les trois premiers.



Pied Egyptien



Pied Romain



Pied Grec

Iconographie 01 : Différentes formes du pied.

Source : ©photo personnelle.

VI- LE SYSTEME NERVEUX

Le système nerveux humain est responsable de l'envoi, de la réception et du traitement de l'influx nerveux. Il contrôle les actions et les sensations de toutes les parties du corps ainsi que la pensée, les émotions et la mémoire (94).

Il se compose d'un système nerveux central (SNC) et, un système nerveux périphérique(SNP).

Le système nerveux périphérique naît de la moelle épinière pour les nerfs spinaux et le tronc cérébral pour les nerfs crâniens (95).

Le système nerveux périphérique fait le lien entre le système nerveux central et les organes cibles périphériques (muscles, viscères). Sur le plan fonctionnel, il se subdivise en deux catégories :

- ♦Le système nerveux somatique : il s'agit de fibres nerveuses dont la fonction est motrice et/ou sensitive (voire sensorielle).

- ♦ Le système nerveux autonome : il s'agit de fibres nerveuses en charge de l'innervation des organes internes et de leurs enveloppes, et donc de l'homéostasie de l'organisme.

Le système nerveux central est formé de l'encéphale et la moelle épinière qui est le centre de réception des informations et le traitement des données d'où part l'influx nerveux de commande.

A-L'organisation du système nerveux périphérique

Il est formé de 12 paires de nerfs crâniens et 31 paires de nerfs rachidiens .Il est composé de deux voies :

1- La voie sensitive (voie afférente)

Elle est constituée de neurones sensitifs somatiques et viscéraux et au niveau de laquelle la propagation des influx viennent des récepteurs périphériques.

2- La voie motrice (voie efférente) (96).

Elle est constituée de neurones moteurs à l'origine des influx .Elle est subdivisée en deux types :

- ♦Le système nerveux autonome qui assure l'innervation du muscle lisse, le myocarde, les glandes, il assure la régulation des fonctions vitales internes et possède :

- le système sympathique qui tend à activer les organes.
- le système parasympathique qui tend à les mettre au repos ; les deux peuvent être excitateur et inhibiteur.

- ♦ Le système nerveux somatique participe à la relation de l'organisme.

B- Le Neurone

Il est l'unité fonctionnelle du tissu nerveux caractérisée par son :

- Excitabilité : le neurone est une cellule hautement spécialisée .Ce neurone a la capacité de se polariser et se dépolariser à potentiel électrique.

- Longévité : les neurones de l'humain ont pour durée toute la vie, le cerveau en possède près de 10 milliards.
- Indivisibilité et unicité : le nombre de neurones est prédéfini à la naissance car aucune autre division cellulaire ne peut se faire après pour donner d'autres neurones. Toute destruction après la naissance est définitive.
- Son métabolisme élevé : les neurones nécessitent un apport régulier et constant en glucose et en oxygène ; toute privatisation engendrera des séquelles irréversibles au-delà de 3mn d'anoxie.

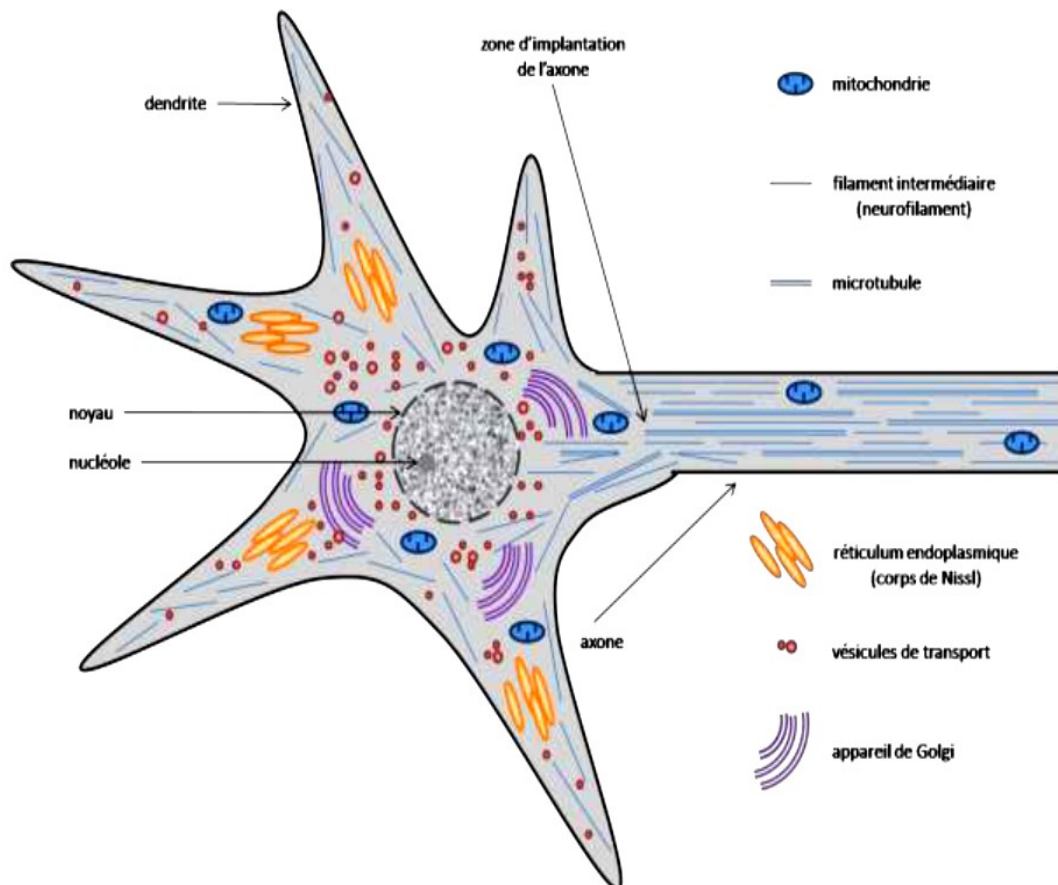


Fig 58 : Structure générale du neurone. (97)

1- La morphologie et la structure

Le neurone se compose de :

- ♦ Un ou plusieurs dendrites où circule l'influx nerveux de distal au corps cellulaire.
- ♦ Un corps cellulaire ou stroma de forme étoilée avec de multiples prolongements (dendrites). Il renferme un gros noyau et un gros nucléole. Sa membrane est formée de deux couches de phospholipides. Le cytoplasme du corps cellulaire des neurones est riche en amas de réticulum endoplasmique rugueux « **corps de NISSL** » ou **substance Tigroïde**.
- ♦ L'axone : c'est un prolongement unique issu de la base du corps cellulaire de quelques mm pour les nerfs crâniens à plus d'un mètre pour les nerfs issus de la moelle vers les orteils, il se termine par des renflements appelés boutons synaptiques qui sécrètent des neurotransmetteurs à l'origine de la transmission synaptique. Cet axone peut être recouvert ou

pas par une gaine lipidique appelée **gaine de myéline**. Le nerf est la réunion dans une même gaine de plusieurs axones.

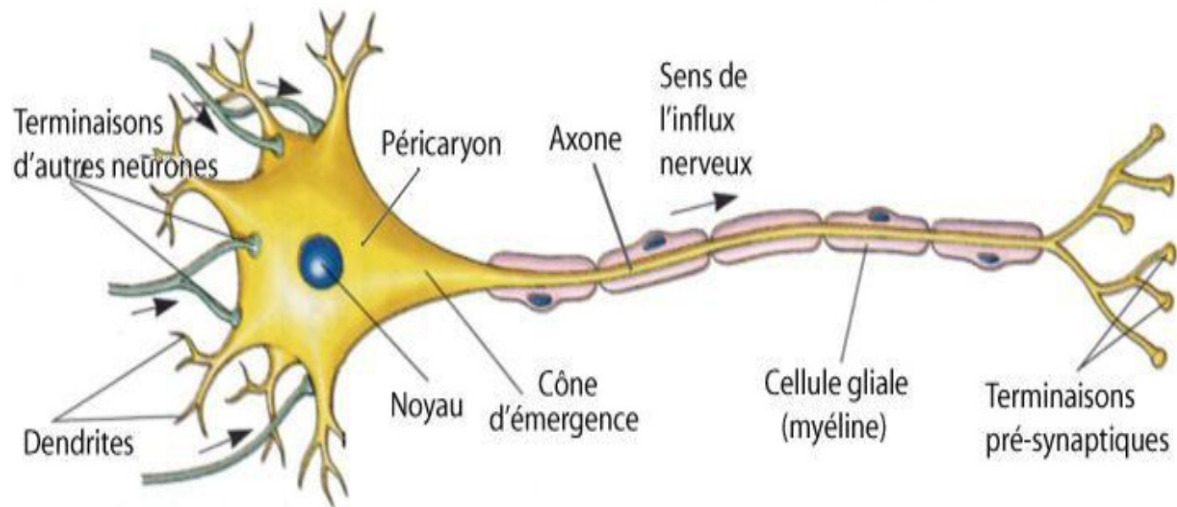


Fig 59 : Structure schématique d'un neurone, indiquant par une flèche le sens de l'influx nerveux. (94)

2- La gaine de myéline

Les axones peuvent être recouverts par une gaine de myéline qui correspond à l'enroulement des couches de phospholipides concentriques de façon discontinu sur l'ensemble de l'axone, il s'agit alors de fibres myéliniques par analogie aux fibres amyéliniques. Ces gaines sont espacées tous les 1-2 mm par les nœuds de **RANVIER**. Cette gaine de myéline est elle-même entourée de gaine appelée **gaine de Schwann**. Dans le SNP, ce sont les cellules de cette gaine de **Schwann** qui produisent la myéline.

Chaque cellule de **Schwann** va venir entourer une portion d'axone qu'elle va envelopper ensuite de plusieurs tours de sa membrane. La gaine de myéline sera interrompue par des nœuds de **RANVIER**. Chaque espace entre deux nœuds correspond à une cellule de **Schwann**. La gaine de myéline est responsable de la couleur blanche des nerfs périphériques.

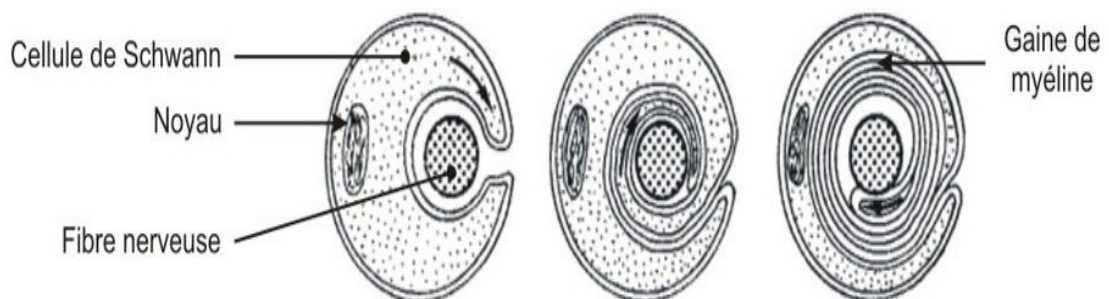


Fig 60 : Processus de myélinisation. (98)

Cette gaine de myéline est lésée dans les neuropathies périphériques démyélinisantes.

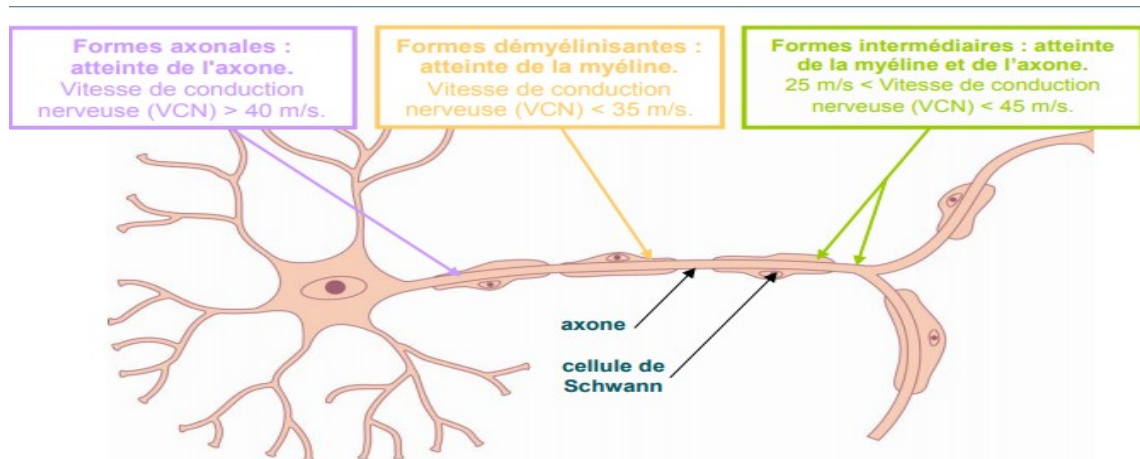


Fig 61 : Les différentes formes de maladie de C.M.T . (99)

3- La synapse ou bouton synaptique

C'est un endroit par lequel les neurones communiquent entre elles appelé **Synapse** qui est représentée par une terminaison renflée d'une branche axonale et faisant le lien entre l'axone et un autre neurone ou organe effecteur (muscle) .Elle transmet l'influx nerveux par l'intermédiaire des neurotransmetteurs qu'elle va libérer des fentes synaptiques et qui vont venir stimuler la zone post synaptique .Ce stimuli chimique sera converti en potentiel d'action électrique.

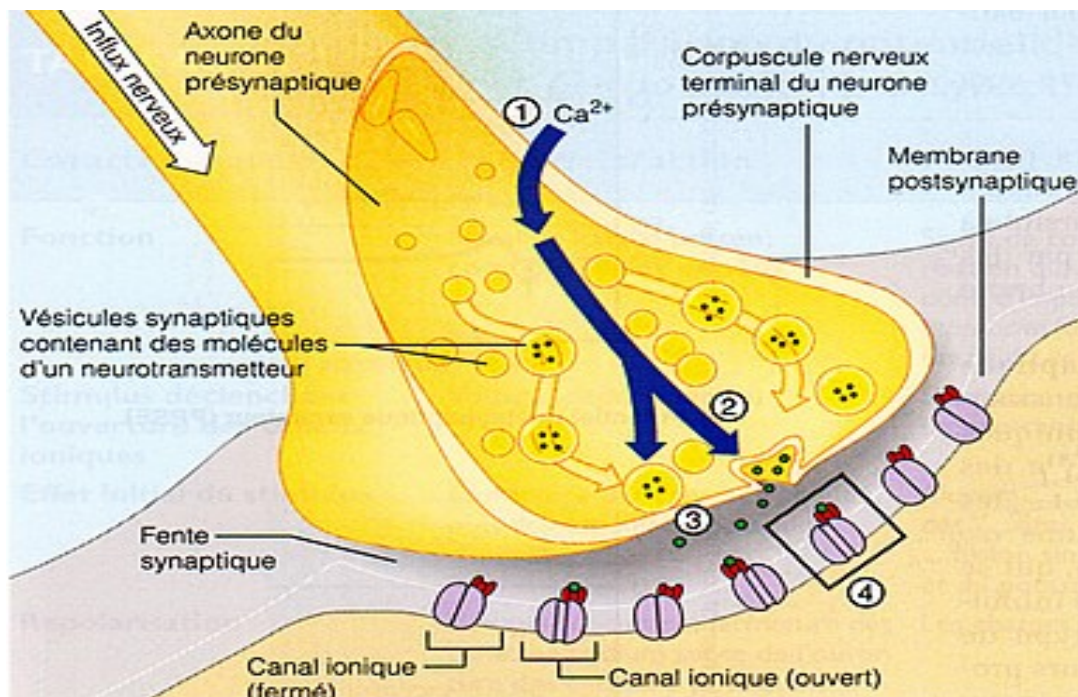


Fig 62 : Schéma d'une synapse. (100)

4- Les catégories morphologiques des neurones

♦ Les neurones multipolaires : corps très ramifié en étoile avec de multiples dendrites qui s'opposent à un axone unique, c'est la forme la plus fréquente.

♦ Les neurones bipolaires : possède une seule dendrite et un seul axone, le sens de l'influx est toujours de la dendrite vers l'axone.

♦ Les neurone unipolaires ou en T : la dendrite et l'axone sont dans le prolongement l'un de l'autre.

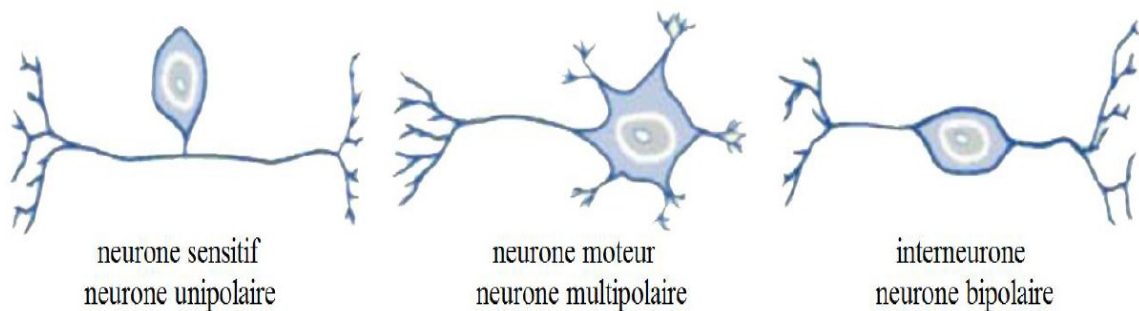


Fig 63 : Morphotype des neurones. (101)

5- La configuration fonctionnelle des neurones

♦ Les neurones afférents ou sensitifs conduisent l'influx nerveux centripète des récepteurs sensoriels périphériques vers le SNC. Ce sont les neurones unipolaires en T dont les stromas sont situés dans les ganglions spinaux.

♦ Les nerfs efférents ou moteurs conduisent l'influx nerveux centrifuge du SNC vers les effecteurs (muscle), ils contrôlent ainsi l'activité motrice volontaire, ce sont des neurones multipolaires dont le stroma se trouve dans le névraxe.

♦ Les neurones d'associations ou inter neurones, ils ont pour rôle de transmettre l'influx nerveux d'un neurone à l'autre au sein même du névraxe entre neurones moteurs et sensitifs.

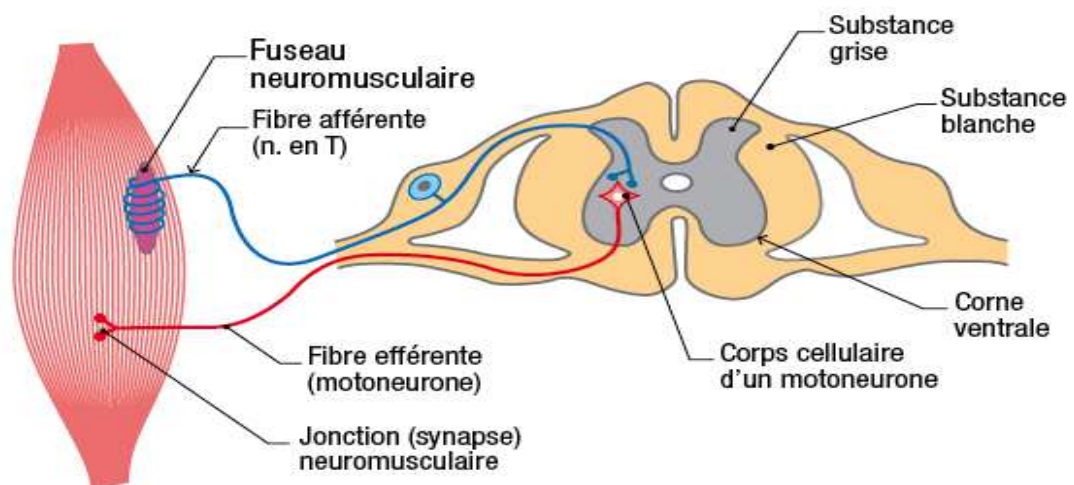


Fig 64 : Schéma de neurone afférente sensitif en T (bleu) et motoneurone efférente (rouge). (102)

6- L'influx nerveux

L'influx nerveux transmet l'information à travers un signal appelé influx nerveux, ce signal résulte d'un changement de la répartition des ions de part et d'autre de la membrane cellulaire. (103)

Pour les neurones sensitifs : l'influx nerveux prend naissance d'un récepteur périphérique et se propage le long de la fibre nerveuse jusqu'à son arborisation terminale en passant par le stroma ; la naissance de l'influx nerveux est la conséquence des phénomènes physico-chimiques qui ont lieu au niveau du récepteur.

Pour les motoneurones : l'influx nerveux prend naissance au niveau de la jonction du corps cellulaire et de l'axone ; il est la conséquence des phénomènes physico-chimiques intervenus au niveau du corps cellulaire à la suite de la stimulation du neurone moteur par un autre neurone.

L'influx nerveux parcourt toute la fibre par propagation saltatoire et atteint l'arborisation terminale .La transmission du potentiel d'action se fait à vitesse constante le long d'une fibre nerveuse normale.

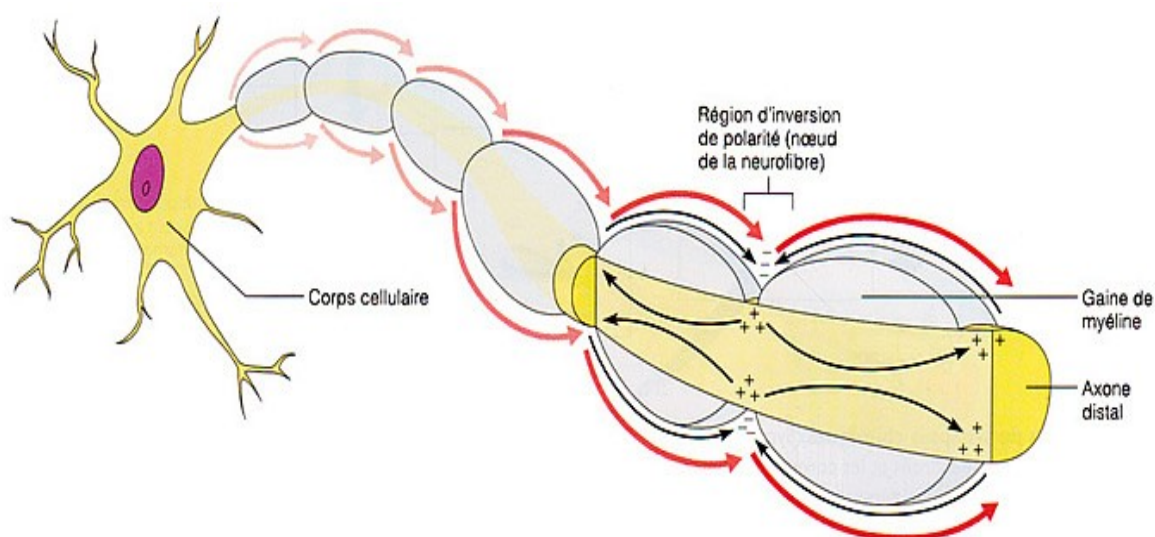


Fig 65 : Propagation saltatoire de l'influx nerveux. (100)

C- Les nerfs périphériques

Les nerfs périphériques sont les très nombreux nerfs reliant le SNC aux différents muscles et organes. La fibre nerveuse ou cylindraxe n'est autre que le prolongement d'un neurone (axone) entouré de gaine.

On distingue 4 types de nerfs selon cette répartition :

- ♦ Les fibres sans gaine de **Schwann** ni myéline : ce sont les fibres nues que l'on retrouve pendant le développement embryonnaire.
- ♦ Les fibres avec gaine de **Schwann** mais sans myéline : ce sont les fibres dites de **REMAK** qui constitue les nerfs viscéraux (végétatifs) de couleur grise.

♦ Les fibres myélinisées mais sans gaine de **Schwann** : substance blanche du SNC et du nerf optique.

♦ Les fibres myélinisées et avec gaine de **Schwann** : ce sont les plus typiques et les plus abondantes, elles constituent les nerfs périphériques.

On peut définir la fibre myélinisée comme un ensemble de cellules de **Schwann** qui sont enroulées autour d'un seul axone et la fibre amyélinique si plusieurs axones sont entourés d'une seule cellule de **Schwann**. (104)

1- La structure du nerf périphérique

Le nerf périphérique est sous forme d'un cordon blanchâtre cylindrique plus au moins gros et inextensible.

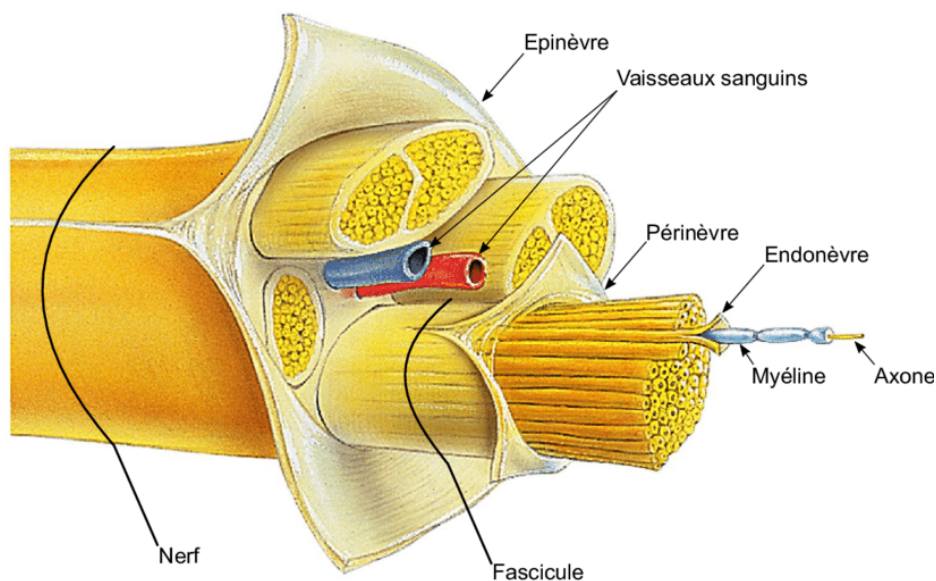


Fig 66 : Structure du nerf périphérique. (97)

Il est formé par des faisceaux de fibres nerveuses appelés fascicules nerveux entourés par la périnèvre qui envoie à son tour des cloisons appelées endonèvre. Chaque fascicule est entouré à son tour par un tissu conjonctif collagène appelée l'épynèvre. Entre les fascicules courent les vaisseaux sanguins.

a- Le fascicule

Il est formé par un groupe de fibres nerveuses entourées par la périnèvre. L'ensemble des fibres nerveuses qui constituent le fascicule peuvent être myélinisées ou amyéliniques. Ces fibres nerveuses sont associées à un tissu conjonctif endo fasciculaire. (105)

b- La classification neurophysiologique des fibres nerveuses

♦ Les fibres sensibles

On distingue 04 variétés en fonction de leur calibre et la vitesse de conduction :

-**variété 1** : ce sont les fibres myélinisées de gros calibre ; elles transportent les influx de la sensibilité proprioceptive inconsciente.

-**variété 2** : moins volumineuses, elles transmettent les influx de la sensibilité tactile épicrotique et proprioceptive consciente (sensibilité profonde).

-**variété 3** : moins volumineuses et à vitesse de conduction lente, elles transmettent les influx des sensibilités thermique.

-**variété 4** : fibres très minces, sans gaine de myéline, elles jouent un rôle dans la transmission de la douleur.

♦ Les fibres motrices

Les deux sortes de fibres motrices se trouvant dans les nerfs périphériques ont leurs corps cellulaires dans la substance grise de la moelle, ces corps cellulaires sont appelés motoneurones :

-Motoneurone alpha dont l'axone innerve les fibres musculaires squelettiques responsable de l'activité musculaire et du mouvement.

-Motoneurone gamma qui innerve la partie musculaire des fuseaux neuromusculaires qui régulent le tonus musculaire.

On sait que les anomalies génétiques en cause dans la maladie de **C.M.T** perturbent le fonctionnement des nerfs périphériques qui transmet moins bien l'influx nerveux. Ces nerfs périphériques relient les cellules périphériques (cellules musculaires, cellules sensorielles de la peau, cellules sensorielles des articulations...) à la moelle épinière, elle-même reliée au cerveau (système nerveux central)

Dans la maladie de **C.M.T**, l'anomalie génétique entraîne un changement :

♦ Soit de la myéline ou des cellules de **Schwann** qui la fabriquent (**C.M.T** de forme démyélinisante : **C.M.T1**, **C.M.T4**). Dans la **C.M.T1A**, l'anomalie génétique est située au niveau du gène **PMP22** qui code un des composants de la myéline, la protéine PMP22 (peripheral myelin protein 22).

La protéine **PMP22** est produite en quantité excessive (duplication du gène **PMP22**) qui sera à l'origine d'un ralentissement de la vitesse de propagation de l'influx nerveux d'où la contraction moins forte du muscle et/ou la sensibilité est diminuée.

♦ Soit de l'axone lui-même (**C.M.T** de formes axonale : **C.M.T2**). Dans la **C.M.T2A1**, où la kinésine-1 bêta (codée par le gène **KIFB**) est absente. La kinésine-1 bêta permet de transporter des molécules importantes le long de l'axone. Si dans un nerf, plusieurs axones sont endommagés, le signal transmis est de moindre intensité. Le muscle, alors se contracte moins fort et/ou la sensibilité est diminuée.

♦ Certains gènes, comme le gène **MPZ** sont impliqués à la fois dans des formes axonales et dans des formes démyélinisantes. Ce gène code la protéine **MPZ** (myéline protein zero) qui est nécessaire à la formation et à l'entretien de la gaine de myéline. L'altération de ce gène entraîne une démyélinisation des fibres nerveuses (**C.M.T** de type démyélinisant). Par contre, les mécanismes par lesquels ces anomalies peuvent entraîner une **C.M.T** de type axonale restent à découvrir. (94)

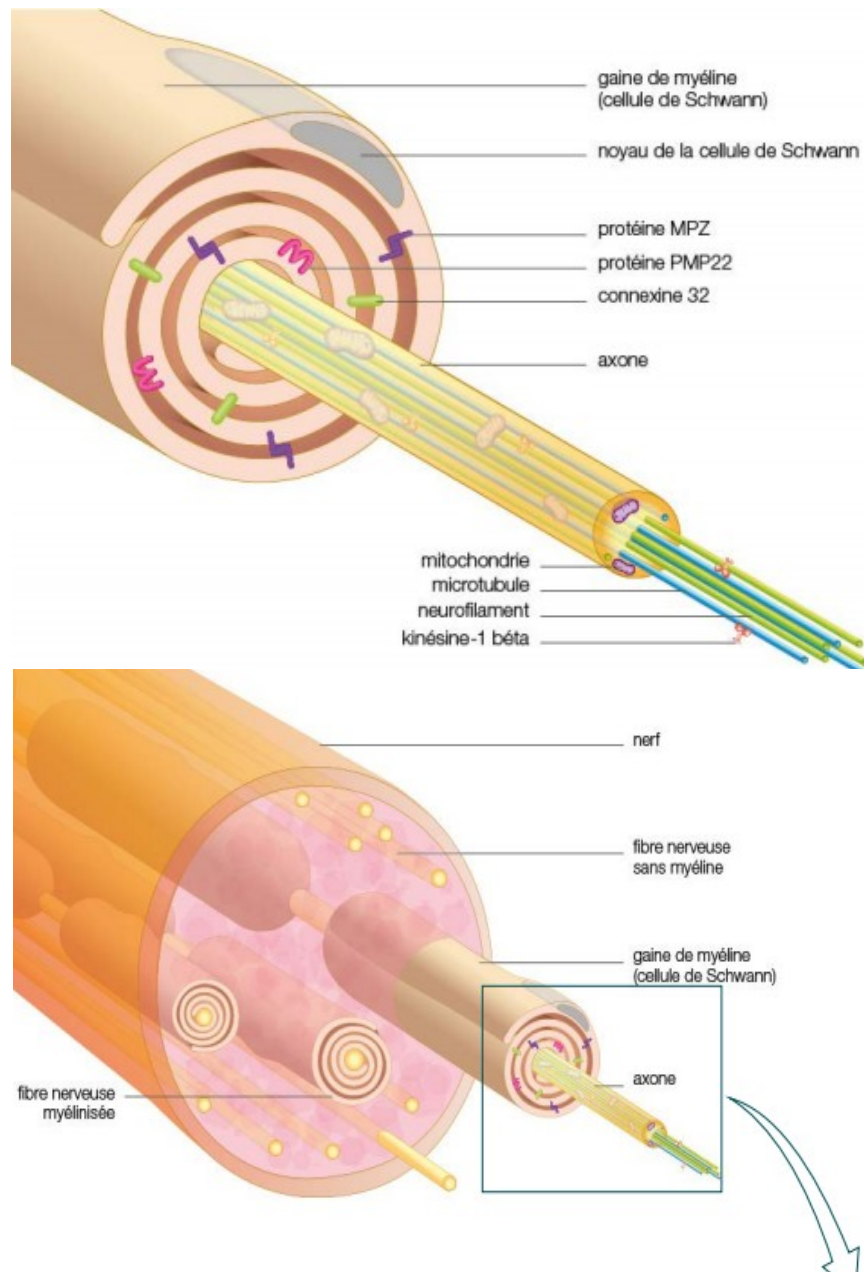


Fig 67 : Anatomie microscopique d'une coupe d'une gaine de myéline. (95)

VII- ETIOPATHOGENIE

Plusieurs hypothèses ont été citées quant à l'étiologie du pied creux (106). Parmi elles : l'étude réalisée par **BREWERTON**, et al (23) qui ont consulté 77 patients avec des pieds creux dont 51 patients soit (66 %) avaient des signes cliniques orientant vers une atteinte neurologique. Ce taux se trouve en hausse après des études électromyographiques pour atteindre les 75 %. Les 25% restants ont été considérés comme idiopathiques.

Pour notre étude, tous les pieds creux sont d'origine neurologique, par ordre décroissant de fréquence et de gravité (107), on retrouve :

A- Le pied creux neurologique

1- Pied creux neurologique par atteinte périphérique (**HMSN**) type maladie de Charcot-Marie-Tooth(**C.M.T**)

La maladie de Charcot -Marie- Tooth ou neuropathie sensitivomotrice héréditaire regroupe un ensemble de neuropathies tant sur le plan phénotype clinique que génétique. Les **C.M.T** représentent les neuropathies héréditaires les plus fréquentes avec une prévalence de 17- 40 pour 100 000 habitants dans la population générale. (108)

a- L'historique

Près de 130 années se sont passées depuis la première description du même syndrome neurologique familial, dénommé (amyotrophie péronière) par deux français **Jean Martin Charcot et Pierre Marie à Paris**, ainsi que **Briston Howard Henry Tooth en Angleterre** en 1886. Ce syndrome portera plus tard leurs noms. La maladie a été déjà définie, par un début dans l'enfance, dû à une dénervation entraînant une faiblesse et une atrophie musculaire d'évolution lentement progressive, affectant d'abord les pieds et les jambes et plus tard les mains. L'atteinte précoce des muscles péroniers et l'apparition d'une déformation du pied et la moindre intensité de l'atteinte sensitive étaient soulignées, tout comme la tendance de la maladie à affecter plus d'un membre d'une même famille.

(1825-1893)

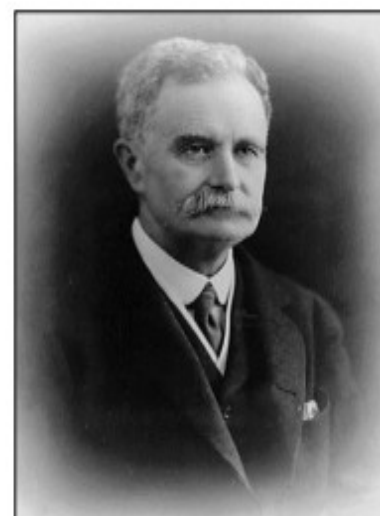
(1853-1940)

(1856–1925)

Dr Jean Martin Charcot

Dr Pierre Marie

Dr Howard-Henry Tooth



En 1957, **Gilliatt et Thomas** décrivent des ralentissements très importants des vitesses de conduction des nerfs moteurs avec une atrophie musculaire péronière chez certains patients.

Dyck et Lambert (1968) et **Thomas et Harding** (**Thomas al** en 1974 ; **Harding and Thomas** en 1980) ont contribué à une classification des atrophies musculaires péronières selon le mode de transmission, les signes cliniques, électrophysiologiques et anatomo-pathologiques. Ils ont introduit le terme « **Hereditary Motor and Sensory Neuropathy (HSMN)** » (**Thomas et al 1974**) (109); (**Dyck ,1975**) (110) décrivent :

- HSMN type 1: forme hypertrophique autosomique dominante avec des vitesses de conduction nerveuse diminuées et dans laquelle a été observée une démyélinisation segmentaire et une remyélinisation des nerfs périphériques.
- HSMN type 2: forme autosomique dominante avec des vitesses de conduction nerveuses conservées ou discrètement ralenties, dans laquelle l'étude anatomo-pathologique a montré une dégénérescence axonale et une régénération.
- HSMN type 3: la maladie décrite par **Déjerine et Sottas** comme une neuropathie sévère démyélinisante et hypertrophique à début précoce.
- HSMN type 4: la neuropathie hypertrophique autosomique récessive retrouvée dans la **maladie de Refsum**.
- HSMN type 5: atrophie musculaire péronière et paraplégie spastique.
- HSMN type 6: amyotrophie péronière associée à une atrophie optique.
- HSMN type 7: amyotrophie péronière associée à une rétinopathie pigmentaire.

La forme démyélinisante **C.M.T1** correspond à **HSMN** type1.

La forme axonale **CMT2** correspond à **HMSN** type 2.

HMSN type 3 à été remplacé par la neuropathie de **Déjerine et Sottas**(DSN).

La découverte de nombreux gènes a permis de distinguer en dehors des formes courantes une forme intermédiaire dominante et récessive qui peut être motrice pure, axonale ou à des formes démyélinisante de **C.M.T**.

b- Le mode de transmission

La maladie de **C.M.T** est généralement transmise selon un mode autosomal dominant (**C.M.T1 –C.M.T2-C.M.T intermédiaires**).Les **C.M.T** autosomiques récessives démyélinisante sont regroupées en **C.M.T4**. Les cas sporadiques sont fréquents et peuvent être dûe à des mutations de Novo. (111), (112)

Afin de déterminer le mode de transmission, il est impératif de faire un examen clinique et électrophysiologiques des parents du premier degré.

c- L'aspect électrophysiologique

La maladie de **C.M.T1** est caractérisée par un ralentissement marqué des vitesses de conduction nerveuse (inférieure à 38m/s dans les nerfs moteurs du membre supérieur, ce qui est une preuve indirecte de dysfonctionnement de la myéline et, est considérée comme un signe de démyélinisation ou d'hypomyélinisation. Elle peut être due à des anomalies ioniques et des interactions de la cellule de **Schwann** axone.

Les neuropathies hypertrophiques, telles que **C.M.T** et le syndrome de **Déjerine et Sottas** ont un ralentissement des VCNM (vitesse de conduction nerveuse motrice) qui sont uniformes et diffuses car il existe dans ces cas un dysfonctionnement généralisé de la myéline et des cellules de **Schwann**. La maladie de **C.M.TA1** est due à la duplication du gène **PMP22** (peripheral myelin protein 22). Dans tous les types de **C.M.T**, l'examen **EMG** à la détection montre des signes de dénervation chronique avec augmentation de l'amplitude et de la durée du potentiel moteur, les muscles distaux sont plus touchés que les proximaux (113).

d- La biopsie nerveuse

Un rôle considérable a été donné à la biopsie nerveuse qui se fait sur le nerf sural des patients atteints de la forme démyélinisante de la maladie de **C.M.T**. La biopsie montre une démyélinisation segmentaire avec formation de bulbes d'oignons comparés à la forme axonale de la maladie de **C.M.T** qui montre une perte axonale, absence de bulbe d'oignons et de démyélinisation.

La biopsie nerveuse est réservée pour les cas où le diagnostic n'est pas obtenu par le test génétique, d'où elle constitue un examen peu utile dans les pays qui disposent des techniques de biologie moléculaires.

e- La génétique

Plus de 60 gènes ont été recensés dans la maladie de **C.M.T**. Le phénotype **C.M.T** est causé par des mutations dans des gènes qui codent pour des protéines à des endroits différents touchant la myéline, des cellules de **Schwann**, les axones et qui à leur tour sont concernés par les différentes fonctions allant de l'entretien de la myéline à la formation du cytosquelette, transport axonale et le métabolisme mitochondrial. Alors que le désordre métabolique ou structurel affecte la myéline ou l'axone, le processus dégénératif axonale touche les fibres les plus larges et les plus longues, ceci explique le phénotype typique de la maladie de **C.M.T** qui débute en une atteinte distale en progression vers une atteinte proximale (114). Les progrès de la génétique et de la biologie moléculaire ont ouvert une voie à la recherche sur la maladie de **C.M.T**.

f- La classification génétique des maladies de C.M.T

♦ Les Formes démyélinisantes de C.M.T

► La forme démyélinisante autosomique dominante

C'est une affection héréditaire, transmise selon le mode autosomique dominant (115).



Iconographie 02 : Pied cavovarus invétéré avec instabilité de la cheville sur maladie de C.M.T démyélinisante type A1

Source : ©photo personnelle.

Ce sont les formes les plus fréquentes de la maladie de **C.M.T**. La forme la plus fréquente est celle reliée à la duplication du gène (**PMP 22**) classée **C.M.T.A1** et représente 70% de **C.M.T1** (116).

Anatomiquement, elle se caractérise par une atteinte des fibres myéliniques. Les vitesses de conduction nerveuse sont effondrées (117) et sont caractéristiques de la maladie, aux quatre membres.

L'atrophie musculaire débute par les pieds, puis les mains et va devenir peu à peu considérable. L'évolutivité est variable d'un cas à l'autre au sein d'une même famille, donc l'examen des pieds des parents ainsi que la mesure des vitesses de conduction nerveuse est indispensable.

► La neuropathie avec hypersensibilité à la pression

Elle se transmet, selon le mode autosomique dominant se caractérise par des épisodes de déficit moteur focal touchant un tronc nerveux qui se voit après une compression prolongée des nerfs (position accroupie). Les vitesses de conduction nerveuse motrice montrent un ralentissement diffus dans les parties étroites. Il s'agit d'une délétion du gène **PMP22** dans 90 % des cas (114).

► Les formes autosomiques récessives démyélinisantes (**C.M.T4**)

Elles sont rares mais fréquentes chez les familles consanguines ; il existe actuellement plus de 10 gènes dénommés **C.M.T4 A** jusqu'à **C.M.T.J**.

♦ Les formes intermédiaires de **C.M.T**

Ces **C.M.T** ont une **VCM** du nerf médian entre 25-45m/s avec des formes dominantes et des formes exceptionnelles récessives.

♦ Les formes liées au chromosome X

Les gènes **GJB1** codant pour la connexine 32 exprimés par les cellules de **Schwann** et les oligodendrocytes sont les gènes les plus fréquemment impliqués dans **C.M.T.X** (118).

♦ Les formes axonales de la maladie de **C.M.T**

♦Les formes axonales dominantes de la maladie de C.M.T(C.M.T2)

La **C.M.T2** est aussi fréquente que la **C.M.T1** mais le diagnostic n'est établi que pour 30% des cas. Elle se manifeste par une atrophie optique, surdité et une atteinte des cordes vocales dans les formes sévères.

► Les formes axonales autosomiques récessives des **C.M.T(ARC.M.T2)**

Décrite pour la première fois par **Dyck et Lambert** en 1968, les gènes sont sur le chromosome **8q** (119), (120), (121).

2- Les neuropathies héréditaires sensitivomotrices type III

Elles correspondent à la névrite interstitielle de **Déjerine-Sottas** (11) avec hypertrophie de la gaine de **Schwann** et altération de la myéline. Il s'agit d'une maladie à transmission autosomique récessive. Elle se caractérise par :

- Des paralysies avec atrophie des extrémités des membres avec altération des reflexes ostéo tendineux.
- Des fibrillations musculaires.
- Des déformations en pieds creux particuliers (122) avec anesthésie plantaire, associée souvent à des ulcérations rebelles et récidivantes.
- Une cyphoscoliose.
- L'évolution est plus sévère et les processus de démyélinisation l'emportent sur la remyélinisation.

3- La maladie de Friedrich

C'est une dégénérescence des faisceaux spino-cérébelleux du système nerveux central se transmet selon un mode autosomique récessif, qui touche les deux sexes dans les mêmes proportions.

Dans sa forme complète (atteinte périphérique et centrale), elle comporte trois syndromes avec fréquemment une atteinte cardiaque et syndrome dysmorphique ; un syndrome pyramidal d'évolution sévère avec perte de l'autonomie

4- L'atteinte pyramidale ou extra pyramidale d'origine encéphalique (l'hémiplégie cérébrale infantile)

L'hémiplégie cérébrale infantile fait partie du tableau clinique de l'infirmité motrice cérébrale (IMC), où le creux n'est pas la déformation la plus fréquente du pied (123). Le pied creux peut révéler l'hémiplégie mais de façon exceptionnelle.

5- Le dysraphisme ou Spina Bifida

C'est une atteinte de la moelle lombo-sacrée due à une anomalie du développement embryonnaire au cours de la 3^{ème} semaine. Les malformations du pied sont fréquentes et varient avec le niveau de l'atteinte métamérique.

► Les signes orthopédiques (124):

- Un pied creux,
- Une scoliose d'aggravation progressive avec dysurie,
- Une déviation rachidienne,

- Des anomalies cutanées,
- Des anomalies des membres inférieurs sont suspectes d'une malformation vertébro - médullaire.

► Les signes neurologiques (125) :

- L'amyotrophie,
- L'abolition d'un ou plusieurs réflexes tendineux,
- L'anesthésie en selle,
- L'abolition du réflexe anal.

6- Le pied creux sur myopathies

C'est au cours des myopathies congénitales que sont fréquemment constatées les dysmorphies (94) avec le pied creux. Ils ont un début précoce, une évolution lentement progressive, une hypotonie et un déficit musculaire modéré avec une diminution des réflexes ostéo tendineux. Dans le cadre des dystrophies musculaires qu'elles soient congénitales ou progressives comme la dystrophie de **Becker de Duchenne** ou **d'Emery-Dreifuss**, les rétractions musculaires expliquent la présence du pied creux.

Enfin, les myopathies distales, caractérisées par une atteinte sélective des muscles distaux s'associant parfois à un pied creux, ont été longtemps confondues avec la maladie de **C.M.T.**

B- Le pied creux non neurologique

1- Le pied creux non paralytique

- Rares
- Cal vicieux post fracturé, séquelles de brûlure graves (126).
- Pied creux congénital : exceptionnel et évolue toujours favorablement
- Creux par décompensation d'une torsion excessive du squelette jambier.

2- Le pied creux essentiel

Le caractère idiopathique du pied creux est défini par l'absence de résultat de l'enquête étiologique. Sa fréquence semble diminuée par un bilan neurologique effectué et la recherche génétique et de biologie moléculaire.

Ainsi, le pied creux essentiel doit rester un diagnostic d'élimination (107) , bien que sa fréquence dans diverses séries varie de 10 à 30 %.La présence très fréquente d'antécédents familiaux le considère comme le symptôme d'une pathologie neurologique occulte, voire comme le prodrome d'une pathologie non encore identifiable.

VIII- PHYSIOPATHOLOGIE

A- La physiopathologie des pieds creux directs

Il s'agit d'une déformation qui se fait dans le plan sagittal, on distingue 3 types de pied creux direct.

1- Le pied creux direct antérieur

Il est lié à une chute de l'avant pied en rapport avec une paralysie des extenseurs des orteils, il se crée alors un dénivellement entre l'avant pied et l'arrière pied. Pour permettre un appui plantigrade, l'articulation tibio tarsienne intervient par horizontalisation du talus qui s'accompagne d'une verticalisation du calcaneus

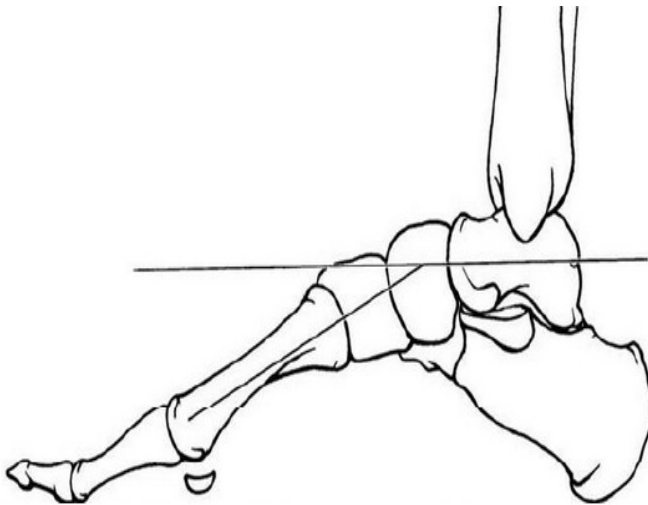


Fig 68 : Pied creux direct antérieure. (11)



Source : ©photo personnelle

2- Le pied creux direct postérieur

Le calcaneus se verticalise par paralysie du muscle triceps, il s'ensuit une horizontalisation du talus pour permettre un appui plantigrade

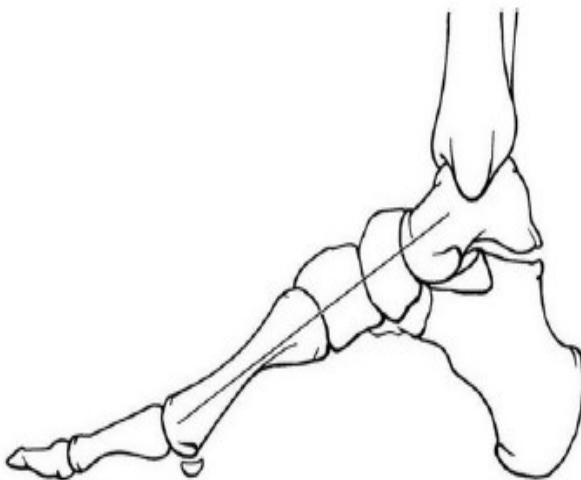


Fig 69 : Pied creux direct postérieure.(11)

3- Le pied creux mixte

Il associe des déformations antérieures et postérieures

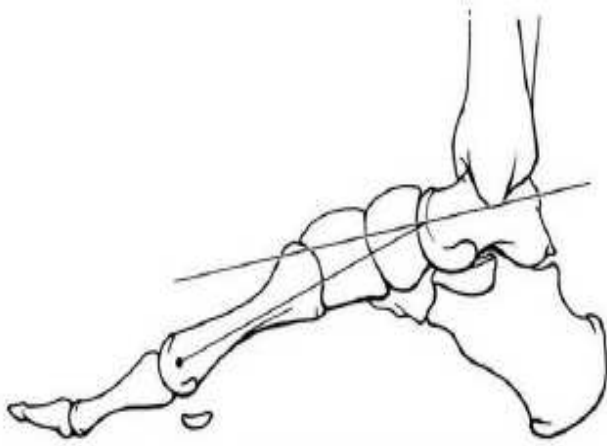


Fig 70 : Pied creux mixte. (11)



Source :©photo personnelle

B- La physiopathologie des pieds creux cavovarus ou antéro-interne

C'est la déformation typique des pieds creux neurologiques sur maladie de **Charcot Marie Tooth**, mal tolérée à cause du déficit neurogène des muscles intrinsèques du pied bien élucidés par les travaux de **DUCHENE DE BOULOGNE**. Le trouble initial est représentée par un déséquilibre des muscles intrinsèques qui vont induire une déformation multi planaire (sagittal, frontal et horizontal) (12). La paralysie des muscles intrinsèques entraîne une hyper extension des métatarso- phalangiennes de la première phalange de (P1) qui est due à un déficit de contraction des muscles courts plantaires aggravé par une contraction anormale des extenseurs des orteils. Cette hyper extension métatarso phalangienne entraîne une rétraction de l'aponévrose plantaire d'où creusement de l'arche médial dont l'apex de la déformation siège au niveau des os cunéiformes. Ce creux s'accompagne d'une pronation de l'avant pied par verticalisation du premier métatarse (M1). Pour rétablir l'appui tripode ; le bloc calcanéopédieux se met en supination d'où varus de l'arrière pied. (127)

En charge, cette supination du bloc calcanéopédieux n'est possible que par la rotation externe de l'unité tibio-fibulaire sur le bloc calcanéopédieux. Dans le pied creux cavovarus, il s'agit d'une déformation tridimensionnelle en hélice en rapport avec une maladie de l'avant pied.

Une flexion compensatrice des articulations inter-phalangiennes génère des griffes d'orteils prédominant sur les orteils médiaux et évoluant pour leur propre compte. Elles peuvent être absentes (128), et ne sont pas proportionnelles au creux.

1- Le plan sagittal

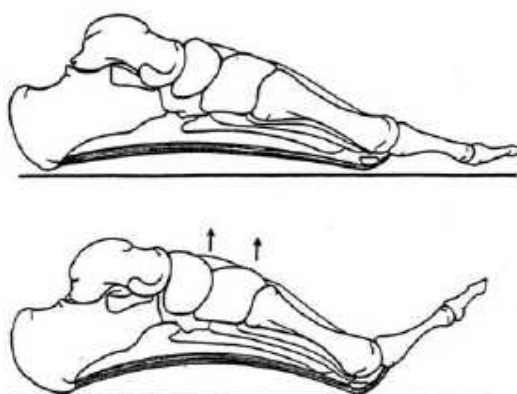


Fig 71 : Physiopathologie dans le plan sagittal. (129)

2- Plan frontal

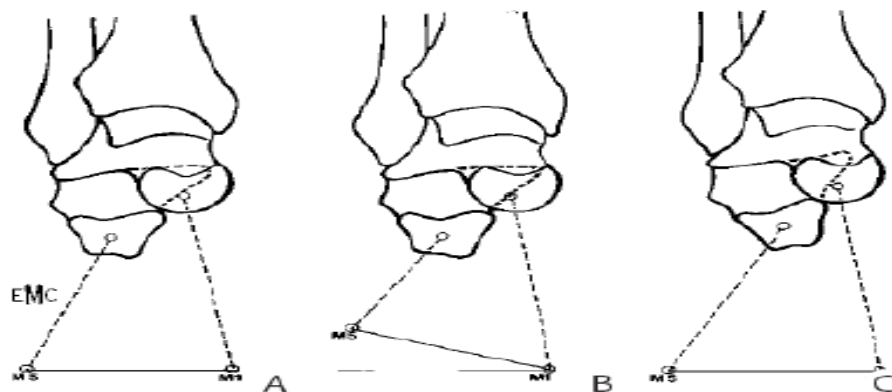


Fig 72 : Physiopathologie dans le plan frontal. (130)

A : pied normal en charge

B : pied creux à la phase oscillante

C : pied creux en charge (supination du bloc calcanéo-pédieux pour rétablir l'appui tripode)

3- Plan horizontal

Cette déformation tridimensionnelle explique la variabilité des déformations du pied creux neurologiques.

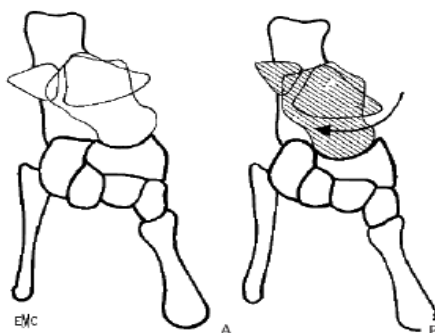


Fig 73 : Physiopathologie dans le plan horizontal. (126)

A : Phase oscillante du pas (aspect normal)

B : En charge. Rotation externe du bloc talo jambier (Hachure) par rapport au bloc calcanéo-pédieux fixé au sol.

C- Les autres types de pieds creux

1- Le pied creux valgus (pied cava valgus) . (131)

Il comporte une pronation de l'arrière-pied (calcaneus en valgus) avec arche externe plus surélevée que l'interne. L'avant-pied se met en supination en compensant la pronation de l'arrière pied. Il s'agit d'une déformation inverse par rapport à la déformation du pied creux varus, la rotation externe du segment jambier par rapport au pied est moins importante. C'est l'examen podoscopique qui permet de le confirmer. Elle s'observe chez les sujets hyperlaxe ou les pieds neurologiques.

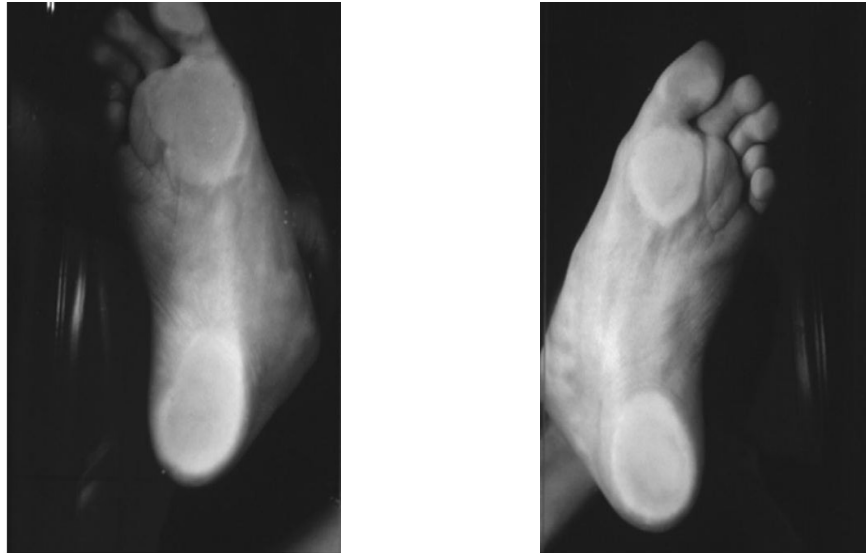


Fig 74 : Examen statique sur podoscope d'un pied valgus creux. (131)

2- Le pied plat creux (131).

C'est une entité nouvellement décrite qui associe un effondrement de l'arche médiale (angle de Meary modifié) et un cavus de l'arche latérale, l'appui se fait sur la colonne médiale du pied ainsi que sur le calcaneus et on voit bien le cavus de la colonne latérale



Fig 75 : Pieds plat et creux. (131)

IX- CLINIQUE

A-L'examen Clinique Du Pied Creux Sur Maladie De C.M.TA1

L'examen clinique du pied intègre tout l'appareil locomoteur ainsi qu'un examen neuro-orthopédique. Malgré une grande hétérogénéité au niveau génétique, le pied creux cavovarus sur la maladie de Charcot Marie-Tooth (**C.M.T**) regroupe des affections présentant des tableaux cliniques assez proches. Il existe donc une homogénéité au niveau clinique. Le phénotype clinique commun aux différentes formes de maladies de **C.M.T** est caractérisé par une amyotrophie et un déficit des muscles distaux des membres, d'installation lentement progressive touchant dans un premier temps les muscles intrinsèques du pied, puis atteint les loges antéro-externes des jambes. L'amyotrophie donne alors un aspect caractéristique appelé « mollet de coq ».(132)

L'examen clinique de base doit comprendre :

1- L'interrogatoire qui permet de recueillir des informations sur :

- Les antécédents familiaux de pied creux ou de maladies neurologiques à potentiel héréditaire ainsi que la notion de consanguinité.
- La date d'apparition des déformations.
- Les facteurs déclenchant : traumatismes ou activité sportive ;
- Les motifs de consultation : métatarsalgies, troubles trophiques, gêne à la marche.
- La notion de chutes.
- La difficulté au chaussage (gêne) due à la griffe et l'instabilité lors de la marche
- Les différentes modalités thérapeutiques prescrites antérieurement (orthèses déjà portées ou non, semelles).

2- Les signes fonctionnels

Le pied creux cavovarus peut se manifester dès l'âge de 5 ans et se développer sur un pied initialement plat (12). Le pied creux antéro-interne sur maladie de Charcot Marie Tooth représente 80% des cas. Cette déformation entraîne un large éventail de symptômes entre l'âge de 5 et 10ans (24). Cependant la plupart des patients atteints de la maladie de **C.M.T** se plaignent de douleurs qui représentent le principal motif de consultation. Le symptôme le plus fréquent à type de métatarsalgies avec la plus forte incidence en période pubertaire et qui serait dû à un appui excessif sous la tête de M1 ou la base du 5ème métatarsien avec faiblesse musculaire.

A un stade très prononcé apparaissent les composantes de la déformation du pied creux neurologique qui sont le creux médial, le varus calcanéen, la pronation de l'avant pied avec flexion plantaire du premier métatarse avec un steppage et instabilité de la cheville. Ces signes sont sources d'entorse récidivante expliquée par le varus de l'arrière pied et la parésie du muscle court fibulaire. De tels tableaux cliniques provoquent une perte de leurs autonomies dans certaines formes de **C.M.T**.

La gravité de ces symptômes est influencée par le degré de dégénérescence axonale.



1 - Pied creux très évolué avec un creusement de l'arche interne et hyper extension de la MP



2 - L'amyotrophie des jambes



3 - Cavus du médio pied



4 - Callosités sur le bord externe du pied



5 - Déformation évoluée et irréductible avec rotation externe de l'axe jambier



6 - Varus et équins de l'arrière pied bilatéral.



7 - Saillie des tendons extenseurs en appuyant sur la têtes des metatarses.



8 - Pied creux avec griffes des orteils fixes .



9 - Varus de l'arrière pied sans planchette .



10 - Test de coleman montre l'irreductibilité du varus calcanéen.



11 - Impossibilité de marcher sur la pointe des pieds.



12 - L'hyperextension des orteils apprécie la rétraction de l'aponévrose plantaire .



13 - Examen de l'articulation sous talienne .



14 - Usure des bords des chaussures par hyper pressions

Iconographie 03 : Les différentes composantes de la déformation du pied creux neurologique sur maladie de C.M.T

Source : ©photo personnelle.

L'atteinte des membres supérieurs est plus tardive et inconstante, elle concerne les mains puis les avant-bras.

a- Chez l'enfant

Le pied creux chez l'enfant se développe à partir d'un déséquilibre musculaire qui conduit à une pronation de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied.

Les premiers symptômes de la maladie de **CMT** attirent l'attention des parents ou l'institutrice à l'école par des difficultés pour tenir un crayon voir un retard scolaire ou lors des séances d'éducation physique par une démarche anormale, un retard pour courir, sauter, monter les escaliers, des chutes fréquentes, une usure rapide du bord externe des talons des chaussures, des difficultés de chaussage, et l'apparition de crampes dans les mollets ou fatigabilité anormale. Parfois, l'enfant marche et court sur la pointe du pied du fait d'une rétraction du tendon calcanéen. Aux membres supérieurs, les mouvements fins des doigts sont effectués avec difficulté dans la forme très évoluées. (12)

b- Chez l'adolescent et l'adulte

Les patients se plaignent de faiblesse musculaire avec difficultés pour les gestes quotidiens comme tenir une vis, ouvrir une fenêtre et qui sont considérés comme les signes cliniques les plus fréquents et les plus persistants (32) et des durillons plantaires et de cors souvent associés à des métatarsalgies du fait de la rigidité de l'arrière pied et de la rétraction de l'aponévrose plantaire. L'instabilité chronique de cheville source d'une entorse récurrente est inévitable dans les formes évoluée qui entrainera une tendinite péronière et plus rarement de sensation d'engourdissement par une surcharge latérale du pied. La gêne au chaussage est dominée par le conflit sur les griffes d'orteils avec usure des bords des chaussures. La déformation du pied est une des principales manifestations de la maladie, du fait de sa fréquence et de sa sévérité.

3- L'examen clinique statique du pied

Il faut accorder une attention particulière à l'histoire et les caractéristiques de la déformation locale. Il détermine aussi le diagnostic sous-jacent.

a- L'examen du pied en charge déchaussé

- **Dans le plan sagittal**, on aura un creux médial (cavus du pied) à l'origine d'une bosse sur le dos du pied plus développé en dedans qu'en dehors avec signe du crayon (qui consiste à placer le crayon sous la plante du pied) témoignant d'un creux avec exagération de la concavité de l'arche médiale car ces deux arches (l'arche latérale et médiale ou latérale seule) sont surélevées laissant passer le crayon. Ceci est associée à une hyperkératose (cors et durillons plantaires en regard du talon et les têtes des métatarsiens) qui traduit le conflit avec les chaussures. La présence de callosités suggère que la déformation n'est plus flexible.

- **Dans le plan frontal**, on apprécie l'orientation de l'arrière pied en varus et sa réductibilité qui peut être due à la rétraction du triceps. Sa réductibilité est appréciée par le **Block Test de Coleman** (133). C'est un test de réductibilité qu'on apprécie en position debout en adduction et en pronation de l'avant pied. Cette adduction et la pronation du bloc calcanéopédieux sont réductibles au début puis se structuralisent avec la croissance (130). La réductibilité de cette composante tridimensionnelle est évaluée en charge sur **Block Test de Coleman** : ce test clinique consiste à supprimer l'effet de la pronation de l'avant pied en mettant l'avant pied dans le vide alors que le talon repose sur une planchette de 3 à 5 cm.

- **Dans le plan transversal**, l'appréciation d'une adduction de l'avant pied passe par l'examen des deux genoux. L'existence d'un strabisme convergent est en faveur de la rotation externe du segment jambier par rapport au pied quand la supination du bloc calcanéopédieux est importante.

- Apprécier la longueur des orteils : pied grec, égyptien ou carré.

- Examiner les chaussures usées ou non.

- Une charge excessive sur le côté latéral de la cheville peut entraîner des symptômes du tendon péronier à l'origine d'une tendinopathie, des subluxations ou des luxations.

L'instabilité latérale de la cheville est une constatation courante en raison de la varisation de l'arrière-pied associée à un échec de stabilisation (peroneus brévis), ce qui favorise la survenue d'entorses. (134),(135),(136)

- La torsion hélicoïdale du membre.

- L'utilisation d'un tuteur externe : tierce personne ou canne, fauteuil roulant.

- La saillie des tendons extenseurs.



Iconographie 04. : Signe du crayon témoignant du creux médial avec exagération de la concavité de l'arche médiale. Source : ©photo personnelle.

- Chez l'enfant, la marche sur le talon est impossible et l'apparition d'un creux médial dynamique est évocatrice d'une pathologie neurologique. On note une hyper extension des orteils avec visualisation des tendons extenseurs sans dorsiflexion de la cheville par paralysie des muscles intrinsèques.
- L'examen du rachis et de son amplitude à la recherche d'une scoliose modérée qui oriente vers une anomalie sous-jacente de la moelle épinière ou rentre dans le cadre de la neuropathie périphérique.
- La saillie des tendons extenseurs des orteils sous la peau.
- L'impossibilité de s'accroupir sans décollement des talons traduit la limitation de la flexion dorsale de la cheville

b- L'examen du pied en décharge

- Apprécier la réductibilité de la déformation en appuyant sur la tête des métatarses d'où tension sur l'aponévrose plantaire.
- Rechercher l'existence d'une hyper laxité ligamentaire associée.
- Etudier la rétraction de l'aponévrose plantaire.
- Identifier les zones de conflits.
- Insister sur la griffe des orteils et tester leur réductibilité. Elles sont le plus souvent de type proximal avec hyper extension de P1 et flexion de P2. La pulpe reste fréquemment à distance du sol. (122)
- Etudier l'amyotrophie qui se développe à partir de la périphérie des pieds et des mains et se propage progressivement à la région proximale.
- Faire un examen des mobilités articulaires.
- Faire un examen des chaussures qui peuvent être usées ou non.

Les mouvements passifs permettent de tester la mobilité des différentes articulations du pied: nous devons noter l'amplitude passive et active des mouvements de la cheville, de l'arrière-pied et de l'avant-pied.

Nous devons noter :

L'amplitude de la flexion dorsale de la cheville est appréciée en flexion et extension du genou pouvant révéler une brièveté des muscles gastrocnémiens ou du soléaire par le test de **Silfverskiöld**. Celui-ci est effectué en comparant la dorsiflexion de la cheville avec le genou en flexion et en extension. La flexion du genou détend le gastrocnémien mais laisse la tension du soléaire inchangée. Si le genou est fléchi à 90°, et la dorsiflexion de la cheville reste inchangée sans amélioration ; cela signifie une contracture du muscle gastrocnémien.



1- La flexion du genou améliore la flexion dorsale de la cheville.



2- L'extension du genou n'améliore la flexion de la cheville.

Iconographie 05 : Le signe de Silfverskiöld évalue la contracture des gastrocnémiens.

Source : ©photo personnelle.

La mobilité de la région sous talienne est appréciée en prenant le calcaneus dans la paume de la main et bloquant le talus.

- Le bilan musculaire : l'évaluation de la force musculaire ou Testing musculaire est déterminé par un score **MRC (MEDICAL RESEARCH COUNCIL)** qui permet d'évaluer chaque muscle indépendamment selon la cotation de 0 à 5 (137).

- Evaluation de l'amplitude des mouvements de la hanche.
- Réaliser un examen neurologique complet en consultation spécialisée avec un examen de la motricité, de la sensibilité, des reflexes et du tonus musculaire ainsi qu'un Testing musculaire. L'atteinte sensitive est inconstante, elle concerne principalement la sensibilité proprioceptive et prédomine souvent aux membres inférieurs.
- Faire un examen vasculaire.
- Faire un examen clinique complet au niveau des mains par une recherche d'une amyotrophie des muscles interosseux en particulier le premier interosseux qui sera décelé par la méthode pouce index.



1- Avec atrophie musculaire(interosseux)



2- Sans atrophie musculaire(interosseux)

Source:©photo personnelle.

Fig 76 : Atrophie musculaire des mains donnant l'aspect de main de singe ou main squelettique (21) .

4- L'examen dynamique

La marche se fait avec un steppage aidée ou non par une canne ou une tierce personne. Cette marche est perturbée par des crampes et des douleurs sourdes au mollet par contraction lors d'une marche prolongée (138). De ce fait, l'examen dynamique du pied creux est supporté par l'examen podoscopique, l'examen baropodométrie, et l'examen instrumental par l'étude de marche (Laboratoire de marche).

a-La podometrie électronique ou analyse baropodométrie

Elle permet d'analyser le membre inférieur, l'efficacité et la précision des thérapeutiques à court et long terme.

C'est un dispositif informatique performant muni d'un capteur de pression et d'un logiciel permettant une visualisation informatique des empreintes plantaires. La répartition des charges est visible à l'écran par le contraste de couleur (rouge pour un appui fort, bleu pour un faible appui) et aussi pour matérialiser les zones du pied fortement sollicitées et préciser le morphotype du pied (139). Il est à souligner que par manque de cet instrument de mesure notre série n'a pas été soumise à ce test.

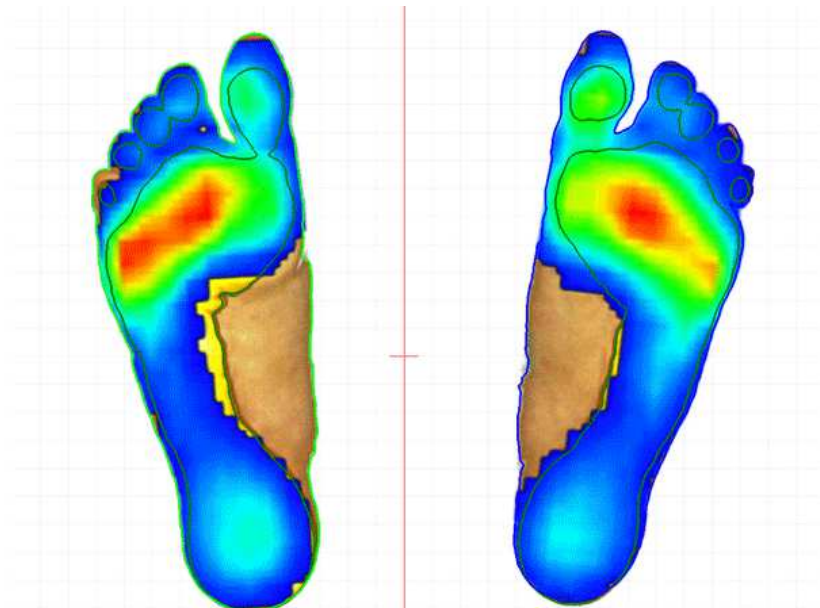
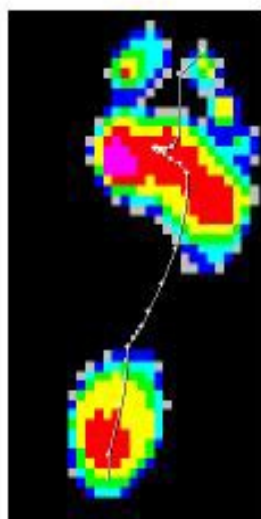


Fig 77 : Empreinte baropodométrique statique montrant en rouge la zone d'hyper appui et en bleu la zone où l'appui est faible (140).

La baropodométrie présente un intérêt diagnostique dans le pied creux. Ce dernier est classé par **Charles et Döderlein** (141) en trois groupes :

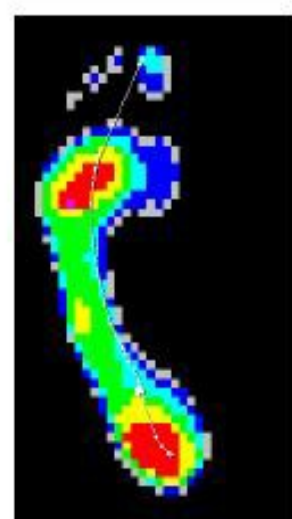
- **Le groupe I**, correspond au pied creux global avec un appui talonnier et tout l'avant-pied sans appui du médio-pied,
- **Le groupe II**, est le pied creux équin sans appui talonnier,
- **Le groupe III**, est le pied creux varus avec un appui sur le bord latéral du pied.



Groupe I:
Pied creux Global



Groupe II:
Pied creux équin



Groupe III:
Pied creux varus

Fig 78 : Empreintes baropodométrique du pied creux (139),(140),(141).

b- L'étude de la marche

♦ La marche physiologique

► Définition

La marche humaine (bipède) est propre à l'homme. Elle est la condition de sa liberté grâce aux deux membres inférieurs. C'est un geste qui nous semble extrêmement simple du fait que nous le répétons sans cesse depuis notre enfance. Néanmoins, ce geste si simple, est extrêmement difficile à reproduire aisément et fait l'objet d'études approfondies. La marche se déroule généralement entre 10 mois à 14 mois de la vie, elle est considérée comme une fonction automatique combinant dans l'espace et dans le temps des mouvements plus ou moins complexes des segments des membres. C'est une activité alternée des 2 membres inférieurs (84),(142),(143). Cependant, la marche est constituée d'une activité rythmique et coordonnée des deux membres inférieurs, comprenant une phase d'appui (simple ou doubles appui) et une phase oscillante.

► Historique

Au fil de l'histoire, l'Antiquité grecque est source de nombreuses connaissances dans ce domaine. Dès cette époque, Hippocrate (460 – 370 av. J-C) considère la marche comme « le meilleur remède de l'homme ».

Aristote (384 – 322 av. J-C) lui consacre deux traités à la marche et au mouvement (Marche et Mouvement des animaux).

Léonard de Vinci (1452 – 1519) est l'un des grands acteurs de cette période, il a abordé les mécanismes régissant la marche, le rôle des insertions musculaires ou encore la notion de centre de gravité.

Étienne-Jules Marey (1830 – 1904) est le précurseur de la capture du mouvement. Il apporte, avec son collaborateur Georges Demenÿ (1850 – 1918), une contribution essentielle dans l'étude de la cinématique de la marche.

Afin d'étudier la cinétique et l'énergétique de la marche au début du vingtième siècle, Jules Amar (1879 – 1935) couple aux données cinématiques, les mesures de pressions plantaires puis ceux de la composante verticale de la force de réaction du sol. De ce fait, il met au point une nouvelle plate-forme de force pneumatique plus performante qui permet de mesurer les trois composantes de la force de réaction du sol.

Avec cette première plate-forme de force mécanique, Wallace Osgood Fenn (1893 – 1971) et Herbert Elftman (1902 – 1989) prolongent l'idée d'une mesure des forces externes engendrées lors de la marche.

A partir des années 70, les évolutions techniques et les innovations technologiques de mesure, de quantification, et de traitement des données se sont diversifiées pour permettre leur meilleure exploitation dans le diagnostic et dans les décisions thérapeutiques.

Durant les dernières années, l'analyse quantifiée de la marche a touché diverses pathologies (neurologiques, rhumatismales, vasculaires, génétiques, congénitales) aussi bien chez l'enfant que chez l'adulte et le sujet âgé. (60),(99),(144).

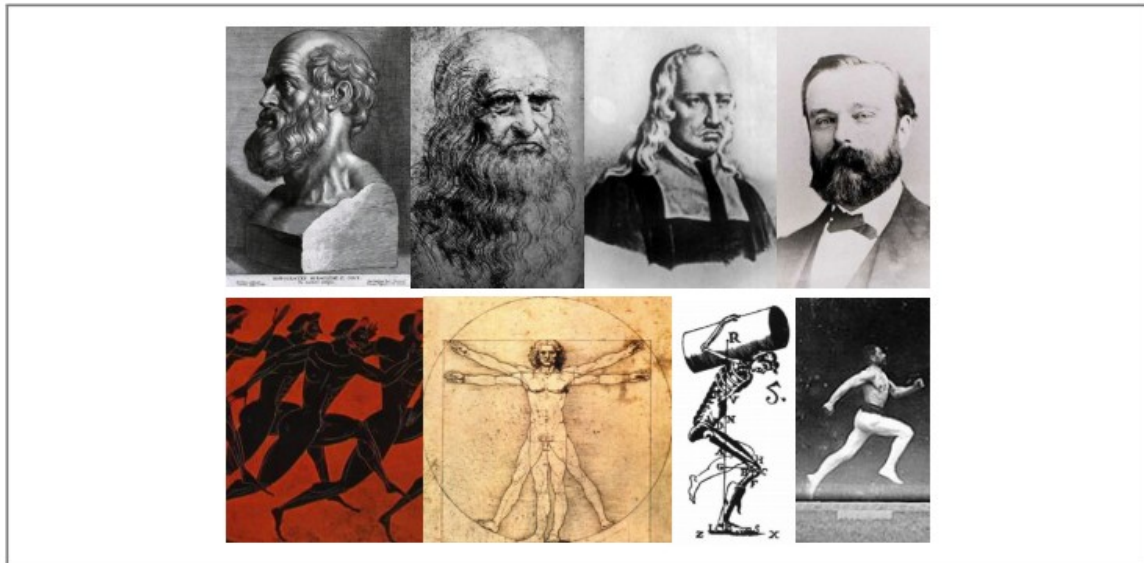


Fig 79 : D'Aristote à Etienne –jules Marey en passant par Léonard de Vinci ou Giovanni Borelli, la compréhension de la marche n'a cessé de passionner les savants (145).

► Cycle de marche (**Gait cycle**) (83),(84).

La marche est un phénomène cyclique, codifié sur le plan international. Il débute par le contact initial du pied et se termine lors du nouveau contact de ce même pied au sol. Le cycle de marche comprend deux phases différentes : une phase d'appui et une phase oscillante.

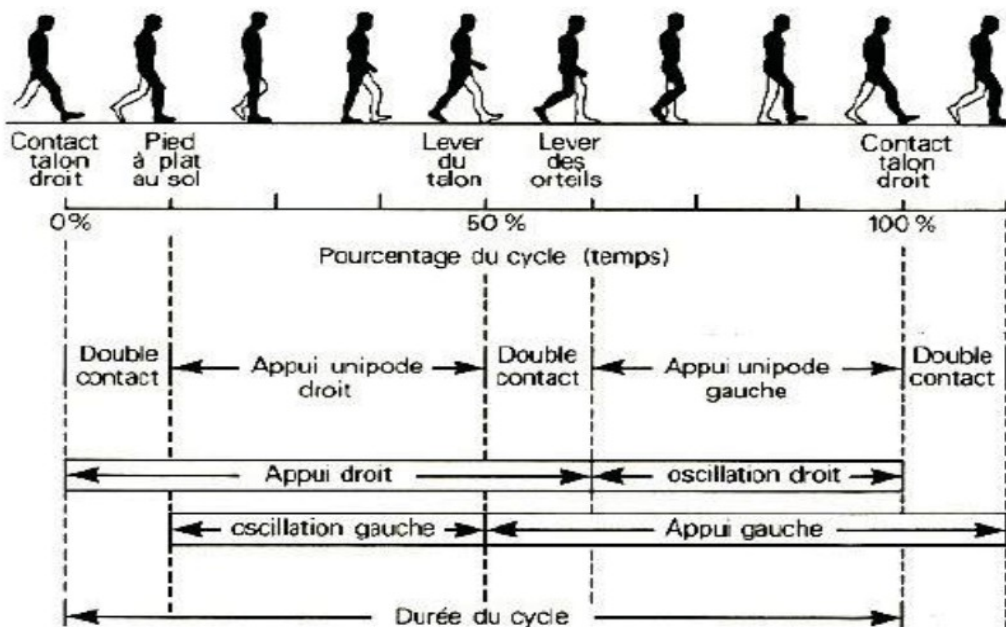


Fig 80 : Représentation du cycle de marche d'après Viel (85).

* La phase d'appui (stance) correspond à toute la période où le pied est en contact avec le sol. Son début correspond au contact initial (contact du pied avec le sol) et sa fin au décollement des orteils (perte de contact du pied avec le sol). Elle s'étend de 0 à 60% du cycle de marche, soit une durée de 60% du cycle de marche.

La description du cycle de marche intègre le comportement du pied controlatéral. Si nous décrivons le cycle de marche du pied droit on distingue :

* La phase de double appui de réception qui débute par le contact initial du pied droit et se poursuit par la mise en charge du membre inférieur droit par transfert du poids du corps du membre gauche sur le membre inférieur droit. Elle s'étend de 0 à 10% du cycle de marche soit une durée de 10% du cycle de marche.

* La phase d'appui unipodale débute lorsque le pied gauche décolle et se termine lorsque le pied gauche reprend contact avec le sol. Cette phase s'étend de 10 à 50% du cycle de marche, soit une durée de 40% du cycle de marche. La totalité du poids du corps repose sur le membre inférieur droit. Cette phase correspond à la phase oscillante du pied gauche.

* La phase de double appui de propulsion débute avec le contact initial du pied gauche, alors que le pied droit est entrain de décoller. Il y a un transfert du poids du corps sur le membre inférieur gauche. Cette phase s'étend de 50 à 60% du cycle de marche, soit une durée de 10% du cycle de marche.

* La phase oscillante (swing) où le pied droit n'est plus en contact avec le sol et qui permet l'avancée du membre inférieur. Son début correspond au décolllement des orteils et sa fin au contact initial suivant du même pied. Elle s'étend de 60 à 100% du cycle de marche, soit une durée de 40% du cycle de marche. Elle correspond à la phase d'appui unipodale du pied gauche.

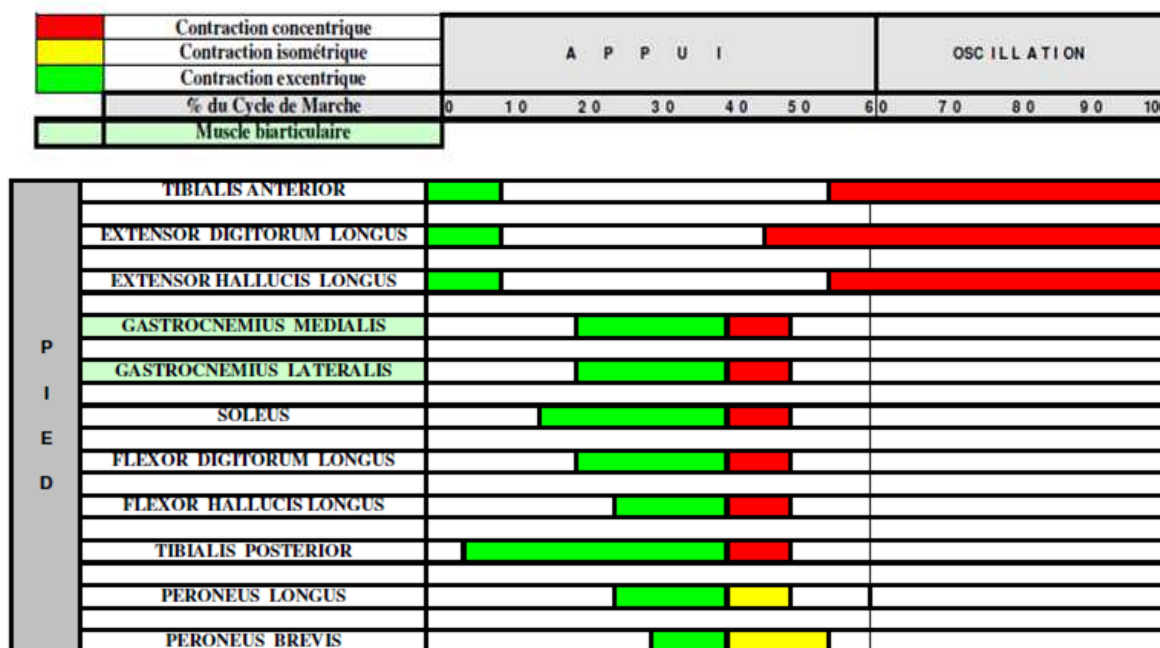
Le cycle de marche complet comporte donc deux phases de double appui (20% du cycle), une phase d'appui unipodal (40% du cycle) et une phase oscillante (40% du cycle) (84).

Les muscles incriminés lors de la marche

REHAZENTER
CENTRE NATIONAL DE REEDUCATION FONCTIONNELLE ET DE READAPTATION
Etablissement Public



La marche normale - Pattern électromyographique



♦Exploration de la marche humaine normale

La compréhension de la marche normale est un préalable nécessaire à l'étude de la marche pathologique.

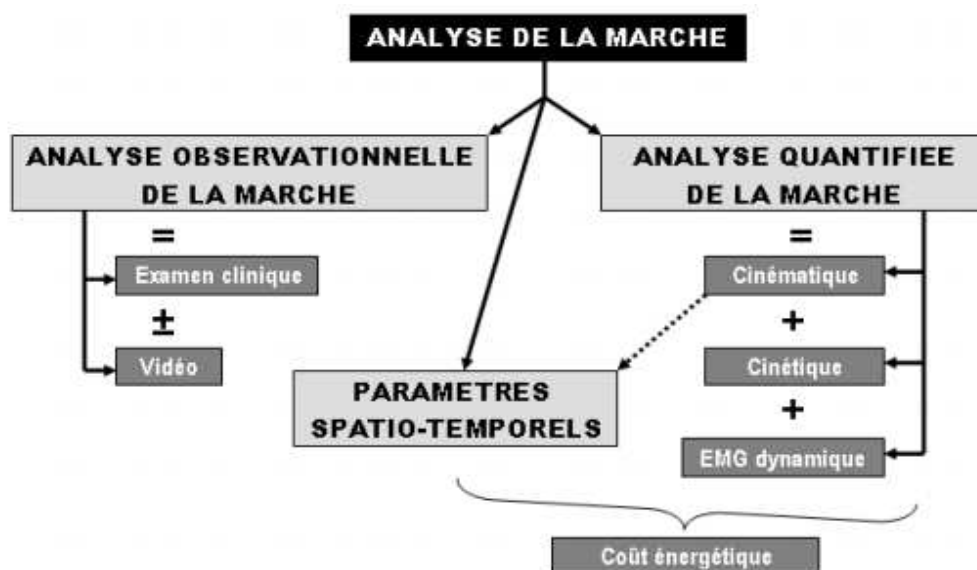
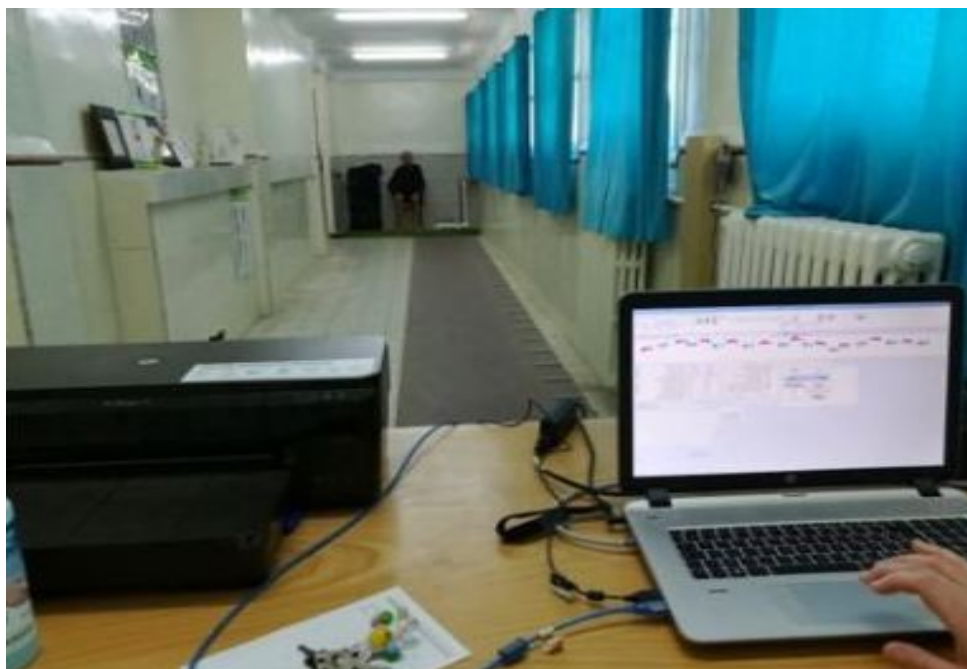


Fig 81 : Les trois principales méthodes d'analyse de la marche. (83)

► Le système d'analyse des paramètres spatio-temporels (PST) (84).



Iconographie 06 : Analyse des paramètres spatio-temporels de la marche par système GAITRite au laboratoire de marche du C.H.U de Tizi-Ouzou.

Source : ©photo personnelle

Le système électronique **GAITRITE** (CIR system, Inc.) permet l'analyse des paramètres spatio-temporels de marche. Ce système correspond à un tapis de marche de 5 à 20 mètres ou

sont disposées des capteurs de force permettant ainsi le recueil des paramètres spatio-temporels de la marche et les pressions plantaires. Ce sont des descripteurs de la marche validés, Ils permettent :

- de caractériser de manière globale la marche et son déroulement dans l'espace et dans le temps.
- d'objectiver les performances du sujet en terme de vitesse de marche, cadence, longueur du pas, temps d'appui et temps oscillant.

Ce système permet une évaluation de routine pour caractériser de manière globale la marche, car il est de réalisation rapide avec obtention immédiate des résultats. Il est possible d'effectuer ces examens avec ou sans aide technique, avec ou sans chaussures.

• **Les principaux paramètres spatiaux sont:** (84)

- Le pas correspond à la progression vers l'avant du pied oscillant par rapport au pied portant.
- La longueur du pas est d'environ 0,8 mètre. Elle correspond à la distance séparant les deux talons lors du temps du double appui de réception droite.
- La largeur du pas est de 5 à 6 cm. Elle correspond à la distance entre l'axe de progression (la ligne de marche) et la partie médiane du talon. L'enjambée correspond à la succession de deux pas.
- La longueur d'enjambée est définie par la distance (en mètres) correspondant à la somme algébrique des longueurs de deux pas successifs. L'angle du pas est de 15° environ, correspond à l'angle ouvert en avant formé entre l'axe de progression et l'axe du pied (talon - deuxième métatarsien).

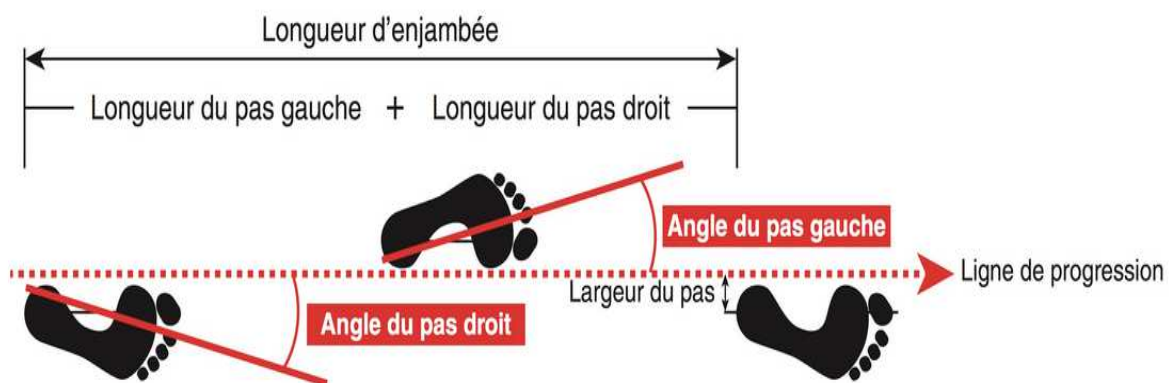


Fig 82 : Les principaux paramètres spatiaux du cycle de la marche. (84)

- L'angle du pas en degrés correspond à l'angle ouvert en avant formé entre l'axe de progression et l'axe du pied.
- La largeur d'enjambée : en mètres correspond à la somme algébrique de la largeur de deux pas successifs.

•Les principaux paramètres temporels : (84)

- . La cadence (100 et 130 pas par minute) correspond au nombre de pas par minute.
- . Le temps d'appui unipodal (en secondes ou en % du cycle de marche) correspond à la durée moyenne du temps d'appui unipodal lors d'un cycle de marche droit ou gauche. Le temps d'appui unipodal d'un côté correspond au temps oscillant controlatéral. Il représente 40% du cycle de marche.
- . Le temps d'appui bipodal correspond à la durée moyenne du temps de double appui lors d'un cycle de marche. Il représente 20% du cycle de marche.
- . La vitesse de marche (m/s) qui est égale à une distance parcourus pour un temps donne.
- . La mesure des pressions plantaires est basée sur l'utilisation de revêtements munis de petits capteurs de pression sous la forme de tapis sur lequel le sujet va se déplacer .Cette donnée permet de déterminer d'éventuelles zones d'hyper-appui.

X- Les examens complémentaires

A- les explorations radiologiques

1- L'imagerie

Le développement des différentes méthodes d'imagerie en coupe a permis de planifié la prise en charge chirurgicale des affections du pied. Il s'agit d'une exploration complémentaire de base en pathologie du pied en particulier le pied creux afin d'analyser la structure de l'os et de préciser les anomalies statiques.

a- Radio standards

Les radiographies standard du pied s'intègrent dans la démarche diagnostique, le suivi et l'évaluation des résultats des traitements chirurgicaux du pied et de la cheville.

Ce bilan radiologique permet de localiser le sommet de la déformation avec calcul des différents angles, quantifier le degré de correction, apprécier le type des déformations et d'en suivre l'évolution (146),(147).

Les pieds sont explorés par des radiographies faites en charge selon trois incidences (11) : un cliché du pied de face et de profil, une radiographie de face dorso-plantaire centrée sur l'avant-pied et un cliché de Meary (arrière-pied de face en charge avec cerclage métallique du talon) de façon bilatérale. Ces trois clichés permettent d'affirmer dans la majorité des cas le type du pied creux, de le quantifier par le biais des différents angles calculés et de le classer afin de proposer un traitement chirurgical adapté ainsi que d'en suivre l'évolution (33).

Dans notre série, tous nos patients ont bénéficié d'un bilan radiologique complet.

♦ Mesures radiographiques

Les radiomensurations ne sont exactes que si l'ensemble du pied est strictement de profil et en charge.

La plupart des mensurations sont complexes et nécessitent des radiologues spécialisés. Nous n'exposons que les plus utilisées dans le bilan d'un pied creux.

► Incidence de profil en charge (plan sagittal)

Il permet d'affirmer le pied creux, d'en mesurer l'importance et les modalités architecturales, l'état du tarse médial, le calcaneum, la cheville et la statique du pied.



Iconographie 07 : Technique de réalisation d'une radio du pied de profil en charge.

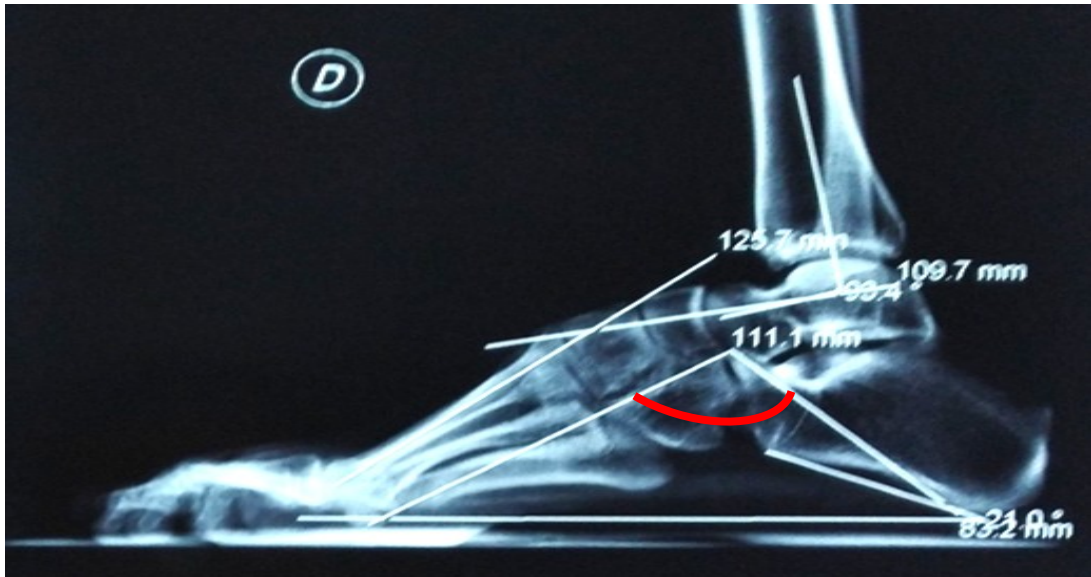
Source : ©photo personnelle.

• L'angle de **Djian-Annonier** (146).

Dit encore de **Costa-Bertagni** ou **Moreau** ou angle de l'arche médiale formé par l'intersection de deux droites, l'une part de la partie la plus basse de l'interligne talo-naviculaire et se dirige, pour la composante antérieure vers la face plantaire de l'os sésamoïde médial et, pour la composante postérieure, vers la partie plantaire la plus basse du calcaneus. Il varie normalement entre 120° et 125°. Il est inférieur à 120° en cas de pied creux indépendamment du siège antérieur, postérieur ou mixte.

Cet angle donne une orientation globale sur la forme du pied et ne permet pas de savoir exactement où se situe la déformation anatomique.

L'angle de **Djian-Annonier** apprécie la hauteur de l'arche interne et le cavus. Sur un pied creux valgus, l'arche externe peut être très accentuée, alors même que l'arche interne est normale, voire abaissée.

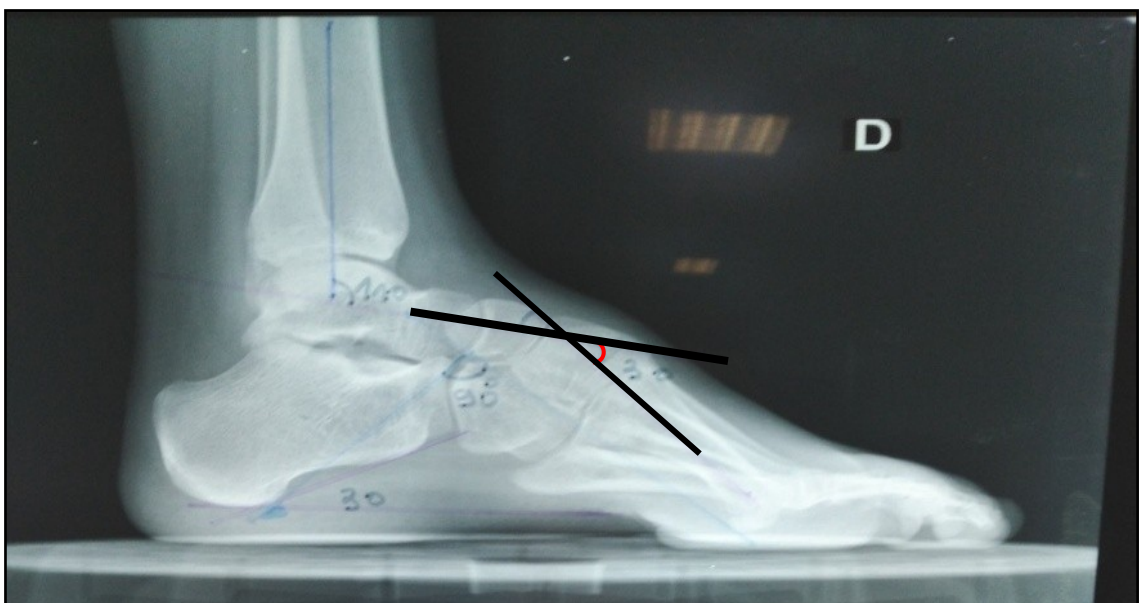


Iconographie 08 : Mesure de l'angle de Djian Annonier sur un pied en charge de profil d'un patient âgé de 18 ans avec pied creux sur maladie de C.M.T

Source : ©photo personnelle

- L'angle de **Meary-Tomeno** (146).

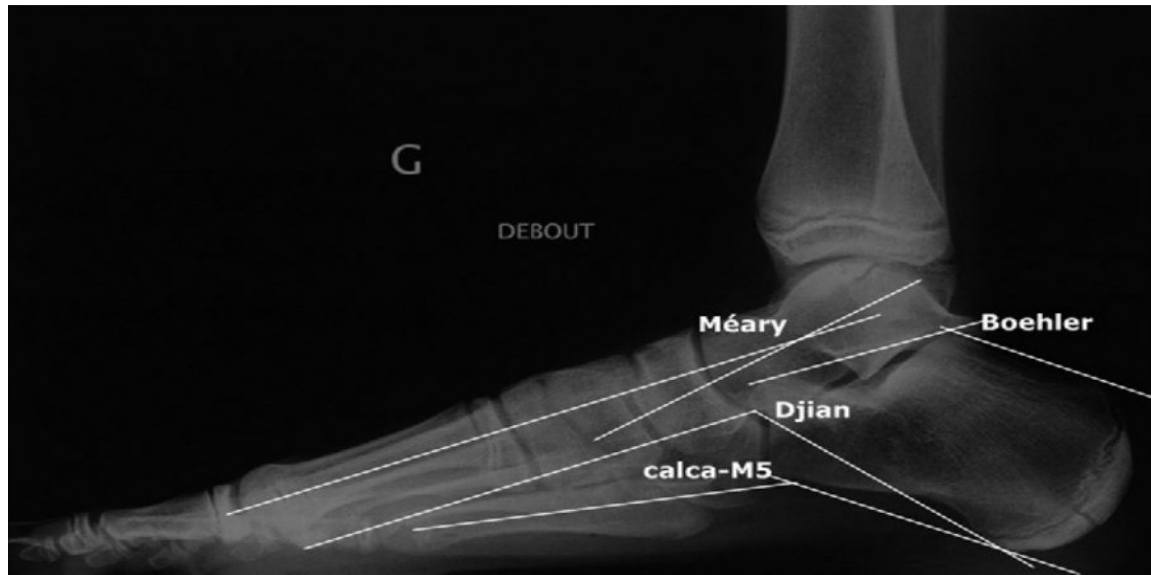
L'axe talo-métatarsien est étudié par la ligne de **Méary-Tomeno**. L'axe du premier métatarsien et l'axe du col du talus sont normalement alignés et forme la ligne de **Meary**. Lorsqu'il est positif, l'axe du talus passant en avant et au-dessus de celui du métatarse caractérisant un pied creux antérieur. Dans le cas du pied creux, le point d'intersection entre le premier axe du métatarse et l'axe sagittal de l'astragale correspond à l'apex de la déformation. Le siège de la « cassure » indique le niveau de la déformation articulaire d'un pied creux. Sur un pied normal, l'axe est égal à 0° . Il évalue l'importance et localise le sommet de la déformation.



Iconographie 09 : L'angle de Meary-Tomeno sur un cliché de profil en charge d'une patiente âgée de 14 ans sur pied creux sur maladie de CMT Source: ©photo personnelle

- L'angle calcanéus-5ème métatarsien

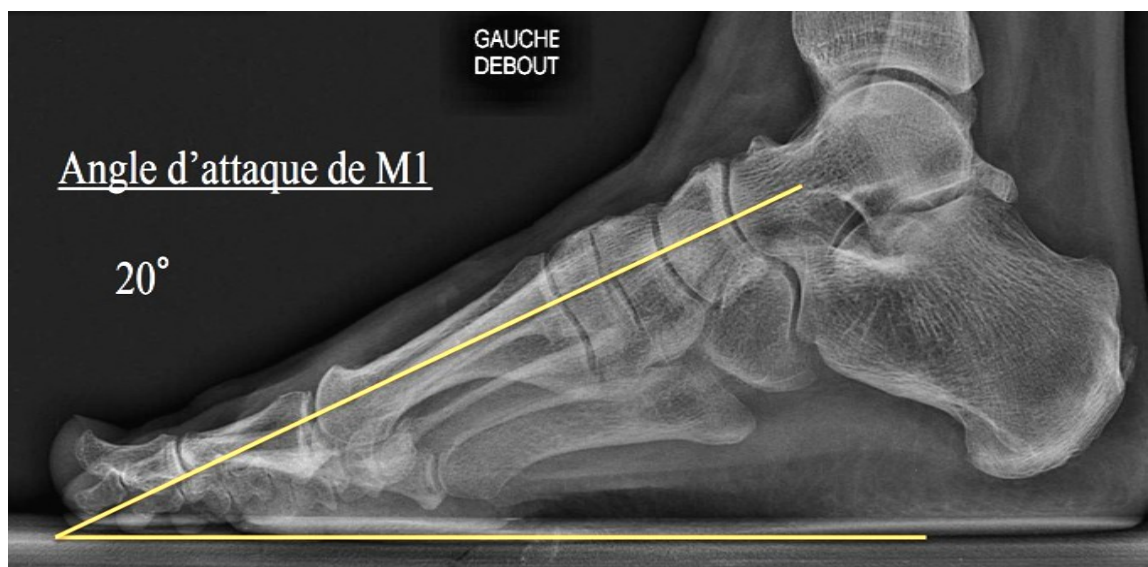
Cet angle évalué entre le bord inférieur du calcanéus et l'axe longitudinal du 5e métatarsien donne une appréciation sur la cambrure de la colonne latérale et normalement compris entre 130° et 140°. Celle de l'arche externe s'apprécie par la hauteur de la styloïde du cinquième métatarsien par rapport au sol.



Iconographie 10 : Mesure de l'angle calcanéus -5ème métatarsien.(131)

- L'angle d'attaque des métatarsiens ou pente des métatarsiens de **SCHNEPP**

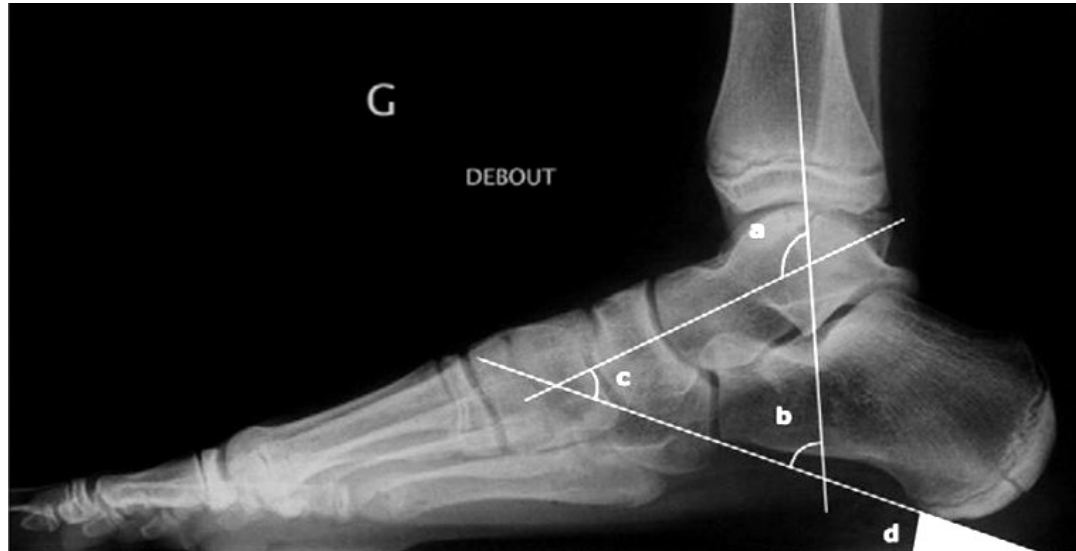
Il est mesuré entre l'axe de chacun des métatarsiens et le plan du sol. Il diminue normalement et régulièrement du premier métatarsien (20°) au cinquième métatarsien (5°). Il ne préjuge en rien du caractère antérieur, postérieur de la déformation du fait de la compensation dans l'articulation de la cheville pour rétablir un appui horizontal antéropostérieur.



Iconographie 11 : Mesure de l'angle d'attaque de M1 sur un cliché de profil. (147)

- La divergence talo- calcanéenne

Cet angle est évalué entre l'axe longitudinal du talus et celui du calcaneus (ou le bord inférieur du calcaneus selon les auteurs) ; il est normalement compris entre 25° et 40°. Il est plus important chez l'enfant que chez l'adulte. Son augmentation témoigne d'un valgus de l'arrière-pied. Sa diminution témoigne d'un varus de l'arrière-pied.



- a. Angle tibio-talien. b. Angle tibio-calcaneen.
c. Divergence talo-calcaneenne. d. Incidence du calcaneus.

Iconographie 12 : Evaluation de l'articulation talocrurale et l'arrière pied sur une radio du pied de profil en charge par le calcul de la divergence talo-calcaneenne.(131)

- La pente calcaneenne

Appelée encore « incidence calcaneenne » ou « *pitch angle* ». C'est l'angle formé par la tangente à la face plantaire du calcaneus et le plan d'appui. Sa valeur moyenne est de 15° à 20°. Son augmentation peut être en rapport avec un morphotype de pied cambré ou avec une dorsiflexion de l'arrière-pied. La diminution de la pente calcaneenne peut être liée à un morphotype de pied plat ou à un équinisme de l'arrière-pied.



Iconographie 13 : Mesure de la pente du calcaneus sur un cliché de profil. (147)

- L'angle tibio-astragalien

Il est mesuré entre l'axe longitudinal du tibia et celui du talus qui est normalement de 100°-110°. Sa diminution correspond à une horizontalisation du talus qui vient limiter la flexion dorsale de la cheville, ce qui explique le défaut de fuite dorsale du pied dans le pied creux antérieur et mixte



Iconographie 14 : Mesure de l'angle tibio-talien sur une radio de profil en charge.

Source :©photo personnelle

- L'angle de Hibbs

L'angle de **Hibbs** permet de déterminer l'apex de la déformation (148) ; il est formé par les lignes des axes du calcaneus et du premier métatarsien dont l'intersection des lignes représente le sommet de la déformation.

Chez les patients présentant un pied creux, l'angle de **Hibbs** normal est compris entre 130° et 160°. L'indicateur cavus <130° pied creux.

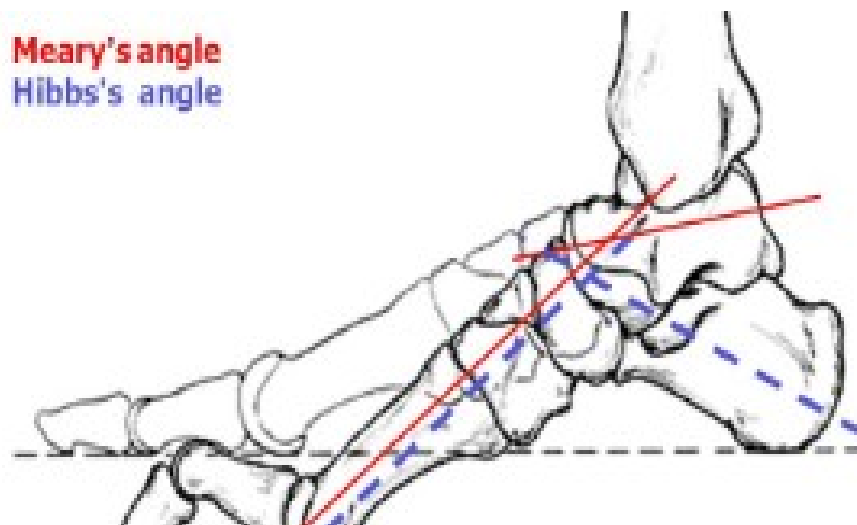


Fig 83 : Mesure de l'angle de Hibbs sur un cliché du pied de profil en charge. (148)

► Incidence de face en charge

- L'angle d'ouverture de l'avant pied

C'est l'étude de l'arche antérieure, qui est l'angle formé par l'axe diaphysaire du premier et cinquième métatarse (M1-M5). Il apprécie l'ouverture de la palette métatarsienne et l'adduction de l'avant pied. La valeur moyenne de cet angle est de 15° - 25° . Si elle est supérieure, elle signifie que l'avant pied est étalé avec affaissement de l'arche antérieure et si elle est inférieure, il s'agit d'un pied creux antérieur.



* Normal 15° - 20° ;

* $<$ ou égale 20° pied creux antérieur ;

* $>25^{\circ}$ avant-pied étalé ou triangulaire

Iconographie 15 : L'angle d'ouverture de l'avant pied. Source : ©photo personnelle

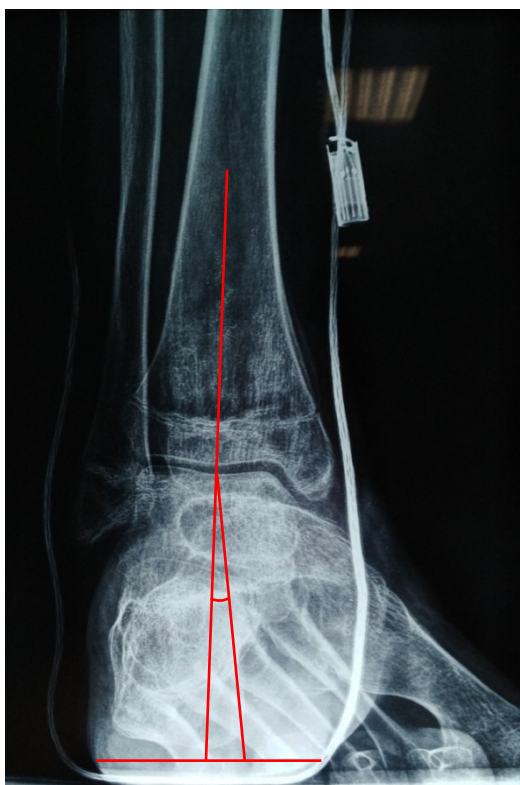
- Cheville avec cerclage métallique du talon (cheville cerclée de **Meary**)

C'est un cliché de cheville de face en charge, en station bipodale, en légère rotation médiale, les talons surélevés par une cale radio transparente (3-4 cm) de hauteur, avec cerclage de l'arrière-pied (les fils plombés passent sur les malléoles et sous le pourtour du talon), afin de repérer l'appui plantaire. L'adjonction d'une talonnette radio transparente sous le talon permet de supprimer la superposition du calcaneus sur l'avant-pied et de mieux apprécier des appuis métatarsiens et sésamoïdiens. Cette incidence radiologique permet :

- D'apprécier la position du talon dans le plan frontal et de quantifier une déviation de l'arrière pied (valgus ou varus),
- De visualiser également l'adduction de l'avant pied dans le plan horizontal par rapport à la cheville,
- L'étude de l'articulation talocrurale : l'interligne tibio talien doit être horizontal.

Il faut s'assurer que la cheville est parfaitement de face pour que cette mesure soit fiable, et que le cerclage métallique passe bien par le talon et non par le plan des malléoles, ce qui en diminue l'amplitude.

L'évaluation de l'inclinaison du varus de l'arrière-pied est essentielle. Pour cela, une vue frontale avec un «block test» de **Coleman** est nécessaire afin d'évaluer la correction de ce varus de l'arrière-pied et apprécier la quantité de correction de l'arrière pied.



Iconographie 16 : Cheville cerclée de Meary avec varus calcanéen

Source : ©photo personnelle

Deux méthodes permettent de quantifier la déformation frontale de l'arrière-pied (146) :

- **La méthode de Méary**

Elle étudie la projection de l'axe du tibia par rapport à la zone d'appui du talon. L'axe tibial est défini par la verticale passant par le milieu du dôme talien. Normalement : l'axe tibial coupe la zone d'appui talonnière à l'union 1/3 médial–2/3 latéraux.

Il y a valgus de l'arrière pied si l'axe tibial coupe l'appui talonnier dans le 1/3 médial

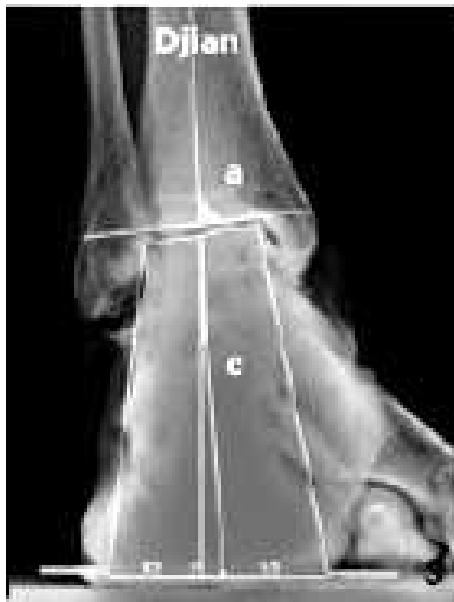
Il y a varus de l'arrière pied si l'axe du tibia se rapproche de la zone d'appui, il existe donc un valgus physiologique de l'arrière-pied de 3° à 5°.

- **La méthode de Djian**

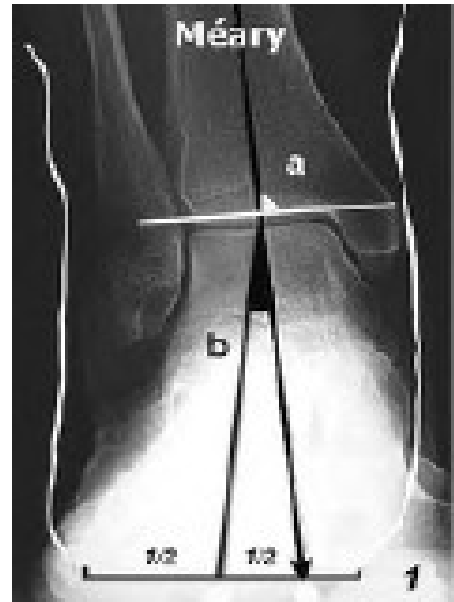
Elle se base sur la construction d'un quadrilatère dont les côtés horizontaux sont le dôme du talus et la zone d'appui du talon. On mesure l'angle entre la verticale et la droite reliant le milieu de la zone de désaxation et le milieu de la zone d'appui talonnier.

Le trapèze est légèrement asymétrique avec un côté latéral discrètement plus oblique que le médial.

La cheville cerclée de **MEARY** (vue de **Meary** ou vue de **Salzman**) quantifie la déformation frontale de l'arrière-pied.



Méthode de Djian



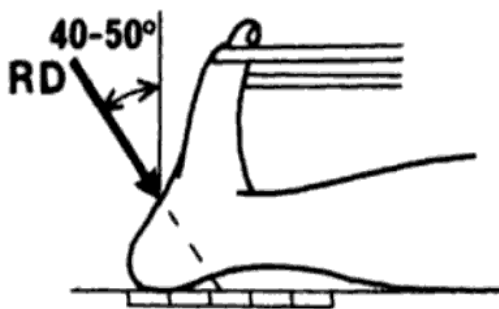
Méthode de Méary

Iconographie 17 : Cheville cerclée selon la méthode de Méary et de Djian de face en charge.(131)

Les deux méthodes permettent de quantifier la déformation frontale de l'arrière-pied. La zone de désaxation se situe le plus souvent au niveau de l'articulation sous-talienne (parfois tibio-talienne).

► L'incidence rétro tibiale ascendante

Dans l'incidence ascendante dorsoplantaire, le patient est en décubitus dorsal, les deux membres inférieurs allongés sur la table pieds en flexion dorsale forcée. Le pied est maintenu par une bande de traction, les talons sur la cassette disposés horizontalement, le rayon incliné de 40° en crânial est centré au milieu du tiers postérieur de la plante du pied entre les deux malléoles. Le cliché doit permettre une bonne visualisation des articulations talo-calcanéenne et du calcaneus jusqu'à la petite apophyse.



1 - Technique de réalisation de l'incidence rétro-tibiale avec le rayon directeur indiqué. (149)



2 - Cliché radiologique selon l'incidence rétro tibiale ascendante.

Source : ©photo personnelle.

Fig 84 : Technique de réalisation de l'incidence rétro tibiale ascendante avec un rayon directeur de 40°-50°montrant le varus calcanéen

► L'incidence rétro tibiale descendante

Le sujet est debout, il s'incline vers l'avant en prenant appui sur un support (dossier de chaise), les cuisses et les jambes légèrement fléchies, les pieds en flexion dorsale maximale, les talons joints sur la cassette. Le rayon directeur est incliné vers l'avant de 40° par rapport à la verticale et centré entre les bords postéro-supérieurs du calcaneus.

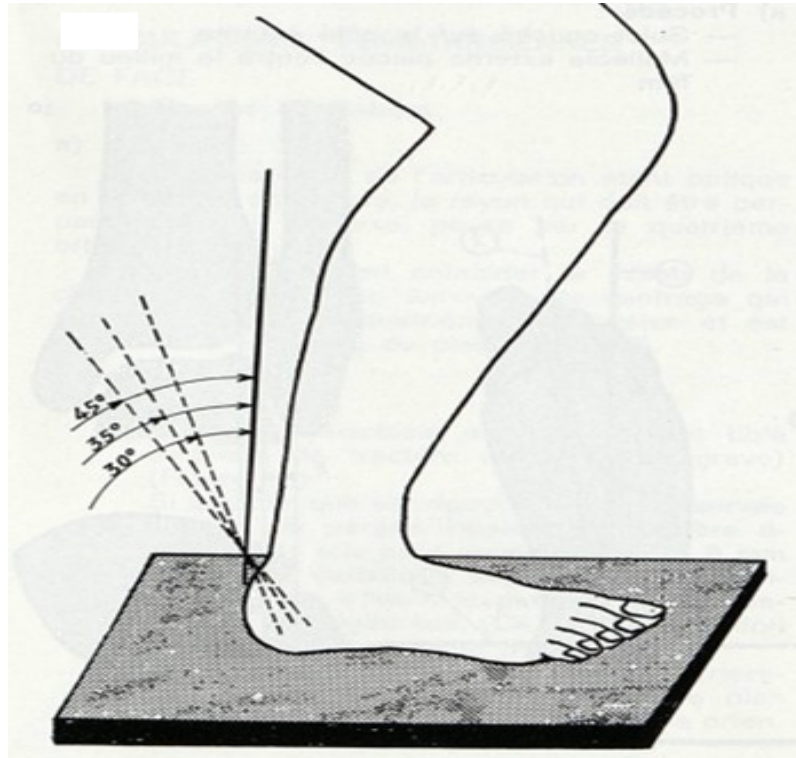
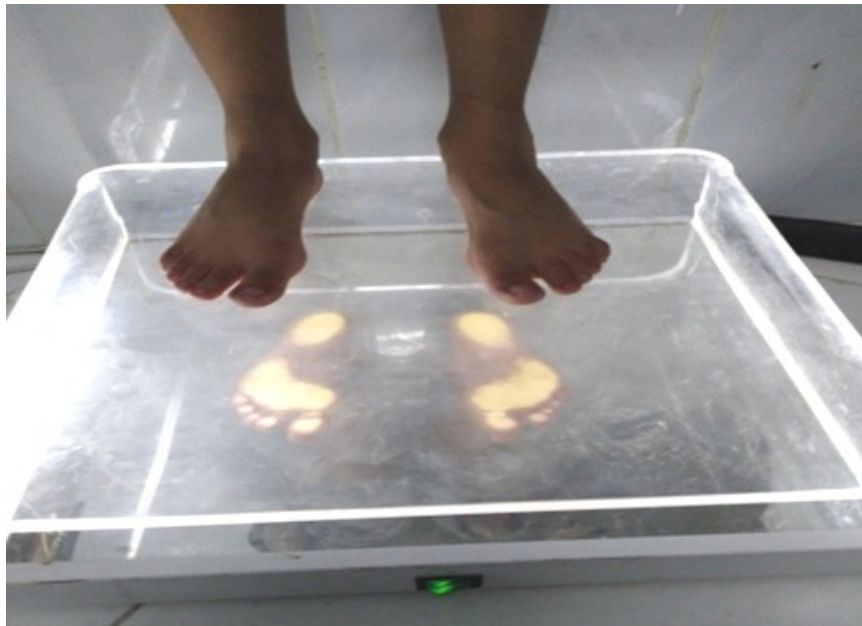


Fig 85 : Incidence rétro tibiale descendante avec rayon directeur de 30° - 45° . (150)

2- La podoscopie

L'examen clinique se poursuit par l'étude de l'empreinte plantaire du pied en position debout sur le podoscope. En effet, le podoscope médical est un appareil qui consiste à visualiser les empreintes plantaires du patient dès la mise en charge sur l'appareil. Il est formé d'une vitre épaisse capable de supporter le poids du patient et d'un dispositif d'éclairage doté d'un miroir situé au fond de l'appareil. Le principe repose sur le blanchiment par hypo-vascularisation au niveau de la peau plantaire: la compression des zones d'appui crée un contraste blanc par rapport à celles qui ne l'est pas.



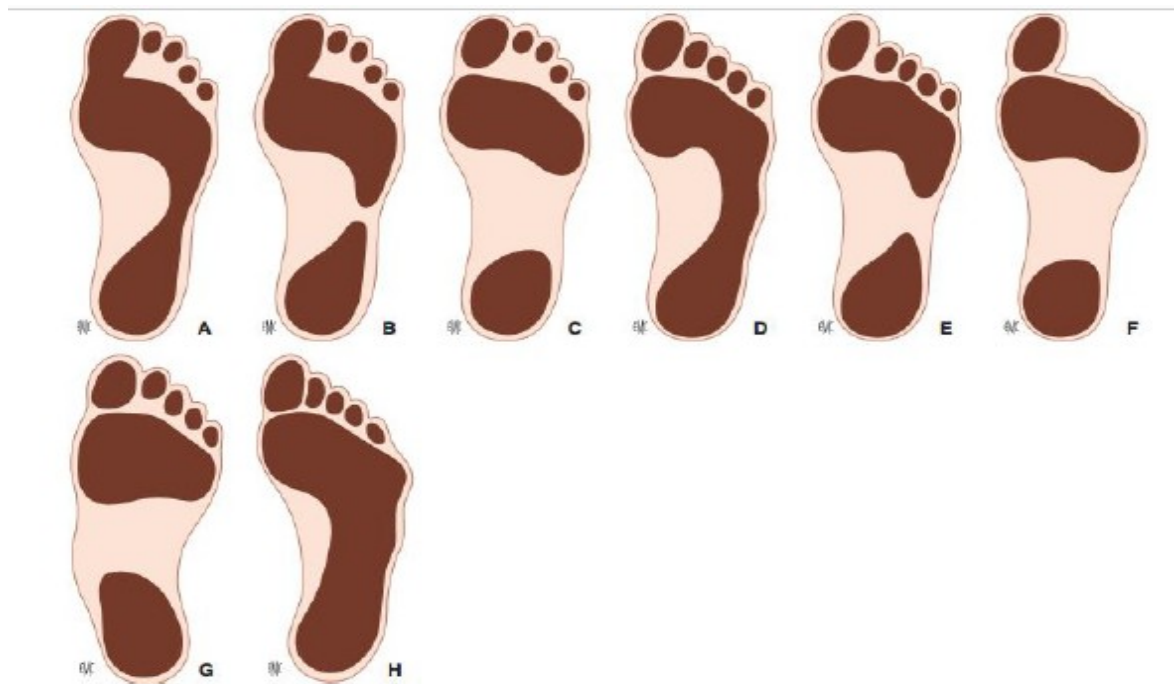
Iconographie 18 : L’empreinte plantaire vue sur un podoscope.

Source :©photo personnelle.

Cet examen permet de voir l’empreinte du pied, d’affirmer le pied creux et de le classer en stades en fonction de l’étroitesse de l’isthme médian (33). Il constitue pour certains un examen plus iconographique que pratique, mais pour Lelievre (151), l’examen podoscopique constitue un document important. L’empreinte traduit l’importance et la réductibilité de la dénivellation, ainsi que les torsions articulaires. On distingue schématiquement 6 aspects principaux (43),(152) :

- **Degré 0 ou Précavus** : renflement latéral de la bande latérale, correspondant au démasquage de l’appui styloïdien du 5ème métatarsien en rapport avec un varus du pied.
- **Le premier degré** : réduction de la largeur de l’isthme moins 1/3 de la largeur du pied entre les appuis antérieurs et postérieurs.
- **Le 2ème degré** : l’isthme est interrompu avec persistance des prolongements des appuis antérieurs et postérieurs, un hyper appui antérieur entraînant des douleurs, partiellement réductible associée à une fatigabilité.
- **Le 3ème degré** : les rétractions sont considérables et toute la bande externe a disparu. L’appui antérieur se réduit à une bande transversale, une rigidité, un raccourcissement du pied, une griffe des orteils irréductibles, et une perte des appuis des orteils.
- **Le pied creux valgus** : son contour est celui d’un pied plat. L’empreinte est celle d’un pied creux du troisième degré.

- **Le pied creux compensé** : c'est une forme de l'adulte.



A. Cavus du 1^{er} degré. **B.** Cavus du 2^{ème} degré. **C.** Cavus du 3^{ème} degré.
D. Cavus antérieur du 1^{er} degré à prédominance médiale dit encore précavus.
E. Griffes des orteils avec conservation des appuis pulpaux. **F.** Perte des appuis pulpaux. **G.** Cavus valgus avec abductus métatarsien. **H.** Cavus varus.

Fig 86 : Empreinte plantaire du cavus . (153)

- Le pied normal

L'empreinte du pied normal est harmonieuse, elle se compose d'un talon avec une forme ovoïde ,des têtes métatarsiennes et de l'isthme qui réunit les deux, ce dernier fait un tiers de la largeur du pied.

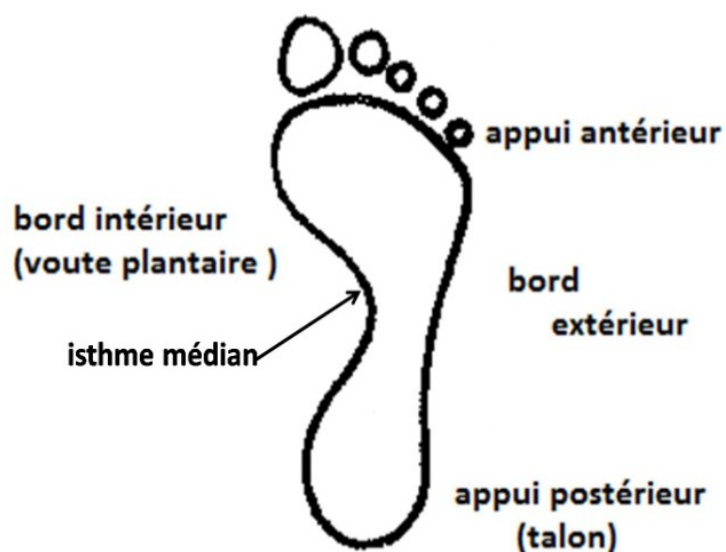


Fig 87 : Empreinte plantaire normale en charge du pied. (154)

L'étude des empreintes plantaires (129), permet de classer la déformation en quatre degrés selon la largeur de la bande isthmique comparée à l'empreinte normale:

- **Degré 0** : ou précavus : renflement latéral de la bande latérale, correspondant - au démasquage de l'appui styloïdien du 5ème métatarsien en rapport avec un varus du pied.

- **Premier degré** : simple amincissement de la bande isthmique.

- **Deuxième degré**: disparition dans la région médio-plantaire de la bande isthmique dont l'amorce reste présente aux talons antérieur, et postérieur du pied.

- **Troisième degré** : disparition totale de la bande isthmique avec appui exclusif sur les talons antérieur et postérieur.



Fig 88 : Comparaison de l'empreinte plantaire d'un pied normal avec et celles du pied creux. (155)



Iconographie 19 : Empreinte podoscopique d'un pied creux neurologique bilatéral grade 3.
Source :©photos personnelle.

3- L'échographie

C'est un examen facile d'accès, peu coûteux mais nécessite une compétence ou une connaissance particulière pour le pied. Elle a modifié la prise en charge diagnostique du pied à tel point que le couple radio-échographie est un concurrent redoutable de l'IRM. Elle est utile pour apprécier l'état de l'aponévrose plantaire.

4- La Tomodensitométrie(TDM)

Les progrès technologiques avec actuellement des scanners hélicoïdaux permettant des reconstructions 3D multi planaires d'excellente qualité (131).C'est l'examen de choix qui permet de préciser les lésions osseuses, d'évaluer l'importance et le siège de l'arthrose des articulations de l'arrière-pied et la gravité de la dégénérescence ou la présence d'une lésion associée, comprendre les déformations complexes de l'arrière pied dans les trois plans.



a- déformation en 3 dimension(3D)

b- vue de profil de la déformation

Iconographie 20 : Scanner du pied creux sévère sur maladie de C.M.T avec déformation osseuse multiplanare.

Source : ©photo personnelle.

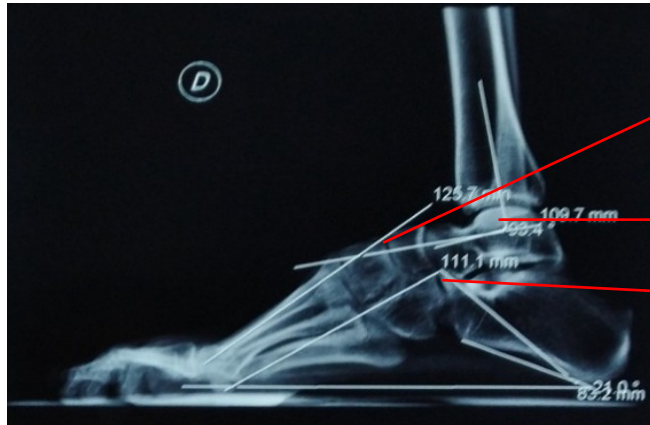
5- L'Imagerie par Résonance Magnétique(IRM)

C'est un examen très performant pour l'analyse des tissus mous (tendons, ligaments) mais coûteux et d'indications très précises. Il est rarement indiqué en première intention parfois en préopératoire pour apprécier l'aspect des muscles intrinsèques et l'état des tendons péroniers et de l'aponévrose plantaire.

6- L'analyse radiologique

L'analyse radiologique permet de dégager trois types de pied creux :

1- Le pied creux direct antérieur

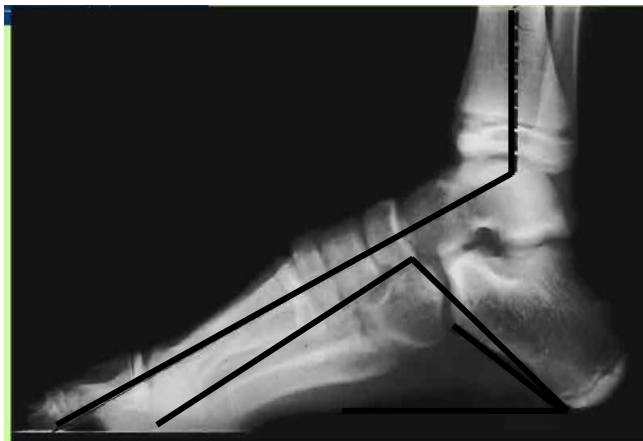


- Cassure importante de l'axe de Méary -Tomeno.
- Angle tibio-talien diminué
- Angle de D'jian Annonier diminué

Iconographie 21 : Radio d'un pied creux direct antérieur Source:©photo personnelle

2- Le pied creux direct postérieur

La pente du calcaneus est augmentée dans le pied creux postérieur ($> 30^\circ$)



- L'angle de D'jian Annonier est diminué à 115°
- L'axe de Méary -Tomeno est normal
- L'angle tibio-talien est augmenté
- Augmentation de la pente du calcaneus $> 30^\circ$

Iconographie 22 : Radio d'un pied creux postérieur. (156)

3- Le pied creux mixte



- L'angle de Méary-Tomeno est augmenté
- Verticalisation du calcaneus
- L'angle tibio-talien est normal

Iconographie 23 : Radio d'un pied creux direct mixte. Source : ©photo personnelle.

B- La biopsie nerveuse (04).

La biopsie nerveuse n'a aucune place dans le bilan diagnostique sauf dans les formes congénitales ou seul l'aspect du nerf permet de distinguer une neuropathie hypomyélinique d'une neuropathie amyélinique. Cet aspect de biopsie est différent selon qu'il s'agit d'une atteinte myélinique ou axonale.

1- L'atteinte myélinique :

Il s'agit de la diminution de la densité des fibres de gros calibres « bulbe d'oignon = prolifération **Schwannienne** » qui se fait en multiples lamelles concentriques autour d'un axone myélinisé. Il s'agit d'un processus chronique de démyélinisation- remyélinisation

2- L'atteinte amyélinique :

Les mitochondries intra axonales sont anormalement arrondies et ont des crêtes très modifiées, elles se regroupent à la périphérie de l'axone.

C- L'électro-neuromyogramme (EMG)

C'est un examen indispensable au diagnostic des neuropathies. Il permet d'explorer la conduction nerveuse des nerfs moteurs et sensitifs. L'étude se fait sur le nerf médian. Il permet d'affirmer l'origine périphérique motrice pure ou mixte ; et de déterminer le type myélinique et amyélinique.

L'amplitude du signal quantifie le nombre de fibres nerveuses (axones-dendrites) fonctionnelles. (04)

- C.M.T myélinique : augmentation latences distales constantes, VCNM et sensitif effondrés

- C.M.T axonale : atteinte neurogène constante et franche, VCNS normale, VCNM normal ou effondrés

D- Etude génétique de la maladie de Charcot-Marie-Tooth de Type A 1 (C.M.T.A1)

Elle se caractérise par : (42)

- L'identification du mode de transmission par l'étude de l'arbre généalogique.

- Le diagnostic moléculaire se fait à partir d'une prise de sang. Cette entité est la forme la plus fréquente de **C.M.T**, représentant 80,4% de l'ensemble des **C.M.T** (157). Elle est associée à une duplication du bras court du chromosome 17 contenant le gène **PMP22**.

Le gène **PMP22** a été identifié dans les années 1990.

La **PMP22** est une protéine membranaire de petite taille et l'un des constituants de la myéline compacte du système nerveux périphérique.

Elle est constituée de 160 acides aminés, la fonction de cette protéine reste encore mal connue.

Elle pourrait notamment jouer un rôle essentiel dans le fonctionnement des neurones l'exprimant aux stades précoces du développement embryonnaire.

XI- EVOLUTION DE LA MALADIE DE CHARCOT MARIE TOOTH

I- Evolution spontanée et naturelle

Le pied creux est souvent une maladie évolutive qui progresse rapidement, parfois dès la fin de l'adolescence. Cette évolutivité est appréciée sur le plan clinique et radiologique afin de connaître l'évolution réelle de cette déformation. Par ailleurs, il existe des formes modérées bien tolérées au début de la maladie et la déformation est réductiblement liée seulement à la rétraction des parties molles survenant chez l'enfant en pleine croissance puis au fur et à mesure que la neuropathie évolue (du fait de la dégénérescence myélinique dans les formes démyélinisantes) car la neuropathie est longueur dépendante.

La déformation va se fixer du fait des rétractions aponévrotiques, capsulaires, ligamentaires, musculo-tendineuses et de l'apparition de déformations ostéo-articulaires qui siègent au sommet du creux sur soit le scaphoïde ou le premier cunéiforme et si aucune prise en charge n'est entreprise, la déformation devient irréductible.

Les formes sévères sont rares (soit 10% des malades) nécessitant un fauteuil roulant.

L'évolution peut être lente et peut se stabiliser vers la fin de la croissance (pied creux direct), avec une aggravation possible lors de la puberté. Dans d'autres cas, la progression de la déformation peut être rapide et se poursuivre à l'âge adulte avec une dégradation arthrosique des articulations tibio-tarsienne et médio-tarsienne.

Quant aux atteintes du membre supérieur, d'après les observations cliniques des différents auteurs, les muscles innervés par le nerf radial sont atteints plus tardivement que ceux innervés par le nerf ulnaire ou le nerf médian qu'il faut prendre en considération lors d'un transfert.

Dans des conditions progressives non traitées, un pied flexible et corrigible peut devenir rigide avec des modifications osseuses structurales. Cela peut entraîner une incapacité au travail par des douleurs et des difficultés à porter des chaussures.

Les articulations rigides peuvent évoluer vers la destruction des articulations et développer de l'arthrose. Parfois il existe une instabilité de cheville secondaire à des entorses tibio-tarsiennes ou sous-taliennes récidivantes redoutables sur le plan fonctionnel. Ceci est expliqué par le varus de l'arrière-pied et la parésie du muscle court plantaire.

De nombreuses études antérieures ont étudié les caractéristiques des déformations du pied chez les patients atteints de maladies de **C.M.T** et aucune n'a pu établir la corrélation entre la déformation du pied et la progression ou la gravité de la maladie. La gravité de l'atteinte est variable d'un patient à l'autre et rien ne permet de prédire l'évolution.

Les maladies de **C.M.T** évoluent en général lentement, mais parfois, par poussées, en particulier à l'adolescence, quelquefois lors d'une grossesse, de la ménopause ou d'une situation de stress. Chaque cas est particulier. La longévité n'est pas affectée.

XII- QUALITE DE VIE :

Le pied creux neurologique sur maladie de **Charcot- Marie-Tooth** n'a pas de retentissement sur l'espérance de vie. La majorité des patients atteints réussissent leur vie professionnelle, en choisissant leur métier en tenant compte de leurs difficultés.

Le pronostic vital n'est pas engagé, mais le retentissement fonctionnel fait de troubles de la marche et l'équilibre, de troubles de la préhension, des douleurs à l'origine d'un retentissement sur la qualité de vie. Il n'y a pas de traitement curatif.

La compréhension de l'entourage est essentielle dans l'acceptation de la maladie, en particulier chez les enfants. Un enfant peut pratiquer un sport à condition que l'éducateur sportif soit informé de ses limites et qu'il l'intègre à un poste compatible avec son handicap.

Pour les malades atteints de maladie de **C.M.T** en raison du nombre croissant des gènes liés à la maladie, ainsi que l'hétérogénéité clinique et génétique considérable, la prise en charge est symptomatiquement basée sur le traitement de la douleur et la faiblesse musculaire surtout , pallier les fonctions déficientes et prévenir la dégradation neuro-orthopédique.

Un soutien psychologique peut s'avérer utile, ils parviennent à mener une vie riche et épanouie.

L'amélioration de la force musculaire peut améliorer la performance fonctionnelle par le renforcement musculaire, l'hydratation adéquate et de séances de réchauffement et de refroidissement. L'appareillage judicieux permet d'améliorer les douleurs.

XIII- TRAITEMENT DU PIED CREUX NEUROLOGIQUE

A- LES BUTS

Le traitement des pieds creux neurologiques ne s'adresse qu'aux pieds symptomatiques qu'il soit médical ou chirurgical et quelle qu'en soit l'étiologie.

Le but est de diminuer les douleurs liées à la déformation et les troubles fonctionnels par défaut de répartition des appuis et de freiner la progression de la déformation et de diminuer les déséquilibres musculaires tout en conservant les mobilités articulaires.

L'idéal est d'aboutir chez l'adulte jeune à un pied plantigrade, chaussable, indolore et équilibré.

B- LE TRAITEMENT MEDICAL

► Les orthèses plantaires

Elles ont pour but de soulager les hyper-appuis plantaires par répartition d'appui sur les pieds fixés et de stabiliser la colonne d'appui, de ralentir l'évolutivité des déformations. Elles compensent le déficit de flexion dorsale de la cheville. Le talon de la semelle peut comporter un coin pronateur postérieur sous calcanéen pour réduire un varus réductible avec stabilisation transversale de l'arrière pied par une simple cuvette. Une surélévation modérée peut compenser l'équin de pas plus de 10mm pour éviter le déchaussage du talon. L'appui rétro-capital soulage les hyper-appuis des têtes métatarsiennes. Il s'agit le plus souvent d'une barre rétro-capitale transversale stabilisatrice de l'arrière pied, principalement adaptée en arrière des callosités. Les matériaux doivent être aussi confortables et aussi amortissant que possible afin de compenser le défaut d'amortissement du pied, lié pour une bonne part à la verticalisation des appuis.



1 : Orthèse avec barre rétro capitale
Fig 89 : Les orthèses plantaires. (158)



2 : Orthèse avec cuvette talonnière



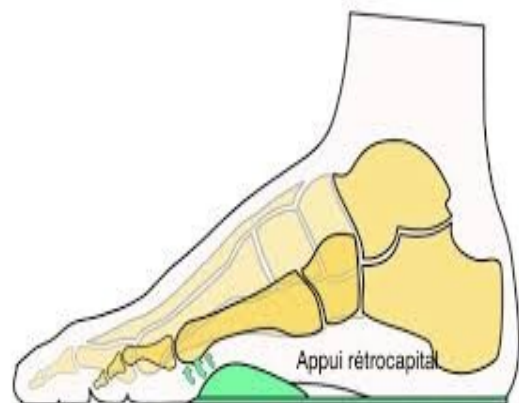
Fig 90 : Orthèse plantaire mécanique et dégénérative des membres inférieurs. (159)

L'avantage de ces orthèses retro-capitales de décharge est :

- Décharger les têtes métatarsiennes en reculant le point d'impact
- Lutter contre la verticalisation des métatarsiens
- Lutter contre les griffes d'orteils réductibles
- Répartir les pressions au niveau de l'avant-pied
- Eviter la fixité du pied creux



**Semelles thermoformées
par complexage**

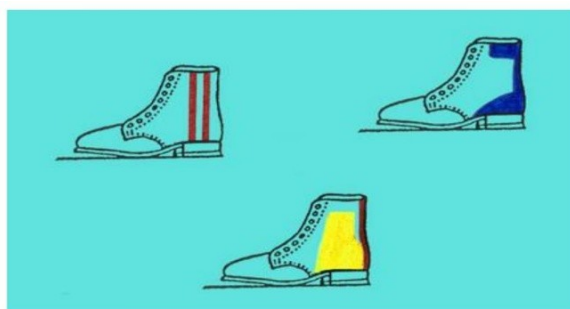


**Effet de la semelle avec
appui rétro capital**

Fig 91 : Le type d'orthèses pour pied creux. (160)

► Les chaussures orthopédiques

Le port de chaussures orthopédiques doit permettre un soutien du pied, une décharge et un équilibre mais souvent inesthétique à cause du conflit avec les callosités et l'hyperpressions.



- Tige montante renforcée
- Contreforts, tuteur postérieur
- Coques imbascables
- Capitonnages
- Talon désaxé en dehors
(effet anti-varus à l'attaque du pied au sol)
- Tige bien ouverte devant, relevé bateau antérieur
- Semelage :
 - Bande pronatrice externe (anti-varus)
 - Talonnette
 - Appui médian rétro capital
(anti griffe d'orteils)

Fig 92 : Appareillage par chaussure du pied creux neurologique (161)

Ces chaussures orthopédiques sont proposées lorsque les chaussures du commerce ne permettent plus d'éviter les différents conflits cutanés et d'assurer une stabilité suffisante.

► Les appareillages nocturnes de type orthèse de **PERLSTEIN**

C'est un appareillage jambo-pédieux nocturne de type **Perlstein** "dévrillant", permettant une correction du creux avec la cheville à 90° et une supination de l'avant-pied et une pronation de l'arrière-pied si la déformation est modérée.

Si la déformation est plus sévère, il est peut être précédé par une botte plâtrée « dévrillante » visant les mêmes objectifs (35), (70), (162) avec la cheville à 90° pour diminuer le creux. La brièveté du tendon calcanéen limite la flexion dorsale de la cheville et qui va servir de contre appui à la correction du creux, avec supination de l'avant-pied, l'arrière pied étant porté en valgus. Une sangle dorsale oblique mise en tension de dehors en dedans contribue à la correction du creux.

L'utilisation de cet appareil orthopédique est rationnelle dans trois situations:

- Au début des premiers signes du pied cavovarus (pour prévenir ou ralentir la progression),
- Comme thérapie de suivi après l'utilisation d'une botte de plâtre dérotante ;
- Après un traitement chirurgical chez un enfant pour prévenir la récurrence due à la croissance et au trouble neurologique.



**Fig 93 : Traitement moderne du pied creux interne de l'enfant
« Attelle de Perlstein dévriante » . (35)**

► Les bottes plâtrées dévriantes



- O1** : Valgisation du talon avec une main
- O2** : Dorsiflexion du pied
- O3** : Supination de l'avant pied par rapport à l'arrière pied
- O4** : Abduction globale
- A1** : La rotation interne de la jambe
- A2** : pression médio-latérale sur le talon pour corriger le varus du talon
- A3** : pression axiale sur la jambe pour corriger le cavus et l'équin

Fig 94 : Botte plâtrée dévriante. (35)

Le traitement orthopédique de première intention commence à être appliqué par certains auteurs (163), (164) et le considèrent comme adapté au caractère souple et flexible avant la maturité osseuse.

Le traitement consiste à déniveler le bloc calcanéo-pédieux par des séries de plâtres dévriantes, ajoutées à un appareillage orthotique (attelle de détorsion nocturne).

La technique du plâtre dévissant du membre inférieur sur barre à genou laissant libre les 2/3 proximaux de la jambe afin que l'aide maintient la correction.

Les étapes de la correction sont :

***Rôle de l'aide**

- La rotation interne de la jambe (UTTF) pour corriger l'adduction du bloc calcanéo-pédieux (A1)

- La pression médio-latérale sur le talon pour corriger le varus du talon(A2)

- Le maintien du genou fléchi avec l'autre main sur une barre à genou et applique une pression axiale sur la jambe pour corriger le cavus et l'équin(A3).

***Rôle de l'opérateur**

- Valgisation du talon avec une main (O1)

- Dorsiflexion du pied (correction du creux et l'équin)(O2)

- Supination de l'avant pied par rapport à l'arrière pied (O3)

- Abduction globale (O4) corrige l'adduction medio tarsienne et la sous -talienne

Deux à 03 bottes plâtrées de 03 semaines dans le but d'une correction progressive. Ces plâtres seront suivis par des orthèses de nuit faites sur mesure . (165)

Les orthèses de détorsion nocturnes luttent contre l'aggravation nocturne de la déformation dans la série d'**ASTROG** et al étudiée. (166)

► La rééducation

Les objectifs de la rééducation sont :

- Obtenir une utilisation optimale de la force restante
- Prévenir les rétractions musculo-tendineuses
- D'apporter un soulagement aux gênes engendrées par la maladie
- D'entretenir la mobilité passive et active, de la force et de l'endurance
- Stimulation sensori-motrice
- Optimisation des performances gestuelles de l'ensemble du membre supérieur
- Prophylaxie et éducation
- Optimisation de l'autonomie dans la vie quotidienne.

Il faut privilégier un travail en souplesse plutôt qu'en force.

Cette rééducation commence par des exercices d'auto-rééducation effectués quotidiennement par le patient au sein de son environnement par des séances de rééducation de la proprioception une fois par semaine ou tous les quinze jours, au cours desquelles les exercices sont guidés par le thérapeute.

Le massage manuel est une technique à privilégier. Il s'effectue avec des effleurages, des pressions glissées et pétrissages, et permettra de favoriser la décontraction musculaire et de lutter contre les raideurs. Il prépare et se mêle étroitement à la mobilisation des articulations qui s'effectuera selon le mode actif, actif-aidé ou passif. Un maintien maximal des amplitudes permet de limiter les raideurs qui sont autant d'obstacles supplémentaires à vaincre pour les muscles affaiblis.

Concernant les enfants qui présentent des gênes fonctionnelles au niveau des mains, il est donc important de commencer la rééducation des mains chez l'enfant dès le plus jeune âge.

Les exercices d'auto-étirements : l'entretien de la mobilité passive a pour but d'assouplir les articulations des doigts et du poignet et de maintenir les amplitudes articulaires ainsi que des étirements des muscles du pied et le reste du membre avec automassage des pieds.

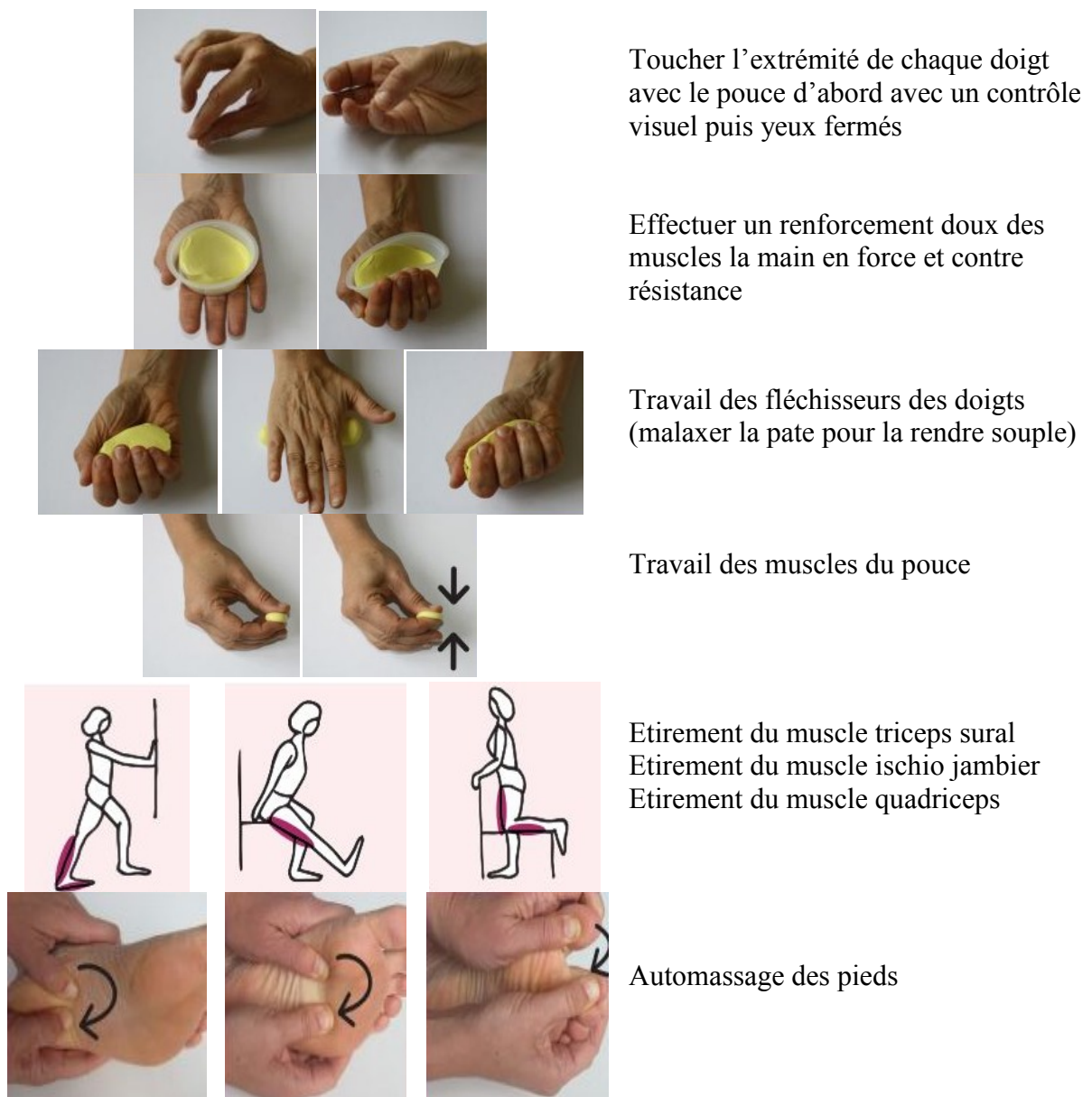


Fig 95 : Exercices d'auto-rééducation sensitivomotrice des pieds et des mains. (167)

Le patient fait une opposition du pouce avec les 4 doigts longs, pulpe contre pulpe, ce mouvement étant souvent déficitaire chez les malades C .M.T . (167)

Les exercices spécifiques de l'équilibre visent à maintenir la fonction de la marche et la prévention des chutes :

- . Marche entre barres parallèles ou tapis de marche
- . Marche en piscine avec bouées
- . Exercices respiratoires
- . Balnéothérapie :
- . Effet bienfaisant et décontractant de l'eau chaude

C- LE TRAITEMENT CHIRURGICAL

Le traitement chirurgical demeure actuellement le traitement idéal et fonctionnel pour la correction précoce des pieds creux varus afin d'éviter la croissance osseuse anormale. La chirurgie n'est justifiée que lorsque la déformation est prononcée ou progressive, que les symptômes sont intrusifs et insensibles aux traitements conservateurs. Une intervention chirurgicale précoce, ponctuelle et limitée tant que le pied est toujours flexible, peut rééquilibrer le pied et éviter la nécessité d'une plus grande procédure plus tard techniquement exigeante.

La diversité des procédures chirurgicales rend l'indication thérapeutique individuelle en tenant compte de l'âge, du degré d'évolutivité, de l'étiologie et du caractère réductible ou pas.

La chirurgie est un dernier recours si les mesures conservatrices ne parviennent pas à contrôler les symptômes.

Les objectifs de la chirurgie sont triples :

- Corriger la déformation, placer le pied dans une position plantigrade équilibrée, stable sur le sol avec des pressions plantaires uniformes entre talon, premier rayon et cinquième rayon.
- Soulager la douleur due à une surcharge ou articulations arthrosiques, tout en préservant la mobilité articulaire si possible.
- Rééquilibrer les forces musculaires, aidant à la démarche et prévenir la progression ou la récurrence des déformations.
- Libérations articulaires et allongement des tendons

1- LES INTERVENTIONS SUR L'OS

Plusieurs ostéotomies ont été décrites dont la plus connue est l'ostéotomie de valgisation du calcaneus de **Dwyer** (128). Elle est souvent associée soit à une libération plantaire ou à un geste de correction du médio-pied et ou de l'avant-pied.

a- Les ostéotomies du calcaneus

◆L'Ostéotomie de Dwyer

► Généralités

En 1893, **Gleich** est le premier à proposer une ostéotomie oblique de la grande tubérosité calcaneenne pour les patients présentant un excès de pronation (10).

En 1954, **Dwyer** (168),(169) propose une ostéotomie linéaire permettant une rotation latérale de la grande tubérosité du calcaneus pour les pieds creux adultes puis chez les enfants dès l'âge de 03 ans car l'ossification est suffisante pour pouvoir ajouter un greffon.

Dwyer associe à l'ostéotomie un allongement du tendon calcaneen et une ouverture du fascia plantaire pour obtenir de bons résultats.

En 1958, **Dwyer** présenta son ostéotomie de valgisation par soustraction externe pour les pieds creux neurologiques et aux récidives de pieds bots varus équins. Plus tard, l'auteur étend ses indications.

En 1963, il utilise la même ostéotomie pour les pieds bots varus équins opérés permettant une ostéotomie d'ouverture pour corriger le varus et une ouverture dorsale pour augmenter l'inclinaison du calcanéus.

Cette intervention a montré son efficacité et sa durabilité dans la correction du varus. Elle est de réalisation facile qui garde l'intégrité de l'articulation sous-talienne avec une consolidation rapide.

En 1977, **Mitchell** propose une ostéotomie de la tubérosité calcanéenne avec une translation dorsale et postérieure dans le traitement du pied creux (126). L'ostéotomie calcanéenne de **Mitchell** de translation dorsale et postérieure de la grosse tubérosité est intéressante dans les pieds creux postérieurs. Cette ostéotomie n'est qu'une étape de correction complète des déformations (170), (171). Elles permettent d'obtenir de bons résultats et de ralentir l'évolutivité de la déformation.

► Le but de l'opération :

C'est d'effectuer une valgisation du talon ce qui permet de décharger le talon et la mise en charge de l'avant pied en corrigeant le creux interne et l'action varisante du triceps. Elle est en général utilisée en association à d'autres interventions sur le pied.



A : Ostéotomie à base externe permet une remise en valgus du calcanéus



B : Fermeture de l'ostéotomie de valgisation avec mise en place d'une agrafe de Blount.

Iconographie 24 : L'ostéotomie calcanéenne de valgisation de Dwyer sur une vue postérieure du pied

Source : ©photo personnelle.

► La technique :

•L'installation

Le patient est en décubitus dorsal, en rotation interne avec appui sous la fesse homolatérale, ce qui permet un bon contrôle de l'axe du talon par rapport à la jambe lors de la pratique de la radio per opératoire avec garrot à la racine de la cuisse.



Iconographie 25 : Tracé de l'incision externe rétro malléolaire pour ostéotomie calcanéenne de Dwyer

Source : ©photo personnelle.

- La voie d'abord (170).

L'incision est oblique externe à 1 cm en arrière et au dessous du bord postérieur de la fibula et parallèlement au trajet des tendons fibulaires avec pied en rotation interne en respectant le nerf sural.

Cette incision débute juste au dessus de bord supérieur du calcaneus et se termine à la jonction peau plantaire et dorsale puis incision du périoste qu'on rugine sans décollement cutané et en refoulant vers le haut les tendons péroniers avec leur gaine. Deux petits écarteurs à bec sont glissés, l'un à la face supérieure, l'autre à la face inférieure du calcaneus avec respect de la saphène externe et de la gaine des péroniers.

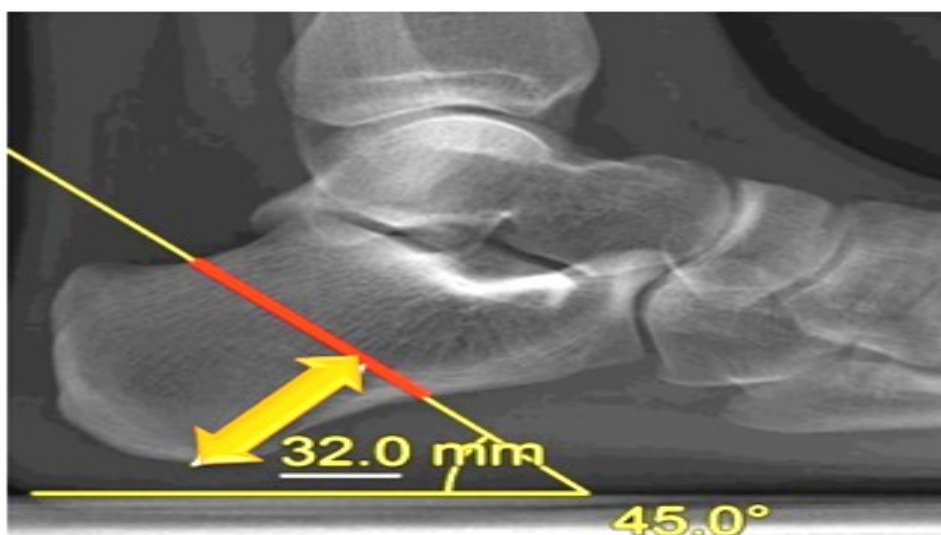


Fig 96 : Tracé de l'ostéotomie calcanéenne de Dwyer à 45° du plan plantaire(172).

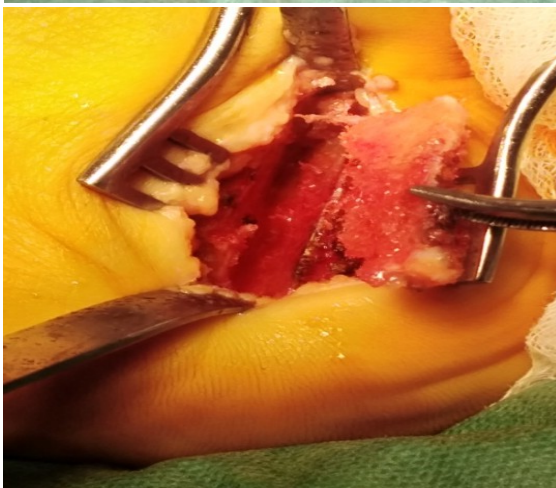
- L'ostéotomie (173).

L'ostéotomie linéaire de soustraction externe, oblique d'arrière en avant et de haut en bas de 45° par rapport à la surface d'appui avec respect de la corticale interne qui doit être fragilisée pour servir de charnière. L'ostéotomie est faite à l'aide d'un ostéotome fin ou à la scie oscillante permettant la résection d'un coin osseux à base externe de 8 à 12 millimètres

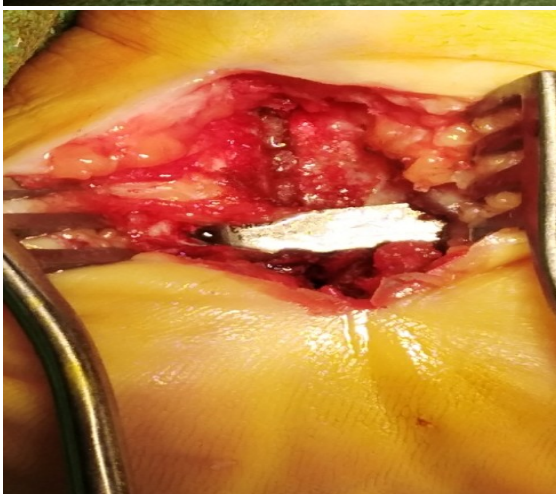
de largeur, selon l'importance de la correction souhaitée. La fermeture du trait d'ostéotomie est obtenue par mise du pied en flexion dorsale et par un mouvement de valgus du talon. Si la fermeture est difficile, la résection doit être complétée sur les corticales supérieure et plantaire. La fixation est assurée par vis, agrafe de **Blount** ou broches. Une radiographie de contrôle par une incidence rétro tibiale ascendante peut être utile pour le contrôle de la correction définitive.



1 : Exposition du calcanéum après rugination.



2 : Ostéotomie calcanéenne de Dwyer avec résection d'un coin osseux.



3 : Fermeture de l'ostéotomie par valgisation et fixation par agrafe de Blount.

Iconographie 26 : Les étapes de l'ostéotomie de valgisation de Dwyer.

Source : ©photo personnelle.

Le fragment réséqué peut servir à l'ostéotomie des cunéiformes quand elle est réalisée en même temps opératoire.

Dans notre étude, ces fragments ont été analysés sur le plan microscopique afin d'avoir une avancée étiologique ou évolutive et de connaître le retentissement de cette déformation sur la trame osseuse.

Une radiographie per opératoire est faite avec une incidence dorsoplantaire ascendante (rétro- tibiale) pour contrôler la correction du varus et la synthèse.

L'ostéotomie de valgisation par soustraction externe selon **Dwyer** (128), (174), (175), (176) est largement utilisée mais toujours en association avec d'autres procédures du médio-pied ou de l'avant pied car seule, elle donnera de mauvais résultats au même titre que les ostéotomies d'horizontalisation du calcanéus (177). L'ostéotomie doit être complétée par une aponévrotomie plantaire pratiquée par une courte incision interne (178). Elle a comme inconvénient un raccourcissement de la hauteur du talon. La qualité du résultat dépend de l'exactitude de la correction et de l'état des autres articulations du pied.

- La fermeture

La fermeture sous-cutanée et cutanée doit être soignée, à points séparés sans drainage. Une attelle plâtrée, prenant le pied en flexion dorsale, est conservée pour six semaines avec autorisation de reprise de l'appui au bout de trois à 04 semaines.

♦L'ostéotomie de MALERBA

► Les généralités :

En 1997, l'ostéotomie de **Malerba** et de **Marchi** (170) était indiquée dans la correction du pied creux avec varus calcanéen. Cette ostéotomie est indiquée en cas de varus calcanéen (déformation dans le plan coronal). L'ostéotomie est limitée au niveau de la tubérosité, à distance de l'articulation sous-talienne. La forme de l'ostéotomie avec ses deux traits horizontaux permet une correction principalement dans le plan coronal.

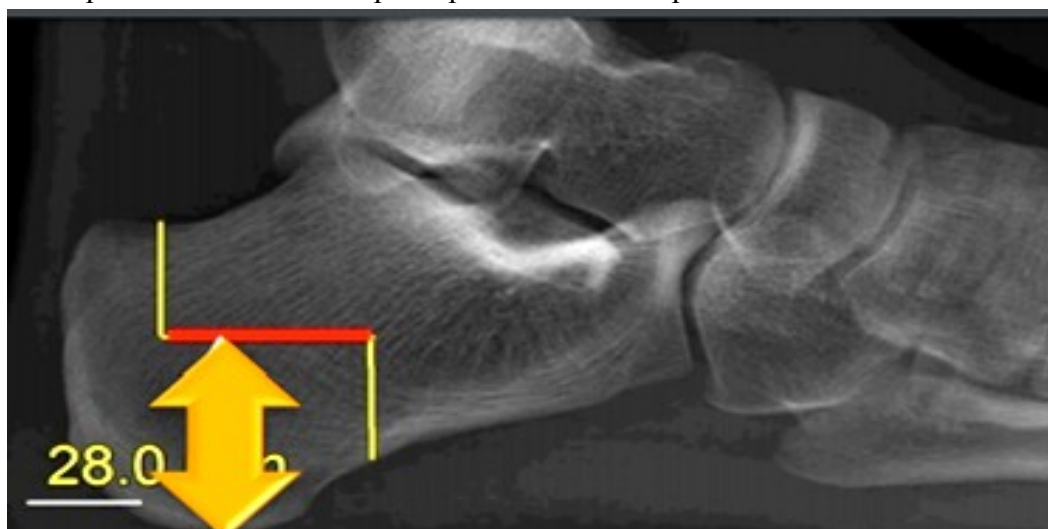


Fig 97 : Tracé de l'ostéotomie de Malerba associant un trait vertical et deux traits horizontaux (172).

► La technique chirurgicale (172).

Le patient est en décubitus latéral avec garrot à la racine du membre et le genou fléchi à 20°. L'incision est latérale curviligne de 45° par rapport à la surface plantaire jusqu'au périoste. L'ostéotomie se fait à l'aide d'une scie oscillante et terminée à l'ostéotome en découpant trois traits : la coupe transversale est parallèle à la surface d'appui de 1,5 cm de long à distance de l'insertion du ligament calcanéo-fibulaire. La coupe distale et verticale vers la corticale plantaire et le trait vertical proximal atteint la corticale dorsale de la tubérosité. Un deuxième trait horizontal convergeant avec le premier vers la corticale médiale permet de retirer un coin osseux corrigeant le varus calcanéen dont l'épaisseur du coin est préalablement planifiée par un bilan radiologique en pré-opératoire. La fermeture de l'ostéotomie avec mise en place d'agrafes de **Blount** dans une direction dorsoplantaire. L'ablation des agrafes se fait en cas de gêne fonctionnelle. La consolidation est rapide. Une attelle plâtrée est confectionnée pour 15 à 20 jours puis relayé par une botte plâtrée pour 04 à 06 semaines. La mise en charge complète peut être autorisée à partir de la 6ème semaine postopératoire.

► Les avantages

C'est une ostéotomie simple, de correction meilleure, avec des complications rare car elle est pratiquée en zone spongieuse favorisant la consolidation rapide au bout de 45 jours. La voie d'abord diminue le risque de lésions neurologiques (lésion du nerf sural).

Bien que l'ostéotomie favorise la pronation de l'arrière pied, elle augmente les contraintes au niveau de l'arche médiale en présence d'un premier rayon fixé en flexion plantaire, ce qui est observé dans le cadre des pieds creux.

Ses limites font qu'elle autorise la correction dans le plan sagittal (d'où l'indication idéale est un pied creux associé à un varus calcanéen pour lequel une ostéotomie en **Z** est associée à d'autres techniques du médio pied ou avant pied).

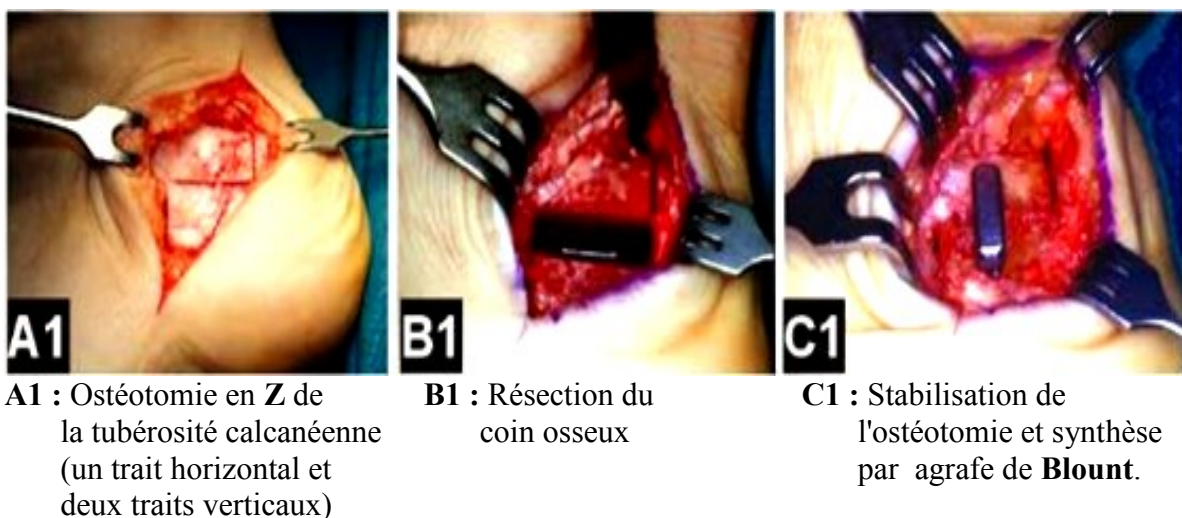


Fig 98 : Les étapes de l'ostéotomie de Malerba. (170)

♦ L'ostéotomie calcanéenne de MITCHELL

► Le but de l'opération :

En 1977, l'ostéotomie de **MITCHELL** qui est une ostéotomie de translation dorsale et postérieure de la grande tubérosité du calcanéus associée à une aponévrotomie plantaire était indiquée pour traiter les pieds talus paralytiques séquellaires de la poliomyélite antérieure aiguë chez l'enfant. Puis, il a étendu l'indication au pied creux postérieur de l'enfant (171). Le but de cette intervention est l'ascension de la grosse tubérosité pour horizontaliser le calcanéus favorisant par la suite la survenue d'un conflit antérieur talo-crural à l'origine de l'arthrose par limitation de flexion dorsale de la cheville.

► La technique chirurgicale (179)

•L'installation et voie d'abord

Le patient est en décubitus dorsal avec garrot pneumatique à la racine du membre. La voie d'abord est arciforme rétro et sous-malléolaire. Exposition de la face latérale du calcanéus avec respect du nerf saphène latéral et abord de la grande tubérosité en sous-périosté. L'aponévrose plantaire ainsi que les muscles plantaires sont désinsérés du calcanéus. Un clou de Steinmann trans calcanéen est mis en place dans la grande tubérosité, perpendiculaire à l'axe frontal de l'arrière-pied maintenu par un étrier de **Kirchner**.

Une ostéotomie cylindrique à concavité dorsale et antérieure est réalisée à l'ostéotome du bord proximal de la grande tubérosité jusqu'à sa partie plantaire oblique. L'ostéotomie est perpendiculaire à la face latérale du calcanéus. Par traction sur l'étrier de **Kirchner**, une ascension et une translation latérale de la grande tubérosité sont réalisées. La fixation de l'ostéotomie est réalisée à l'aide de 02 ou 03 broches ascendantes mise en percutané à partir du talon. Les broches sont recourbées et laissées saillantes à la peau sur un centimètre. Une botte plâtrée sans appui est confectionnée pour 06 semaines suivie de l'ablation de broches permettant ainsi la marche.



Fig 99 : Pied creux postérieur chez un enfant avant la chirurgie montrant un calcaneus très verticalisé.(171)

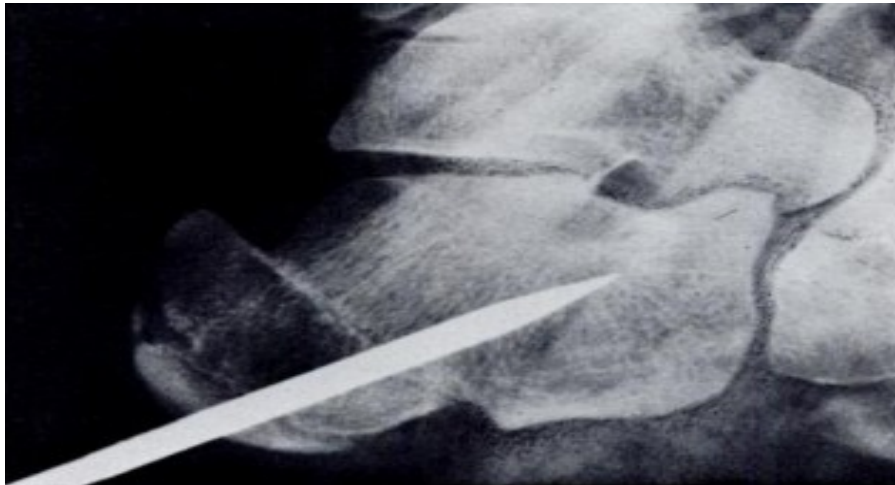


Fig 100 : Radio de profil montrant la translation dorsale et postérieure de la grosse tubérosité selon la technique de Mitchell maintenu par un clou de Steinmann (171).



Fig 101 : Profil du pied montrant la correction de la pente calcanéenne et consolidation de l'ostéotomie chez un enfant ayant un pied creux (171).

Brilhault (179), a réalisé une étude rétrospective sur les pieds creux postérieurs essentiels et neurologiques.

L'étude et l'évaluation se sont déroulées sur 16 patients (26 pieds). L'âge moyen lors de l'intervention était de 14 ans. Le recul moyen était de 10 ans. Les résultats étaient marqués par la persistance de douleurs chez les patients atteints de maladie de **C.M.T** qui ont nécessité une arthrodèse du couple de torsion dans 20% des cas ainsi qu'une insuffisance de correction de l'arrière-pied.

Un même patient, a dû bénéficier d'une arthrodèse du couple de torsion des deux pieds, 15 ans après l'ostéotomie. (77 %) des cas présentaient des signes radiologiques de conflit antérieur de cheville. L'angle tibio-talaire de l'articulation talocrurale n'a été diminué de manière significative que pour le groupe des maladies de **C.M.T**.

L'ostéotomie de **Mitchell** corrige la pente calcanéenne auxquelles le conflit antérieur de cheville lui était attribué. Cependant, une horizontalisation significative du talus n'était observée que dans les cas de maladie de **C.M.T**.

b- L'ostéotomie d'ouverture plantaire des os cunéiformes

Ces ostéotomies sont réalisées chez l'enfant devant une flexion plantaire de l'avant pied (45), (180). L'apex de la déformation est situé au niveau des os cunéiformes. L'ostéotomie est faite en gardant une charnière ostéo-périostée dorsale maintenue après introduction d'un greffon osseux corrigeant ainsi le creux médial mais non la pronation de l'avant pied. La perte de mobilité est limitée aux deux articulations inter-cunéennes. L'ostéotomie d'ouverture plantaire du seul cunéiforme médial (181) n'agissant que sur le premier rayon, d'où correction partielle de la pronation de l'avant-pied.

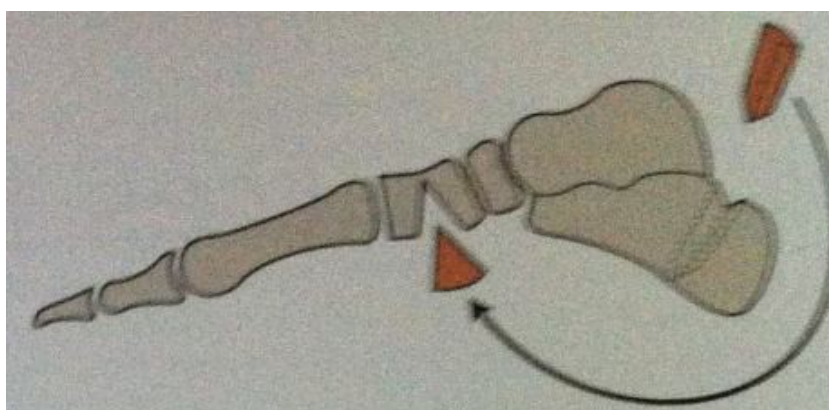


Fig 102 : Le fragment provenant de l'ostéotomie de Dwyer servira de greffon à l'ostéotomie des cunéiformes.(182)



1 : Ostéotomie verticale frontale des cunéiformes avec respect de la charnière dorsale



2 : Ouverture plantaire de l'ostéotomie



3 : Comblement de l'ostéotomie par le greffon provenant de l'ostéotomie du calcanéum

Fig 103 : Les étapes de l'ostéotomie d'ouverture des os cunéiformes (156).

Une voie d'abord médiale du médio pied est réalisée, permettant l'exposition de façon extra-périostée des os cunéiformes. Le tendon du tibial antérieur est refoulé vers l'avant et en haut, avec parfois section de certaines de ces fibres afin d'exposer la face médiale du premier cunéiforme.

Une broche fine est mise dans les os cunéiformes matérialisant le trait d'ostéotomie dont le trajet correspond au milieu des trois os cunéiformes ; le point d'entrée étant le milieu du premier cunéiforme en visant l'extrémité proximale de la styloïde du cinquième métatarse sous contrôle scopique.

On amorce l'ostéotomie avec une scie oscillante le long de la broche repère en maintenant une charnière ostéo-périostée dorsale.

L'ouverture plantaire de l'ostéotomie est réalisée de la façon suivante : la main de l'opérateur saisit l'avant-pied en empaumant son bord médial et en plaçant son articulation inter phalangienne proximale de l'index au sommet du second cunéiforme et le pouce sous la tête du premier métatarsien. Le contre-appui est réalisé par le tendon calcanéen laissé intact même s'il existe un léger équin.

Une ouverture relativement importante des os cunéiformes est observée qui est comblée par le greffon calcanéen encastré de bas en haut sans ostéosynthèse.

Plusieurs procédures se succèdent :

- L'ostéotomie de valgisation du calcanéus (**Dwyer**) : elle est débutée en premier car la correction de l'adduction du bloc calcanéo pédieux (BCP) consécutive à la correction de la pronation de l'avant-pied est souvent insuffisante.

- L'aponevrotomie plantaire sélective se fait par une courte incision cutanée plantaire longitudinale de 15 mm sur le relief des cunéiformes.

Ce traitement réalisé avant maturité squelettique est motivé par l'importance des signes fonctionnels. Il donne une correction satisfaisante à moyen terme du pied cavovarus et un bon résultat fonctionnel. Il préserve les mobilités des articulations sous taliennes et médio tarsiennes.

Il permet dans deux tiers d'éviter une double arthrodèse. Le taux de double arthrodèse doit pouvoir diminuer avec un traitement orthopédique complémentaire sous forme d'orthèses « dévillantes » nocturnes. (45)

c- Hémiepiphysiodèse dorsale du premier métatarse : chirurgie mini-invasive(30).

L'utilisation de l'hémiepiphysiodèse de la physis proximale du premier métatarse a déjà été utilisée avec succès pour le traitement de l'hallux valgus juvénile.

♦ Le but de l'opération

C'est la correction de la déformation de l'arrière-pied et le cavovarus et l'arrêt de la détérioration par cette technique combinée (Hémiépiphysiodèse et libération plantaire)

♦ La voie d'abord

Une incision dorsale de 1,5 cm centrée sur la physe proximale du premier métatarse, le tendon du long extenseur de l'hallux est récliné et refoulé médialement. A l'aide d'une aiguille de calibre 26, la physis est localisée par ponction. Ensuite, une plaque à 02 trous et des vis ont été insérées pour ponter la physis, la vis proximale étant placée en premier (1,5 mm de diamètre) et une fois la position établie, la deuxième vis mise. Une attelle plâtrée avec flexion dorsale maximale de l'avant-pied sur l'arrière-pied maintenu pendant 04 semaines. La mise en charge complète était autorisée dès consolidation.



A: Incision pour la libération plantaire en percutanée.



B: Incision dorsale avec repérage de la physis à l'aide d'une aiguille et confirmée sous scope



C: Mise en place de la plaque

Fig 104 : Les étapes de la technique de l'hémiépiphysiodèse dorsale de M1(30)

♦ Les avantages

L'hémiépiphysiodèse donne un remodelage osseux en interférant avec la croissance osseuse, permettant ainsi la correction de la déformation. Elle offre une alternative dans le traitement du PCV (pied cavovarus) chez les jeunes enfants et peut éventuellement réduire le nombre de chirurgies nécessaires à l'avenir.

Le traitement de la déformation de l'avant-pied au niveau de la physis du premier métatarse juste à proximité de l'apex permet une correction progressive de la déformation de même que pour les tissus environnants. L'avantage de la correction précoce du PCV est d'éviter que les muscles croissent anormalement sur un pied déformé. Pour que le muscle croie normalement, il nécessite un étirement excessif de ses fibres (183). Si le pied reste dans une position de varus constante, les muscles tibiaux n'atteindront jamais toute la longueur.

De nombreux auteurs ont utilisé une ostéotomie à la base du premier métatarse pour obtenir une correction de la chute du premier métatarse et par conséquent du varus de l'arrière-pied, avec de bons résultats (40).

D'autres préfèrent une ostéotomie plantaire d'ouverture au niveau du premier cunéiforme (en considérant que l'apex de la déformation est située au niveau du cunéiforme médian) (36) malgré l'effet de correction sur le varus de l'arrière-pied est moins évidente (184) on décrit une complication la plus fréquente qui est le mauvais placement de la vis proximale du fait de la petite taille de l'épiphyse proximale et la position oblique de la physis au sol. Ce mauvais positionnement est retrouvé dans 03 pieds. Un pied a eu une rupture de la plaque.

Plusieurs gestes associés sont pratiqués simultanément

- La libération du fascia plantaire est susceptible de la correction obtenue. Les auteurs ont répondu que la libération plantaire peut améliorer le cavus mais n'est pas en mesure d'inverser le varus de l'arrière-pied (37), (185).

- L'équilibrage musculaire est certainement la partie la plus difficile du traitement du PCV. Il n'y a pas de schéma cohérent de déséquilibre musculaire (186) et l'évaluation chez un jeune enfant peut être extrêmement difficile.

2- Les interventions sur les parties molles

Il est impossible de corriger la déformation structurelle en présence de tissus mous rétractés ; la libération devant précéder toute autre procédure.

La libération plantaire a pour but de détendre les rétractions plantaires qui peuvent être soit élargies ou sélectives.

Les libérations plantaires (37), (127) élargies comportent la section des formations aponévrotiques et capsulo-ligamentaires plantaires souvent source d'hypercorrection ou d'hypo correction (187). La libération sélective agissant seulement sur l'aponévrose plantaire et les éléments s'insérant sur le calcaneus, habituellement associées à des gestes osseux.

a- La libération plantaire à minima ou sélective (188)

Bien que la libération plantaire puisse corriger le cavus, elle n'est pas en mesure d'inverser le varus de l'arrière-pied (37), (185).

Elle comporte une section de l'aponévrose plantaire moyenne qui est souvent associée à une intervention osseuse limitant ainsi les résections. Le but est d'allonger par une aponevrotomie la base de l'arche plantaire, rétractée dans le pied creux antéro-interne(188).

♦L'installation et voie d'abord

Le patient est installé en décubitus dorsal sur table ordinaire sous A/G avec un billot sous la fesse controlatérale donnant un bon jour sur la face interne du pied. Tout le membre inférieur est préparé stérilement. Le garrot pneumatique est à la racine du membre.

♦L'incision

L'incision cutanée est curviligne interne de un à deux cm à l'union de la peau dorsale et peau plantaire sous le relief de l'os naviculaire. La dissection du tissu cellulaire sous cutané se fait aux ciseaux pour éviter la fibrose. La dissection de l'aponévrose plantaire se fait en refoulant le court fléchisseur vers le haut et le paquet plantaire interne. La section de l'aponévrose se fait aux ciseaux près de son insertion calcanéenne en mettant le pied en flexion dorsale et les orteils en extension afin de tendre l'aponévrose plantaire au maximum. Pour régler l'étendue de ce geste, il est ainsi possible de palper la plante du pied et voir l'écart entre les deux berges.

Dans notre étude, nous avons réséqué un fragment de la berge pour éviter la cicatrisation de l'aponévrose sans effet d'allongement et qui servira d'analyse anatomo-pathologique.



Iconographie 27 : Individualisation de l'aponévrose plantaire près de l'insertion calcanéenne

Source : ©Photo personnelle.

b- La Libération plantaire élargie

Ces techniques de libération plantaire ouverte ont été décrites depuis 1898 ; puis **Steindler** en 1920 décrit de manière plus approfondie la libération des muscles plantaires du calcaneus qui donnera une correction satisfaisante chez les jeunes enfants (189).

La section touchera l'aponévrose plantaire, les courts fléchisseurs des orteils, l'abducteur du 5e orteil et le court abducteur de l'hallux. Ces libérations musculaires peuvent être complétées par une libération médiale de l'articulation sous-talienne et de l'articulation talo-naviculaire en cas de déformation importante et peu réductible.

Ces libérations plantaires, n'exercent de correction du creux que par un bâillement plantaire des différentes articulations. (176)

- La technique

Le premier temps de l'intervention est la libération et l'isolement du pédicule tibial postérieur et de ses branches plantaires interne et externe. Cette dissection est facilitée par la désinsertion préalable de l'abducteur de l'hallux au niveau de son insertion postérieure.

Le nerf tibial postérieur est l'élément le plus postérieur du pédicule.

On poursuit la désinsertion de l'abducteur de l'hallux et de l'aponévrose plantaire du calcaneus.



Fig 105 : Libération plantaire élargie par incision médiale plantaire.

- La section de l'aponévrose moyenne

La libération de la partie calcanéenne de l'aponévrose plantaire moyenne se fait en haut du court fléchisseur plantaire, en bas du plan sous cutané perpendiculaire à la peau et au contact de l'aponévrose pour éviter de la dévasculariser. Puis on sectionne à quelques millimètres de son insertion calcanéenne en allant en dehors jusqu'à la gaine des péroniers qu'il faut respecter avec section des insertions calcanéennes des muscles plantaires jusqu'à l'articulation calcanéocuboïdienne.

- Les Gestes complémentaires

La section du ligament calcanéonaviculaire plantaire

La capsulotomie talonaviculaire

La section des expansions plantaires du tendon du muscle tibial postérieur

La capsulotomie naviculocuneenne et cunéométatarsienne

Toute la face plantaire du squelette du médio-pied étant dénudée, on réalise cette capsulotomie à la face interne des articulations.

L'allongement du tendon du tibial postérieur par ouverture de sa gaine en arrière de la malléole médiale qu'on allonge de 10 à 15mm par un dédoublement en Z.

Une incision interne des capsules naviculocuneenne et cunéométatarsiennes élargie vers les faces plantaires et dorsales. Elle est réalisée selon l'importance de la déformation

- Le contrôle de la réduction et synthèse

La correction obtenue est appréciée en plaçant le pied en flexion dorsale et les orteils en extension, on doit obtenir une correction du creux sans forcer sur l'avant pied.

Si la correction est insuffisante, il faut vérifier les étapes des procédures faites au début et la compléter par l'un des gestes complémentaires. Quelques incidents per opératoire peuvent survenir à savoir la section accidentelle du nerf plantaire interne et la désunion cutanée et la nécrose cutanée plantaire.

- La fermeture et contention

La fermeture se fait en deux plans cutané et sous-cutané sans drainage.

Si la libération plantaire a été faite à minima, on confectionne d'emblée une botte plâtrée pour une durée de six semaines avec autorisation d'appui à partir de la troisième semaine.

Si la libération a été élargie, l'immobilisation par attelle plâtrée postérieure s'impose en position de correction pendant une semaine jusqu'à la fonte de l'œdème et de vérifier la cicatrisation cutanée avec reprise de l'appui dès la quatrième semaine.

c- La Désinsertion de l'abducteur de l'hallux

Dans les pieds cavovarus sévères, le fascia de l'abducteur de l'hallux peut nécessiter une libération, qui peut être effectuée par la même incision. Elle débute par la désinsertion de l'abducteur de l'hallux du tarse antérieur. Le muscle est récliné vers le bas ; on poursuit la désinsertion en arrière au niveau du calcaneus, et on le libère de ses adhérences avec la gaine du tendon du jambier postérieur. L'abducteur de l'hallux est ensuite désinséré de l'aponévrose plantaire interne et moyenne, ce qui permet de lever la totalité du muscle d'arrière en avant.

3- Les interventions sur les articulations du médio-pied

• La Tarsectomie antérieure de MEARY

a- Les buts et principes(48), (190)

La tarsectomie corrige la pronation de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied par résection d'un hexaèdre au niveau du tarse antérieur asymétrique, plus large en haut qu'en bas et en dedans afin d'obtenir une rectitude astragalo-métatarsienne sur une radiographie de profil per opératoire.

La technique la plus utilisée est celle de **Méary**.

C'est la technique la plus classique pour le pied creux. Elle fut décrite en premier par **Ombredanne**, développée aux États-Unis par **Cole**, et défendue particulièrement en France par **Méary**.

Le relèvement de l'arche médiale corrige la pronation de l'avant-pied. En effet, cette ostéotomie ne permet pas la correction directe de l'adduction du fait de la résection cuboïdienne nécessairement étroite. La correction du cavus est réalisée manuellement en relevant l'avant-pied, elle peut-être facilitée par la section prudente des ligaments plantaires profonds associée à une libération de l'aponévrose plantaire. L'ostéosynthèse est réalisée par deux ou trois agrafes. Il faut veiller à ce que les pointes des agrafes n'atteignent pas les interlignes articulaires adjacents tarso-métatarsiens et médio-tarsiens. L'immobilisation est assurée par une botte plâtrée, éventuellement relayée au 45e jour par une orthèse de marche avec appui partiel protégé jusqu'à la fin du 02 mois.

b- L'installation

Le malade est en décubitus dorsal, avec un coussin sous la fesse homolatérale sous garrot pneumatique et jersey collé, incluant tout le membre dans le champ opératoire.

c- La voie d'abord

Il s'agit d'une double voie d'abord longitudinale dorsale et interne



Iconographie 28 : Double voie d'abord longitudinale dorsale et interne

Source : ©photo personnelle .

d- L'Incision et la résection osseuse

L'incision externe longitudinale longue de 05 à 06 centimètres centrée sur la saillie de l'apophyse styloïde du cinquième métatarsien avec respect du nerf saphène qui se trouve sur le trajet de l'incision.

On débute l'ostéotomie du cuboïde au milieu entre la styloïde du cinquième métatarsien en avant, l'interligne calcanéo-cuboïdien en arrière et l'ostéotome doit être gardé en place ; on dégage la terminaison du court péronier latéral qu'on récline vers la plante. On rejoint à la rugine à travers l'incision interne, ce qui donne un contrôle sur toute la face supérieure du tarse antérieur. (129)

On procède à l'incision dorsale et interne dans l'axe du deuxième métatarse correspondant au deuxième cunéiforme, d'une longueur de 06 à 08 centimètres de long. On dégage en dedans l'extenseur propre du gros orteil et le tendon du muscle jambier antérieur ; à la partie moyenne, le paquet vasculaire pédieux et le muscle pédieux ; en dehors. On contrôle ainsi la moitié interne du tarse antérieur et on protège les éléments plantaires. Une fois le plan osseux individualisé, on place deux broches l'une sur le scaphoïde se terminant sur le cuboïde et l'autre sur les cunéiformes se dirigeant vers le cuboïde matérialisant ainsi la tranche de section (coin dorsal).

Par l'incision interne, on amorce la coupe postérieure de la face dorsale du scaphoïde en son milieu à la scie oscillante suivant un plan frontal s'incline de 10 à 15° en bas et en arrière par rapport à celui de la jambe. Ce plan rejoint en dehors la section amorcée par l'ostéotome externe, un deuxième plan d'ostéotomie se fera à la face dorsale des cunéiformes vers l'avant selon l'importance du coin à réséquer sous forme d'un hexaèdre asymétrique : sa face



1 : Mise en place d'une broche sur le scaphoïde et l'autre sur le cuneiforme en direction du cuboïde matérialisant la tranche de section



2 : Incidence de profil simulant un appui contrôlant l'axe de **Meary -Tomeno**



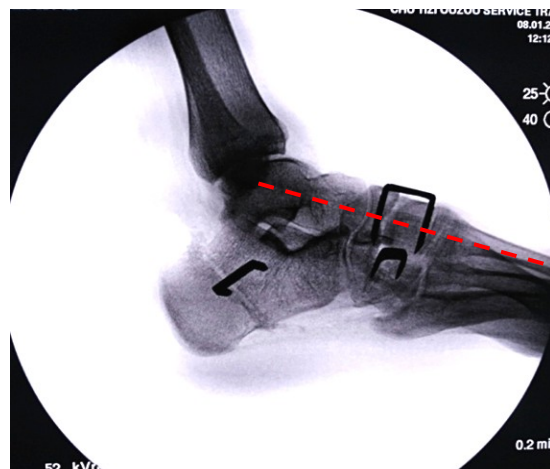
3 : Radio de contrôle peropératoire



4 : Ostéotomie medio tarsienne avec aponévrotomie plantaire



5 : Radio de contrôle peropératoire de correction



6 : Radio de contrôle postopératoire

Iconographie 29 : Tarsectomie antérieure à base dorsale de Meary

Source : ©photo personnelle.

interne est un trapèze à grande base dorsale. La résection est nécessairement plus large en dedans qu'en dehors. Le coin osseux est enlevé, on procède à la fermeture de la tranche de section en relevant l'avant-pied. Il est parfois nécessaire de procéder à la libération du plan ligamentaire profond inférieur, ce qui permet de tourner l'avant pied par rapport à l'arrière-pied. Si la fermeture reste encore difficile, on associe une aponévrotomie plantaire.

L'ostéotomie ainsi fermée est maintenue provisoirement par des broches ou une agrafe enfoncée à moitié. Un cliché du pied de profil vérifiera la rectitude astragalo-métatarsienne. Si elle n'est pas obtenue, il faut augmenter l'importance de la résection osseuse en reséquant à nouveau sur le plan de coupe antérieur, mais en veillant à bien garder suffisamment de tissu osseux au niveau des cunéiformes pour pouvoir y planter les pointes d'agrafe sans qu'elles ne pénètrent dans les articulations adjacentes ou bien voir l'orientation de M1 si elle plonge toujours ou pas.

e- Les gestes associés

♦ L'aponévrotomie plantaire

Elle est nécessaire quand la tension sur la corde plantaire persiste après tentative de fermeture de l'ostéotomie par une petite incision percutanée longitudinale arciforme à la partie moyenne de la plante et à la jonction de la peau plantaire et de la peau dorsale. L'aponévrose plantaire blanc nacré à sa surface est sectionnée transversalement de dedans en dehors au ciseau introduit fermé à sa face profonde avec respect du paquet plantaire interne, ce qui donne un écartement des berges faisant apparaître les muscles plantaires. Si cet écartement est faible, on procède à la résection d'un demi-centimètre de part et d'autre afin d'éviter que cette structure fibreuse ne se referme. La tarsectomie antérieure donne de meilleurs résultats si elle est associée à une aponévrotomie plantaire et une ostéotomie calcanéenne de **Dwyer**.

f- La fermeture et soins postopératoires

Une fois l'ostéosynthèse placée, un contrôle radiologique apprécie l'alignement de l'angle de **Meary –Tomeno**, on lâche le garrot avec une hémostase parfaite et on procède à la fermeture des deux incisions en deux plans avec mise en place d'un drain aspiratif. Une attelle plâtrée postérieure avec pied à angle droit et béquillage sans appui est autorisée dès 24 heures. Vers huit à dix jours, l'attelle est remplacée par un plâtre circulaire à angle droit pour 05 semaines, et sera relayé par une botte de marche pour une nouvelle période de 05 semaines.

La consolidation est en règle obtenue. L'appui est autorisé en prescrivant des séances de rééducation. Pendant deux ou trois mois, on conseille au patient de porter des chaussures souples et montantes (genre basket ou Clark) suivies de semelles orthopédiques avec appui rétro capital.

g- Les soins postopératoires

Les douleurs postopératoires sont très légères. Un traitement antalgique est prescrit dès les premières heures. Le membre inférieur est légèrement surélevé par un coussin pendant les

deux premiers jours. Le drain de Redon est enlevé à la 24ème heure. L'attelle plâtrée est remplacée au dixième jour postopératoire par une botte plâtrée. L'appui est autorisé à la quatrième semaine. La durée totale d'immobilisation est de 06 à 08 semaines.

* **Simon** (191) dans une étude rétrospective (1977- 2011) incluant 19 patients (25 pieds) avec pied creux varus secondaires à une maladie de **C.M.T** avec un âge moyen relevant de la chirurgie était de 15,6 ans (14-20 ans). Le traitement était basé sur la tarsectomie antérieure selon **Meary** associée systématiquement à une ostéotomie de **Dwyer**. Le résultat était considéré comme très bon dans 40% des cas ; bon dans 40% des cas, mauvais dans 20% ou une double arthrodèse a été nécessaire dans 01 cas. Ainsi, la tarsectomie de Meary, à condition d'être associée à une ostéotomie de **Dwyer** et à une aponévrotomie plantaire donne de bons résultats. Les résultats moyens ou mauvais peuvent s'expliquer par une chirurgie réalisée avant la fin de croissance exposant à une récurrence partielle du fait de l'évolutivité de la maladie.

* **Mansoor** (13), a évalué les résultats de la tarsectomie antérieure chez 5 patients (7pieds) dont l'âge moyen de l'intervention était de 18 ans (8 à 23 ans). Le recul moyen était 13 ans avec de bons résultats pour 04 pieds, des résultats moyens pour 02 pieds et un (01) mauvais résultat à cause d'une douleur intense limitant le périmètre de marche.

h- Les gestes complémentaires

- L'ostéotomie de **Dwyer** corrige un varus résiduel du talon fréquemment observé, incitant **Méary et al** (48). à conclure : « l'association tarsectomie antérieure et ostéotomie de **Dwyer** peut représenter une solution élégante » ;

- Une ostéotomie de flexion dorsale de la base du premier métatarsien est indiquée s'il persiste une saillie plantaire de sa tête après tarsectomie.

- La griffe des orteils peut se corriger une fois la tarsectomie faite sinon, elle sera pratiquée en fin de croissance.

● L'OSTEOTOMIE TARSO METATARSIENNE

Dwyer suggère une ostéotomie tarso-métatarsienne du coin de fermeture dorsale pour atteindre l'objectif de préserver la mobilité de l'arrière-pied. Cependant, la perte de mobilité articulaire tarso-métatarsienne et la localisation distale de l'ostéotomie par rapport à l'apex de l'arcade expliquent que cette technique n'a pas été développée davantage.

- LES OSTEOTOMIES BASIMETATARSIENNE DE RELEVEMENT DU PREMIER METATARSE



Fig 106 : Ostéotomie extra articulaire de correction du pied creux antéro-interne associant une ostéotomie de Dwyer et une ostéotomie basi-métatarsienne de soustraction dorsale. (43)

Une ostéotomie de flexion dorsale du premier métatars ne permet pas la correction de l'ensemble du creux et la pronation de l'avant-pied et elle ne concerne pas l'apex de la déformation. Certains y associent souvent une ostéotomie secondaire du second et troisième métatarsien. Une ostéotomie de tous les métatarsiens (48), (192). n'est pas plus logique. En revanche, une ostéotomie complémentaire de fermeture dorsale (dorsiflexion) de la base du premier métatarsien est indiquée s'il persiste une saillie plantaire du premier métatarsien après correction du creux et de la pronation du médio/avant pied (45).

- L'OSTEOTOMIE DE JAPAS(190), (194) .

C'est une ostéotomie (en V) développée par **Japas** en 1960, intéressant le médio-tarse. Elle va du 1^{er} cunéiforme à l'os naviculaire et de l'os naviculaire au cuboïde. Le segment distal du pied est mobilisé en flexion dorsale en se servant d'un ostéotome pour faire levier dans l'ostéotomie, de façon à soulever l'avant-pied et à abaisser la partie antérieure du médio-pied qui sera maintenue par une broche introduite d'avant en arrière à travers l'ostéotomie sans résection osseuse et une section de l'aponévrose plantaire. L'ablation des broches et de la botte plâtrée se feront après consolidation osseuse dans 02 mois puis appui autorisé avec orthèse de marche pour encore 01 mois.

Cette technique ne raccourcit pas le pied, améliore les délais de consolidation et respecte la mobilité du tarse, l'articulation cuboïdo-métatarsienne et cunéo-métatarsienne du premier rayon mais elle passe au travers de l'articulation de **Chopart**. Elle majore les déformations phalangiennes et nécessite des gestes chirurgicaux pour leur correction.

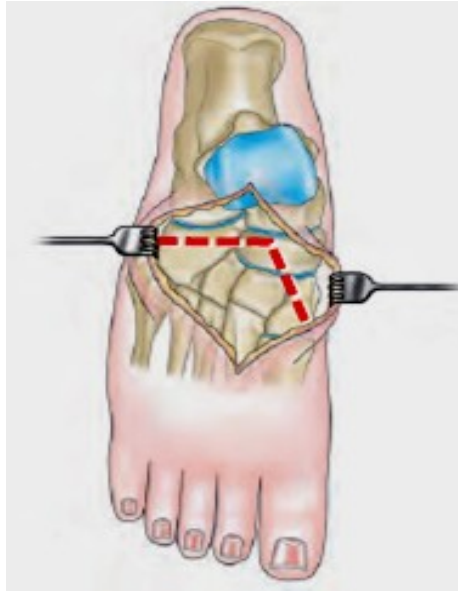


Fig 107: L'Ostéotomie du médiopied en chevron selon JAPAS. (193)

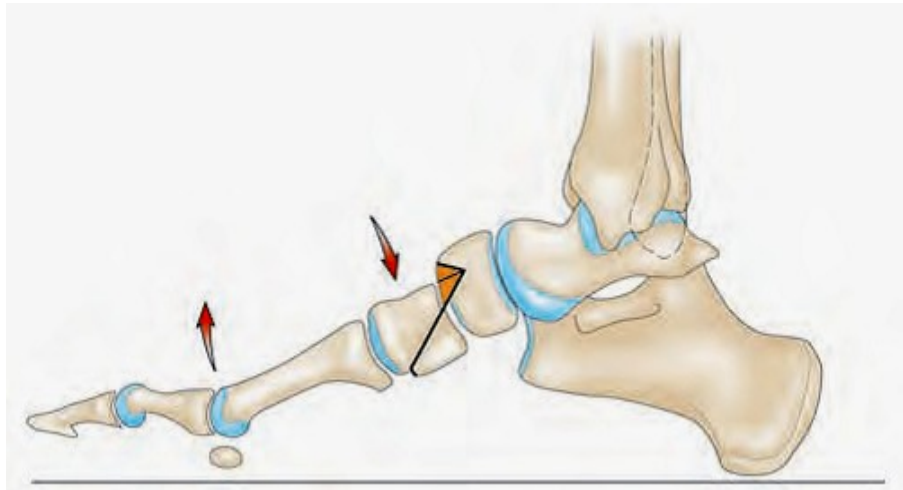
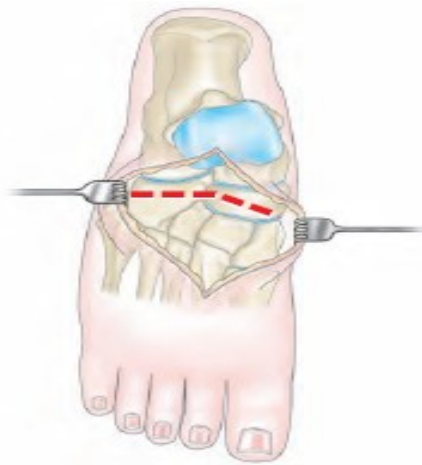


Fig 108 : La réduction de l'ostéotomie de Japas. (193)

●L'OSTEOTOMIE DE CHIAPPARA.

En 1986, **Chiappara** modifie la technique de **Japas** pour préserver les articulations naviculo- cunéene et inter cunéene (195) en rendant l'ostéotomie plus transversale, se projetant en amont de l'interligne naviculo-cunéen médial, sans l'atteindre, réalisant un V plus ouvert comme celui de **Japas** avec respect de l'articulation talo- naviculaire, ce qui impose un contrôle de l'articulation per opératoire sous amplificateur de brillance.

Ces deux techniques s'adressent essentiellement aux pieds creux antérieurs avec pronation modérée de la palette métatarsienne.



A : Tracé de l'ostéotomie transversale



B : Réduction par impaction et abaissement de la berge distale de l'ostéotomie associée au relèvement de l'avant pied

Fig 109: L'ostéotomie du médio pied selon Chiappara. (193)

4- Les Procédures Tendino-Musculaires

Les procédures sont nombreuses et visent à équilibrer les balances musculaires pour rééquilibrer le pied et freiner la progression des déformations.

a- Les allongements tendineux (126)

L'allongement du tendon calcanéen permet de compenser le raccourcissement du triceps, participant ainsi à la correction de l'équin. En présence d'un défaut de fuite dorsale par horizontalisation de l'astragale, il ne peut autoriser qu'un gain de quelques degrés de flexion dorsale, mais il participe à la libération du varus calcanéen et aide à la fermeture de l'ostéotomie de valgisation.

b- Le transfert du tendon long fibulaire

Le transfert du tendon du long fibulaire sur le court fibulaire supprime l'activité pronatrice et de flexion plantaire du muscle long fibulaire et renforce l'activité abductrice du muscle court fibulaire.

c- La correction des griffes

La correction de la griffe des orteils doit tenir compte du caractère réductible ou non de la griffe. Elle doit être associée afin d'obtenir un bon résultat fonctionnel. En général, la fermeture des ostéotomies corrige la griffe en fin d'intervention, sinon elle sera obtenue par un transfert du long extenseur de l'hallux sur la première phalange selon le procédé de **Jones**. Si la griffe persiste après ostéotomie, elle nécessite le plus souvent une résection arthroplastique avec arthrodèse inter phalangienne proximale.

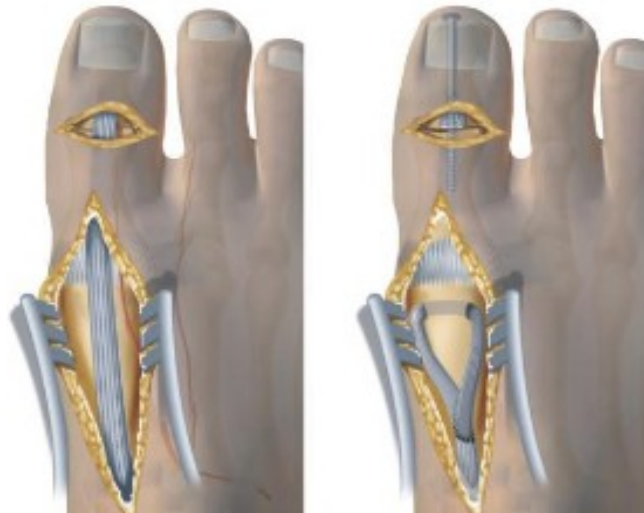


Fig 110 : Procédure de Jones avec transfert de long extenseur de l' hallux sur le col de M1. (196)

5- La Triple Arthrodèse (arthrodèse sous talienne, talo- naviculaire et calcanéo-cuboïdienne)

a- Le but de l'opération :

C'est une technique chirurgicale qui permet la correction des déformations dans les trois plans de l'espace autorisant une bonne fusion osseuse de la sous talienne, de la talo-naviculaire et de l'articulation calcanéo-cuboïdienne. L'objectif de cette arthrodèse est supprimer les douleurs tout en corrigeant les défauts d'axes (197).

b- La technique

♦L'Installation opératoire

C'est une intervention qui se fait sous rachianesthésie associée à un bloc poplité locorégional, afin de procurer une analgésie post opératoire. Le patient est installé en décubitus dorsal avec un coussin sous la fesse homolatérale avec un contre appui au niveau de la hanche controlatérale. Le garrot est placé à la racine de la cuisse en dégageant une crête iliaque. Les champs sont placés au dessus du genou jusqu'au garrot laissant le genou, la jambe et le pied libre. (197)

♦La voie d'abord de DUCROQUET-OLLIER

Un abord latéral curviligne débute à 1cm au dessous de la pointe fibulaire selon un trajet légèrement oblique en haut et en avant sur le dos du pied jusqu'à atteindre la saillie externe des tendons extenseurs avec respect du nerf sural .La libération du tissu sous-cutané avec la section du ligament frondiforme se fait à quelques millimètres du calcanéus puis on soulève pour protéger les tendons extenseurs et le pédicule pédieux préalablement disséqués.

Ouverture de la gaine des tendons péroniers et les tendons sont protégés et réclinés vers le bas.

On individualise les insertions du muscle pédieux sur la grande apophyse calcanéenne qu'on soulève après incision de ses insertions permettant une bonne exposition des articulations sous talienne et calcanéo-cuboïdienne.

En revanche, la partie interne de l'articulation talo naviculaire est moins bien visible par l'abord externe. Une courte incision en regard de l'os naviculaire par un abord antéro-médial est faite permettant une bonne exposition de l'articulation médio tarsienne. Cette incision est située entre le tendon du tibia antérieur et le tendon du long extenseur de l'hallux, permet l'avivement et le repositionnement de la talo-naviculaire. La réalisation de deux voies chirurgicales limite la traction cutanée et diminue les risques de souffrance voire de nécrose au niveau des incisions ; elle limite le risque de lésions nerveuses et facilite la correction triplane.

♦L'Ouverture et exposition des articulations :



Iconographie 30 : Exposition de l'articulation par la voie d'abord de DUCROQUET

Source :© Photo personnelle

. L'articulation sous talienne

On procède à un avivement du sinus du tarse de tous les éléments graisseux au bistouri électrique afin d'exposer les surfaces osseuses. Ensuite on imprime à l'arrière-pied un mouvement de supination pour exposer l'articulation sous talienne postérieure. Un écarteur est glissé dans l'articulation sous talienne postérieure permettant d'exposer et mettre en tension le ligament interosseux facilitant sa résection. Un écarteur autostatique type **Meary** permet l'ouverture de l'articulation et mise en tension des éléments capsulaires qu'on sectionne de même pour la sous talienne antérieure. La résection des surfaces articulaires larges en haut et en bas permet la correction morphologique et la fusion du pied creux antéro interne en position de réduction.

. L'articulation médio-tarsienne

Par un mouvement de flexion plantaire forcée, l'articulation de **Chopart** est ainsi exposé avec ouverture de la capsule articulaire talo naviculaire .On poursuit l'ouverture par la section du ligament en "Y" avec ses deux faisceaux calcanéo-naviculaire et calcanéo-cuboïdien. L'incision de l'articulation calcanéo- cuboïdienne est faite sur toute sa hauteur tout en protégeant en dehors les tendons péroniers. Les ostéotomies sont réalisées dans la sous-talienne et dans la médio-tarsienne

. Les ostéotomies dans la sous astragaliennne

C'est une résection à base externe des surfaces articulaires talo-calcanéennes antérieure et postérieure de façon économique. L'ostéotomie au niveau de la sous talienne postérieure permet de réséquer un coin externe qui emporte presque la moitié de l'articulation sous talienne postérieure et mise en place d'un écarteur autostatique type **Meary** dans le sinus du tarse permettant une bonne exposition.

La résection à la pince gouge emporte la totalité des surfaces articulaires restantes puis on procède à la mise en place d'un greffon cortico-spongieux en commençant par la partie postérieure de la sous talienne en maintenant la cheville à 90° et en empaumant le talon. Le calcaneus doit être mis en valgus modéré de 05 à 07° pour éviter un conflit avec la malléole fibulaire. L'axe de la jambe doit passer dans le premier espace inter métatarsien. Une broche permet de maintenir ce positionnement temporaire.

. L'ostéotomie dans la médio tarsienne

C'est une résection à base dorsale qui emporte les surfaces articulaires talo-naviculaire et calcaneocuboïdienne à l'aide de l'ostéotome, plus large en dorsale qu'en plantaire qui passe par la tête du talus et de l'extrémité distale du calcaneus à quelques millimètres de la surface articulaire.

Ce plan de coupe passe dans le cuboïde en dehors et par l'os naviculaire en dedans en s'inclinant de 10 à 15° en bas et en arrière par rapport à l'axe de la jambe. L'importance de la résection dépend de la correction souhaitée avec une résection économique sur le talus pour permettre une bonne prise de synthèse. Les greffons osseux sont mis après avivement des interlignes en maintenant la cheville à 90°. Une broche temporaire permet de maintenir cette position de réduction.

♦L'ostéosynthèse et contrôle radiologique

La correction étant obtenue, la synthèse est faite par agrafe talo-calcanéenne après avoir réduit l'arrière pied en mettant le genou en flexion (contrôle de l'équilibre frontal) et une agrafe tabouret au niveau de la médio tarsienne fixant ainsi les 4 os (talus, calcaneus, os naviculaire et cuboïde) ou deux agrafes de **Blount** entre le talus et l'os naviculaire et l'autre le calcaneus et le cuboïde (contrôle de la prono-supination et de la flexion).

Il se développe actuellement une large gamme de plaque anatomique associant compression et verrouillage éventuels permettant une action synergique résistant aux contraintes de cisaillement ou d'enfoncement.

Une incidence de profil strict en simulation d'appui et une radiographie dorsoplantaire permettent de contrôler la position du matériel, la qualité de la correction et le repositionnement du talus sur le calcaneus. Parfois des gestes tendineux sont associés à savoir allongement du tendon calcaneen et transfert du tendon du tibial postérieur.

♦La fermeture et la contention

Le muscle pédieux est fixé par deux points avec une bonne restitution du ligament frondiforme. La gaine des péroniers n'est pas refermée pour éviter les adhérences. Le drainage aspiratif doit être gardé pendant 24-48h après fermeture des tissus sous-cutanés et cutanés puis le pansement modérément compressif. Une attelle plâtrée postérieure est mise pendant 15jours et sera relayée par une botte plâtrée gardée pendant 60jours. La décharge est maintenue 06 semaines, puis la marche est reprise progressivement avec une orthèse plantaire comportant un soutien de voûte médial.



Iconographie 31 : Aspect final de la triple arthrodèse avec résection arthroplastique
Source : © Photo personnelle

c- Les soins post opératoires

Un traitement antalgique adapté est mis ainsi qu'un traitement anticoagulant avec surélévation du membre à l'aide d'un coussin. L'attelle est remplacée aux 10^{ème} -15^{ème} jours post opératoires par une botte plâtrée pour 60-90 dix jours. L'appui est possible, au moins partiellement au 60^{ème} jour.

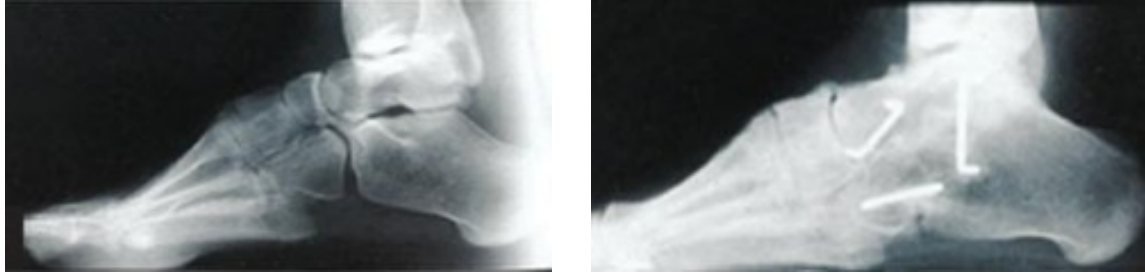


Fig 111 : Triple arthrodèse. (187)

L'évolution à moyen et long terme de la triple arthrodèse est guettée par une surcharge mécanique excessive de la cheville (198), et des articulations distales du pied, d'autant plus préoccupante qu'il s'agit de pied creux neurologique. Celle ci évoluera vers la dégradation arthrosique rapide ou seule l'arthrodèse de cheville trouvera son indication. L'arthrodèse de cheville sanctionne la mauvaise indication du pied creux neurologique par une triple arthrodèse en raison des complications de cette arthrodèse qui est la pseudarthrose comme elle a été déjà rapportée dans la littérature (173).

Plusieurs auteurs considèrent la triple arthrodèse comme la méthode de choix pour la correction du pied creux rigide (45). La triple arthrodèse supprime les mécanismes compensatoires de l'arrière-pied et du médio-pied, et transmet l'excès de charge à la cheville. Cette inégalité de répartition des charges est source de douleur et d'arthrose tardive(36),(199). Cela a été clairement documenté dans plus de 50% des cas ayant subi une triple arthrodèse, dans certaines séries (26), (200).

6- L'arthrodèse de cheville et la panarthrodèse de l'arrière-pied

L'arthrodèse de cheville, réalisant une panarthrodèse est qualifiée d'échec de la prise en charge. La panarthrodèse de la cheville et de l'arrière-pied (198) est réservée aux pieds creux varus sévères et fixés arthrosiques et anciens. Cette ultime intervention n'est pas toujours une solution.

PARTIE PRATIQUE

A- INTRODUCTION

Le pied creux neurologique est une déformation multi planaire, sa correction dans les trois plans est indispensable. Si le pied creux souple non évolutif, symptomatique chez l'enfant est gérable sur le plan thérapeutique par plusieurs procédures combinées qui ont donné de bons résultats à court terme; il n'en est pas de même pour les pieds creux neurologiques irréductibles et rigides chez l'adolescent. L'approche y est totalement différente du fait de l'importance de la déformation avec parfois la présence d'arthrose compromettant le pronostic fonctionnel du patient. Ceci dans le but est de corriger la déformation en préservant l'articulation de **Chopart** afin d'atteindre la croissance totale et d'éviter la triple arthrodèse. Ceci en raison de l'instabilité de la cheville et l'arthrose tibio-talienne qu'elle procure et qui doit constituer la dernière option chirurgicale.

Dans tous les pieds creux neurologiques, l'indication est basée sur l'âge, le sommet de la déformation, l'étiologie, le degré de réductibilité et le potentiel évolutif ou pas.

Au terme de cette étude, on peut rencontrer des difficultés en per opératoire à savoir une fragilité osseuse qui laisse une synthèse précaire; on peut améliorer cela par la prescription d'un traitement à base de vitamine C pour une durée de 06 semaines avant et après la chirurgie. (63)

Dans certains pieds creux neurologiques rigides de l'adolescent ou la déformation a débutée tôt vers 05 ans, on se retrouve devant un pied rigide qui parfois n'a pas encore terminé sa croissance et chez qui la triple arthrodèse doit être évitée. Dans ce cas, on pratique une chirurgie articulaire associée à une chirurgie des parties molles pour rééquilibrer la balance musculaire tout en préservant les mobilités articulaires et attendre la maturité squelettique.

B- OBJECTIFS DE L'ETUDE

I- Objectif principal

- Obtenir un pied plantigrade indolore, stable, mobile et chaussable.

II- Objectifs secondaires

- Etudier les facteurs prédictifs de la récurrence et de la dégradation arthrosique.
- Estimer la qualité du traitement sur la vie quotidienne du patient.
- Etudier l'impact du traitement chirurgical sur la croissance de l'enfant.
- Evaluer et suivre l'état évolutif des patients opérés.

C- MATERIELS ET METHODES

I- Type de l'étude

C'est une étude descriptive longitudinale, monocentrique, elle porte sur 29 patients totalisant 52 pieds pris en charge pour pied creux neurologique pour une population de tranche d'âge comprise entre 07 et 19 ans. Cette étude a été réalisée au service de chirurgie orthopédique et traumatologique du Centre Hospitalo-universitaire de Tizi-Ouzou entre l'année 2017 et 2020.

23 patients ont des déformations bilatérales et, 06 patients ont des déformations unilatérales.

Dix (10) autres patients composés d'enfants et d'adultes, qui présentent tous des déformations bilatérales, n'ont pas été intégrés dans l'étude (05 opérés non évalués et 05 explorés non opérés).

Le recul de suivi moyen est de 02 ans et 03 mois.

II- Les critères d'inclusion des patients

- Tous les patients entre 07 et 19 ans présentant un pied creux varus équin neurologique symptomatique.

III- Les critères de non inclusion des patients

- Le pied creux essentiel.
- Le pied creux séquellaire de pied bot.
- Le pied creux valgus.
- Le pied creux secondaire à une tumeur.
- Le pied creux traumatique.
- Le pied creux aux antécédents de chirurgie (récidive).

IV- Le recrutement des patients

Les patients sont recrutés dans notre consultation de chirurgie orthopédique tous les lundis afin de partager l'information et de la diffuser.

Les patients proviennent de 09 wilayas à travers le pays. Ces patients nous ont été recommandés par nos collègues orthopédistes, de médecine physique et réadaptation fonctionnelle, neurologues, médecins généralistes.

V- Méthode d'analyse des données

La saisie et l'analyse statistique des données ont été faites sur le logiciel SPSS.IBM 21, Office Excel 2007, ou les variables qualitatives sont exprimées par les effectifs et les pourcentages (%), et les variables quantitatives sont exprimés en moyenne, médiane, les minimums, les maximums et les écarts types. Le degré de signification est fixé à 0,05 pour conclure à une différence significative entre les variables comparées.

D- LES METHODES APPLIQUEES

I- Fiche technique

Pour chaque patient, le recueil des renseignements et données est transcrit sur une fiche technique d'exploitation et de suivi individuels.

Tous les éléments cliniques, radiologiques et instrumentaux de marche en préopératoire et en postopératoire y sont consignés sur cette même fiche.

Les principales annotations retrouvées sur cette fiche technique sont :

- L'âge
- Le sexe
- L'origine géographique.
- Le côté atteint.
- Les ATCD familiaux.
- Le type du pied creux.
- Le type d'activité.
- Les déformations associées.
- Le degré de réductibilité de la déformation.
- Le suivi de ces patients et leur évolution en pré et post opératoire.

L'évaluation des patients se fait comme suit :

1- L'évaluation clinique

- Les signes cliniques subjectifs en post opératoire sont la douleur, l'apparence du pied, l'ajustement des chaussures et la mise en charge du patient. La douleur est évaluée sur l'échelle **E.V.A** (Evaluation Visuelle Analogique) cotée de 0 à 10.

- Les signes cliniques objectifs par le score d'**A.O.F.A.S (American Orthopedic Foot and Ankle Score)** qui tient compte de trois items :

- La douleur de 0 à 40 points
- La fonction de 0 à 50 points
- L'alignement de 0 à 10 points

- Le testing musculaire en préopératoire et en postopératoire:

L'évaluation de la force musculaire se fait selon la cotation de la **M.R.C (137) (Medical Research Council of Great Britain)**, de 0 (aucune contraction) à 5 (force musculaire normale). Elle dépend des capacités cognitives des patients et de la présence de troubles de la

commande motrice. Elle permet de préciser le niveau lésionnel et de suivre l'évolution d'une neuropathie.

Il est impératif d'évaluer l'ensemble des muscles à la fois proximaux et distaux. L'examen bilatéral et comparatif et la consignation datée dans le dossier médical sont des éléments essentiels pour l'explication des déformations et de leur évolutivité.

- Le bloc test de **Coleman** en préopératoire permet d'évaluer la réductibilité du varus calcanéen et de guider l'attitude thérapeutique. C'est un important outil décisionnel pré opératoire. (133)

Toutes ces données sont recueillies à l'aide d'un questionnaire, des photos et certaines vidéos sont prises au fur et à mesure des différents rendez-vous de consultation et de contrôle.



1 : Varus de l'arrière pied irréductible sans planchette



2 : Varus de l'arrière pied irréductible sur planchette

Iconographie 32 : Examen de l'arrière pied d'un patient de 16 ans présentant un pied creux sur maladie de C.M.T irréductible confirmé par le block test de Coleman.

Source : ©photo personnelle

2- L'évaluation radiologique

Le bilan radiologique demandé comprend :

- Une radiographie de profil du pied prenant la cheville qui permet de déterminer le type du pied creux, le sommet de la déformation et le calcul des différents angles radiologiques et d'en suivre l'évolution :

- L'angle de **Djian Annonier** : 120° - 125° est l'angle de l'arche interne.
- L'angle de **Méary Tomeno** : 00° , reflète la cassure sur la concavité inférieure.

Selon **Parekh**(187),l'angle de **Meary-Tomeno** compris entre 00° et 05° est considéré normal.

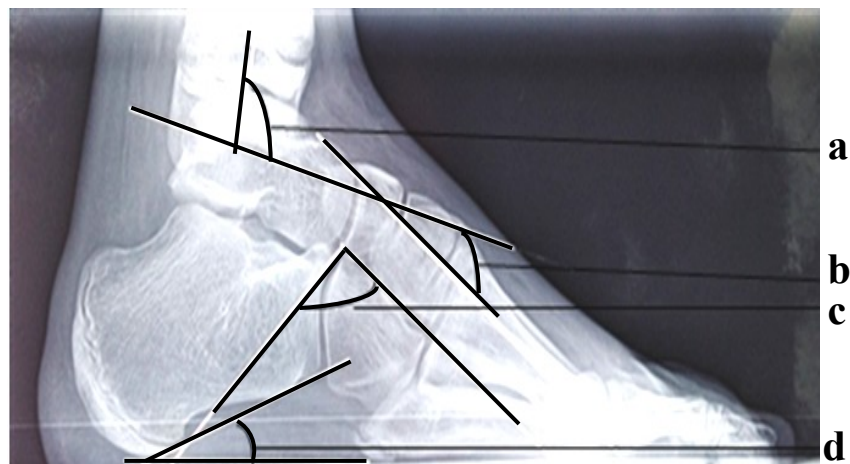
- L'angle tibio-talien : 100° - 110°

-La pente calcanéenne est comprise entre 15° et 20° .

En se référant à la bibliographie, deux normes ont été retrouvées soit :

► **Wicart et Seringe**, 2009 (156) : la valeur moyenne 15° - 20° .

► **Bouysset M**, 2004 (122) : la valeur moyenne 20° - 30° .



a - Angle tibio-talien

b - Angle de Meary Tomeno

c - Angle Djian Annonier

d - Pente calcanéenne

Iconographie 33 : pied creux antéro-interne sur maladie de C.M.T chez un patient de 16 ans sur une radio de profil en charge illustrant les différents angles caractérisant le pied creux.

Source : ©photo personnelle.

- L'arthrose des différentes articulations est classée selon les normes de **Morrey et Wiedeman** en trois stades (201) :

Stade 0 : articulation normale.

Stade I : rétrécissement de l'espace articulaire modéré et ostéophytes.

Stade II: rétrécissement de l'espace articulaire distinct, condensation sous-chondrale et sclérose des bords.

● Une radiographie de face qui permet de calculer :

- L'angle d'ouverture de la palette métatarsienne ou angle d'ouverture de l'avant pied témoignant de l'importance de la pronation de l'avant pied. C'est l'axe entre M1M5: 15° - 25°

- L'état de l'unité talo-tibio- fibulaire

- L'étude de l'articulation talo-crurale : l'interligne tibio-talien doit être horizontal.

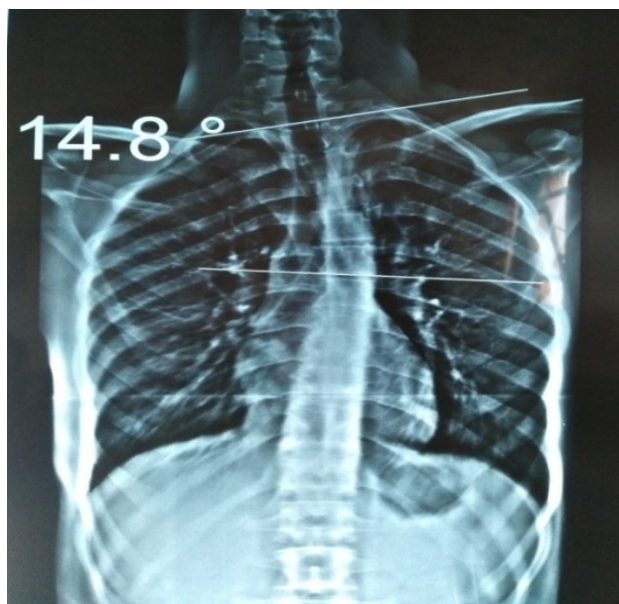


Iconographie 34: radiographie de profil en charge d'un pied creux neurologique sur maladie de C.M.T (déformation sévère)

- a** - rotation externe de la jambe
- b** - recul de la malléole externe(fibula)
- c** - absence de la superposition du bec calcanéen sur le talus

Source : ©photo personnelle.

- Une cheville cerclée de **Meary** qui permet de calculer le varus calcanéen déterminé selon deux méthodes : celle de **Djian** et celle de **Meary**. Dans notre série, on a utilisé la méthode de **Meary** qui détecte les déviations tibio-taliennes avec le calcul en degrés du varus calcanéen.
- Une tomodensitométrie du pied est parfois demandée en pré opératoire pour évaluer l'arthrose et en post opératoire en cas de suspicion de pseudarthrose de la triple arthrodèse.
- Une radiographie du rachis dorsolombaire



Iconographie 35 : scoliose dorsale avec un angle de Cobb de 14,8° chez un patient de 18 ans avec un pied creux neurologique sur maladie de C.M.T

Source : ©photo personnelle.

- L'incidence rétro tibiale ascendante permet de visualiser l'importance du varus calcanéen.



Iconographie 36 : varus calcanéen sur l'incidence rétro tibiale ascendante.

Source : ©photo personnelle.

- L'étude podoscopique apprécie le type d'empreinte plantaire en pré et en post opératoire.
- Une échographie des parties molles est demandée afin d'apprécier l'état de l'aponévrose plantaire.



1- Phénotype clinique d'un pied creux irréductible avec instabilité de la cheville

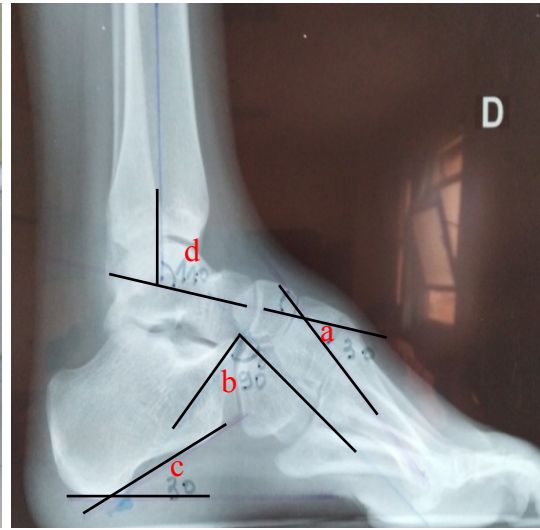


2 - Radiographie de profil en charge d'un pied creux complexe neurologique sur maladie de C.M.T

Iconographie 37 : phénotype clinique et radiologique d'un pied creux antéro-interne neurologique avec instabilité de la cheville secondaire à une supination du B.C.P avec rotation externe de la jambe par rapport au pied traduisant le recul de la malléole externe chez un patient âgé de 19 ans.

Source : ©photo personnelle.

Le recueil de toutes les mesures radiologiques a permis de classer les patients de notre série en deux types, résumés comme suit :



a : angle de Meary –Tomeno augmenté (30°)

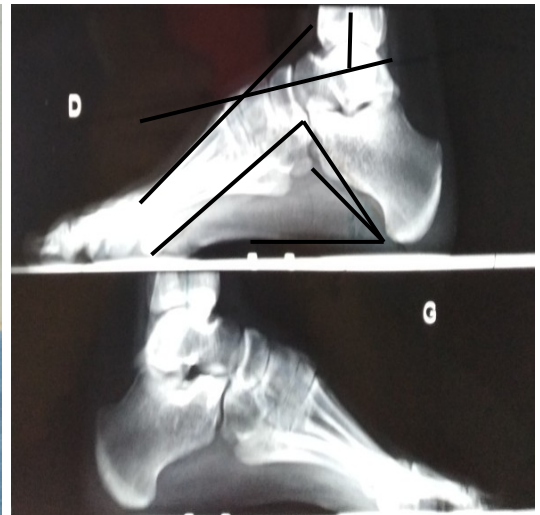
b : angle de Djian Annonier diminué (90°)

b : Pente calcanéenne augmenté (30°)

d : angle tibio talien diminué (110°)

Iconographie 38 : Pied creux cavovarus antéro-interne

Source : ©photo personnelle.



Iconographie 39 : Pied creux mixte

Source : ©photo personnelle.

- ❖ Le sommet de la déformation est au niveau cunéo-naviculaire pour tous les patients.

3- L'évaluation instrumentale de la marche par le système GAITRite 793, au laboratoire de la marche

La piste de marche électronique **GAITRite** permet la mesure des paramètres spatio-temporels, soit seul ou avec des aides techniques de marche, béquilles ou déambulateur ou tierce personne.

La piste de marche électronique du système **GAITRite** est un tapis de marche de 8 m de long, dans lequel sont disposés des capteurs (30000 capteurs) reliés à une unité centrale, couplée à deux caméras de haute définition. Elle permet le recueil et le calcul immédiat des paramètres de la marche (forces de pressions) et la mesure des pressions plantaires relatives des pieds.

La mesure des paramètres spatio-temporels sont de précieux indicateurs pour évaluer la marche de façon globale.

Elle exploite les données résultantes de plusieurs pas et cycles de marche.

Elle se connecte directement sur le port **U.S.B** d'un **PC**.

Elle est d'utilisation simple, disposant d'un logiciel d'exploitation approfondie permettant la gestion de la base de données et la réalisation de rapports.

Elle est fiable et validée par la littérature scientifique. (83), (202)

Le tapis de marche transfère au PC via le câble interface les données brutes des paramètres spatio-temporels pour les convertir en une matrice d'empreinte.

La base de données relationnelle du logiciel permet de recueillir, l'analyser et, l'enregistrement des données des tests individuellement pour chaque patient.

Le score **FAP** (Functional Ambulation Profil) ou profil de déambulation fonctionnelle intégré dans le système **GAITRite** a pour objectif de fournir une seule représentation numérique de l'allure humaine en s'appuyant sur des mesures objectives.

Cet outil de mesure représente un moyen objectif d'évaluation de la marche mais surtout qualitative, quantitative, non invasive, reproductible, répétitif avant et après la chirurgie couplés aux données de l'examen physique.

Il permet d'apprécier l'effet d'une technique donnée sur la qualité de la marche.

Nous avons soumis nos patients à une épreuve de marche au niveau du laboratoire de marche du service de rééducation fonctionnelle de l'Hôpital Belloua du **C.H.U** de Tizi-Ouzou, en tenant compte du calcul de certains paramètres spatio-temporels en pré et postopératoire afin d'évaluer l'apport de la chirurgie sur ces déformations.

L'analyse doit être réalisée par un médecin spécialiste en rééducation fonctionnelle ou bien en sa présence.



Iconographie 40 : Analyse des paramètres spatio-temporels de la marche au « Laboratoire de marche - CHU de Tizi ousou » Source : ©photo personnelle.
Les normes des paramètres spatio-temporels à analyser sont les suivants :

- La vitesse de marche : est de 1,60m/s ou 160 cm/s
- La cadence : est de 130 pas par minute
- La longueur du pas : est 0,80 m ou 80 cm
- Le double appui : est de 20% cycle de marche
- Le simple appui : est de 40% du cycle de marche
- La FAP (functional ambulation profil) (profil ambulatoire fonctionnel) :100 qui est un score de stabilité de la marche.

1- Avant chirurgie

Paramètres bilatéraux		Gauche	Droite
Durée du pas (s)		50/2.0	40/2.0
Durée de cycle (s)		98/2.2	98/2.1
Longueur du pas (cm)		61.36/2.2	62.98/2.1
Longueur d'enjambée (cm)		124.48/2.4	124.96/2.1
Base d'appui talon-talon (cm)		10.85	10.95
Simple appui (% cycle)		41.1	42.7
Double appui (% cycle)		16.4	16.3
Phase oscillante (% cycle)		42.5	41.3
Phase d'appui (% cycle)		57.5	58.7
Rapport long pas/long jambe		77	80
Pied en rotation int/ext (deg)		1	80

Paramètres	
Distance parcourue (cm)	683.1
Durée de marche (s)	5.40
Vitesse (cm/s)	126.5
Vitesse moyenne normalisée	1.59
Nombre de pas	11
Cadence (pas/min)	122.2
Différence de durée du pas G/D	0.2
Différence de long. du pas G/D	1.62
Différence de durée de cycle	0.1

FT # 3 H/T

2- Après chirurgie

Paramètres bilatéraux		Gauche	Droite
Durée du pas (s)		51/2.0	57/4.9
Durée de cycle (s)		1.07/2.7	1.07/2.2
Longueur du pas (cm)		52.38/5.5	57.08/3.7
Longueur d'enjambée (cm)		109.39/3.9	109.41/4.2
Base d'appui talon-talon (cm)		14.59	14.62
Simple appui (% cycle)		40.2	37.2
Double appui (% cycle)		22.2	22.4
Phase oscillante (% cycle)		37.0	40.4
Phase d'appui (% cycle)		63.0	59.6
Rapport long pas/long jambe		65	72
Pied en rotation int/ext (deg)		3	3

Paramètres	
Distance parcourue (cm)	713.8
Durée de marche (s)	7.03
Vitesse (cm/s)	101.5
Vitesse moyenne normalisée	1.28
Nombre de pas	13
Cadence (pas/min)	111.0
Différence de durée du pas G/D	0.6
Différence de long. du pas G/D	4.70
Différence de durée de cycle	0.1

FT # 4 H/T

Iconographie 41 : résultats de l'étude de marche d'une patiente de 18 ans présentant un pied creux sur maladie de C.M.T en pré et post opératoire. Source : ©photo personnelle

Les résultats sur le tableau montrant la correction de l'empreinte plantaire ainsi que les paramètres spatio-temporels chiffrés des deux pieds après la chirurgie.

4- L'évaluation thérapeutique

Dans la littérature, il existe deux systèmes de cotation des résultats thérapeutiques du pied cavovarus.

a- La classification de **Paoulos** (37) repose sur les critères cliniques (correction de l'avant pied, l'arrière pied) et subjectifs (satisfaction du patient).

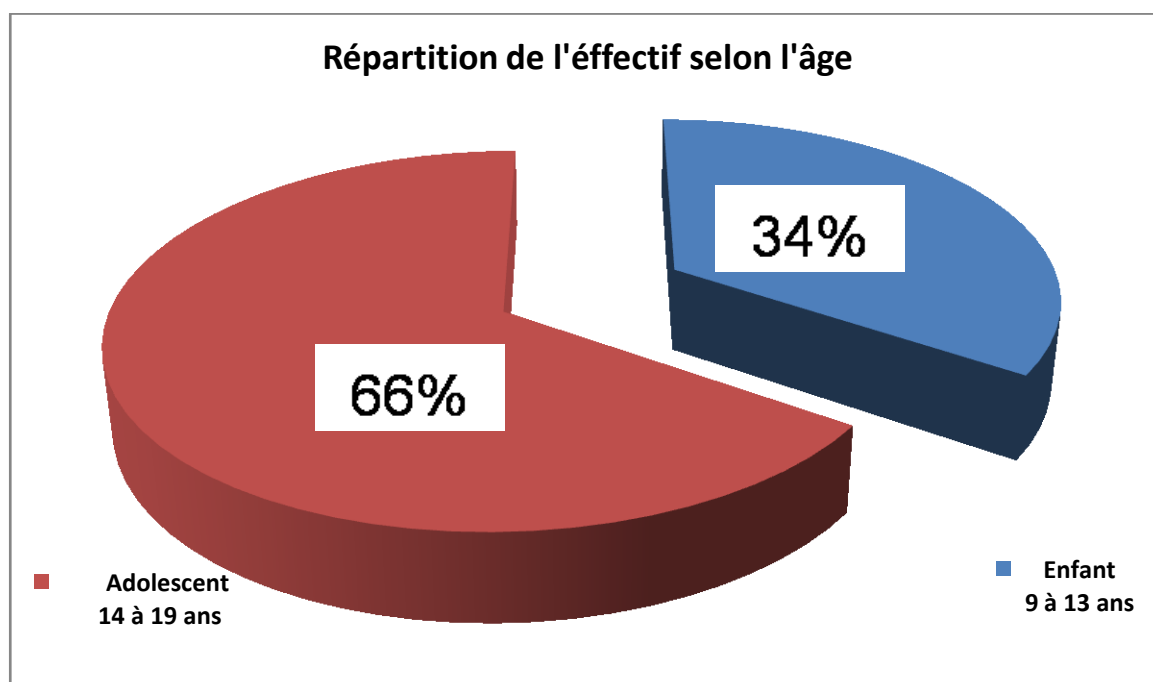
b- La classification de **Wicart** et **Seringe** (45) fait appel à des critères fonctionnels (entorses ou douleurs plantaires), cliniques (orientation de l'arrière pied), radiologiques (**Meary-Tomeno**) et évolutifs (la triple arthrodèse est synonyme de l'échec de la prise en charge).

II- La Présentation de la série

1- Profil épidémiologique

- L'âge

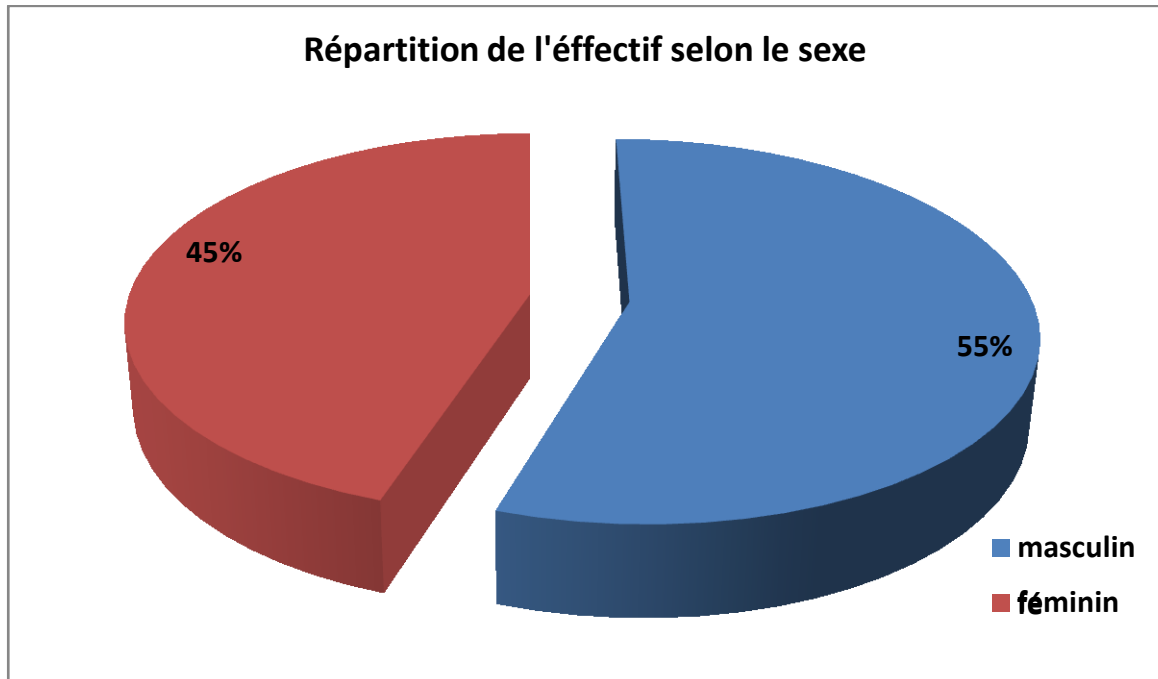
L'âge moyen est de $15,38 \pm 3,7$ ans allant de 09 ans à 19 ans et 66 % des patients ont un âge entre 14 et 19 ans (adolescent).



Graphe 01 : répartition de l'effectif selon l'âge

- Le Sexe

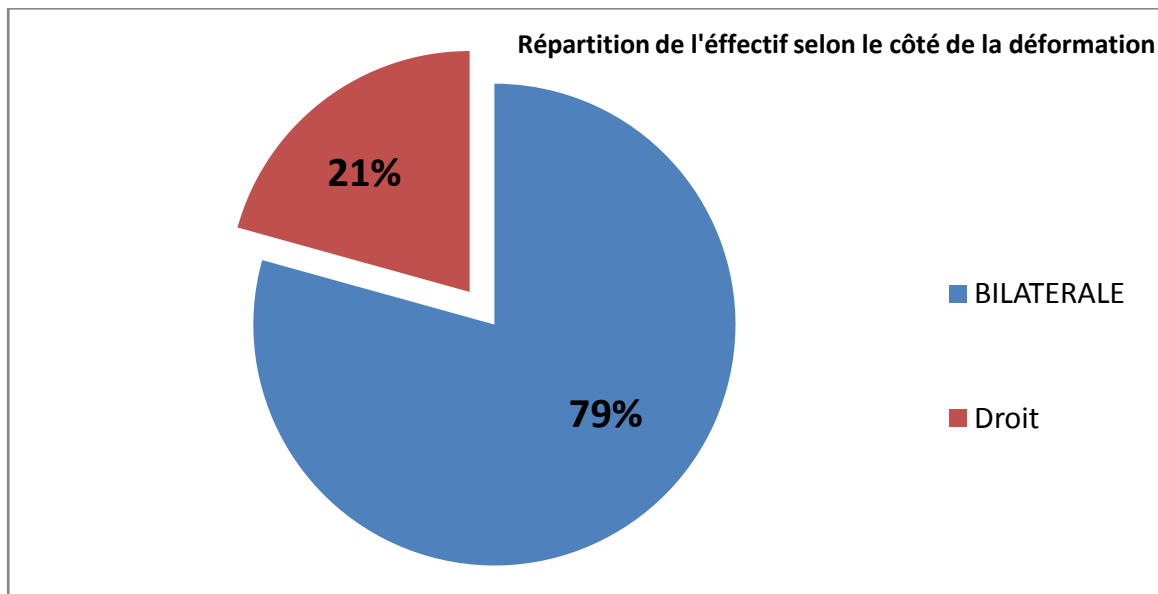
On note une prédominance masculine avec un taux de 55%, le sex-ratio est égal à 1,2.



Graphe 02 : répartition de l'effectif selon le sexe

- Le côté de la déformation

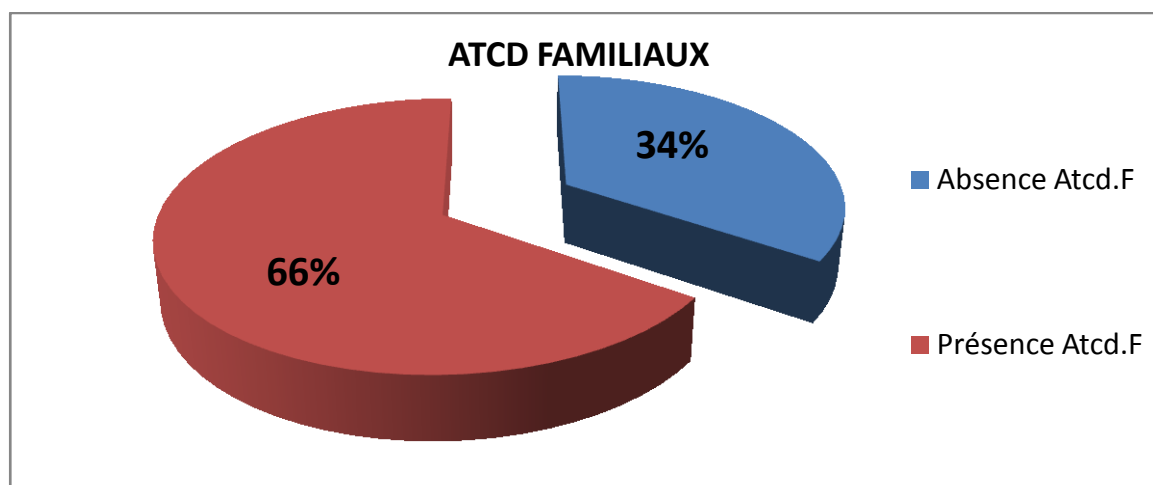
On note que 79% ont un pied creux neurologique bilatéral suivi de 21% unilatéral droit.



Graphe 03 : répartition de l'effectif selon le côté de la déformation

- Antécédents familiaux

On note que 66% de nos patients présentent des antécédents familiaux en particulier le père, la mère, le frère et les sœurs. Cela s'explique par le caractère héréditaire de ces neuropathies périphériques.



Graph 04 : répartition de l'effectif selon la présence ou non des ATCD familiaux

- La provenance géographique

La provenance de nos patients est nationale avec une prédominance des Wilayas du centre (Tizi-Ouzou, Alger, Boumerdes), suivie des wilayas de l'est, de l'ouest et du sud (Chlef, Tipaza, M'Sila, Khenchela, Sétif, Ouargla).

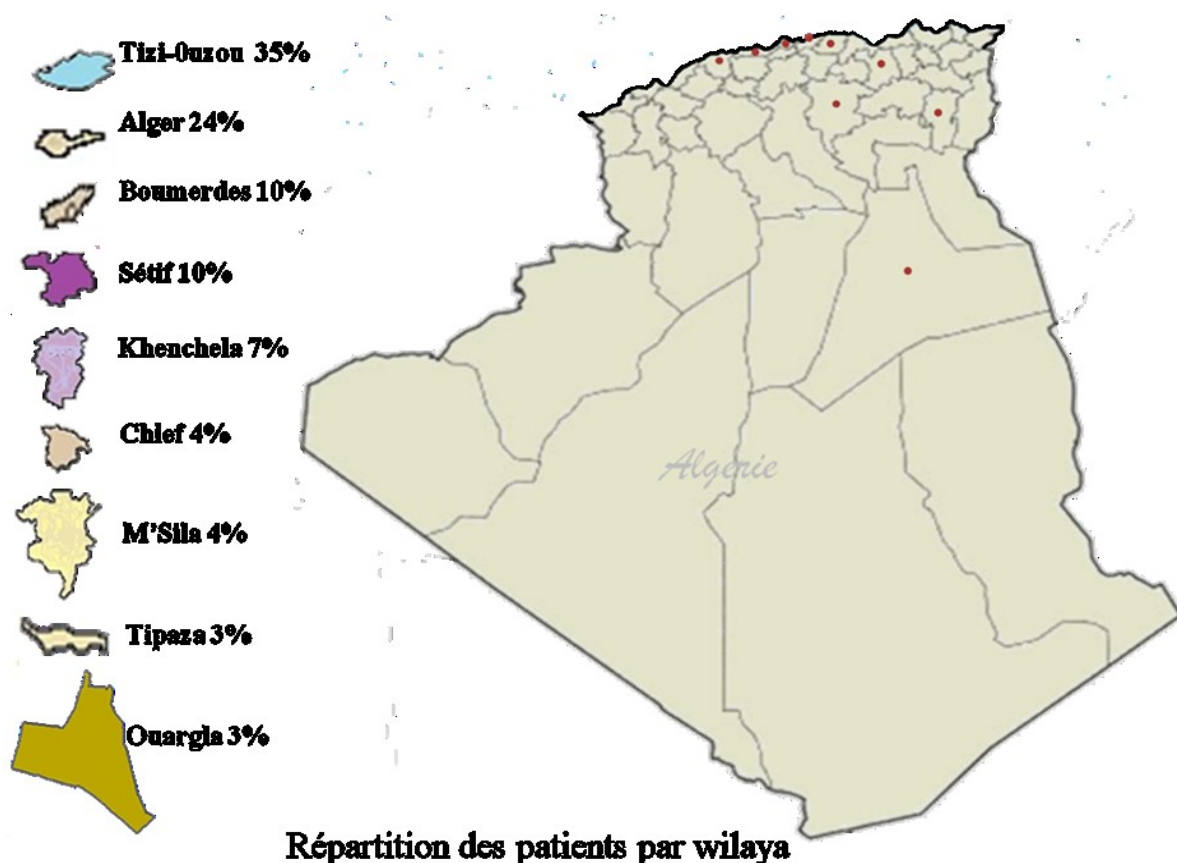
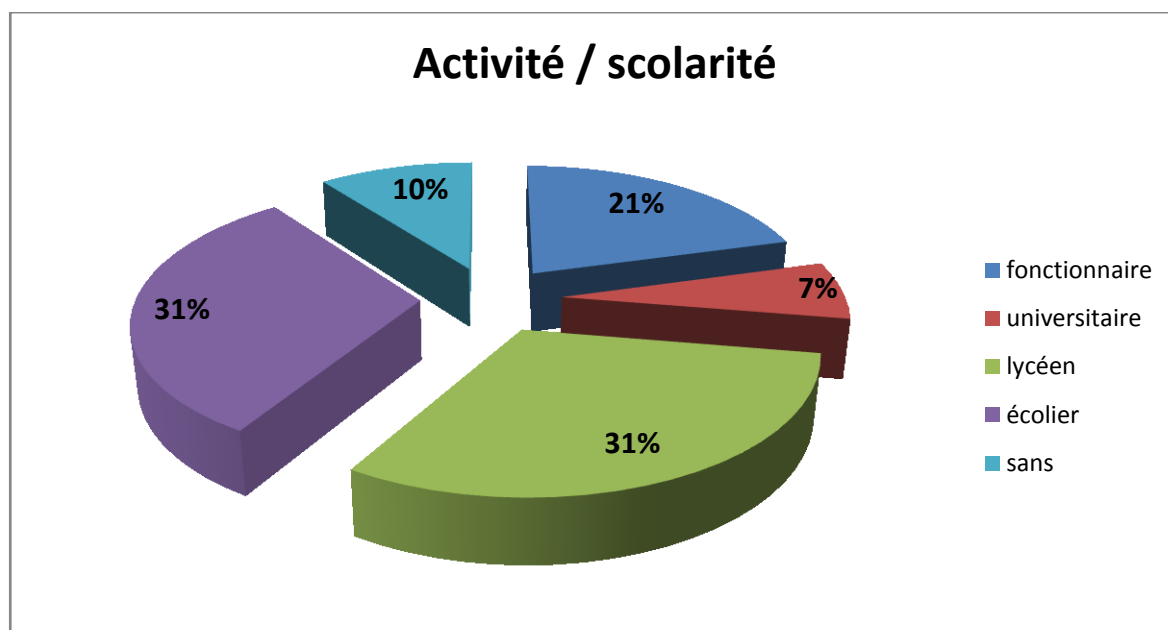


Fig 112 : répartition de l'effectif selon la provenance géographique

- L'activité sociale quotidienne

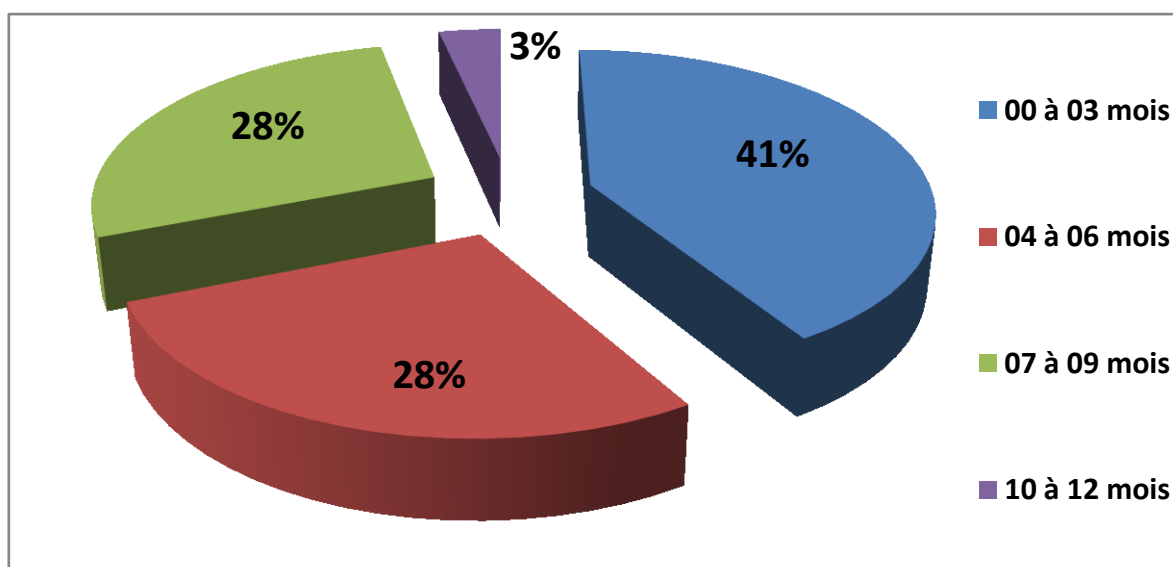
La majorité de nos patients sont actifs avec un taux de 90% dont 69% de patients sont scolarisés.



Graphe 05 : répartition de l'effectif selon l'activité sociale

- L'intervalle chirurgical entre les deux pieds

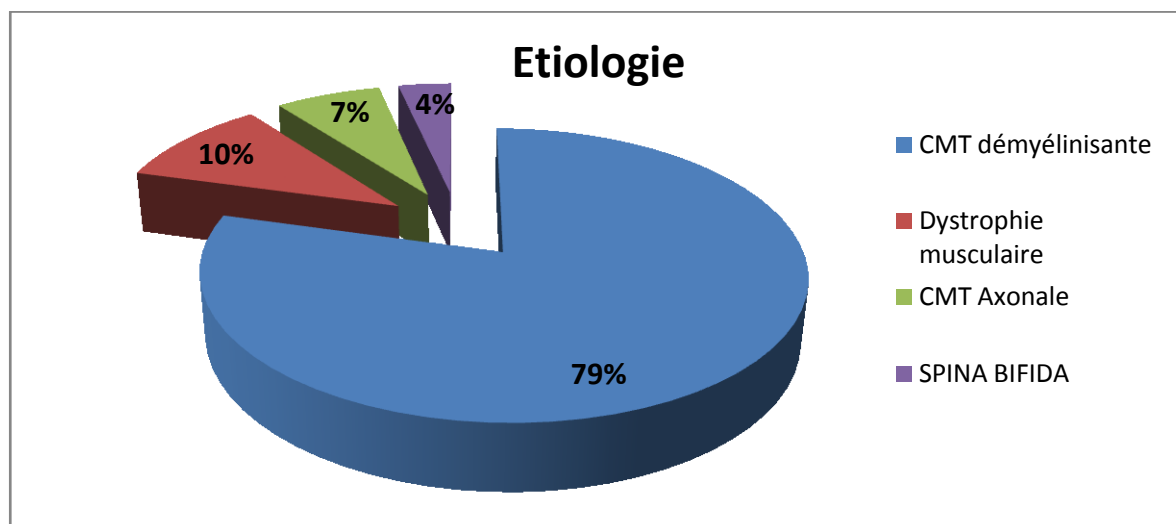
L'intervalle chirurgical entre les deux pieds varie entre 03 mois et 12 mois. Cela peut s'expliquer par le fait que l'enfant aurait repris une marche normale pour décider du deuxième côté. Par contre, le délai entre 09 mois et 12 mois est réservé pour les pieds creux rigides et irréductibles chez qui la reprise de la marche a été autorisée après fusion osseuse et que le patient qui marchait anormalement se retrouve avec une autre forme de pied qui appréhendait au début cette autonomie.



Graphe 06 : répartition des patients selon l'intervalle chirurgical entre les deux pieds

- L'étiologie.

Sur le total des patients pris en charge pour pied creux neurologique, 79% des patients ont un pied creux neurologique sur neuropathie périphérique type **C.M.T** démyélinisante et 10% ont une dystrophie musculaire progressive suivie de 07% de maladie de **C.M.T** axonale

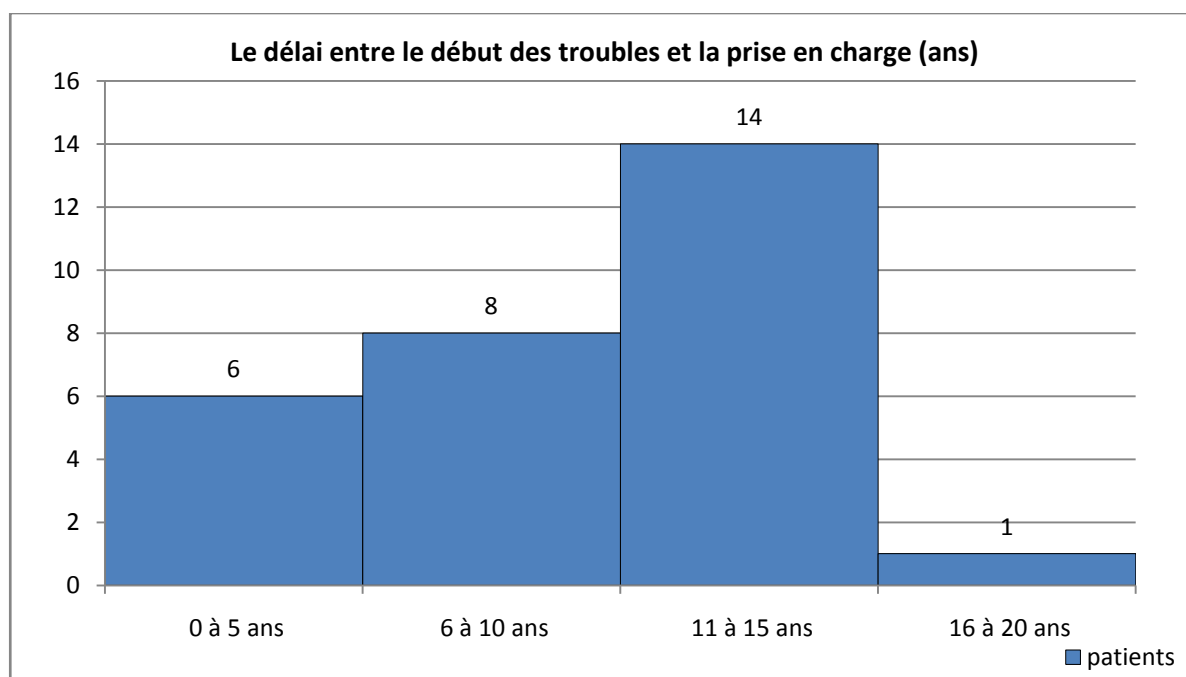


Graph 07 : répartition de l'effectif selon l'étiologie

- L'intervalle entre la date du début des troubles et la prise en charge chirurgicale

Le délai entre le début des troubles et la prise en charge est de **03 ans** (le plus précoce), et de **16 ans** (le plus long).

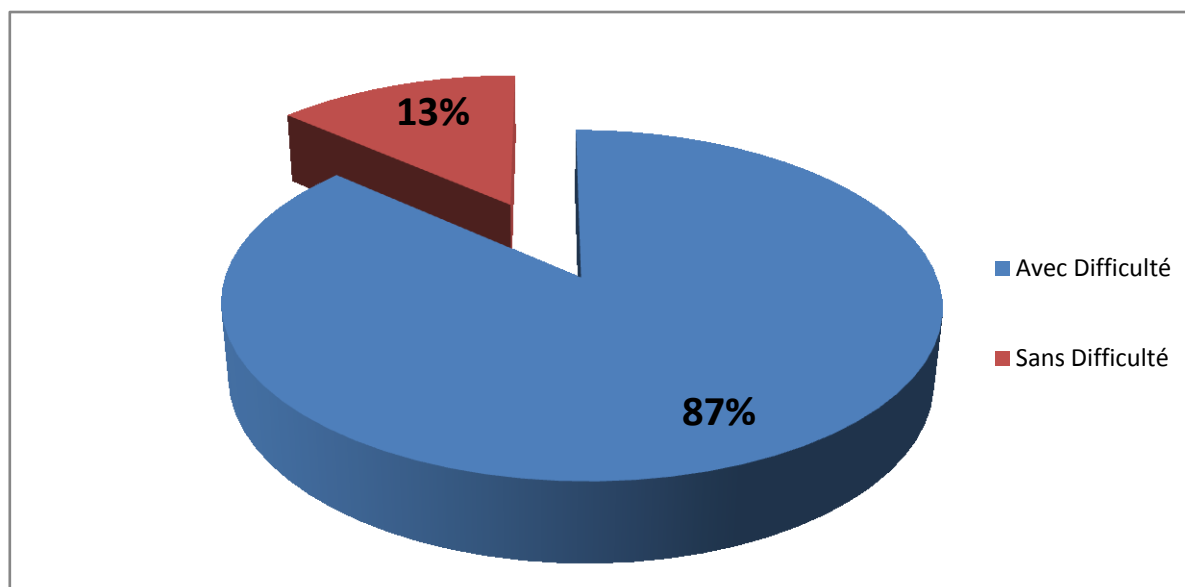
Un nombre élevé de patients (14 patients, soit 48%) qui cumulent un délai de **11 à 15 ans**, suivi de 08 patients (28%) avec une durée de 6 à 10 ans, de 06 patients (21%) pour une durée allant de 0 à 5 ans, et seulement 01 patient (03%) avec une durée de 16 à 20 ans.



Graph 08: répartition de l'effectif selon l'intervalle de temps entre le début de la déformation et la prise en charge chirurgicale

- La difficulté au chaussage

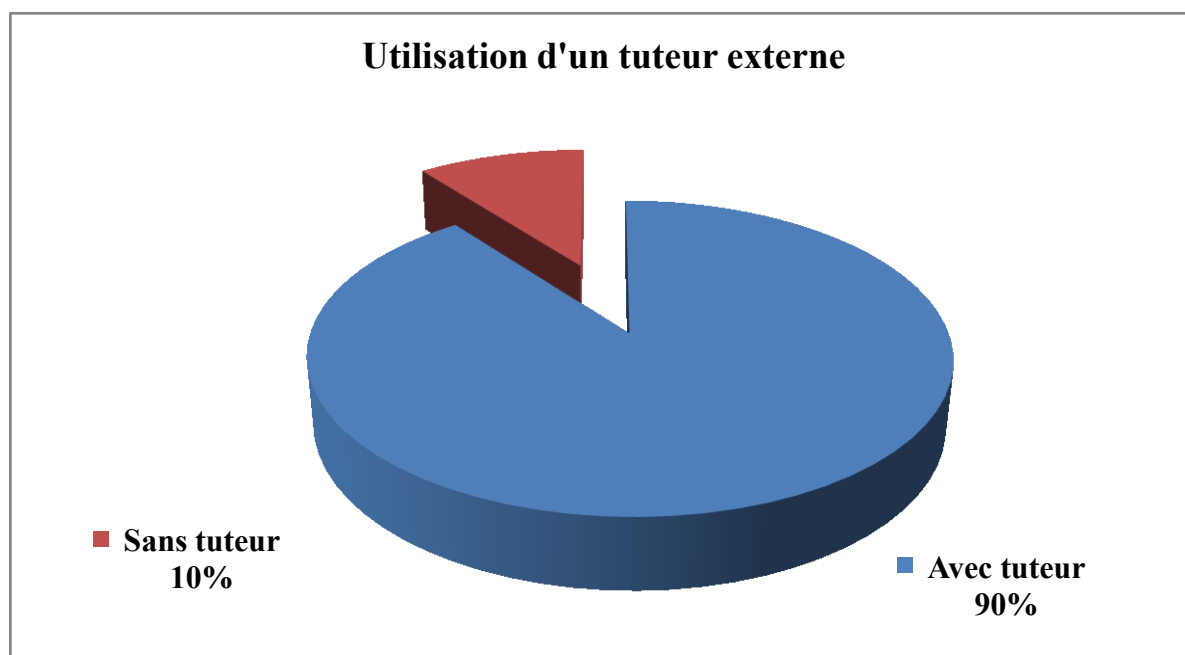
Seuls 87% des patients présentent des difficultés de chaussage qui se traduisent d'une manière générale soit par l'obligation de prendre des chaussures larges et une pointure en plus ou bien ne plus se chausser.



Graphique 09: répartition de l'effectif selon la difficulté au chaussage

- L'utilisation d'un tuteur externe

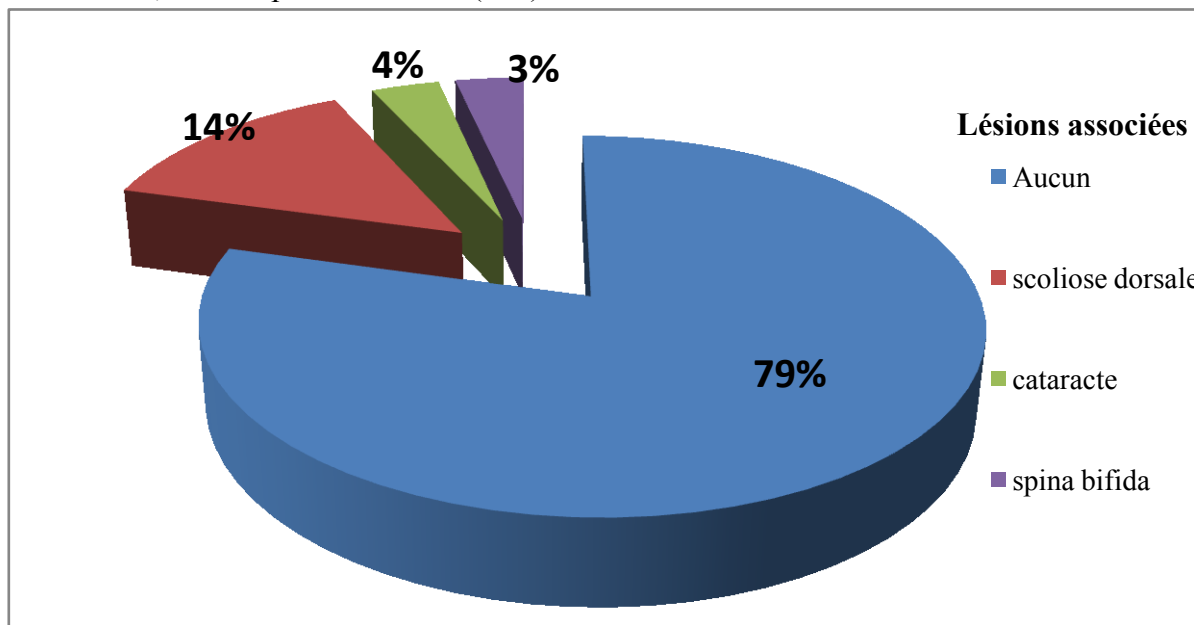
Le déplacement des patients se fait sans tuteur externe dans 90% suivi de 10% représentant (02 patients) dont l'un s'aide d'une chaise roulante et, l'autre se déplace à l'aide d'une tierce personne.



Graphique 10: répartition de l'effectif selon l'utilisation du tuteur externe

- Les lésions associées

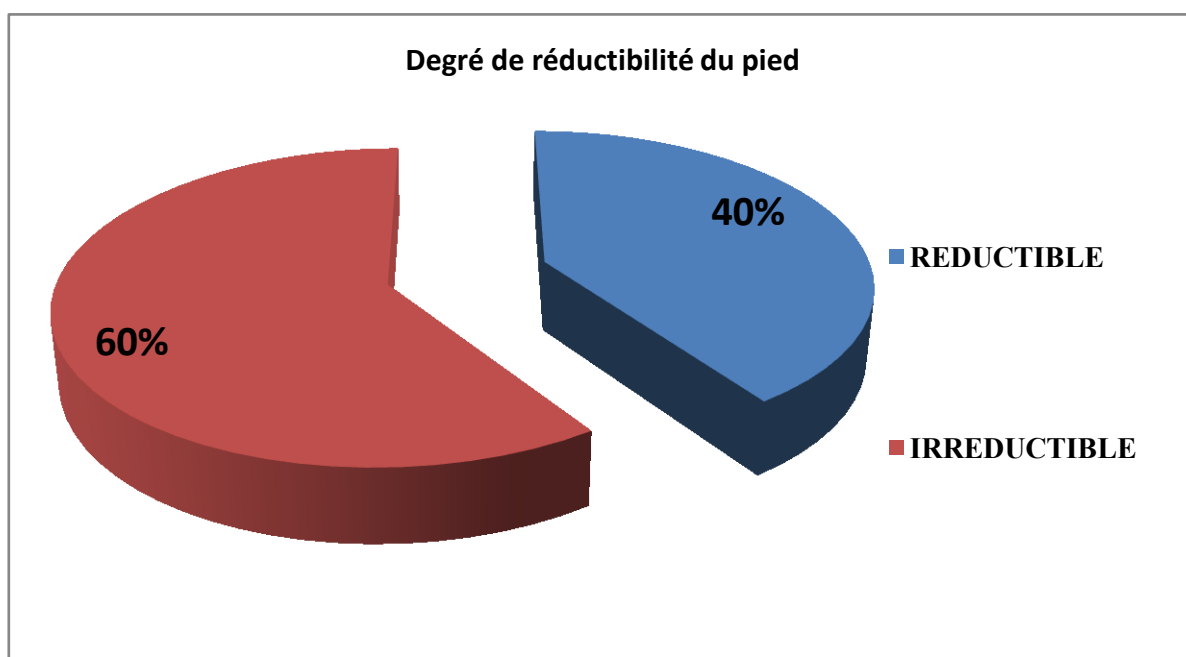
On note que 21% des lésions associées sont présentes dans les neuropathies périphériques de la série étudiée, entre autres scoliose dorsale (14%), cataracte (4%), relation confirmée par des études et, révélée par des auteurs (203).



Graph 11 : répartition de l'effectif selon les lésions associées

- Le degré de réductibilité du pied

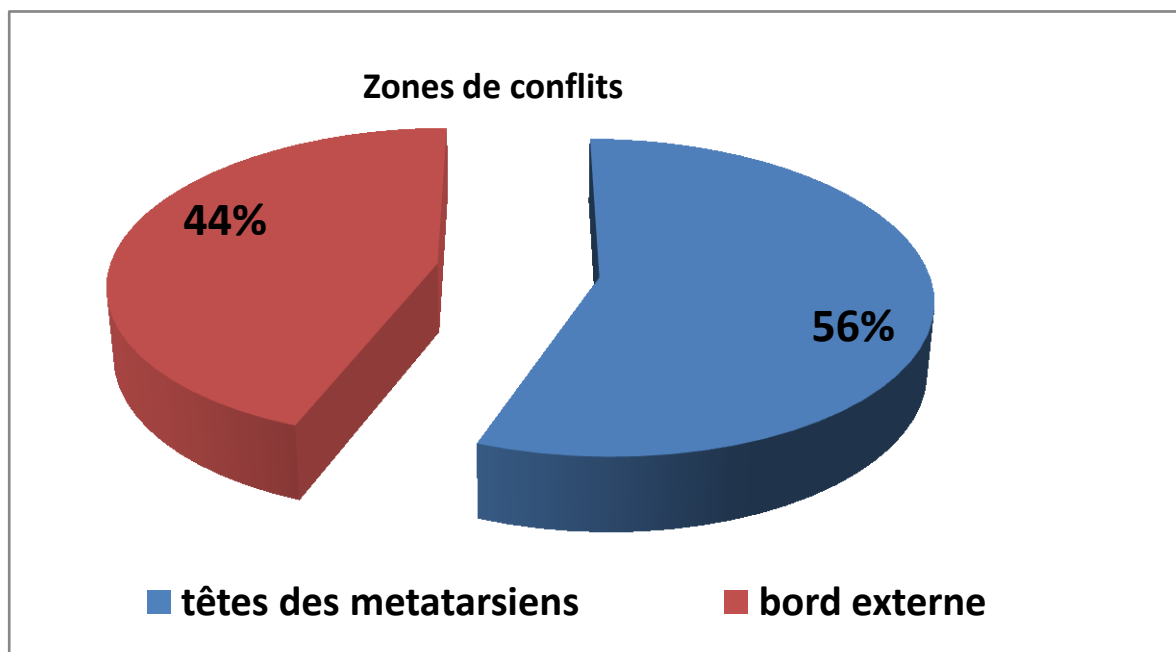
Sur la totalité des patients pris en charge, 40% présentent des pieds creux neurologiques réductibles suivis de 60% de pieds creux irréductibles.



Graph 12 : répartition des patients selon le degré de réductibilité du pied

- Le siège de l'hyperpression

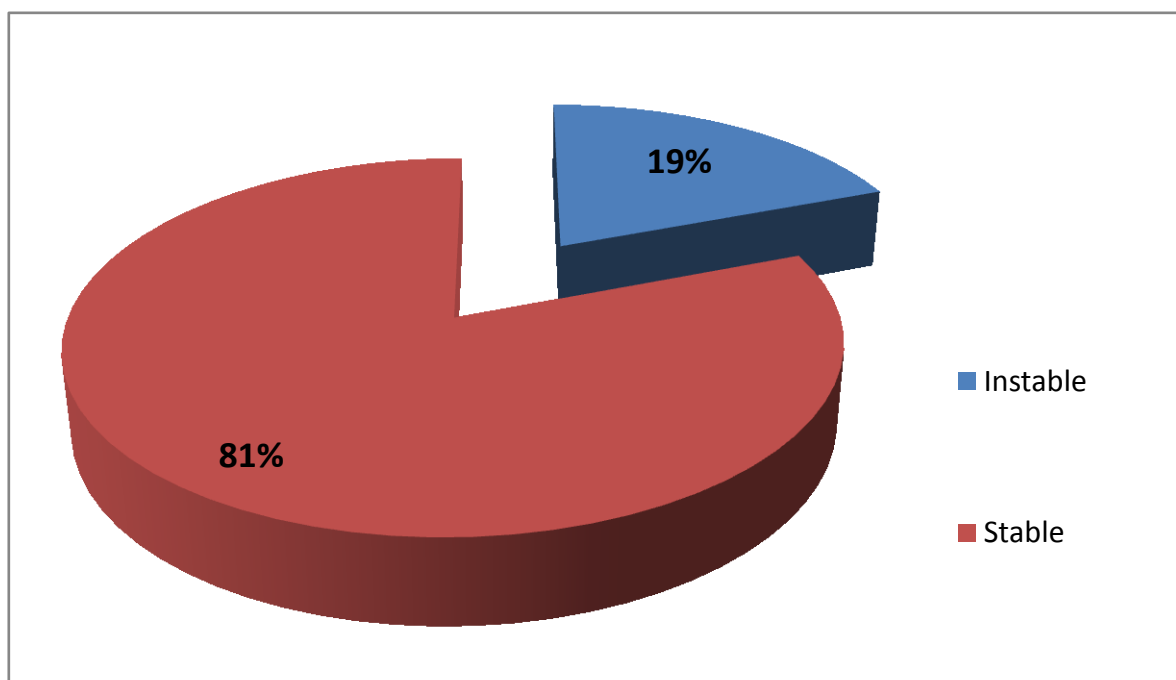
Les zones d'hyperpression siègent dans 56% sur les têtes des métatarsiens et 44% siègent sur le bord externe.



Graph 13 : répartition de l'effectif selon le siège de hyperpression

- L'instabilité de la cheville

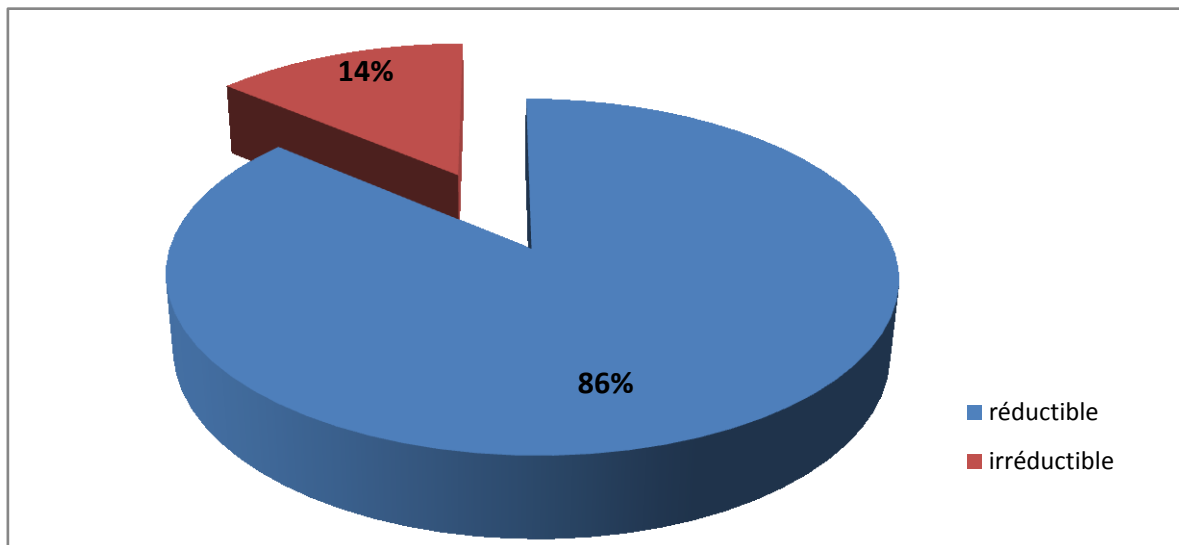
L'instabilité de la cheville est retrouvée dans 19% des cas contre 81% de cheville stable.



Graph 14 : répartition de l'effectif selon l'instabilité de la cheville

- Le degré de réductibilité de la griffe des orteils

On note que 14% des pieds creux présentent une griffe irréductible des orteils.



Graph 15 : répartition de l'effectif selon le degré de réductibilité de la griffe des orteils

2- L'étude clinique préopératoire

a- L'examen clinique préopératoire

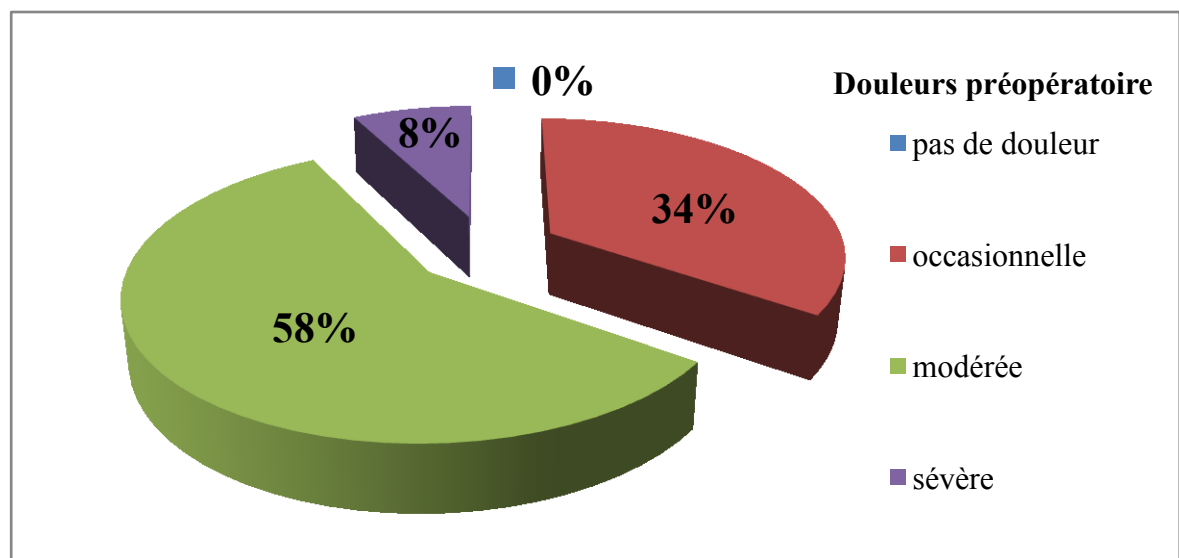
L'état clinique préopératoire est évalué par les critères suivants :

► Le score d'A.O.F.A.S

Ce sont des critères objectifs qui tiennent compte de trois items (La douleurs, La fonction, L'alignement) avec un score global de 100 points.

- La douleur, évaluée de 0 à 40 points :

La douleur modérée est retrouvée dans 58%, alors que 08% des patients ont des douleurs sévères ayant justifié une chaise roulante pour l'un et l'aide d'une tierce personne pour l'autre

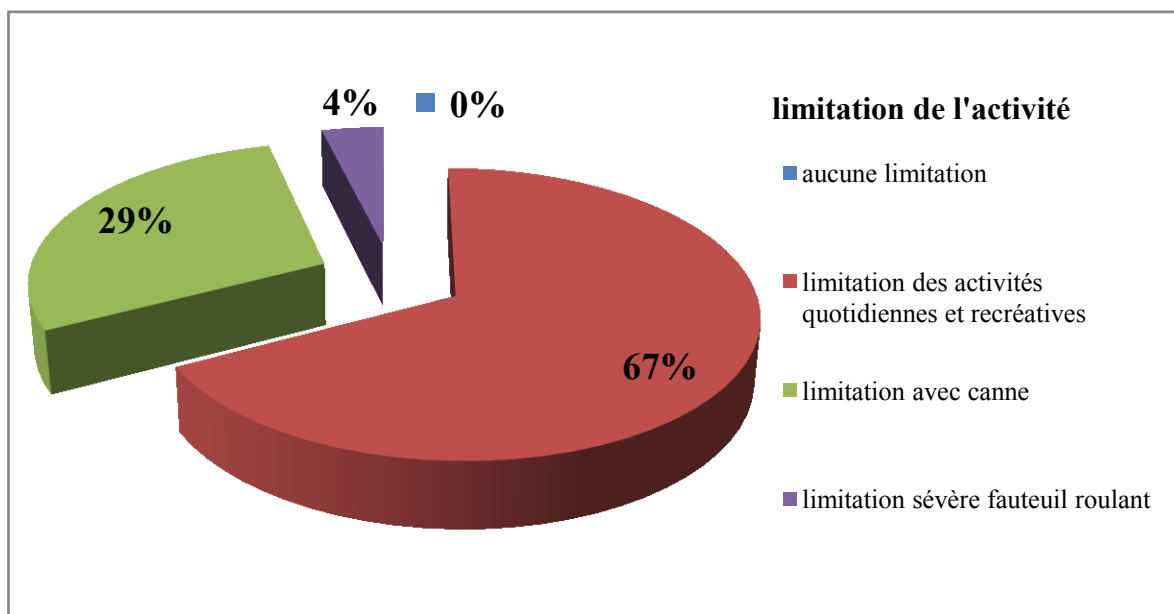


Graph 16 : représentation de l'effectif selon le type de douleur

- La fonction, évaluée de 0 à 50 points

⊕ La limitation de l'activité

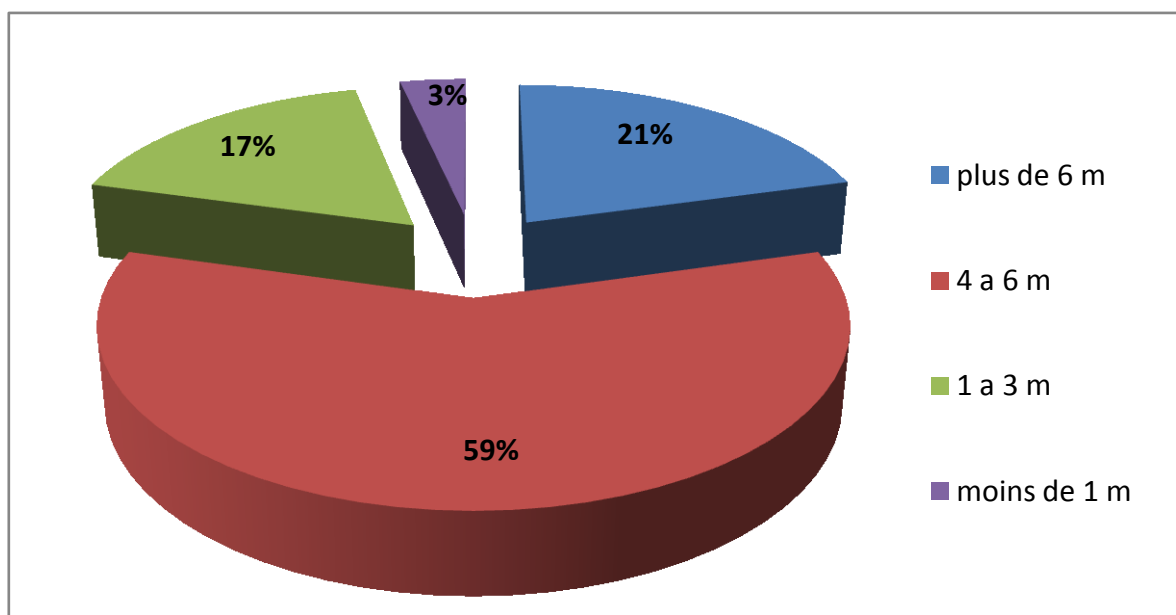
67% de nos patients présentent une limitation de l'activité quotidienne du fait de la déformation du pied.



Graph 17 : représentation de l'effectif selon la limitation de l'activité

⊕ Le périmètre de marche

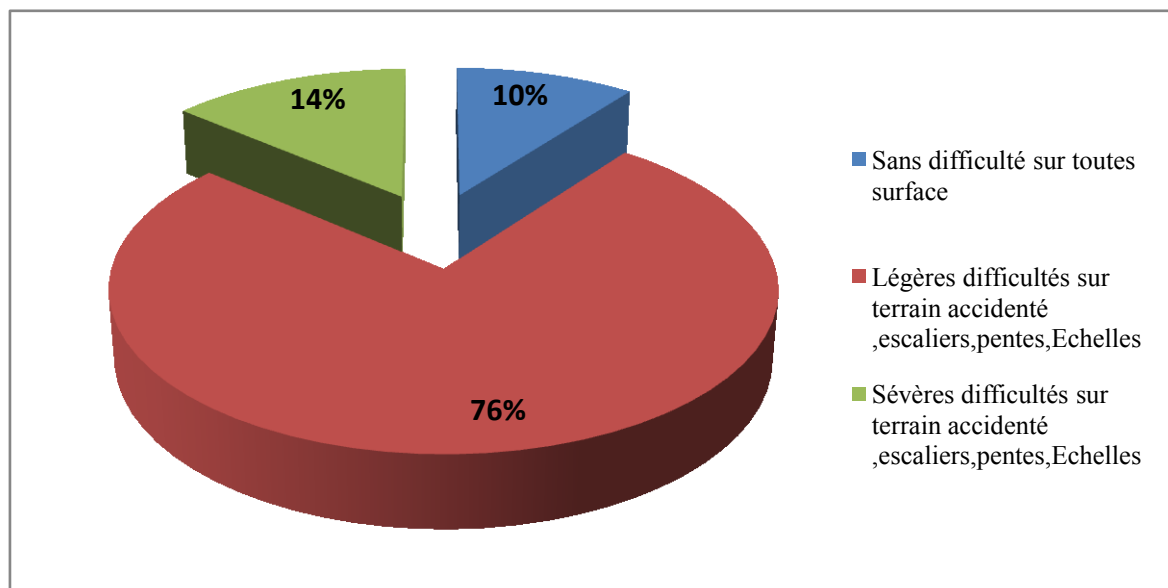
On remarque que tous les patients se plaignaient de la limitation du périmètre de marche du fait de la fatigabilité musculaire mais à des distances différentes.



Graph 18 : répartition de l'effectif selon le périmètre de marche

⊕ La nature du terrain

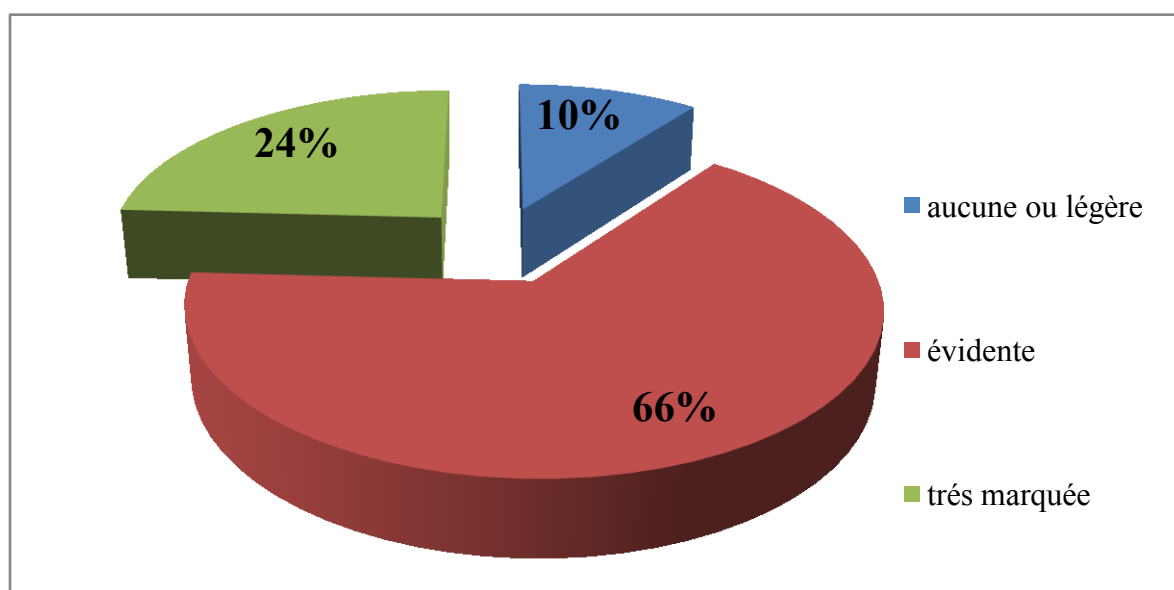
90% des patients trouvent toujours des difficultés à marcher sur des terrains accidentés qualifiées de légères ou sévères du fait de la rétraction tendineuse et le déséquilibre musculaire. Par ailleurs, 76% soit 22 patients trouvent des difficultés à marcher sur terrain accidenté en particulier les pentes du fait du type de la déformation du pied, il reste les 03 patients qui n'expriment pas de difficultés sur tous les types de terrain.



Graph 19 : répartition de l'effectif selon la nature du terrain

⊕ Les troubles de la marche

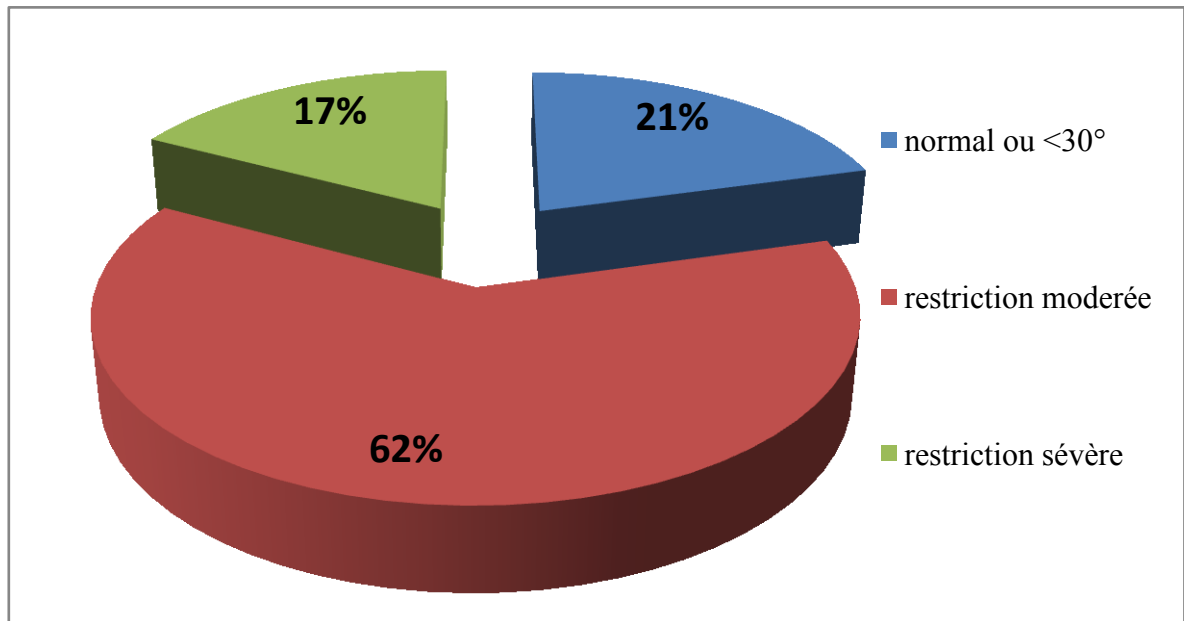
On note 90% des patients présentent des troubles de la marche. Un taux identique au taux retrouvé dans la surface de marche avec 66% pour les troubles évidents, et dans 24% des patients comme très marqués et gênants.



Graph 20 : répartition de l'effectif selon les troubles de la marche

⊕ La mobilité sagittale

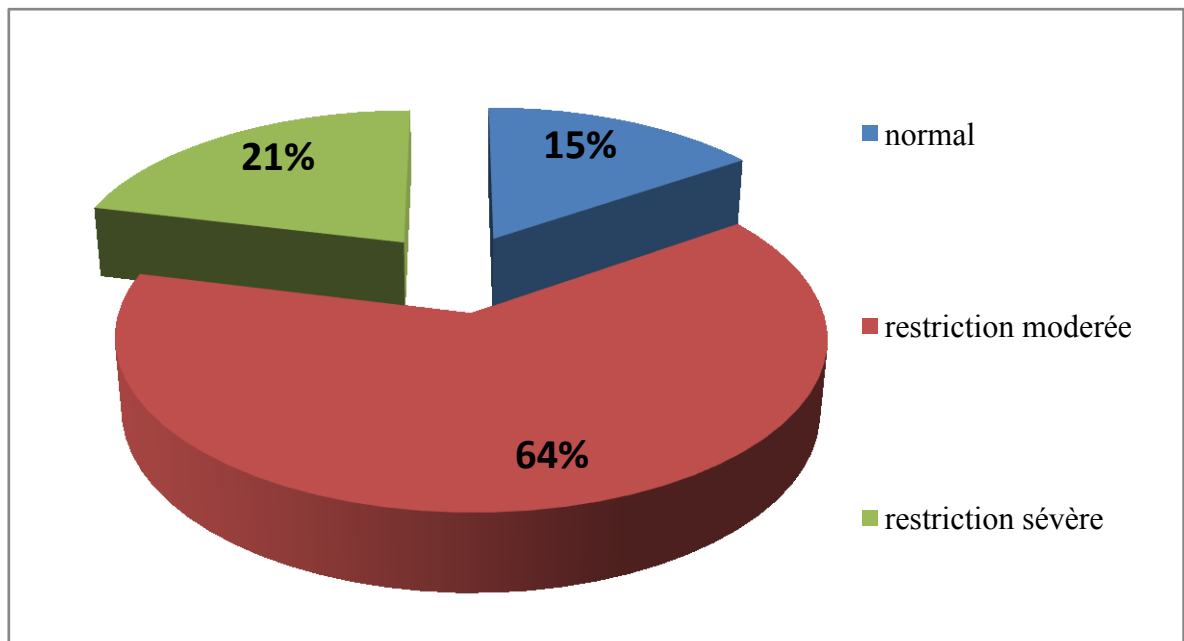
On note que 79% des patients qui présentent une restriction modérée ou sévère de la flexion- extension contre 21% avec mobilité sagittale normale ou inférieure à 30°.



Graph 21: répartition de l'effectif selon la mobilité sagittale

⊕ La mobilité de l'arrière pied

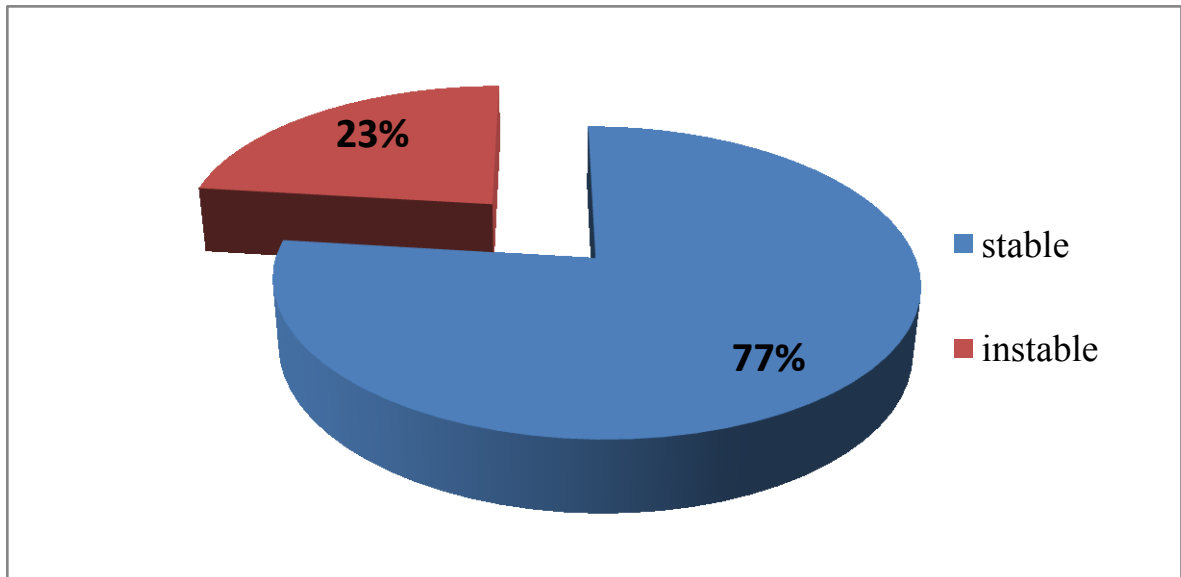
La restriction modérée ou sévère de la mobilité de l'arrière pied est présente dans 85% des patients, contre seulement 15% avec mobilité normale.



Graph 22 : répartition de l'effectif selon la mobilité de l'arrière pied

⊕ La stabilité de l'arrière pied

On note que 77% des patients présentent un arrière pied stable contre 23% d'instabilité.

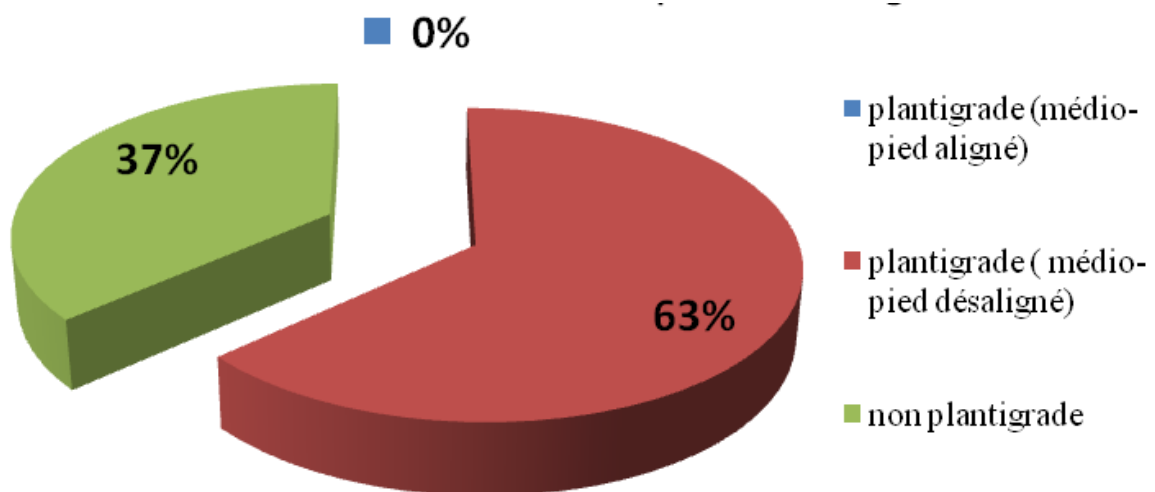


Graph 23: répartition de l'effectif selon la stabilité de l'arrière pied

● L'alignement évalué de 0 à 10 points

Il est important de signaler qu'aucun des patients ne présente un pied plantigrade avec médio-pied bien aligné.

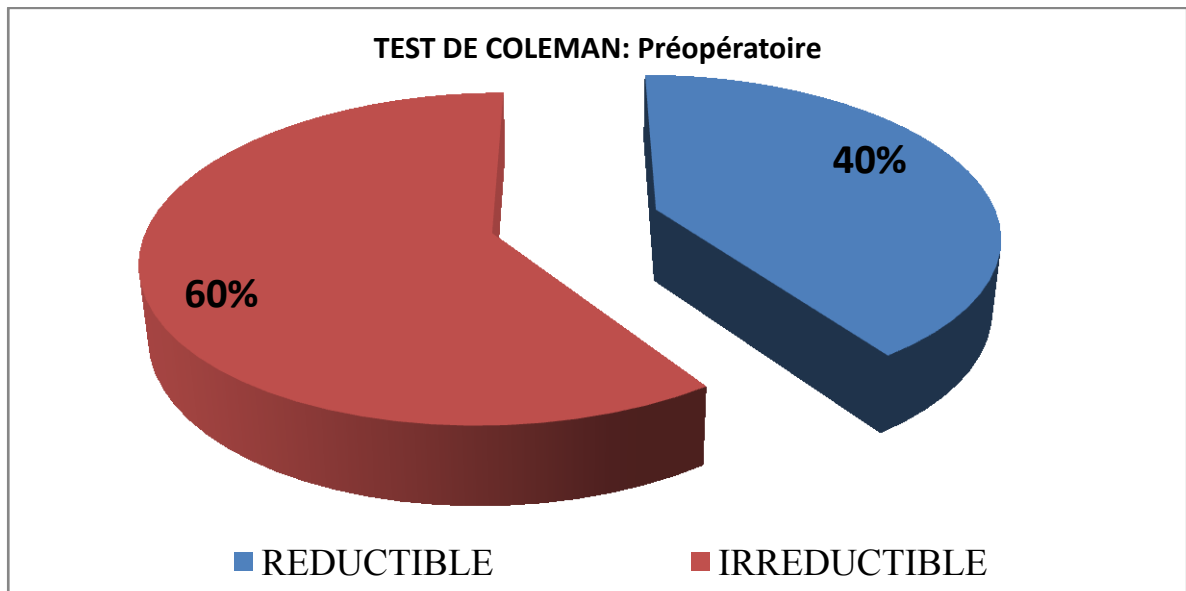
Par ailleurs, 63% des pieds qui présentent un pied plantigrade avec un léger degré de désalignement du médio-pied observé, et 37% de pieds non plantigrades avec un désalignement important à l'origine des troubles de la marche, douleur et instabilité du pied.



Graph 24 : répartition de l'effectif selon l'alignement du pied

► Le test de **Coleman**

Le test de **Coleman** apprécie la réductibilité de l'arrière pied et retrouve que 60% de nos patients présentent un varus calcanéen irréductible qui s'est structuralisé suivi de 40% de cas réductible.



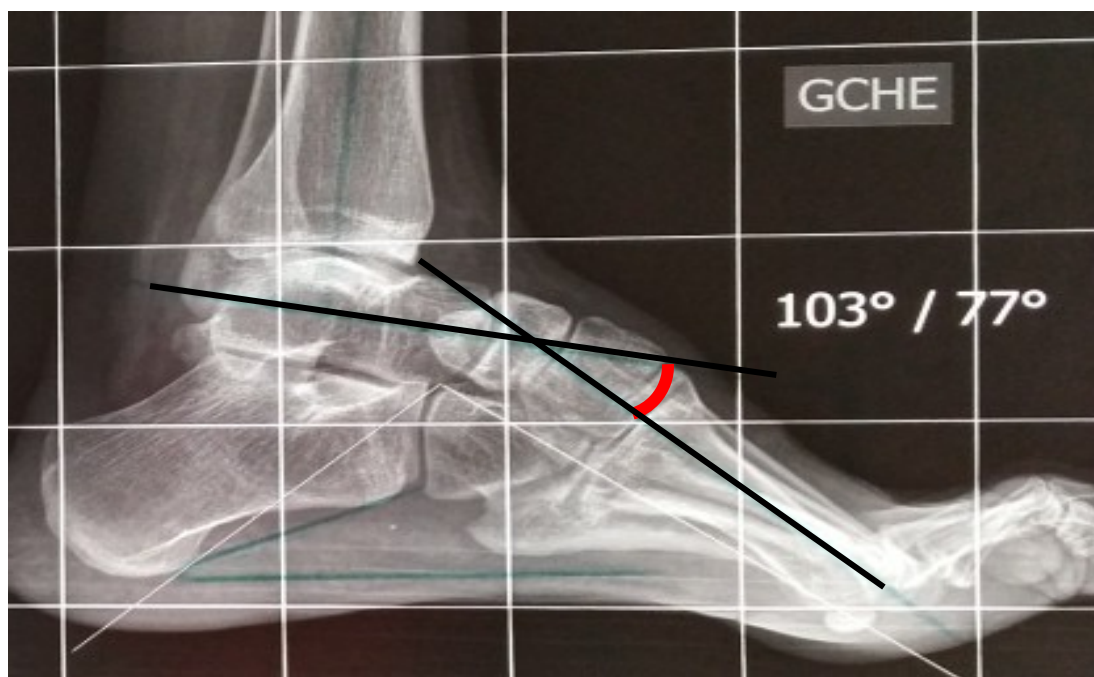
Graphe 25 : répartition de l'effectif selon test de réductibilité de l'arrière pied

b- Etude radiologique préopératoire

L'évaluation radiologique préopératoire se base sur le calcul d'angles radiologiques sur la radiographie en charge de face, de profil, et de la cheville cerclée de **Meary**.

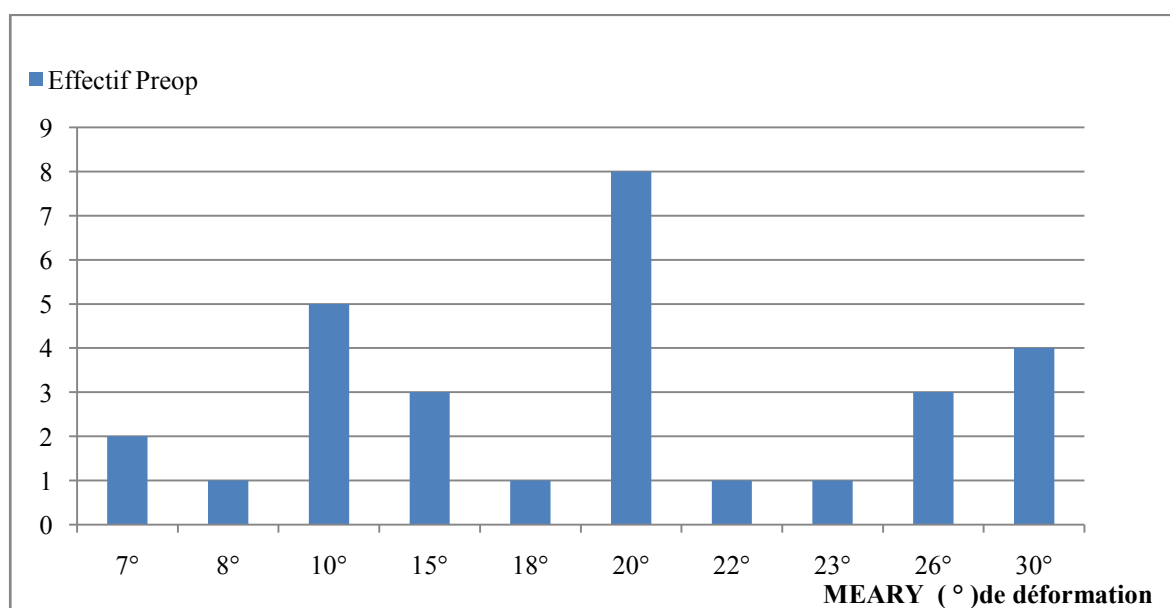
♦ L'angle de Meary -Tomeno

L'angle de **Meary -Tomeno** concernant nos patients oscille entre 07° pour la moins déformée et 35° pour la plus déformée, avec une concentration de patients autour de 20° de déformation.



Iconographie 42 : angle de Meary –Tomeno

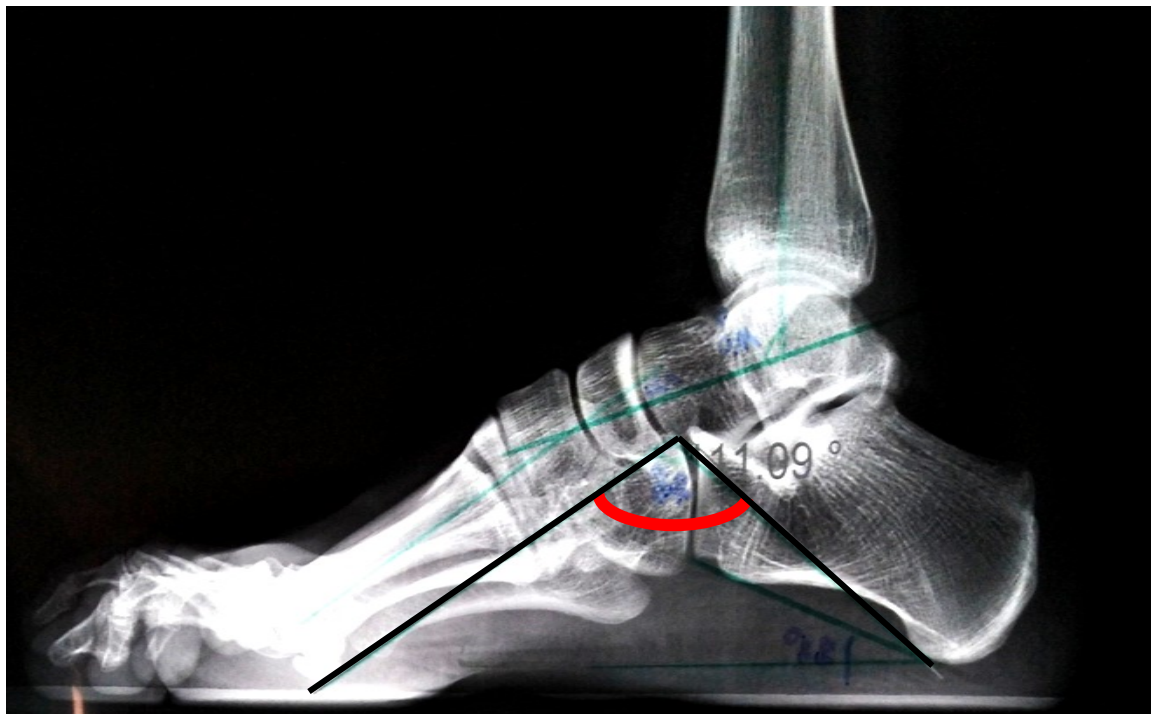
Source : ©photo personnelle.



Graph 26 : répartition de l'effectif selon l'angle de Meary-Tomeno

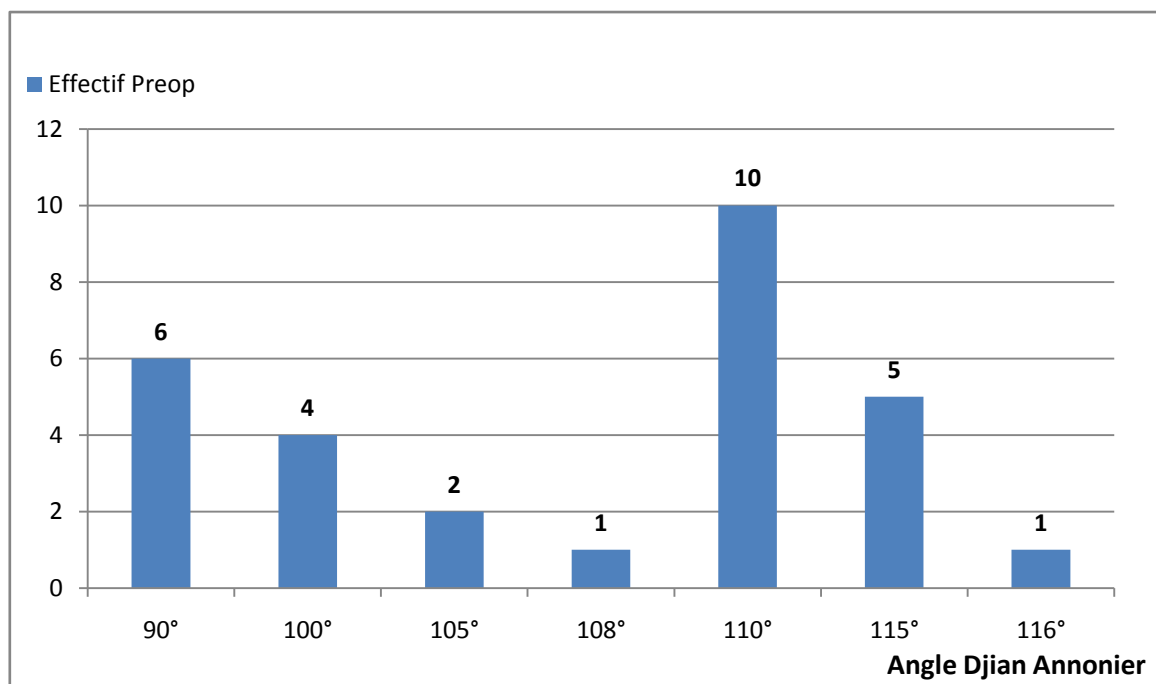
♦ **L'angle de Djian Annonier :**

L'angle de **Djian Annonier** est inférieur à 120° dans tous les cas, ce qui correspond à un pied creux (angle de l'arche interne). Il oscille entre 90° pour le plus déformé et 116° pour le moins déformé, avec une concentration de patients autour de 110° .



Iconographie 43 : angle de Djian Annonier

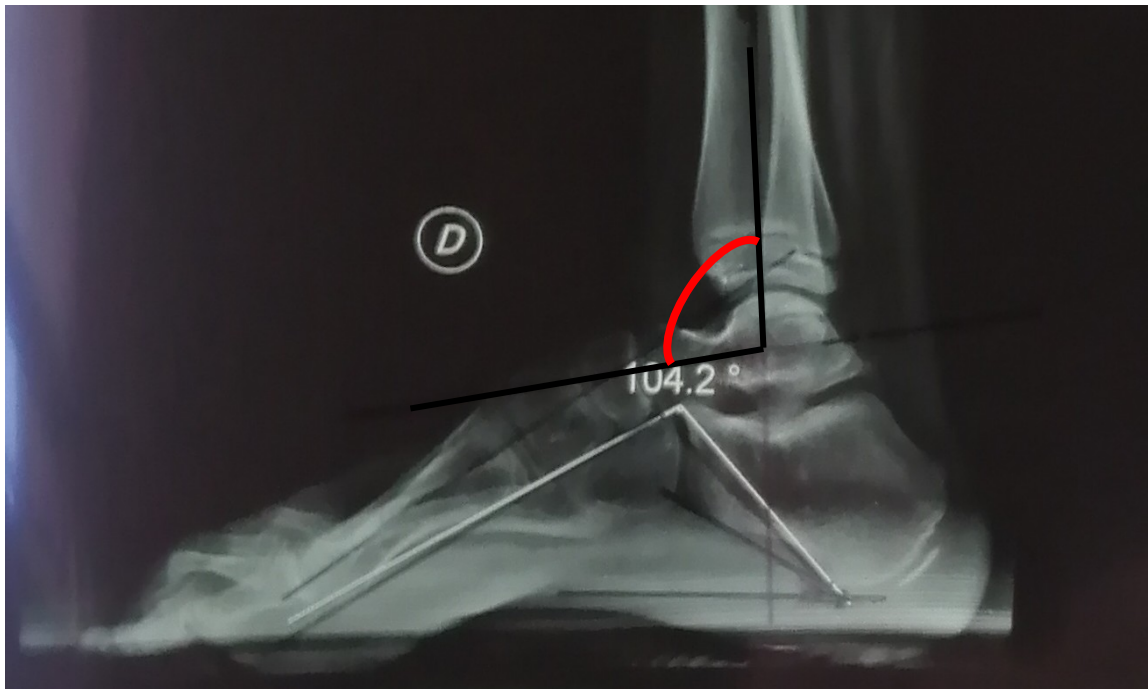
Source : ©photo personnelle.



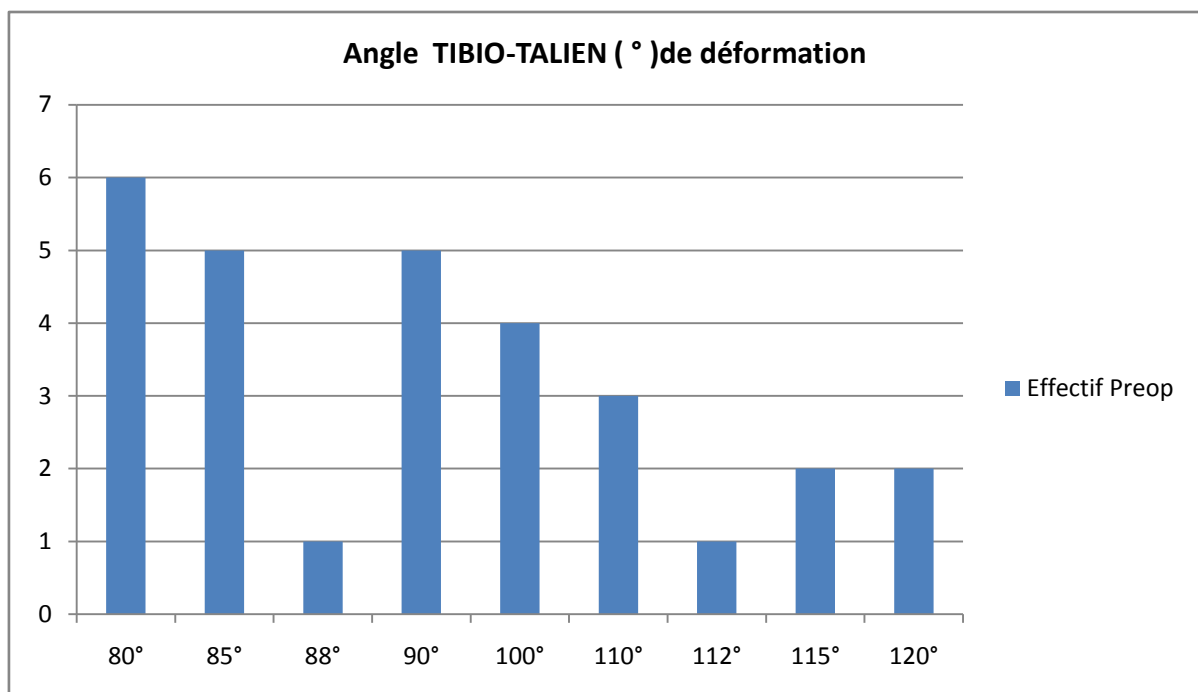
Graphe 27 : répartition de l'effectif selon l'angle de Djian-Annonier

◆L'angle tibio-talien

L'angle tibio-talien est inférieur à 100° chez la majorité des patients



Source : ©photo personnelle.

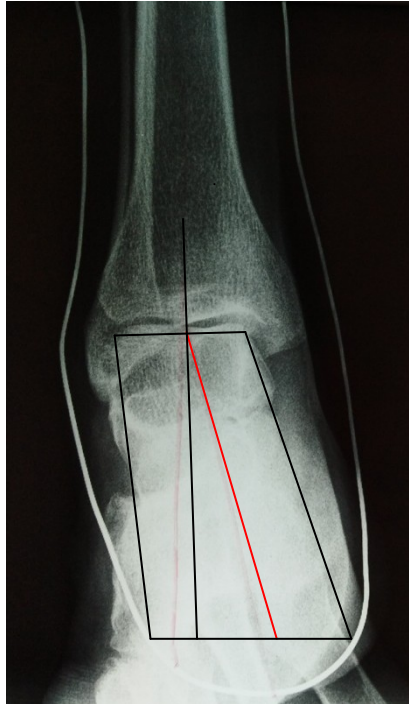


Graph 28 : répartition de l'effectif selon l'angle tibio-talien

♦ La cheville cerclée de Meary

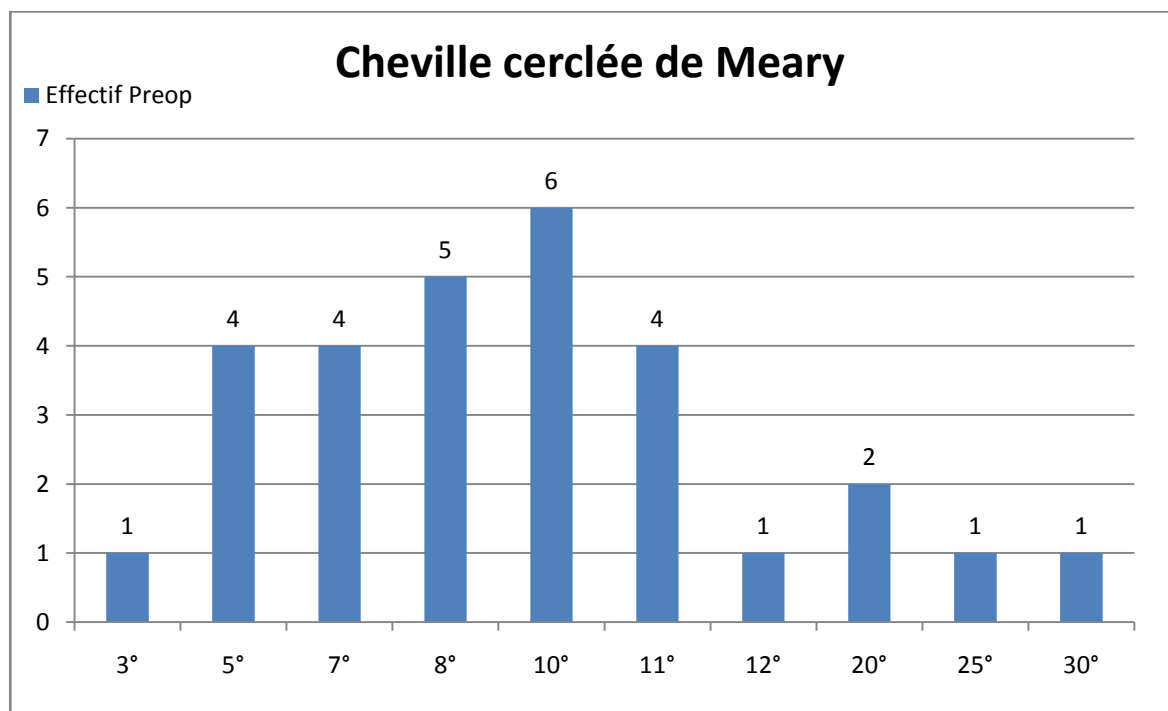
Il détermine le varus calcanéen selon la méthode de **Meary**

Il est présent dans tous les cas à des degrés différents avec varus de 25° et de 30° chez deux patients, alors que pour les autres patients le varus oscille entre 05° et 20°.



Iconographie 45 : cheville cerclée de Meary

Source : ©photo personnelle.



Graph 29 : répartition de l'effectif selon le degré de déviation en varus mesuré sur la cheville cerclée de Meary

♦ La pente calcanéenne

En se référant à la bibliographie, nous retrouvons deux normes :

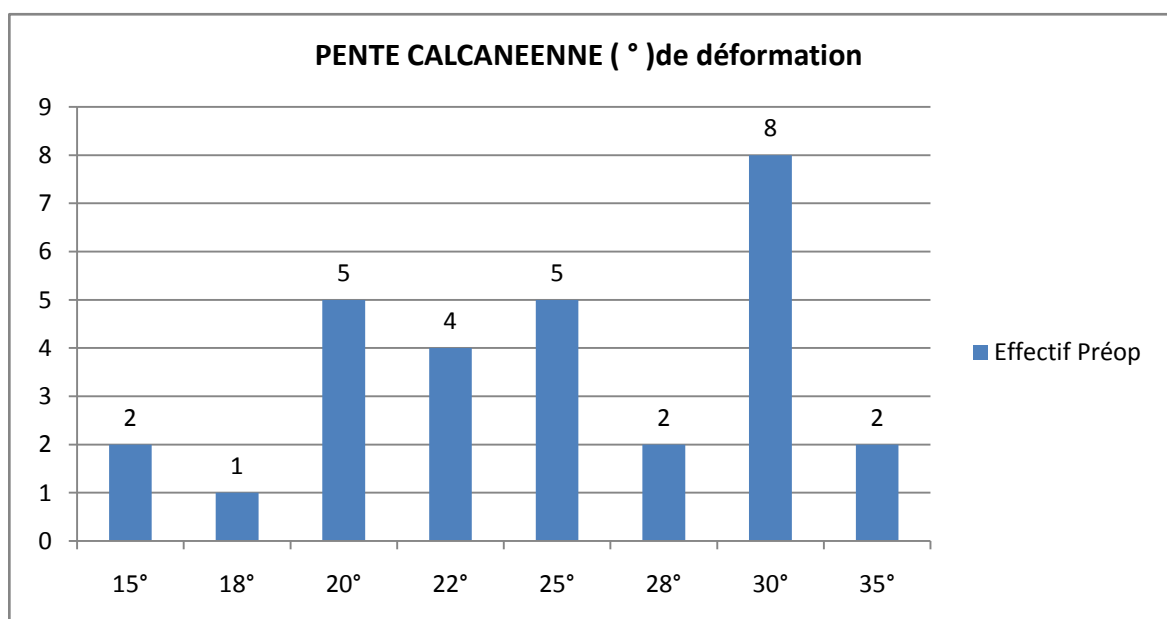
***Wicart et Seringe**, 2009 (156) : normes de la valeur moyenne 15°-20° chez 08 patients qui sont au dessus de la valeur moyenne supérieure.

***Bouysset M.**, 2004 (122) : normes de la valeur moyenne : 20°-30° chez 05 patients qui sont en dehors de cette valeur moyenne, avec 24 patients qui rentrent dans l'intervalle de la valeur moyenne.



Iconographie 46 : calcul de la pente calcanéenne

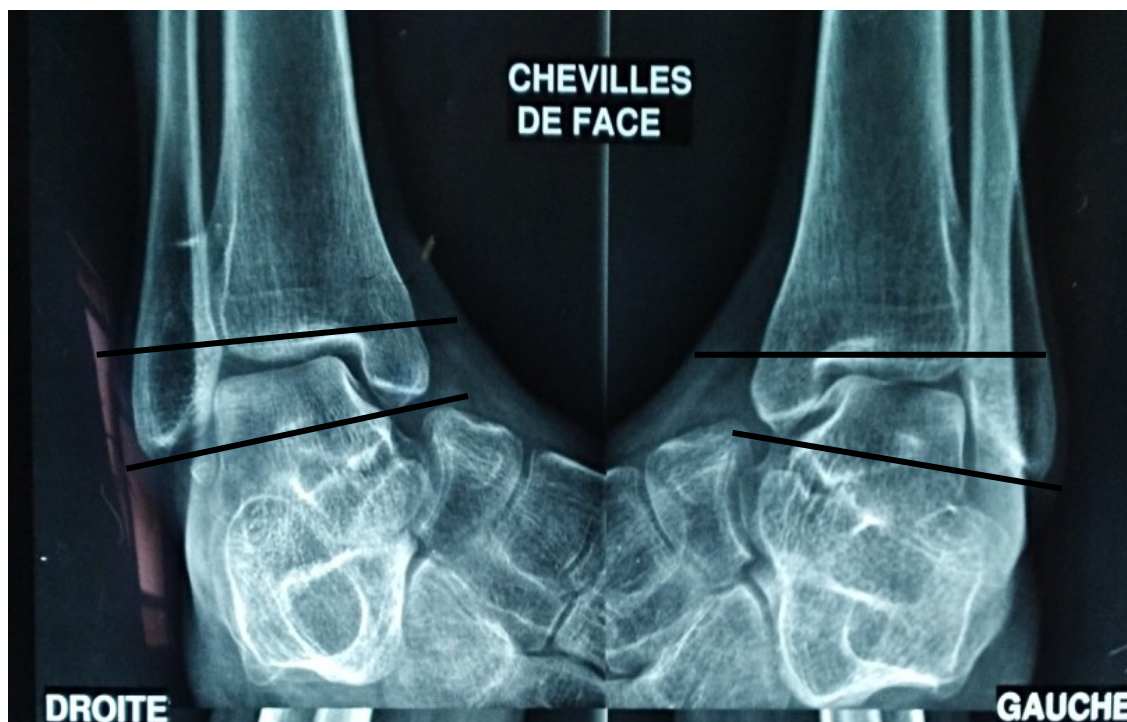
Source : ©photo personnelle.



Graphe 30 : répartition de l'effectif selon l'angle de la pente calcanéenne

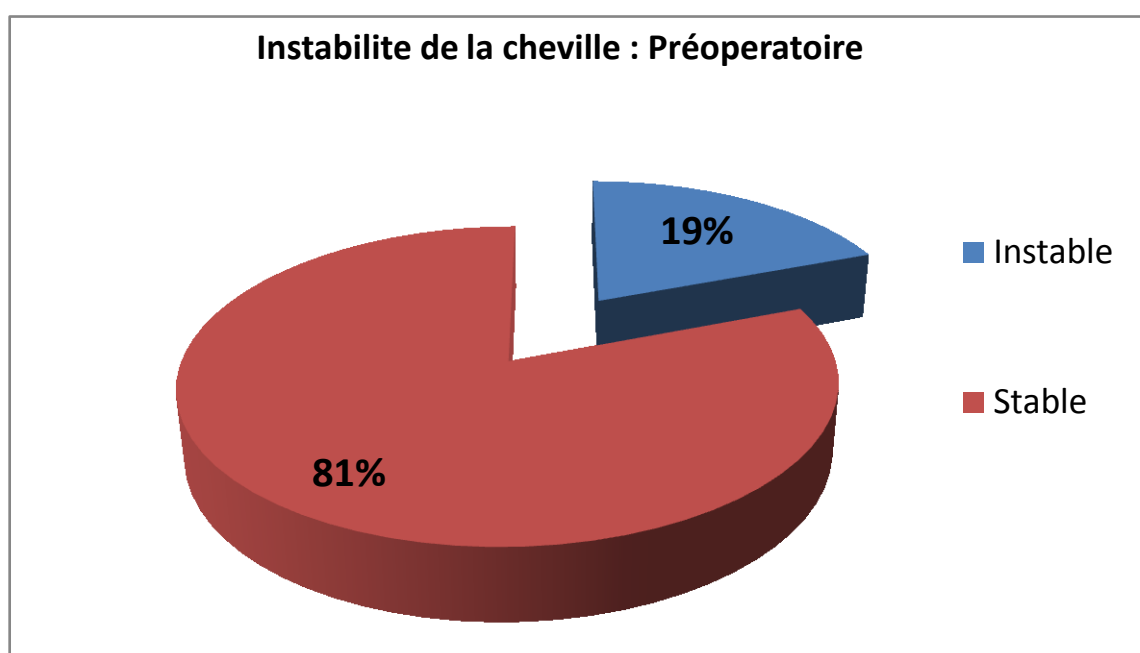
♦ La stabilité de la cheville (l'unité tibio-fibulaire)

L'instabilité de la cheville est le stade ultime de la déformation retrouvée dans 19% des cas soit 10 pieds (05 patients) témoignant de la sévérité de la déformation avec un angle talo-crural augmenté.



Iconographie 47 : instabilité de la cheville sur une radio en charge de face

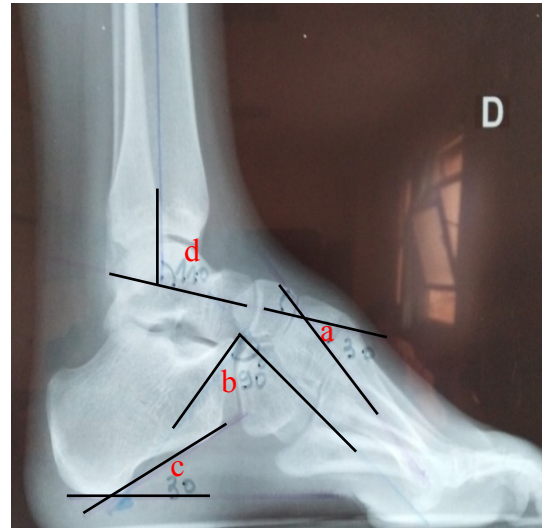
Source : ©photo personnelle



Graphique 31 : répartition des pieds selon la stabilité de la cheville.

♦ Le type du pied creux

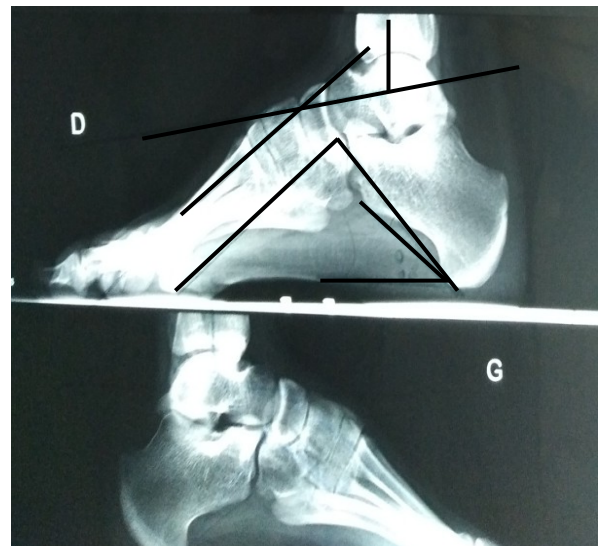
On note 27 pieds creux neurologiques qui sont des pieds creux antéro internes avec un angle de **Meary-Tomeno** augmenté, un angle tibio-talien diminué et une pente calcanéenne augmentée. 02 pieds sont des pieds creux mixtes avec un angle de **Meary –Tomeno** augmente, une pente calcanéenne augmentée et un angle tibio-talien normal.



Iconographie 48: aspect clinique et radiologique de profil en charge d'un patient âgé de 14 ans avec pied creux antéro-interne sur maladie de C.M.T type A1

- a : angle de Meary –Tomeno est de 30°
- b : angle de Djian Annonier est de
- c : angle tibio talien
- d : pente calcanéenne

Source : ©photo personnelle.

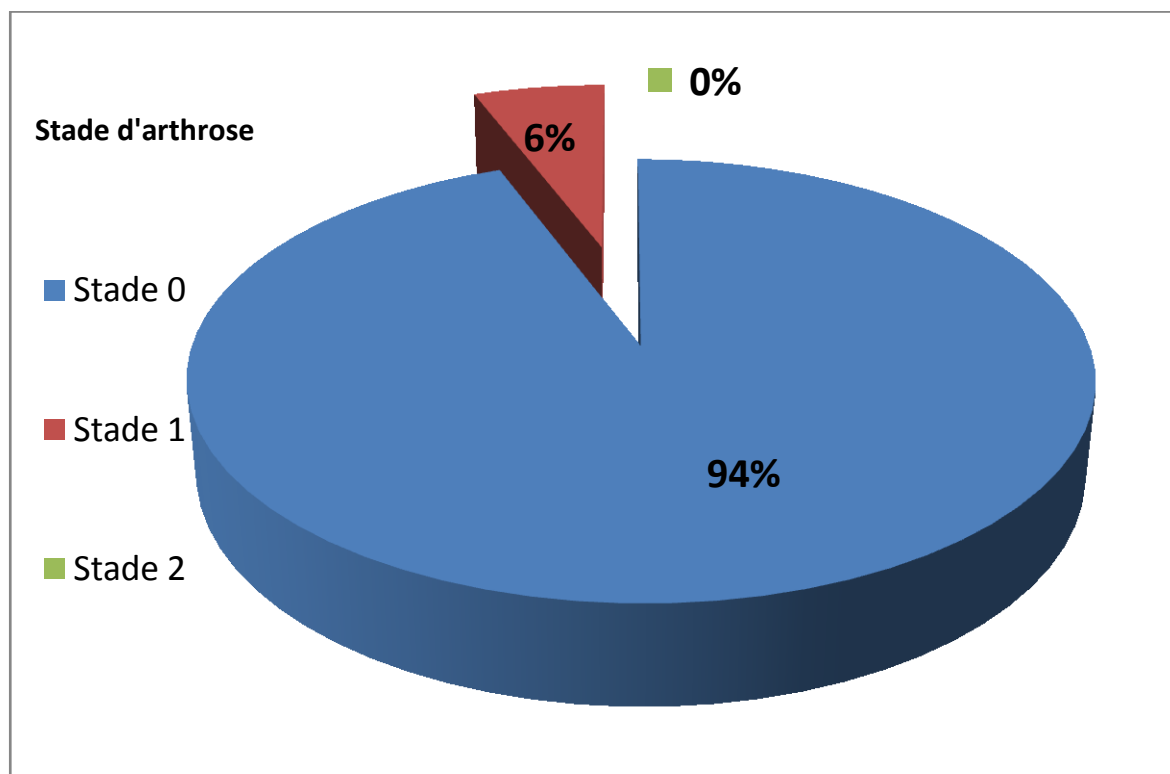


Iconographie 49 : aspect clinique et radiologique de profil en charge d'un patient âgé de 19 ans avec pied creux mixte sur maladie de C.M.T type A1.

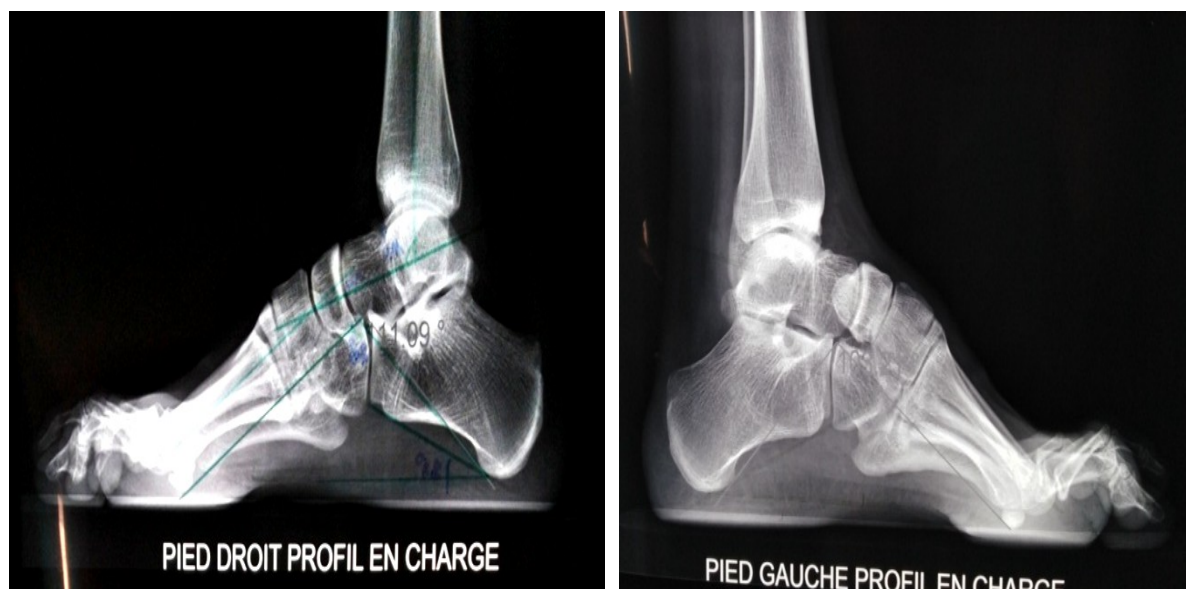
Source : ©photo personnelle.

♦ **Le stade de l'arthrose selon la classification de Morrey et Wiedeman (201)**

La majorité de nos patients soit 94% sont au stade 0 d'arthrose, ce qui signifie que l'articulation est saine.



Graphique 32 : répartition des pieds creux selon le stade d'arthrose

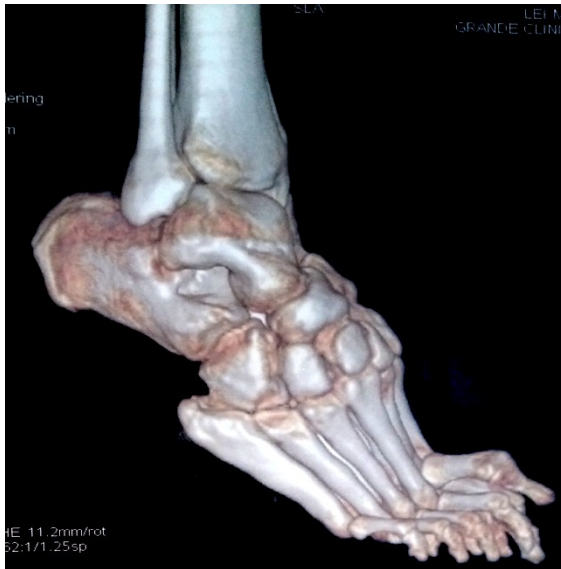


Iconographie 50: aspect effilé avec ostéocondensation talo-naviculaire

Source : ©photo personnelle

♦ La tomodensitométrie osseuse du pied

Elle permet de mieux comprendre la déformation tridimensionnelle, le degré et le siège de l'arthrose, et les lésions associées.



Iconographie 51 : ostéocondensation débutante de la talo-naviculaire avec creux déformant les structures plantaires

Source : ©photo personnelle.

♦ L'échographie des parties molles

Toutes les échographies ont montré un épaissement de l'aponévrose mais sans préciser son épaisseur et son étendue.

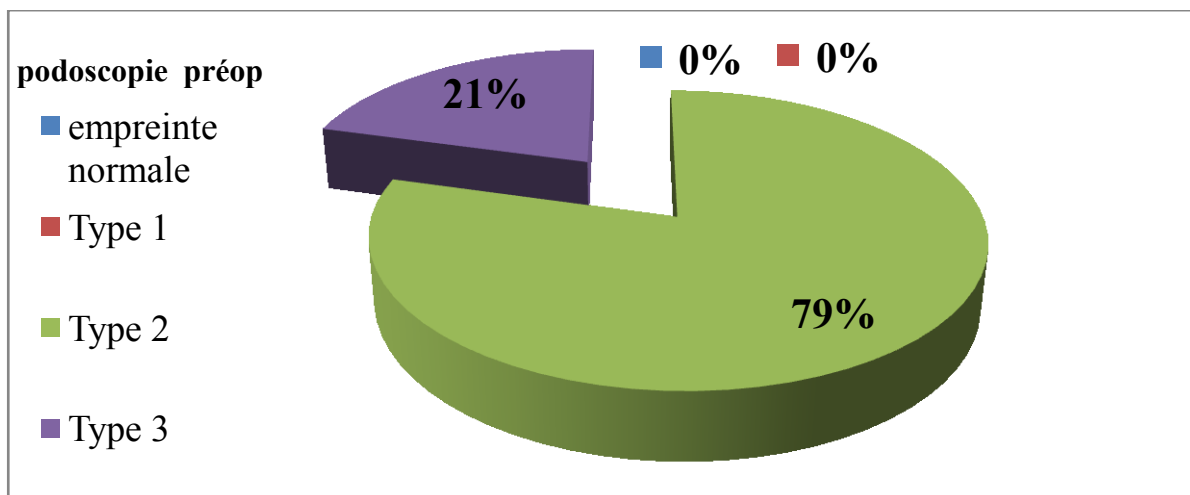


Iconographie 52: épaissement de l'aponévrose plantaire

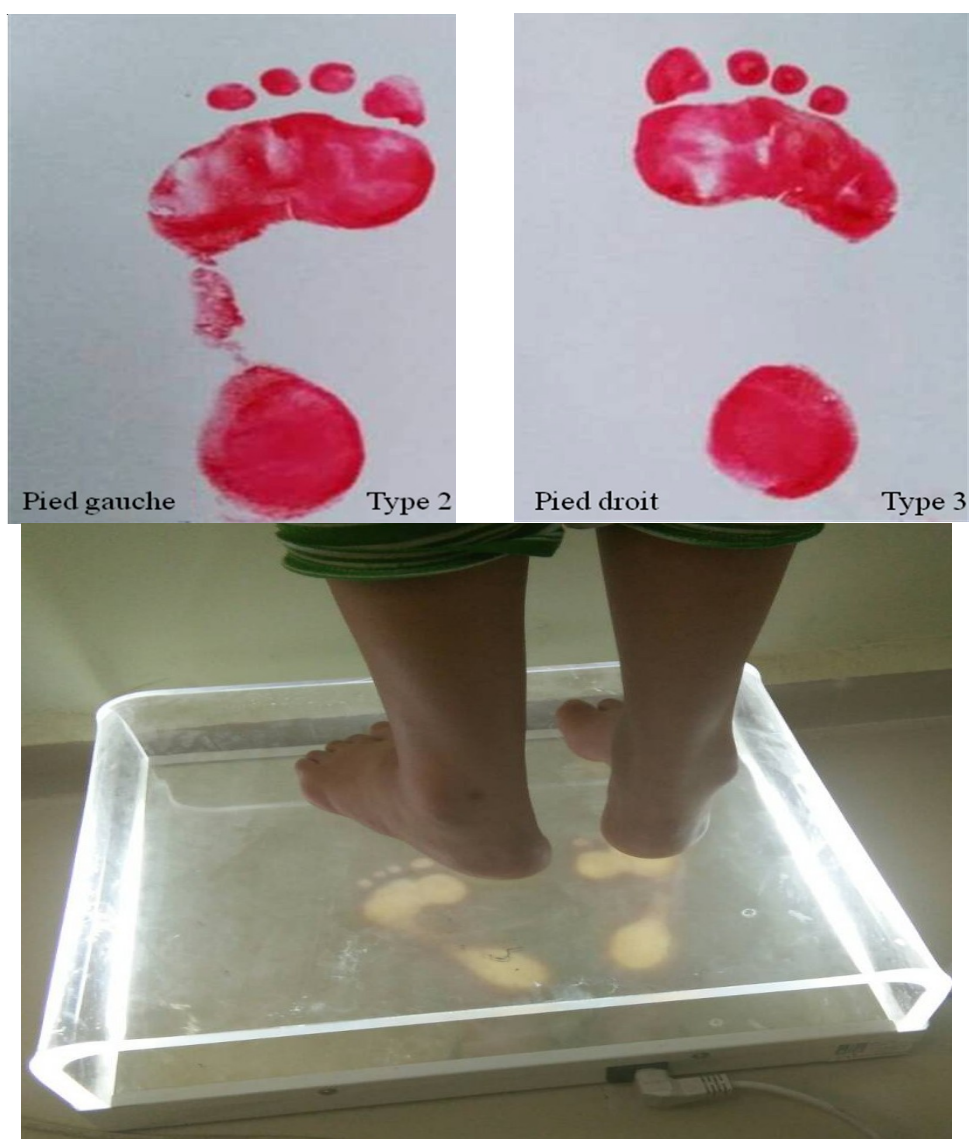
Source : ©photo personnelle.

► Etude de l'empreinte plantaire sur podoscope

On distingue en préopératoire seulement deux types de pied creux : le type 2 et le type 3 et 00% de type 1.



Graphe 33 : répartition des patients selon le type de pieds creux



Iconographie 53 : empreinte plantaire sur papier (podographe) et, sur podoscope d'une patiente de 17 ans en préopératoire montrant le pied creux.

Source : ©photo personnelle.

c- Etude instrumentale : étude de la marche préopératoire

Tous les paramètres spatio-temporels de nos patients en préopératoire (vitesse, cadence, le double appui, longueur du pas, et **FAP**) sont altérés par rapport aux référentiels avec différence significative , sauf pour le double appui ou on n'a pas trouvé de différence significative par rapport au référentiel.

Tableau N° 5 : les paramètres spatio-temporels des patients pris en charge en préopératoire

Paramètres spatio-temporels de la marche en pré opératoire	Population (n)	m $\pm$ σ	Médiane	Min -Max	Référentiel	p-value
Vitesse (cm/m)	29	94,8 $\pm$ 23,8	98,2	6,7- 134	160	p<10 ⁻³ ; DS
Cadence (pas/mn)	29	110,6 $\pm$ 19,3	103,9	14,6 – 125,8	130	p<10 ⁻³ ; DS
Longueur de pas (cm)	29	52,3 $\pm$ 11,5	55 ,45	2,44 – 62,57	80	p<10 ⁻³ ; DS
Double appui (%)	29	21,35 $\pm$ 5,7	21,5	11,7 – 43,5	20	P=0.21 ; DNS
FAP	29	91 ,76 $\pm$ 7,9	94	71-100	100	p<10 ⁻³ ; DS

3- La technique chirurgicale

a - L'anesthésie

Les patients sont présentés à l'équipe d'anesthésie réanimation en vue d'une préparation à l'intervention chirurgicale avec au préalable un bilan biologique standard, une **E.F.R**, (exploration fonctionnelle respiratoire), un échocardiogramme. D'autres bilans seront demandés en fonction du type de la neuropathie périphérique.

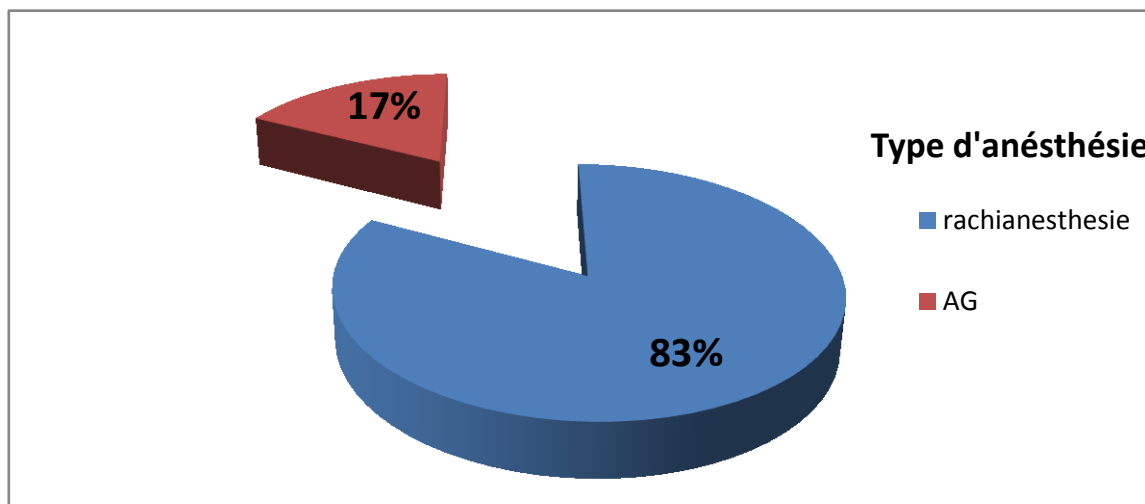
Avant l'acte chirurgical, une préparation du sang iso-groupe iso-rhésus pour une éventuelle transfusion qui restera toujours rare.

Une prémédication 24 H avant la chirurgie chez un patient hospitalisé la veille.

Les modalités d'anesthésie sont discutées avec l'équipe d'anesthésie-réanimation en tenant compte de l'âge du patient, sa corpulence, l'étiologie, le geste opératoire et sa durée, afin de réunir toutes les conditions optimales de sécurité.

La rachianesthésie était indiquée chez 24 patients soit (83%) et seulement 05 patients qui ont bénéficié d'une anesthésie générale soit (17%).

Une fois l'avis favorable est donné par l'équipe d'anesthésie réanimation, le patient sera discuté au colloque et programmé dans un délai n'excédant pas les 03 jours qui suivent.



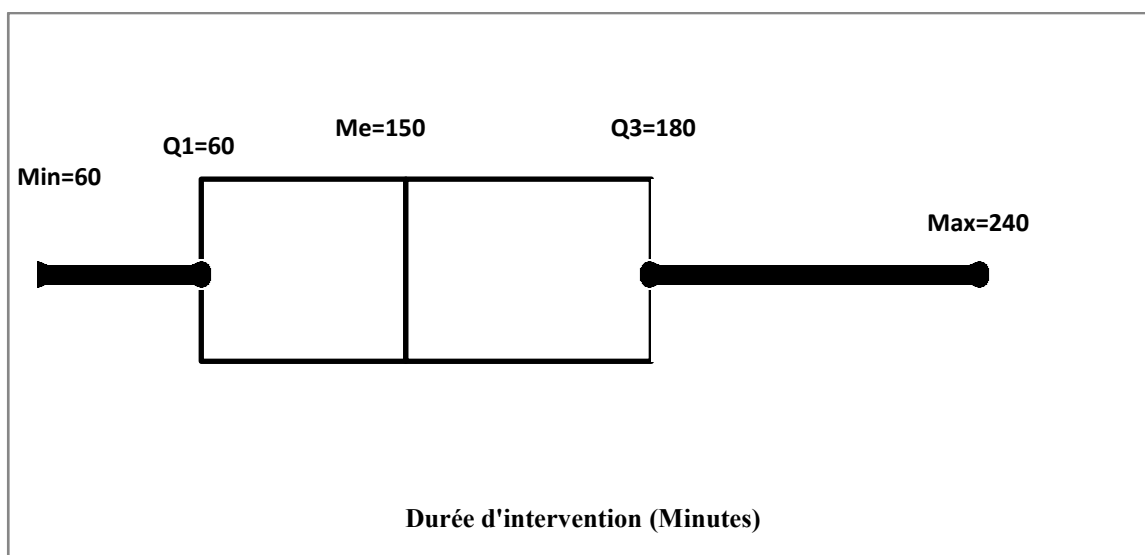
Graph 34 : répartition de l'effectif selon le type d'anesthésie

b- La durée du garrot

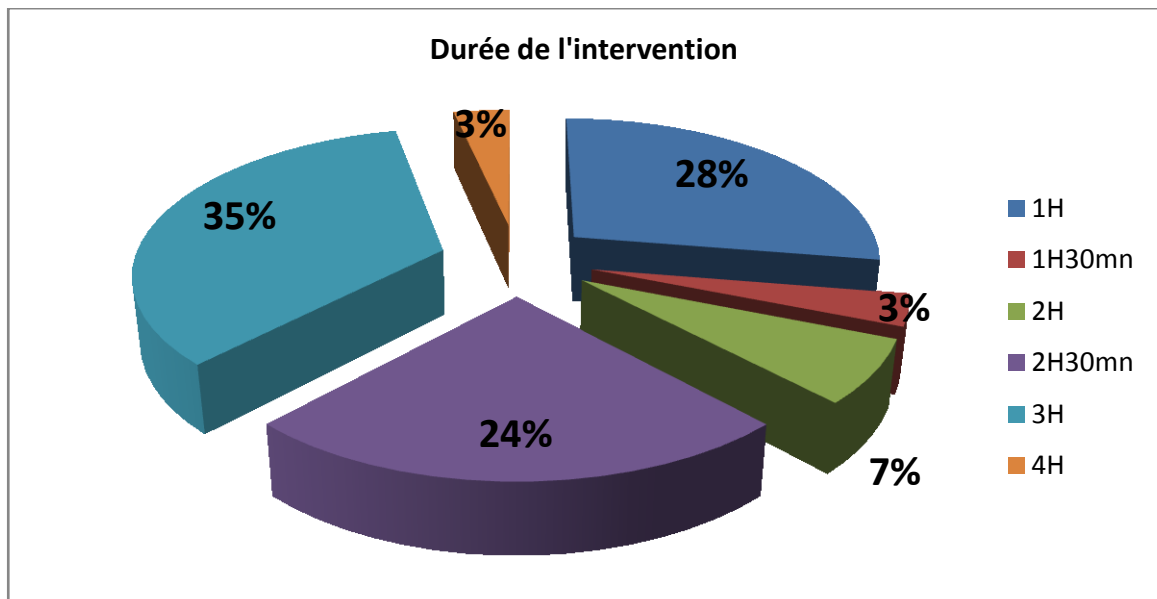
La durée moyenne du garrot est de 45 mn à 2H 30mn.

c- La durée d'intervention

Le temps opératoire est compris entre un minimum d'01 heure et un maximum de 04 heures avec un temps médian de 2 heures et 30 minutes.



Graph 35 : répartition de la durée d'intervention chirurgicale



Graphe 36: répartition de l'effectif selon la durée de l'intervention chirurgicale

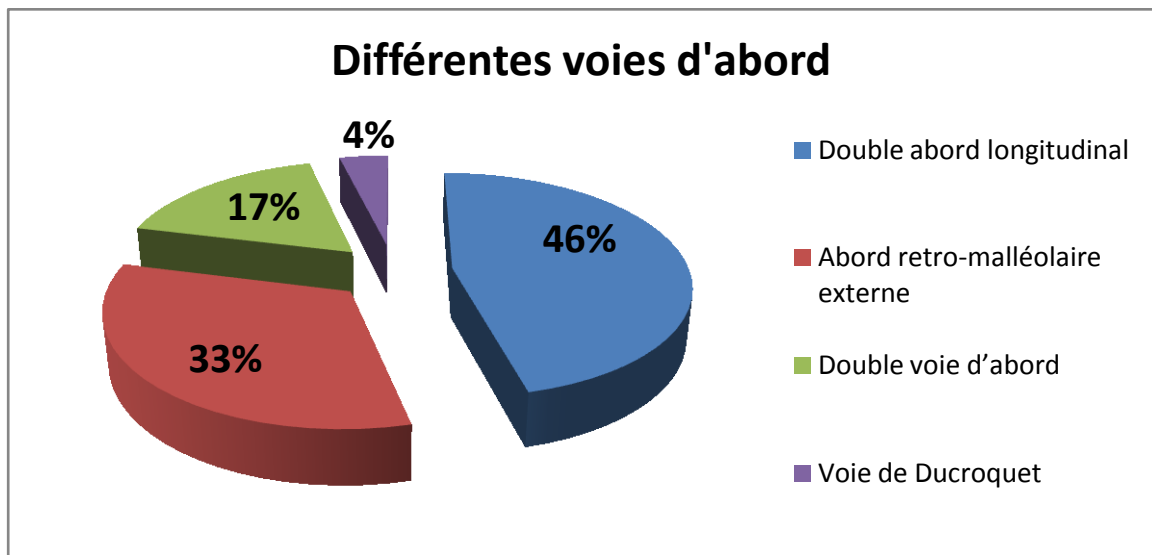
d - Les voies d'abord

Différentes voies d'abord ont été pratiquées à savoir :

- ♦ La voie d'abord rétro-malléolaire externe pour l'ostéotomie de **Dwyer**.
- ♦ La double voie d'abord longitudinale ; l'une dorsale interne et l'autre dorsale externe pour la tarsectomie antérieure.
- ♦ L'abord de **Ducroquet - Ollier** pour la triple arthrodèse.
- ♦ La double voie d'abord pour la triple arthrodèse ; une externe sous malléolaire et l'autre interne en regard de la talo-naviculaire qui donnera une meilleure exposition sans souffrance cutanée.

Additivement aux voies les plus fréquemment pratiquées sus citées, des gestes complémentaires sont associés par :

- La voie d'abord latéro-achilléenne pour la ténotomie de l'Achille.
- La voie d'abord sur le relief du naviculaire pour l'aponévrotomie plantaire.
- La voie d'abord dorsale sur l'articulation inter phalangienne pour la résection arthroplastique.



Graphe 37: répartition de l'effectif selon les différentes voies d'abord pratiquées

e - Le type de matériel d'ostéosynthèse utilisé

Les broches sont utilisées chez 04 patients. Quand la fragilité osseuse rend la synthèse précaire, on utilise une seule agrafe.

Les agrafes de **Blount** mises sont de différentes tailles en fonction du site d'ostéotomie : 22/22 ; 22/16 ; 22/10.

Le moteur électrique type TPS avec lame de différentes tailles qui permet la coupe des différents sites osseux.

Le chasse agrafe permet l'enfoncement aisé des agrafes. 63 agrafes ont été utilisées pour les 52 pieds toute intervention confondue.

Un tord broche.

Le porte agrafe.

Une boîte d'instrumentation des parties molles avec écarteur orthostatique de **Meary**.



Iconographie 54 : matériel d'ostéosynthèse utilisée

Source : ©photo personnelle

4- Les Techniques Opératoires

► Les combinaisons chirurgicales

Trois groupes de combinaisons chirurgicales ont été établis en tenant compte de l'âge, du degré de réductibilité de la déformation, de l'étiologie et du potentiel évolutif.

a- Les pieds creux neurologiques réductibles dont l'âge est compris entre 09 et 13 ans

Ce sont des déformations réductibles bilatérales dans la majorité des cas symptomatiques (douleur, gêne à la marche, chutes fréquentes, inconfort aux chaussages, callosités plantaires).

La combinaison chirurgicale est une procédure des parties molles et osseuses extra-articulaires. Elles permettent une croissance harmonieuse sans déformation osseuse ni musculaire jusqu'à la maturité squelettique pour éviter une récurrence qui est prévisible et qui est le plus souvent secondaire à une neuropathie périphérique longueur dépendante. Cette combinaison chirurgicale a été déjà décrite et réalisée par **Dwyer en 1975**. (169)

b- Les pieds creux neurologiques irréductibles dont l'âge est compris entre 14 et 19 ans

Ce sont des déformations irréductibles par le test de **Coleman** et les symptômes sont plus descriptifs (voussure importante du médio pied, griffe des orteils qui peut être réductible ou non, les lésions d'hyperpression, une rétraction du tendon calcanéen). Une combinaison chirurgicale des parties molles et une chirurgie articulaire préservant l'articulation de la **Chopart** est préconisée.

c- Les pieds creux neurologiques irréductibles, rigides, sévères et anciens avec instabilité de la cheville dont l'âge est compris entre 18 et 19 ans

Ce sont des déformations fixées et très marquées sévères et rigides avec instabilité de la cheville. A ce stade, une seule alternative reste, qui est la plus indiquée : c'est la triple arthrodèse.

► La description détaillée des combinaisons chirurgicales pratiquées

Au cours de notre travail, nous avons utilisé une combinaison de procédures chirurgicales pour traiter les pieds cavovarus neurologiques.

1- Les procédures osseuses extra-articulaires et parties molles: ostéotomie de **Dwyer** avec allongement du tendon calcanéen et aponevrotomie plantaire

Le patient placé en décubitus dorsal, sous rachianesthésie. Le pied en rotation interne avec appuis sous la fesse homolatérale, garrot à la racine du membre.

L'incision est oblique externe à 1 cm en arrière et au dessous du bord postérieur de la fibula et parallèlement au trajet des tendons fibulaires avec pied en rotation interne en respectant le nerf sural.

L'incision débute juste au dessus de bord supérieur du calcanéus et se termine à la jonction peau plantaire et dorsale puis incision du périoste qu'on rugine sans décollement cutané en refoulant vers le haut les tendons péroniers avec leur gaine : deux petits écarteurs à bec sont

alors glissés, l'un à la face supérieure, l'autre à la face inférieure du calcanéus avec respect de la saphène externe et la gaine des péroniers.

Une ostéotomie linéaire de soustraction externe oblique d'arrière en avant et de haut en bas de 45° par rapport à la surface d'appui avec respect de la corticale interne qui doit être fragilisée mais non rompue pour servir de charnière.

L'ostéotomie est faite à l'aide d'une scie oscillante poursuivie par un ostéotome permettant la résection d'un coin osseux à base externe de 8 à 12 millimètres de largeur, selon l'importance de la correction souhaitée.

La fermeture du trait d'ostéotomie est obtenue par mise du pied en flexion dorsale et valgus du talon. Dans certains cas, la fermeture de l'ostéotomie n'est pas obtenue, on procède alors à un allongement du tendon calcanéen effectué par un abord postéro-médiale après sa libération sur 02 cm selon le gain souhaité à obtenir.

On procède à un allongement du tendon calcanéen en **Z** permettant ainsi de vaincre l'équin persistant avec l'ostéotomie et facilite la fermeture de l'ostéotomie calcanéenne.

La fixation est assurée par agrafe de **Blount** renforcé parfois par des broches.

Une radiographie de contrôle par une incidence rétro tibial ascendante est réalisée pour le contrôle de la correction définitif.

Cette ostéotomie de **Dwyer** est précédée par une aponévrotomie plantaire qui va corriger la flexion plantaire de l'avant pied d'où correction du creux qui sera confirmé par la réalisation d'une radiographie de profil en per opératoire en montrant l'alignement astragalo métatarsien. Cette aponévrotomie plantaire se fait par une incision cutanée curviligne sous le relief de l'os naviculaire.

La dissection du tissu cellulaire sous cutané se fait aux ciseaux puis dissection de l'aponévrose plantaire s'effectue en refoulant le muscle court fléchisseur vers le haut et le paquet plantaire interne. La section de l'aponévrose se fait près de son insertion calcanéenne en mettant le pied en flexion dorsale et les orteils en extension afin de tendre celle-ci au maximum.

La correction obtenue est appréciée en plaçant le pied en flexion dorsale et les orteils en extension afin d'obtenir une correction du creux et la disparition de la corde plantaire sans forcer sur l'avant pied.

Pour régler l'étendue de ce geste, Il faut palper la plante du pied et vérifier s'il persiste d'autres brides ou par la visualisation de l'importance de l'écart entre les deux berges.

Dans notre étude, on a opté pour la résection d'un fragment d'aponévrose pour éviter la cicatrisation de l'aponévrose sans effet d'allongement, de fragment osseux issu de l'ostéotomie et de faire une analyse anatomo-pathologique afin d'avoir une avancée étiologique ou évolutive.

La fermeture soigneuse est effectuée en position de correction du plan sous cutané et cutané après hémostase parfaite sans drainage et pansement stérile.

On finit par une attelle plâtrée, prenant le pied en flexion dorsale à 90° gardé pendant 10 jours puis relayée par une botte plâtrée pour six semaines avec autorisation de reprise de l'appui au bout de la 04ème semaine (botte de marche).

L'ablation du plâtre se fait à la 06 ème semaine.

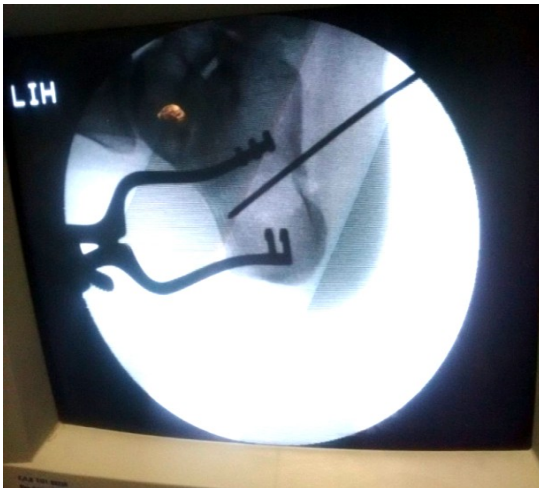
Les étapes de réalisation de l'ostéotomie de Dwyer



1 - Abord rétro malléolaire externe



2 - Exposition du calcanéus



3 - Repérage radiologique du site d'ostéotomie



4 - Ostéotomie de soustraction externe



5 - Résection du coin osseux à base externe



6 - Fermeture de l'ostéotomie et synthèse par agrafe de **Blount**

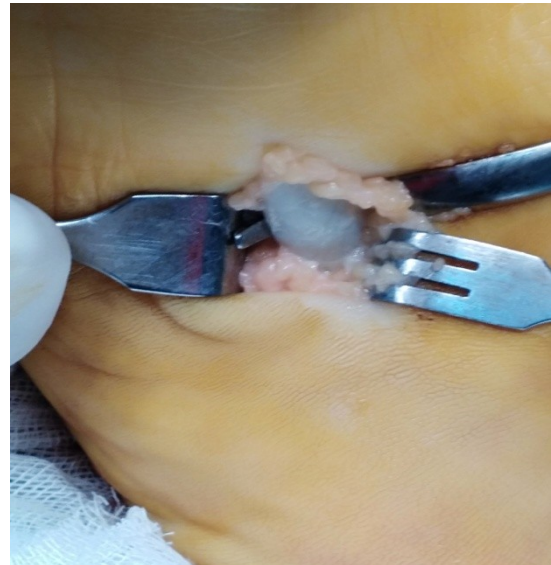
Iconographie 55 : Les étapes de la réalisation d'une ostéotomie calcanéenne de Dwyer

Source : ©photo personnelle.

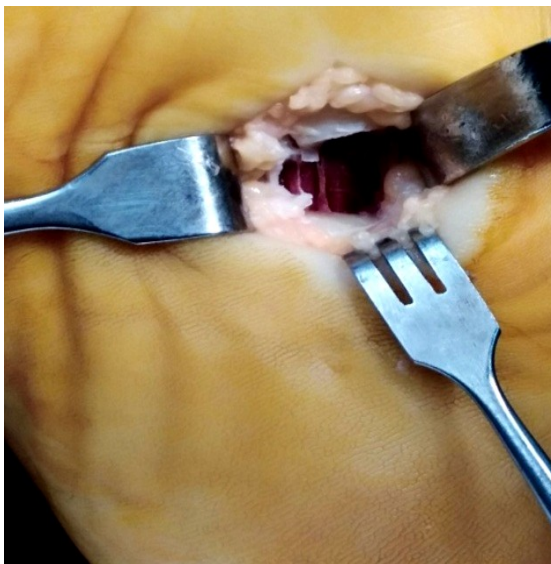
Les étapes de réalisation de l'aponévrotomie plantaire



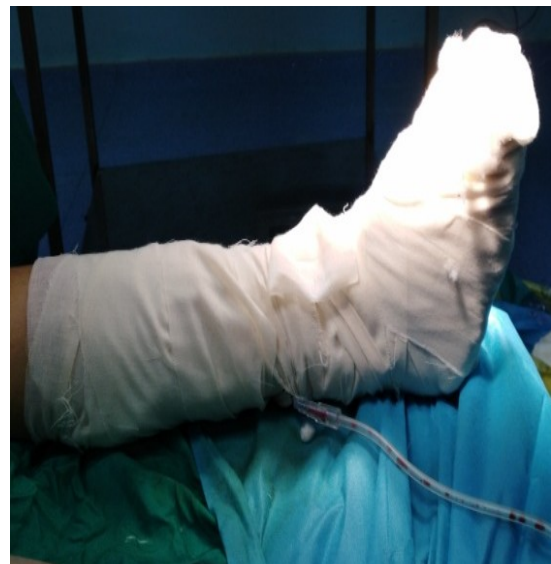
1- Incision interne près du calcaneus sur le relief du naviculaire



2 - Libération de l'aponévrose du plan musculaire



3- Section de l'aponévrose plantaire près du calcaneus montrant l'écart entre les berges



4 - Immobilisation par attelle plâtrée postérieure

Iconographie 56 : Les étapes de la réalisation de l'aponévrotomie plantaire.

Source : ©photo personnelle

2- Tarsectomie antérieure de Méary

Le patient est en décubitus dorsal avec un coussin sous la fesse homolatérale sous garrot pneumatique et jersey collé, incluant tout le membre dans le champ opératoire.

La double voie d'abord dorsale et longitudinale

L'incision dorsale, interne dans l'axe du deuxième métatarse correspondant au deuxième cunéiforme de 06 à 08 centimètres de long.

On dégage en dedans l'extenseur propre du gros orteil et le tendon du jambier antérieur et le paquet vasculaire et le muscle pédieux en dehors donnant accès à la moitié interne du tarse antérieur tout en protégeant les éléments plantaires. Une fois le plan osseux est individualisé, on place deux broches l'une sur le scaphoïde se terminant sur le cuboïde et, l'autre sur les cunéiformes se dirigeant vers le cuboïde matérialisant ainsi la tranche de section à coin dorsal.

L'incision externe longitudinale longue de 05 à 06 centimètres centrée sur la saillie de l'apophyse styloïde du cinquième métatarsien avec respect du nerf saphène externe.

On débute l'ostéotomie du cuboïde au milieu entre la styloïde du cinquième métatarsien en avant et l'interligne calcanéo cuboïdienne en arrière.

On rejoint à la rugine l'incision interne, ce qui donne un contrôle sur toute le du tarse antérieur.

Par l'incision interne, on amorce la coupe postérieure du scaphoïde en son milieu à la scie oscillante suivant un plan frontal en bas et en arrière de 10° à 15° par rapport à la jambe qui rejoint en dehors la section amorcée par l'ostéotome externe, un deuxième plan d'ostéotomie se fera à la face dorsale des cunéiformes vers l'avant. Cette tranche de section aura la forme d'un hexaèdre asymétrique: sa face interne est un trapèze à grande base dorsale.

Après résection, on procède à la fermeture de la tranche de section en relevant l'avant-pied. Une aponévrotomie plantaire est associée pour parfaire la fermeture. L'ostéotomie ainsi fermée est maintenue provisoirement par une agrafe à demi enfoncée ; un cliché de profil du pied vérifiera la rectitude astragalo-métatarsienne. Si elle n'est pas obtenue, il faut augmenter la résection osseuse aux dépens du cunéiforme en laissant suffisamment de tissu osseux pour planter les pointes d'agrafes sans dépasser les surfaces articulaires.

Le contrôle de la mobilité en per opératoire en flexion et en extension doit être systématique.

Dans le cas où il y a persistance de la flexion plantaire de M1, il faut associer une ostéotomie de relèvement de M1.

Cette tarsectomie est précédée par une ostéotomie de valgisation calcanéenne de **Dwyer** avec un allongement du tendon calcanéen.

La tarsectomie corrigera dans presque tous les cas la griffe des orteils qui était réductible en préopératoire, mais dans le cas où la griffe est irréductible, on procédera à la résection arthroplastique avec arthrodèse inter phalangienne avec ou sans allongement de l'extenseur. Cette résection arthroplastique se fait par voie dorsale sur l'interligne articulaire distale de l'orteil après avoir récliné l'extenseur de l'orteil, arthrotomie, résection arthroplastique puis arthrodèse inter phalangienne par broche.

Une fois l'ostéosynthèse mise, on procède à un contrôle radiologique de l'axe astragalo-métatarsien qui doit être égal à 00° et ne dépassant pas les 04° (angle de **Meary –Tomeno**).

On lâche le garrot avec une hémostase parfaite et fermeture des deux incisions en deux plans avec mise en place d'un drain aspiratif.

Une attelle plâtrée postérieure est placée avec le pied à angle droit et le béquillage sans appui est autorisé dès la 24 heures.

Vers huit à dix jours, l'attelle est remplacée par un plâtre circulaire à angle droit de 06 à 08 semaines puis une botte de marche pour une nouvelle période de deux à trois semaines suivie d'une ablation du plâtre.

Les étapes de réalisation de la tarsectomie antérieure de Meary



1 - Abord rétro malléolaire externe et longitudinale externe en regard du cuboïde.



2 - Abord dorsal longitudinale interne avec un abord plantaire près du calcaneus.



3 - Exposition du tarse antérieur.



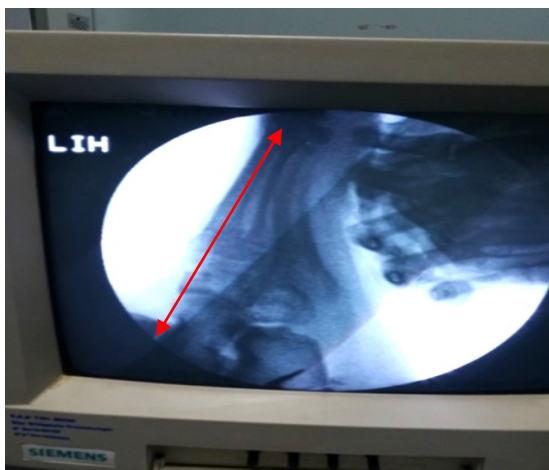
4 - Contrôle radiologique du site d'ostéotomie en per opératoire matérialisant la tranche de section.



5 - Tarsectomie antérieure réalisée avec résection du coin osseux dorsale .



6 - Fermeture de l'ostéotomie.



7 - Contrôle radiologique de l'alignement de l'axe astragale -M1 sur la radiographie de profil en simulant l'appui



8 - Fermeture de l'ostéotomie et synthèse par agraffe de **Blount**.



9 - Contrôle radiologique en fin d'intervention de la position du matériel de synthèse et de la correction de l'angle de **Méary-Tomeno**.



10 - Toilette après hémostase parfaite puis fermeture des différents plans cutanés et sous cutané.



11-Pansement avec attelle postérieure.



12- Radiographie postopératoire avec attelle plâtrée postérieure en décharge.

Iconographie 57 : Les étapes de réalisation de la tarsectomie antérieure de Méary

Source : ©photo personnelle.

3- La triple arthrodèse

On a utilisé deux voies d'abord (une seule fois la voie de **Ducroquet –Ollier** et 04 fois la double voie d'abord)

Sous rachianesthésie associée à un bloc poplité, le patient est installé en décubitus dorsal avec un coussin sous la fesse homolatérale et un contre appui au niveau de la hanche controlatérale.

Le garrot est placé à la racine de la cuisse dégageant une crête iliaque.

● **Double voie d'abord** (voie latéral externe et médiodorsale interne).

L'incision latérale externe à 1cm de la pointe de la fibula se dirige vers la base du 4^{ème} métatarsien avec respect du nerf sural. L'incision du rétinaculum des tendons des extenseurs longitudinalement puis on décolle le muscle pédieux sur la grande apophyse calcanéenne qu'on soulève, permettant ainsi la visualisation du sinus du tarse. On complète la libération du sinus du tarse et on procède à la section du ligament calcanéo-cuboïdien et le ligament interosseux avec excision de la capsule articulaire sous talienne. Un écarteur orthostatique type **Meary** permet la visualisation de toute l'articulation.

L'avivement des surfaces articulaires à l'ostéotome et à la scie oscillante large permet la correction morphologique. Par un mouvement de flexion plantaire forcée, toute l'articulation sous talienne et médio tarsienne est exposée.

La deuxième voie d'abord interne médiodorsale s'effectue entre le tendon du tibial antérieur et le tendon du long extenseur de l'hallux .on sectionne le ligament frondiforme et la capsule articulaire. On met en place une rugine ouvrant ainsi l'interligne exposant la tête du talus, on avive les surfaces articulaires avec repositionnement de la talo-naviculaire.

Par ces deux voies d'abord, les différentes articulations sont nettoyées de leur cartilage jusqu'à l'os sous chondrale. On met un greffon osseux (un seul cas) et on remet le membre sans billot pour permettre une bonne réduction du pied : réduction de la sous talienne (valgus de 05° à 07°) et cheville à 90°et mise en place de broches temporaires avec contrôle radiologique puis fixation définitive par agrafe de **Blount** des différentes articulations (talo-calcaneenne, talo-naviculaire et calcanéo-cuboïdienne).Un allongement du tendon calcanéen a été nécessaire dans deux cas du fait de sa rétraction ayant limité la flexion dorsale de la cheville.

La fermeture du plan musculaire pédieux se fait avec reconstitution du ligament frondiforme avec drainage aspiratif .Les tissus sous-cutanés et cutanés sont suturés. Le pansement non compressif.

L'immobilisation provisoire est faite par une attelle plâtrée postérieure.

● Abord de Ducroquet - Ollier

L'incision est latérale à 01 cm sous la pointe de la fibula et se termine sur l'interligne naviculo-cunéene. Cette voie d'abord ne donne pas une bonne exposition de la talo-naviculaire, ce qui oblige parfois le recours à une deuxième petite voie médiodorsale.

On repère et on sectionne l'insertion du muscle court extenseur des orteils (muscle pédieux) et le ligament talo-calcanéen latéral qui sera soulevé par une rugine. On procède au nettoyage du sinus du tarse à la pince gouge avec sectionne du ligament interosseux et de la capsule articulaire de la sous talienne postérieure et mise en place d'un écarteur de **Meary**.

On atteint l'articulation talo-naviculaire par le repérage articulaire de la tête du talus. L'avivement et le nettoyage des surfaces articulaires de la sous talienne postérieure et antérieure ainsi que celle de la médio tarsienne sont réalisés.

On met en place un greffon osseux si besoin. On remet le membre sans billot et on réduit par le positionnement adéquat du pied avec cheville à 90° en empaumant le talon de 05° à 07° de valgus. La mise en place de broche temporaire se fait sous contrôle radiologique puis fixation définitive par agrafes de **Blount** des différentes articulations (talo-calcanéenne, talo-naviculaire, calcanéo-cuboïdienne).

Une incidence de profil strict en simulation d'appui et une dorsoplantaire permettent de contrôler la position du matériel et la qualité de la correction.

Les étapes de la Triple Arthrodèse selon Ducroquet - Ollier



1- Incision cutanée de **Ducroquet -Ollier**



2 – Libération et ouverture du plan musculaire, capsulaire et ligamentaire



3 - Ecarteur de **Meary** exposant les différentes articulations



4 - Remise du pied en position de correction de 90° et valgus du talon sans fixation



5 - Fixation définitif des différentes articulations avec résection arthroplastique des orteils



6 - Contrôle de l'aspect définitif de face de la correction avant la fermeture cutanée



7 - Aspect du pied après fermeture cutanée



8 - Contrôle radiologique post opératoire avec attelle plâtrée

Iconographie 58 : Les étapes de la réalisation de la triple arthrodèse

Source : ©photo personnelle.

4- Les gestes complémentaires

- L'ostéotomie de relèvement de la base de M1

Une ostéotomie de flexion dorsale du 1er métatarsien est indiquée s'il persiste une saillie plantaire du premier métatarsien en fin d'intervention afin de corriger la pronation de l'avant-pied

- Une section du ligament plantaire si la fermeture de la tarsectomie est difficile
- Un allongement du tendon calcanéen est indiqué s'il persiste un équin en fin d'intervention rendant la fermeture de l'ostéotomie incomplète
- Une greffe osseuse : la greffe osseuse a été nécessaire dans 01 cas où la triple arthrodèse a été indiquée, cette greffe est prélevée de la crête iliaque à cause d'une fragilité osseuse.

5 – Les gestes associés et les suites post opératoires

- La durée d'hospitalisation

Le délai d'hospitalisation est de 04 jours avec des extrêmes de 01 jour à 07 jours. Le traitement antalgique et anticoagulant est systématique avec surélévation du membre pour lutter contre l'œdème post opératoire.

- Le pansement

Le pansement sera refait au 3ème jour post opératoire avec ablation du drain de **Redon** et remise de l'attelle plâtrée postérieure jusqu'à 08 jours à 15 jours puis ablation des fils et confection d'une botte plâtrée dont la durée dépendra du nombre d'ostéotomies pratiquées. L'ablation des broches se fera au bout de 30 jours à 45 jours.

- Le drainage

Il est nécessaire quand la correction de la déformation nécessite plusieurs ostéotomies, il est maintenu pour une durée de 02 à 03 jours.

- La rééducation

La rééducation fonctionnelle est entamée dès la reprise de l'appui et après fusion osseuse objectivée à la radiologie. Cette rééducation fonctionnelle doit être progressive. Elle vise à maintenir les amplitudes articulaires et le renforcement musculaire jusqu'à acquisition des gestes quotidiens.

- Le suivi à la consultation

Ces patients sont suivis de façon régulière sur le plan clinique et radiologique. Il se fait au 07ème, 15ème jours puis à la 06ème semaine pour l'ablation du plâtre. Le contrôle radiologique se fait à 01 semaine, à 02 mois, à 06 mois, à 01 an puis tous les ans afin de suivre l'évolutivité de cette déformation qui est progressive. Le contrôle podoscopique et instrumental se fait au bout d'un an afin d'apprécier les effets de la correction chirurgicale, de déceler une récurrence qui peut être due à une évolutivité de la neuropathie progressive.

- La marche

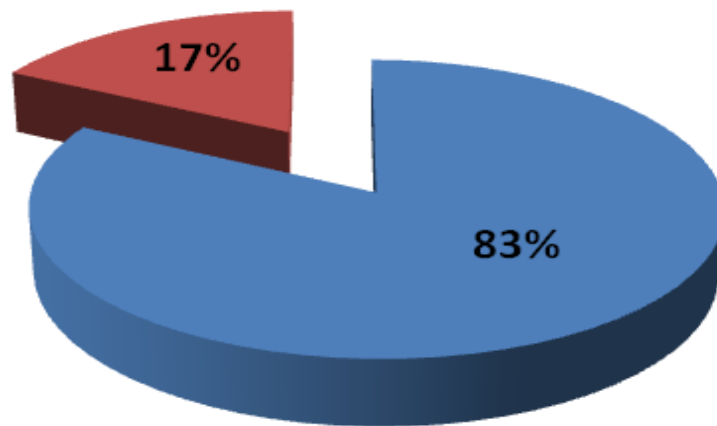
La marche est reprise progressivement avec une orthèse plantaire comportant un soutien de voûte médial et l'appui total est assuré au bout de 02 à 03 mois. On conseille au patient de porter des chaussures souples et montantes (basket ou Clark) suivies de semelles orthopédiques avec appui rétro capitales et à coin pronateur déchargeant ainsi l'appui sur les têtes des métatarsiens et éviter une récurrence du varus probable.

► **La répartition de l'effectif selon les procédures chirurgicales pratiquées**

1 – L'aponévrotomie plantaire sélective

L'aponévrotomie plantaire sélective constitue un temps opératoire des différentes combinaisons chirurgicales. Dans notre étude cette aponévrotomie a été réalisée dans 83% des cas (soit 43 pieds).

Aponévrotomie superficielle

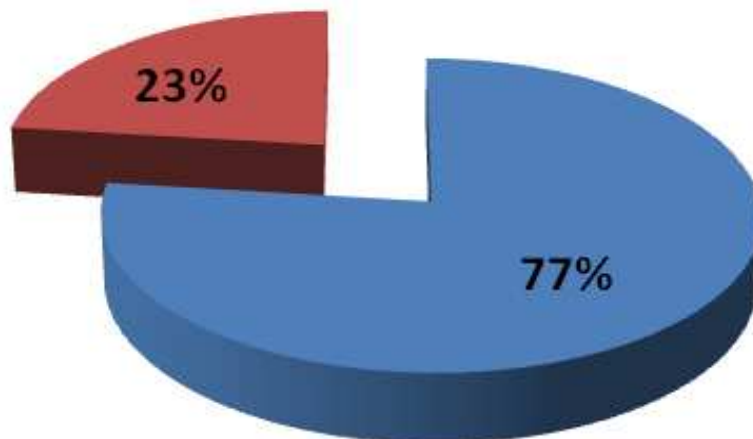


Graphique 38 : aponévrotomie plantaire superficielle

2 – L'allongement du tendon calcanéen

L'allongement du tendon calcanéen a été pratiqué dans 77% des cas, soit 40 pieds.

Allongement du tendon calcanéen

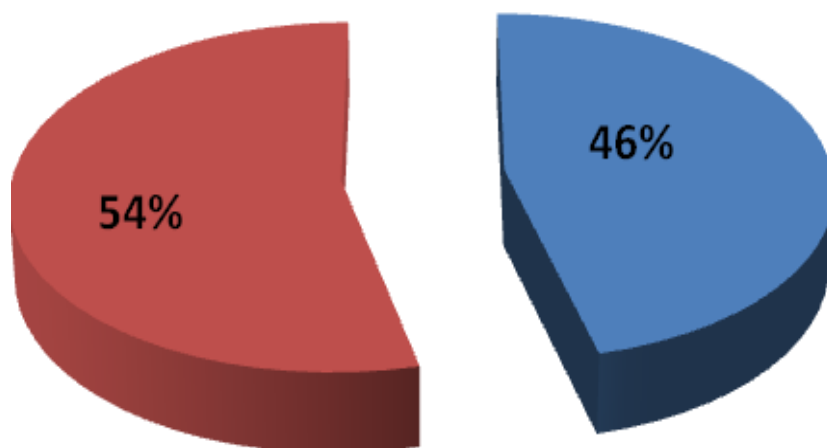


Graphique 39 : Allongement du tendon calcanéen

3 – La tarsectomie antérieure

Elle a été pratiquée dans 46% des cas, soit 24 pieds en association avec une ostéotomie calcanéen de **Dwyer**.

Tarsectomie antérieure

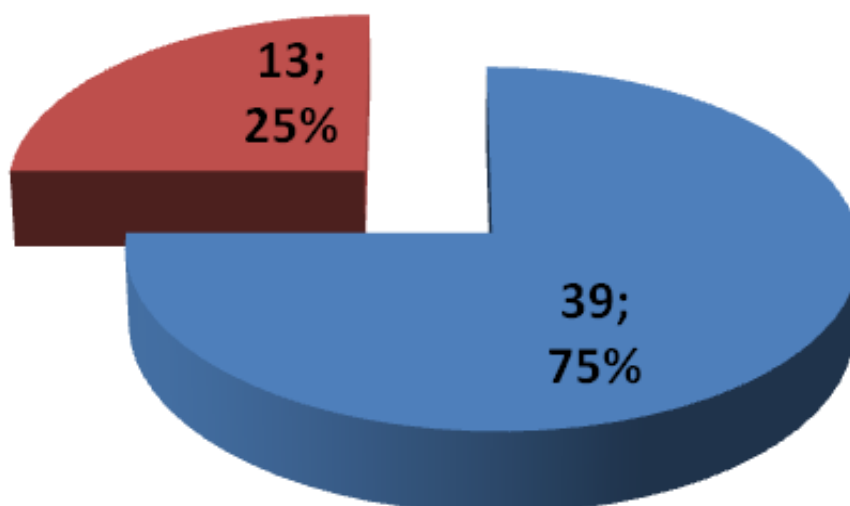


Graphe 40 : La tarsectomie antérieure

4 – L'ostéotomie calcanéen de Dwyer

L'ostéotomie de **Dwyer** a été pratiquée dans 75% des cas, soit 39 pieds soit seule ou en association à la tarsectomie de **Meary**.

Ostéotomie de Dwyer

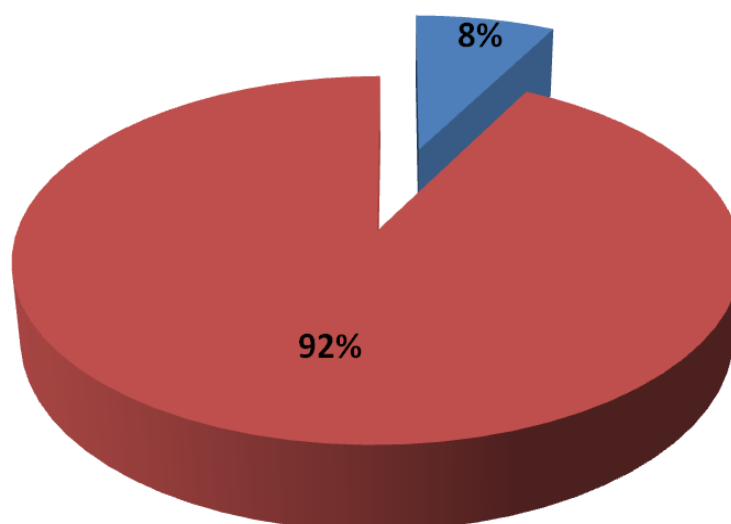


Graphe 41 : L'ostéotomie calcanéenne de Dwyer

5 – L’ostéotomie de relèvement du premier métatarsien (M1)

L’ostéotomie de relèvement de M1 a été pratiquée uniquement pour 02 patients (04 pieds) en complément à une tarsectomie antérieure soit 8%.

Osteotomie de relèvement de M1

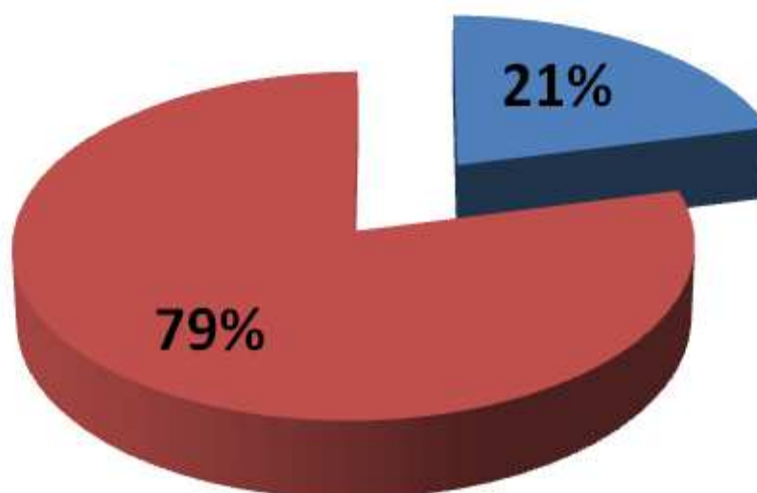


Graphe 42 : L’ostéotomie de relèvement de M1

6 – La triple arthrodèse

La triple arthrodèse a été pratiquée dans 21% des cas soit 11 pieds. Il est à noter que 03 pieds parmi les 11 ont bénéficié d’une triple arthrodèse associée à un allongement du tendon calcanéen .

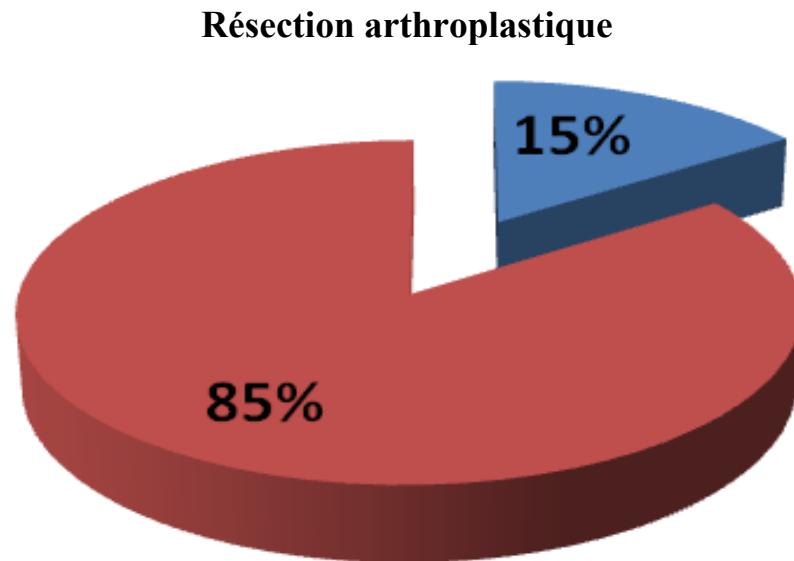
Triple arthrodèse



Graphe 43 : La triple arthrodèse

7 – La résection arthroplastique

La résection arthroplastique avec arthrodèse inter phalangienne des orteils a été utilisée pour une griffe des orteils irréductible (15% des cas, soit 08 pieds chez 04 patients).



Graph 44 : La résection arthroplastique avec une arthrodèse inter phalangienne

Nous avons eu à pratiquer 12 combinaisons chirurgicales pour traiter la déformation des pieds creux neurologiques qui se résume comme suit :

1- Ostéotomie de Dwyer associée à :

- + allongement du tendon calcanéen
- + aponévrotomie plantaire
- + allongement du tendon calcanéen + aponévrotomie plantaire
- + tarsectomie antérieure + allongement du tendon calcanéen + aponévrotomie plantaire
- + tarsectomie antérieure + ostéotomie de relèvement de M1
- + ostéotomie de relèvement de M1

2- Triple arthrodèse associée à :

- + résection arthroplastique
- + résection arthroplastique + allongement du tendon calcanéen + aponévrotomie plantaire
- + allongement du tendon calcanéen

E- RESULTATS AU DERNIER RECU

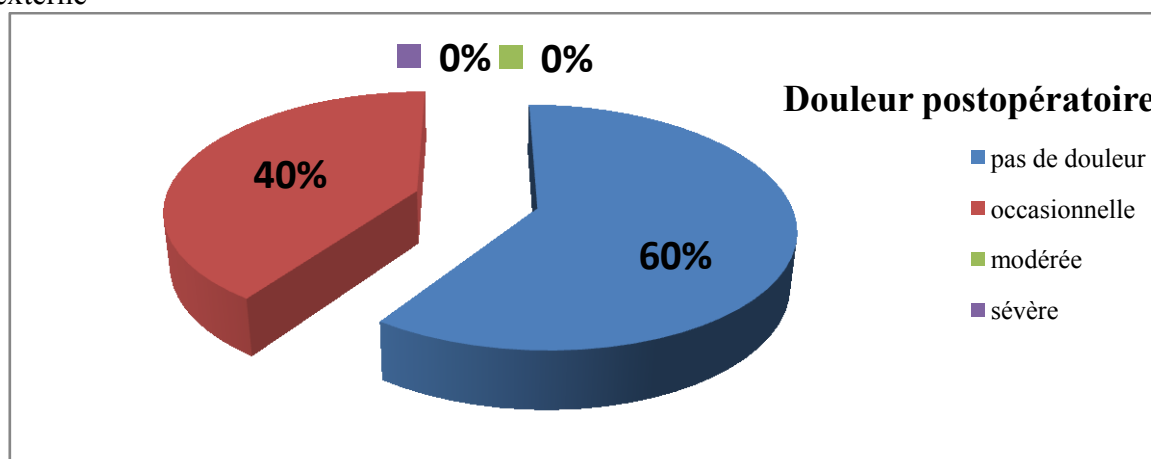
Les cinquante deux pieds (52 pieds) ont été revus avec un recul de 02 ans et 03 mois avec des extrêmes de

I- Les résultats cliniques

► Fonctionnel objectifs : score A.O.F.A.S

● La douleur

La disparition de la douleur est notée dans 60% et les douleurs restantes, sont occasionnelles lors de la montée des pentes avec un taux de 40%. Cela est parfois dû au matériel de synthèse, l'effort physique important et d'autre part à la progression de la déformation. Cette chirurgie a amélioré le confort des patients qui dépendait d'un tuteur externe

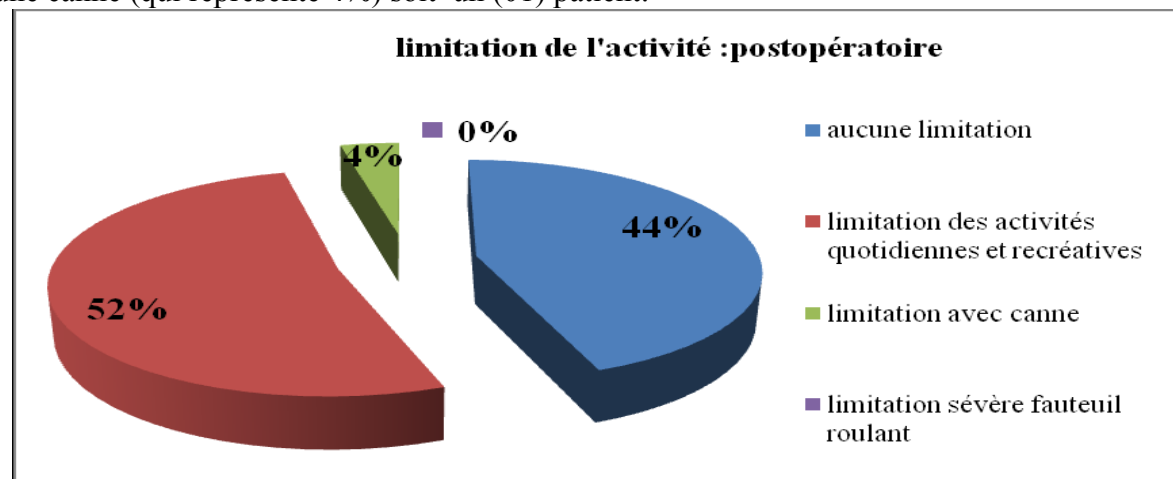


Graph 45 : répartition de l'effectif selon la douleur en post opératoire.

● La fonction

⊕ La limitation de l'activité

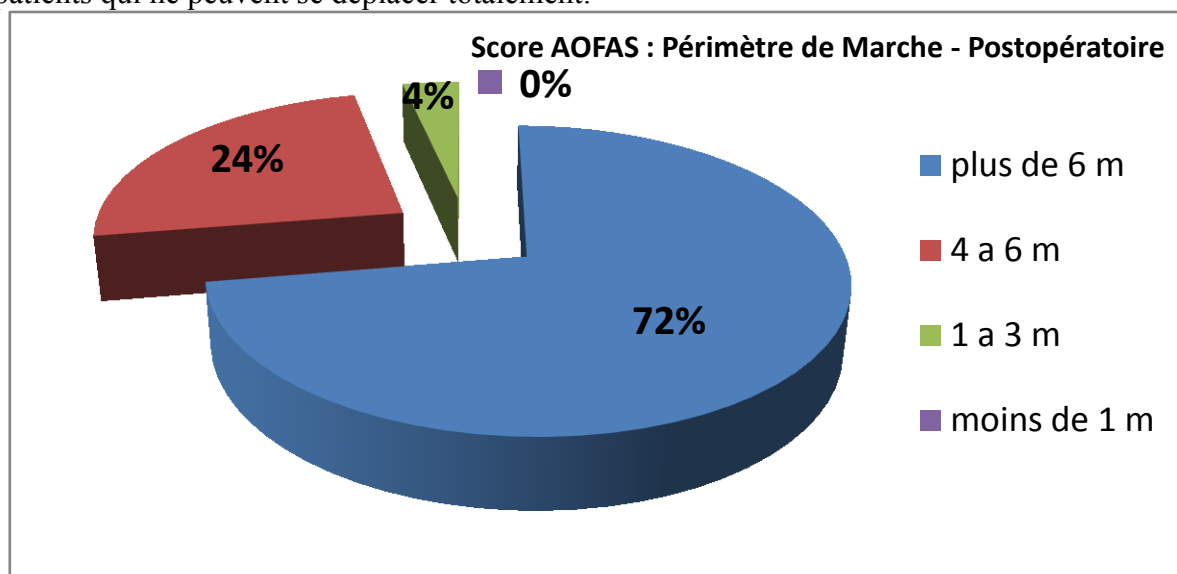
L'activité quotidienne des patients s'est nettement améliorée, avec parfois des douleurs paroxystiques. Il est à signaler que les patients qui se déplaçaient à l'aide d'une tierce personne, ou à l'aide d'une canne ont changé positivement de qualificatif fonctionnel et se retrouvent indépendants. Ainsi celui qui se déplaçait avec une canne a retrouvé une totale indépendance, et celui qui se déplaçait sur chaise roulante se déplace tout seul avec parfois une canne (qui représente 4%) soit un (01) patient.



Graph 46: répartition de l'effectif selon la limitation de l'activité en post opératoire

⊕ Le périmètre de marche

La majorité des patients soit 96 % parcourent plus de 4 m sans difficultés, dont 72% qui parcourent plus de 6 m, 04% avec quelques difficultés de déplacement, et enfin 00% de patients qui ne peuvent se déplacer totalement.



Graph 47 : répartition de l'effectif selon le périmètre de marche en post opératoire

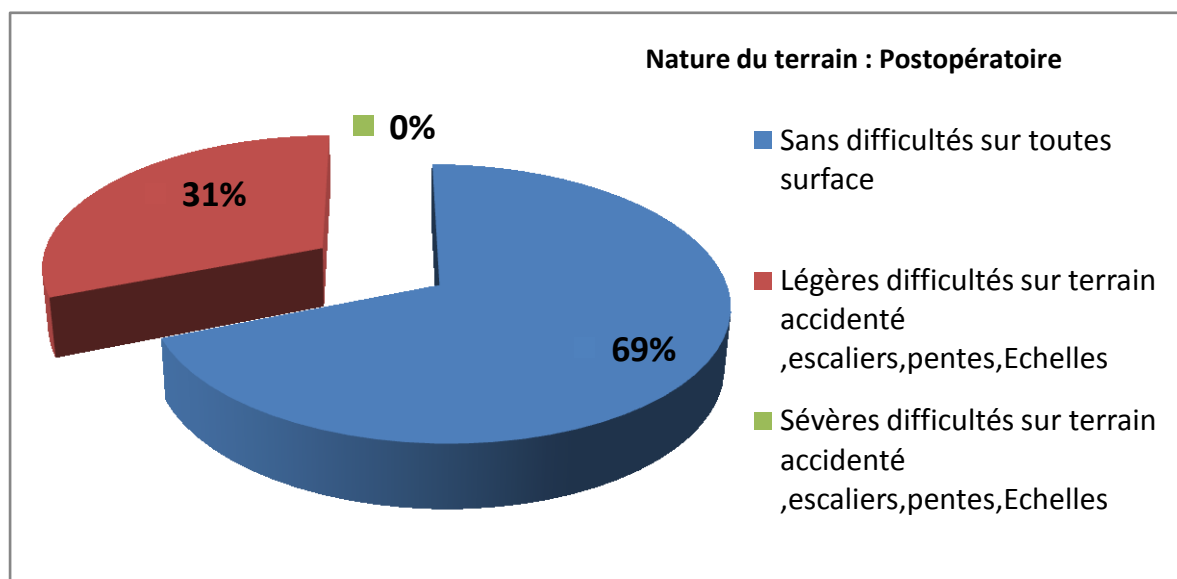
⊕ La nature du terrain

On note que tous les patients qui présentaient une difficulté sévère ou légère pour se déplacer sur différents type de surfaces inégales (terrain accidenté, escaliers, pentes, échelles.) se retrouvent améliorés dans leur marche au détriment de légères difficultés à la marche.

On dénombre 69% soit 20 patients qui recouvrent la marche sans aucune difficulté sur toutes surfaces, avec un constat flagrant de la disparition et glissement de la classe de patients qui rencontraient des difficultés sévères sur surfaces inégales vers la classe de type légères probablement liées à la faiblesse musculaire.

La correction chirurgicale a permis aux patients qui avaient des difficultés légères de retrouver une marche sans douleurs sur toutes surfaces.

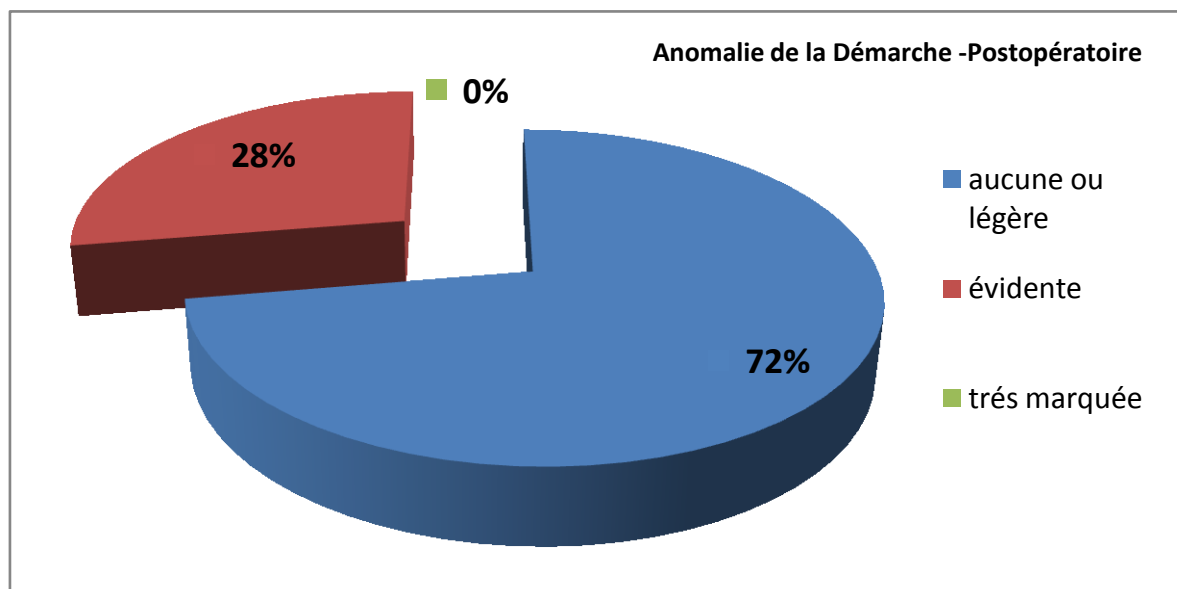
A ce titre nous jugeons ces résultats postopératoires comme satisfaisants



Graph 48 : répartition de l'effectif selon la nature du terrain en post opératoire

⊖ Les troubles de la marche

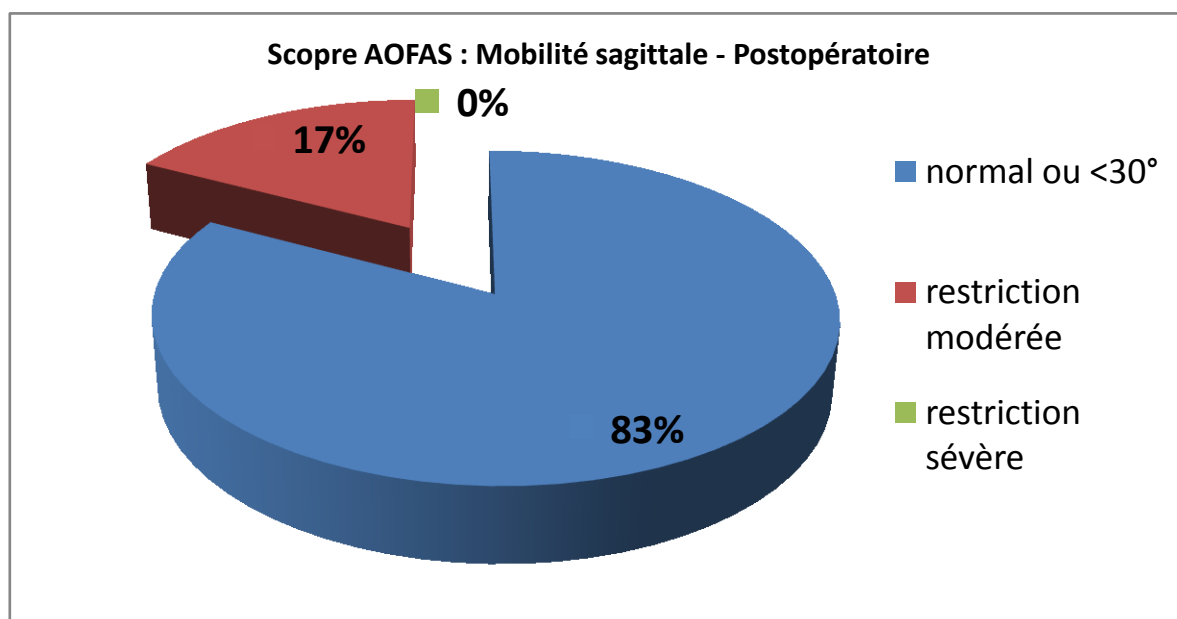
Après la correction chirurgicale, 72% de nos patients ont acquis une nette amélioration de leur démarche avec une disparition totale de patients à démarche marquée.



Graph 49 : Répartition de l'effectif selon des troubles de la marche post opératoire

⊖ La mobilité sagittale

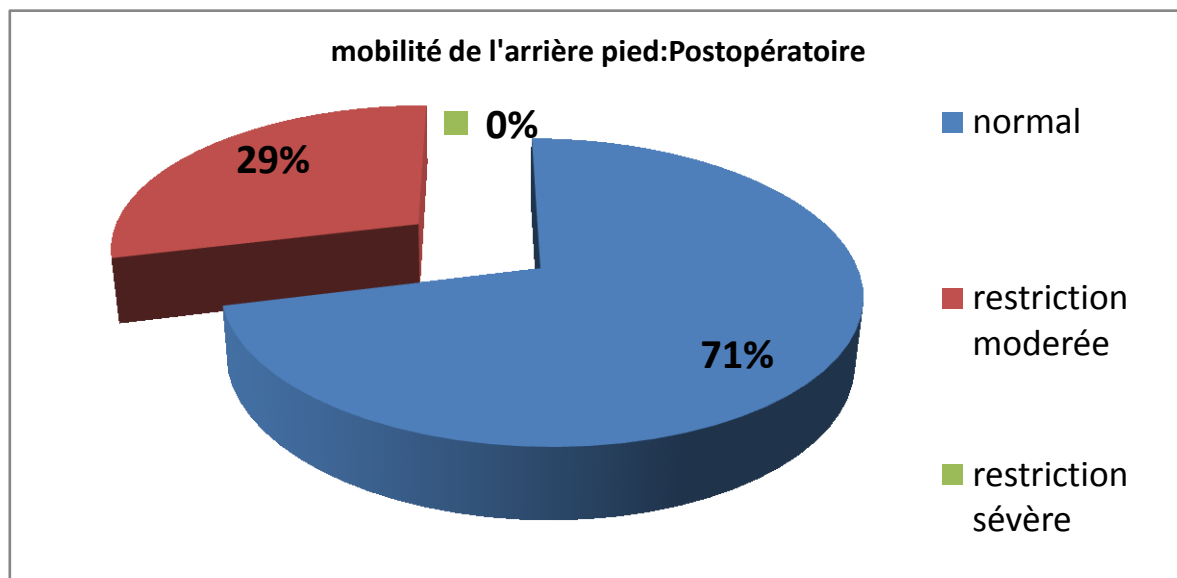
La correction chirurgicale a amélioré la mobilité sagittale dans 83 % soit 24 patients aussi bien en flexion et en extension et 17% avec une restriction modérée. On signale aussi qu'aucun patient ne présente une restriction sévère.



Graph 50 : Répartition de l'effectif patient selon la mobilité sagittale

⊕ La mobilité de l'arrière pied

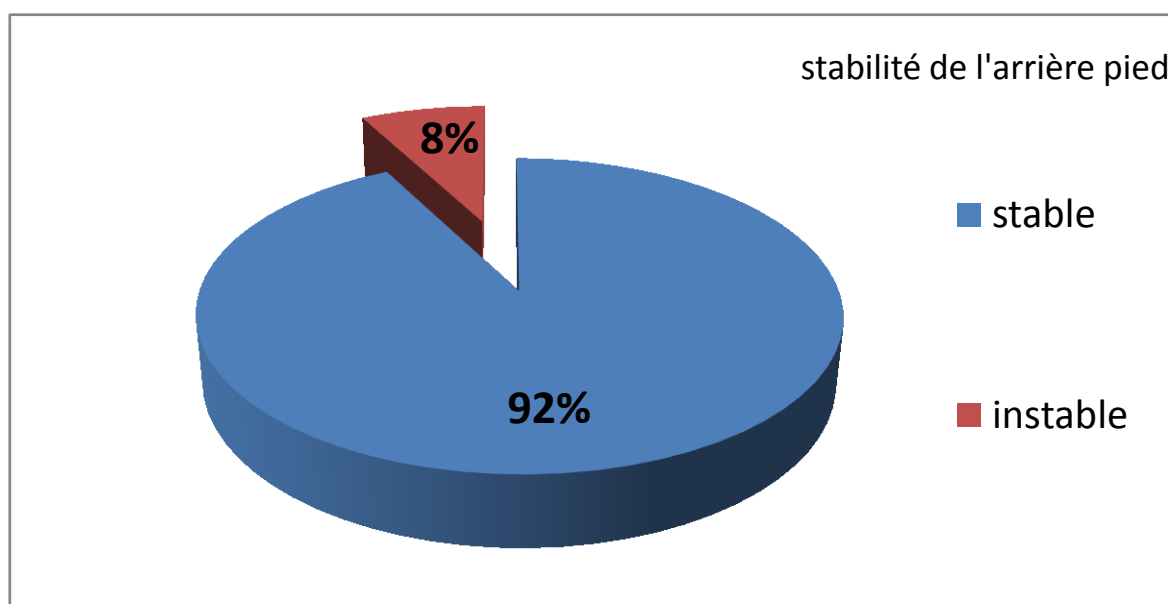
La majorité des pieds soit (71%) ont acquis une mobilité normale de l'arrière pied et 29% ont une mobilité réduite de l'arrière pied et 00% de pied avec restriction sévère.



Graphe 51 : répartition de l'effectif pied selon la mobilité de l'arrière pied postopératoire

⊕ La stabilité de l'arrière pied

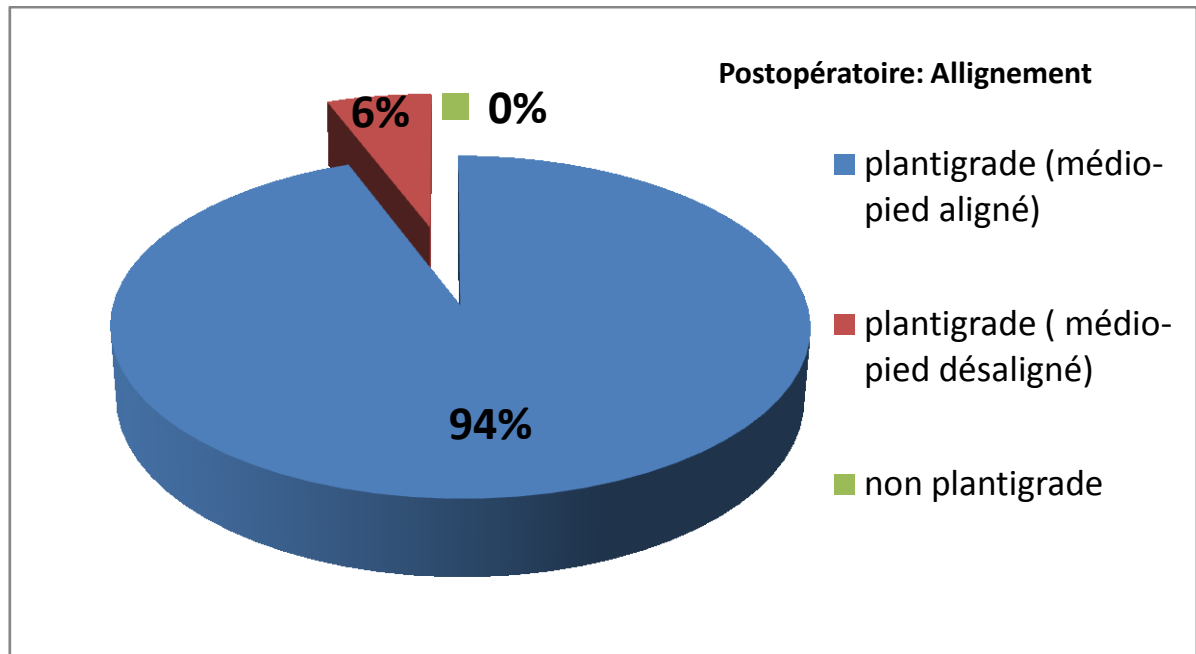
On note que 92% des pieds présentent une stabilité de l'arrière pied après chirurgie contre 08% de pieds avec une instabilité de l'arrière pied.



Graphe 52 : Répartition de l'effectif de pieds selon de la stabilité de l'arrière pied postopératoire.

●L'alignement

La correction chirurgicale a permis à 94% des pieds (49 pieds) de retrouver un appui plantigrade avec médio-pied aligné, et 06% de pieds plantigrades avec médio-pied légèrement désaxé.



Graphe 53: répartition de l'effectif selon l'alignement du pied en postopératoire

► Le testing musculaire

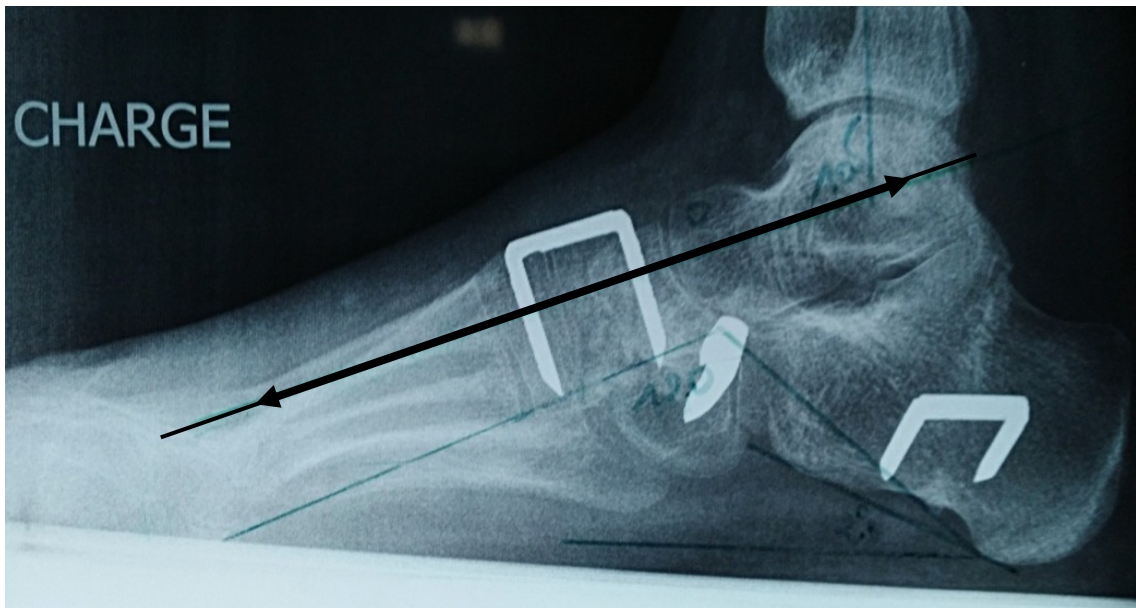
La gradation de la force musculaire est appréciée au moyen de l'échelle numérique développée par le Medical Research Council of Great Britain.

La comparaison en pré et en post opératoire retrouve une amélioration significative sur tous les muscles (fléchisseur plantaire et dorsale de la tibio-talaire, fléchisseurs des orteils et de l'hallux, les extenseurs des orteils et de l'hallux, le tibial antérieur et postérieur ainsi que les péroniers d'au moins une à deux cotations sauf pour le fléchisseur du gros orteil où la différence n'est pas significative par rapport au référentiel. Cela peut être lié à la raideur articulaire ou à une rétraction musculaire

II - Les résultats radiologiques

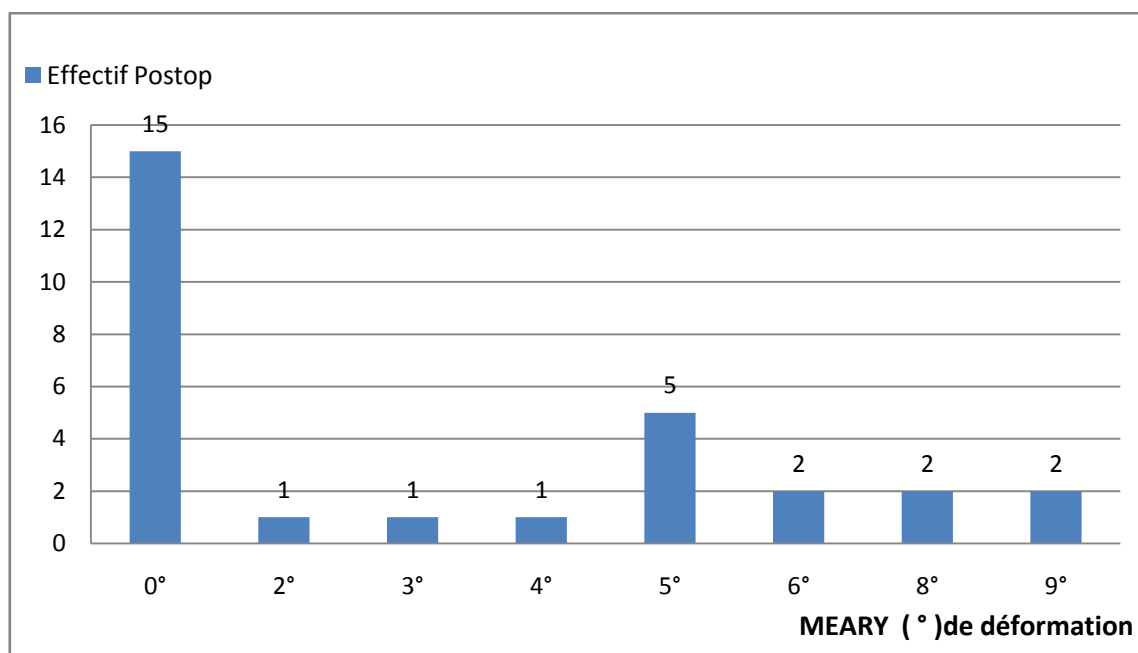
1- L'angle de Meary –Tomeno

La correction de l'angle de **Meary-Tomeno** a été atteinte chez 15 patients. Ceci est considéré comme une excellente correction, comparée aux différents autres angles mesurés obtenus à savoir 08 patients (angle entre 05° et 02°) considérés comme très acceptables, et enfin 04 patients (angle entre 06° et 09°) considérés comme une progression de la neuropathie ou déformation récidivante.



Iconographie 59 : L'angle de Meary –Tomeno en postopératoire

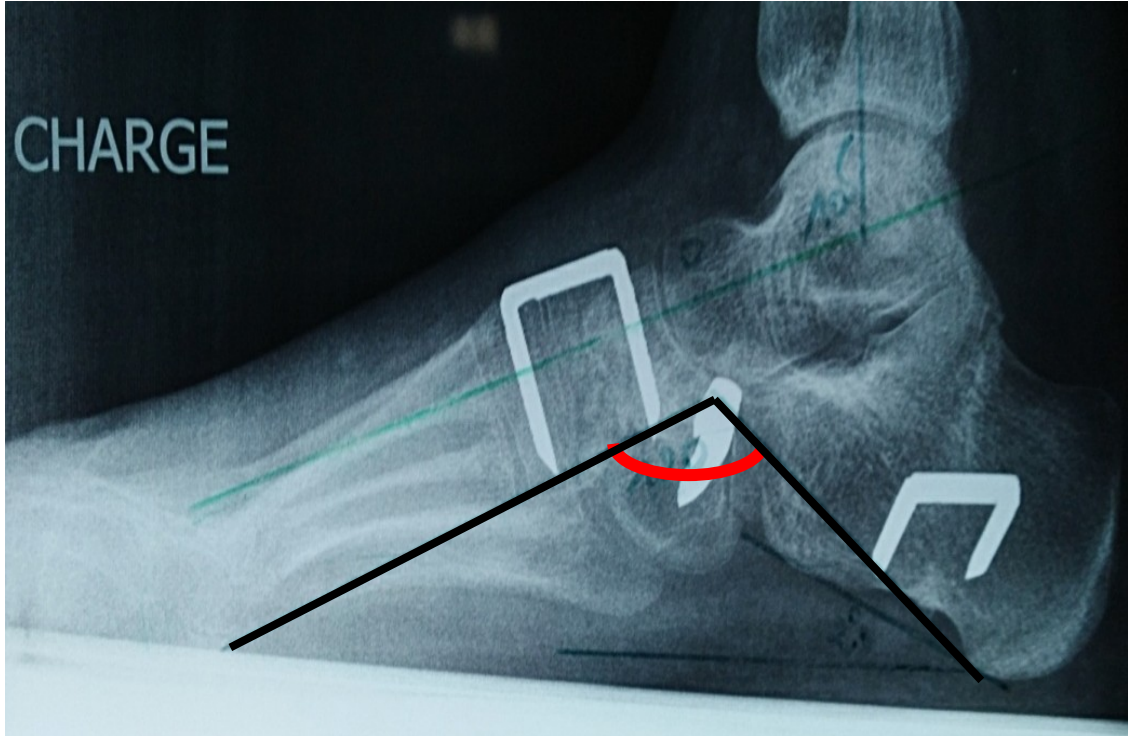
Source : ©photo personnelle



Graphe 54 : répartition de l'effectif selon l'angle de Meary -Tomeno

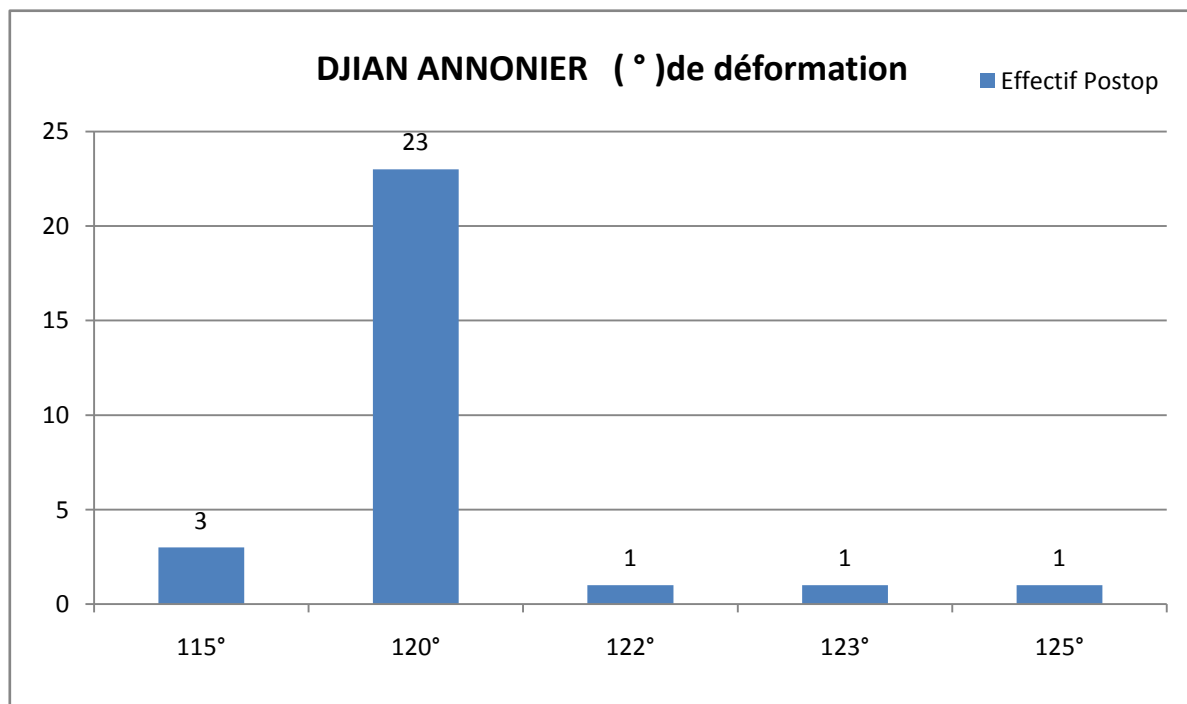
2- L'angle de Djian Annonier

La correction de l'angle de **Djian Annonier** a été obtenue chez 26 patients, soit un taux de 90%, par contre on relève 03 patients qui présentent une récurrence discrète du creux probablement en rapport avec la progression de la neuropathie.



Iconographie 60: L'angle de Djian – Annonier en post opératoire

Source : ©photo personnelle



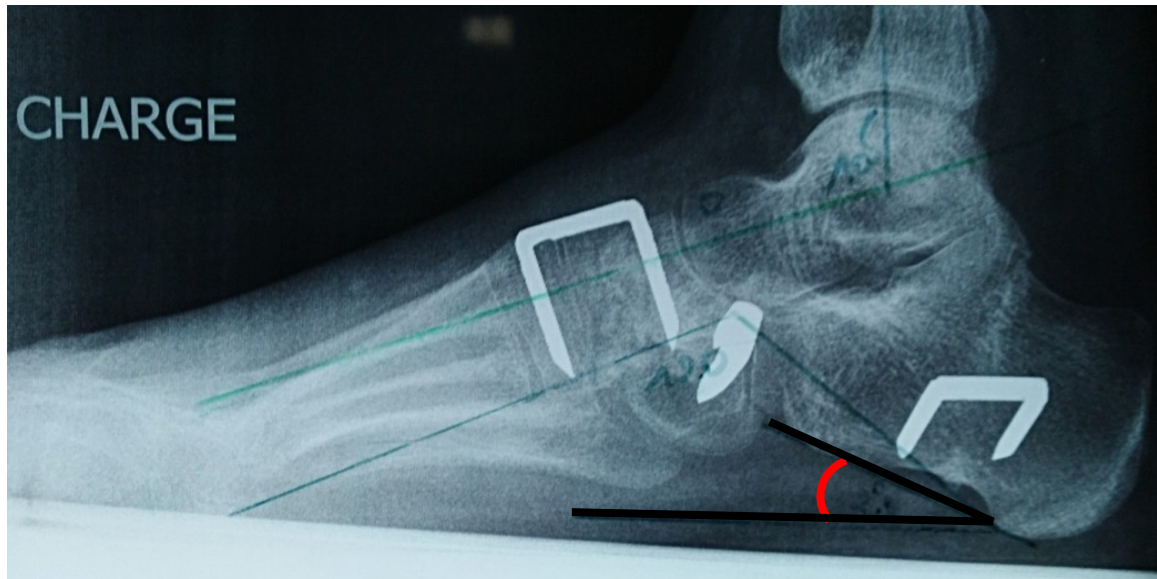
Graphe 55 : répartition selon l'angle de Djian Annonier

3- La pente calcanéenne

La bibliographie a retrouvé deux normes :

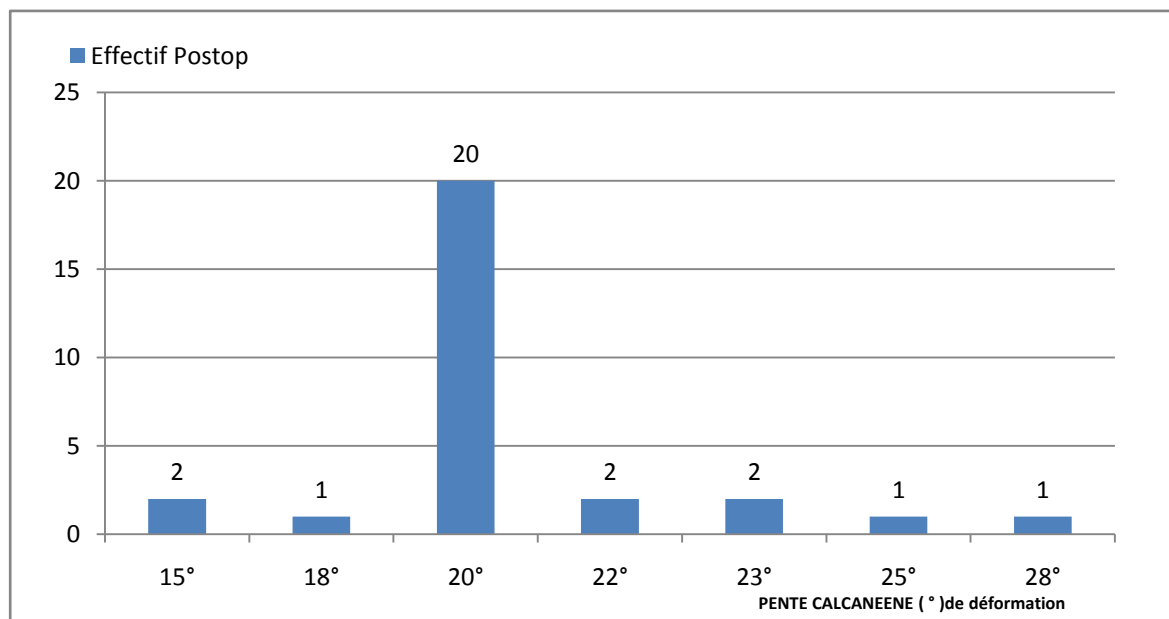
***Wicart et Seringe**, 2009 (156) : Normes de la valeur moyenne 15°-20°. En postopératoire, on dénombre 23 patients, soit 79,31% avec correction en référence à cette valeur moyenne normalisée.

***Bouysset**, 2004 (122) : Normes de la valeur moyenne 20°-30°. En postopératoire, on dénombre 26 patients, soit 90% de correction en référence à cette valeur moyenne normalisée.



Iconographie 61: La pente calcanéenne en post opératoire

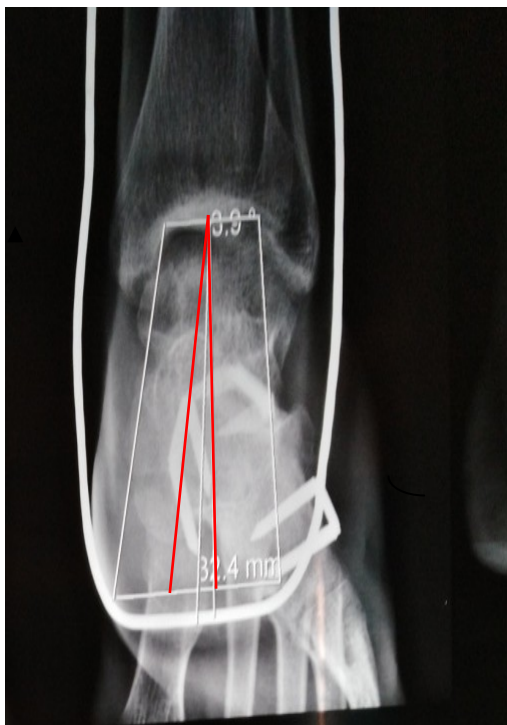
Source : ©photo personnelle



Graphe 56 : répartition de l'effectif selon l'angle de la pente calcanéenne

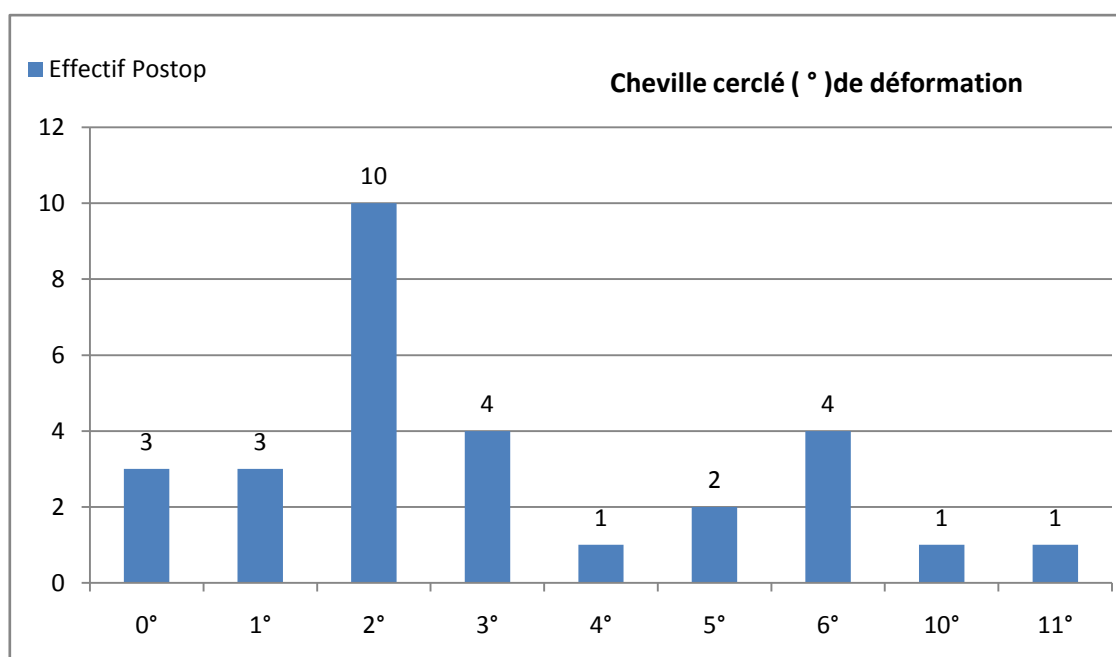
4- La cheville cerclée de Meary

Le varus clinique est corrigé dans 48 pieds avec un angle de correction porté à 00°, ou bien se rapprochant de celui-ci (00° à 06°), contre 04 pieds qui se situent entre 10° et 11° mais sans retentissement fonctionnel.



Iconographie 62 : Varus calcanéen résiduel sur la cheville cerclée de Meary postopératoire

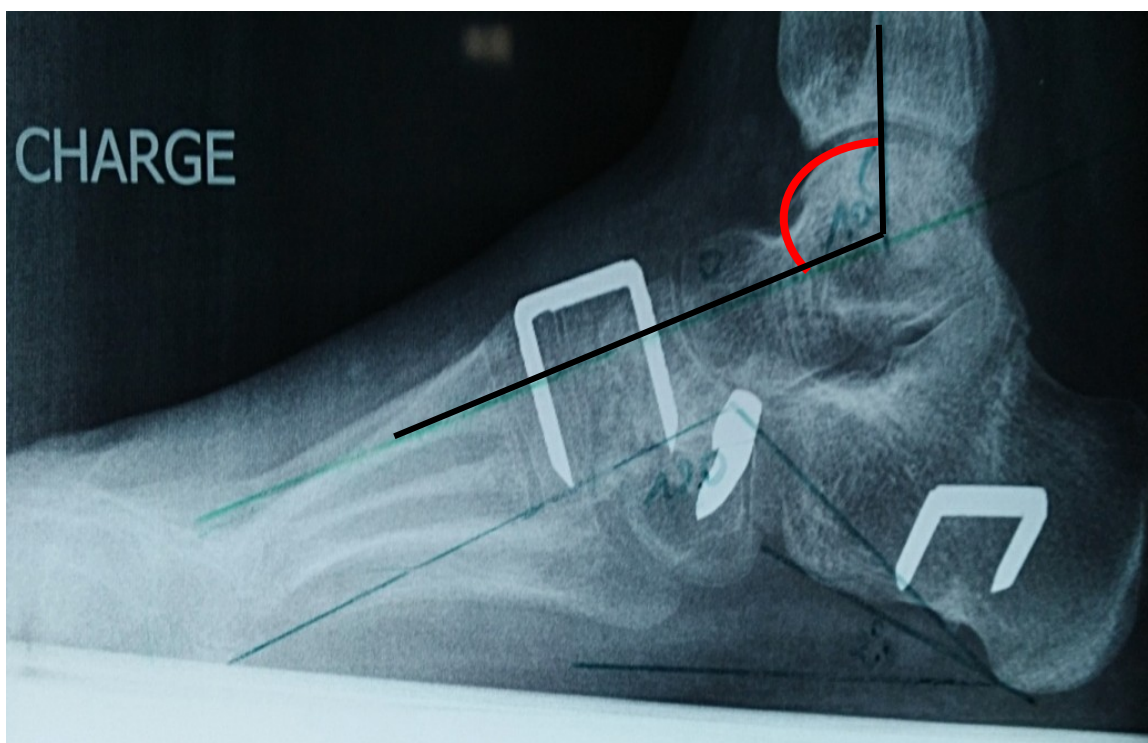
Source : ©photo personnelle



Graph 57 : répartition de l'effectif selon le calcul du varus calcanéen

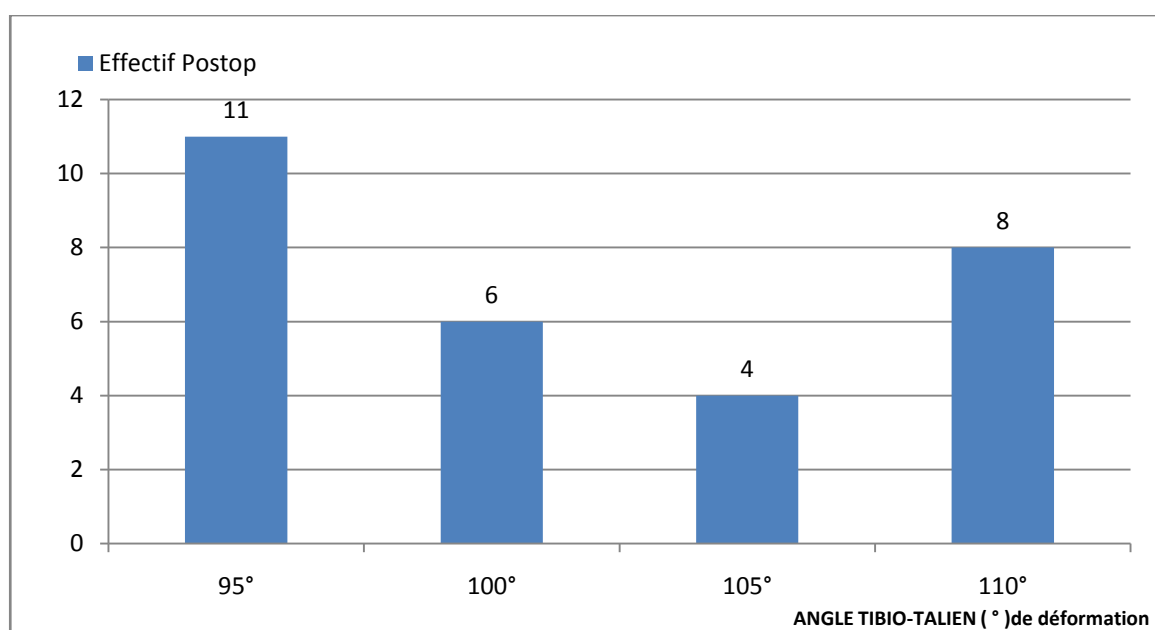
5- L'angle tibio-talien

La correction chirurgicale a permis à 18 patients de retrouver un angle tibio talien de valeur normale comprise entre 100° et 110°, et 11 patients avec un angle de 95° que nous considérons proches de la valeur normale minimale indiquée.



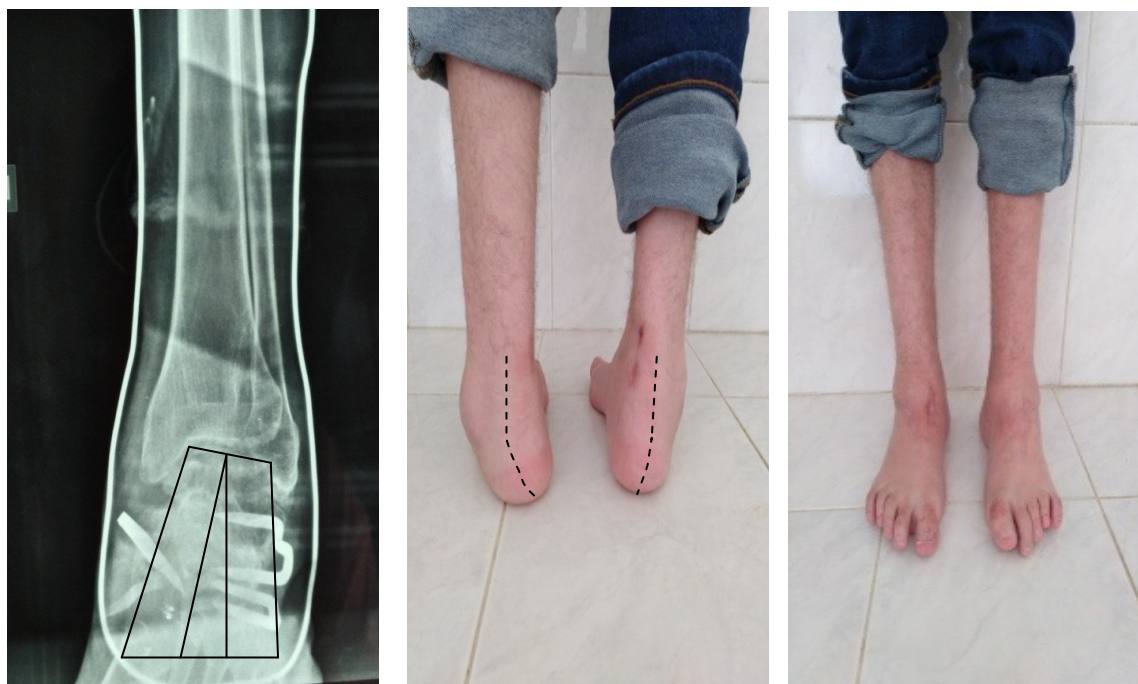
Iconographie 63 : L'angle tibio-talien post opératoire

Source : ©photo personnelle.



Graphe 58 : répartition de l'effectif selon l'angle tibio-talien post opératoire

6- L'état de l'unité tibio-fibulaire



Iconographie 64 : Correction partielle du varus de l'arrière pied clinique et radiologique

Source : ©photo personnelle.

7- L'évaluation de l'arthrose

L'articulation talo-naviculaire effilée classée au stade 1 d'arthrose selon les normes (201) de **Morrey et Wiedeman** est retrouvée chez 03 patients (06%) et les 26 patients (94%) restants sont classés au stade 0 d'arthrose qui signifie que l'articulation est saine.

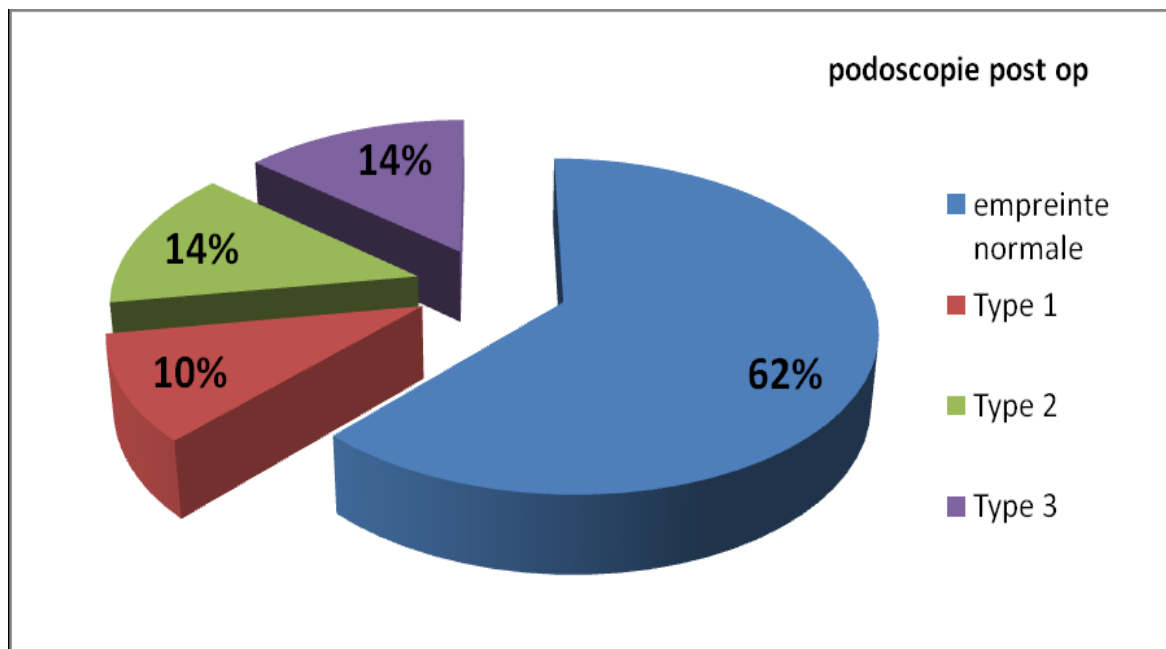


Iconographie 65: Effilement de l'articulation talo-naviculaire après ablation du matériel de synthèse chez un patient âgé de 19 ans

Source : ©photo personnelle.

► L'étude de l'empreinte plantaire sur podoscope

En postopératoire, 62% des pieds creux neurologiques retrouve une empreinte normale, 10% d'empreinte de type 1, 14% d'empreinte de type 2 avec la persistance de 14% d'empreinte de type 3 sans retentissement fonctionnel.



Graphe 59: Les différents types d'empreintes plantaires sur podoscope post opératoire

III- Les résultats instrumentaux : étude de la marche

Les paramètres spatio-temporels de la population d'étude en postopératoire se trouvent tous diminués par rapport au référentiel avec une différence significative ($p < 10^{-3}$; DS) pour tous les tests de la marche.

Afin de les corrélérer aux données de la littérature, nous n'avons pas pu trouver des séries d'étude concernant l'évaluation des techniques chirurgicales du pied creux neurologique, on a du confronter nos résultats aux normes du test de la marche révélant une nette amélioration en postopératoire par rapport aux différentes combinaisons chirurgicales employées.

Tableau N° 06 : Les paramètres spatio-temporels des patients pris en charge en Post opératoire

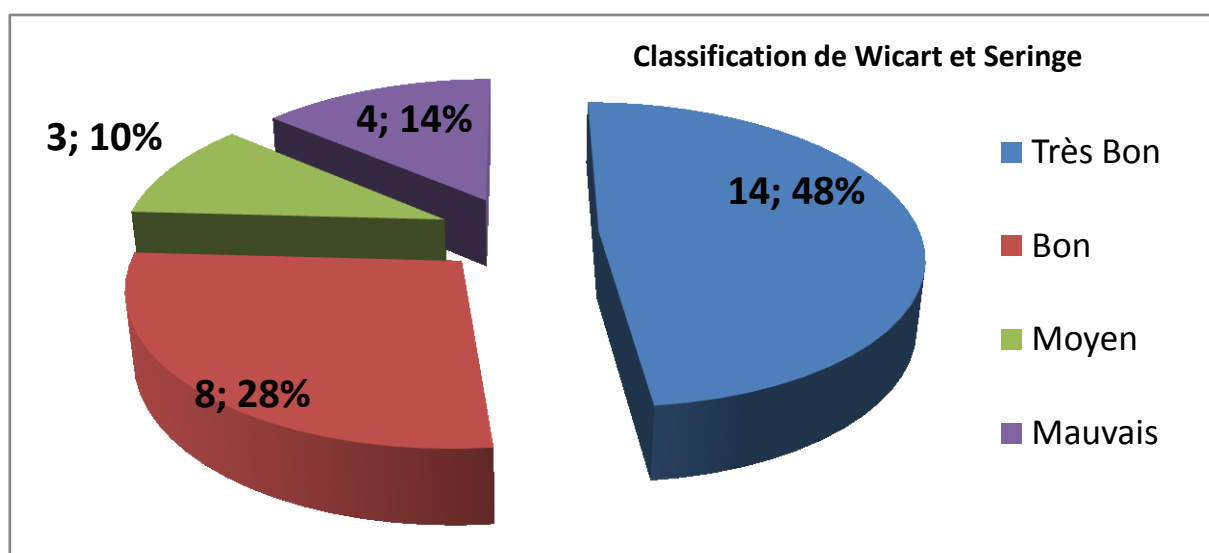
Paramètres spatio temporels de marche en post opératoire	Population (n)	m $\pm$ σ	Médiane	Min -Max	Référentiel	p-value
Vitesse (cm/m)	29	91,2 $\pm$ 23,8	94,6	54,2 - 125,2	160	$p < 10^{-3}$; DS
Cadence (pas/mn)	29	120,36 $\pm$ 11,01	101,2	80,2 - 126,7	130	$p < 10^{-3}$; DS
Longueur de pas (cm)	29	51,95 $\pm$ 8,02	54,20	40,08 – 66,3	80	$p < 10^{-3}$; DS
Double appui (%)	29	24,01 $\pm$ 4,45	23,7	15,5 – 37,8	20	$p < 10^{-3}$; DS
FAP	29	90,97 $\pm$ 7,9	92	73-100	100	$p < 10^{-3}$; DS

IV- Les résultats thérapeutiques

1 - Classification de Wicart et Seringe

Considérant la correction de l'angle de **Meary** seul comme paramètre de classification nous renvoie à deux classes seulement sur les quatre, donc 18 patients dans la classe Très bon, et 11 patients dans la classe Bon mais associées aux autres paramètres pris en compte par **Wicart** et **Seringe**. En prenant en compte les signes cliniques et évolutifs, la classification change et donne ce qui suit :

Très Bon : 14 patients, **Bon** : 08 patients, **Moyen** : 03 patients, et **Mauvais** : 04 patients, d'où on considère que 26 patients cumulent un résultat satisfaisant, contre 03 patients avec résultats non satisfaisants (mauvais). Le terme mauvais dans ce cas exprime, soit la persistance de douleurs ou récidives du varus d'où l'indication d'une triple arthrodèse.



Graphique 60 : répartition des patients selon des résultats thérapeutiques suivant la classification de Wicart et Seringe

2 - Critères de Japas

L'évaluation postopératoire des patients sur la base des critères de **Japas** (204) se résume comme suit :

Tableau N° 07: L'évaluation qualitative des patients suivant les critères de Japas

Qualité	Critères d'évaluations	Effectif pieds	Effectif patients	Taux
Très bon	Correction complète de la déformation, démarche indolore, mouvement complet de la sous astragaliennne et la médio tarsienne	43	21,5	83%
Bon	Correction incomplète ou partielle, déformation, quelques douleurs au niveau des têtes métatarsiennes pendant la marche	09	07,5	17%

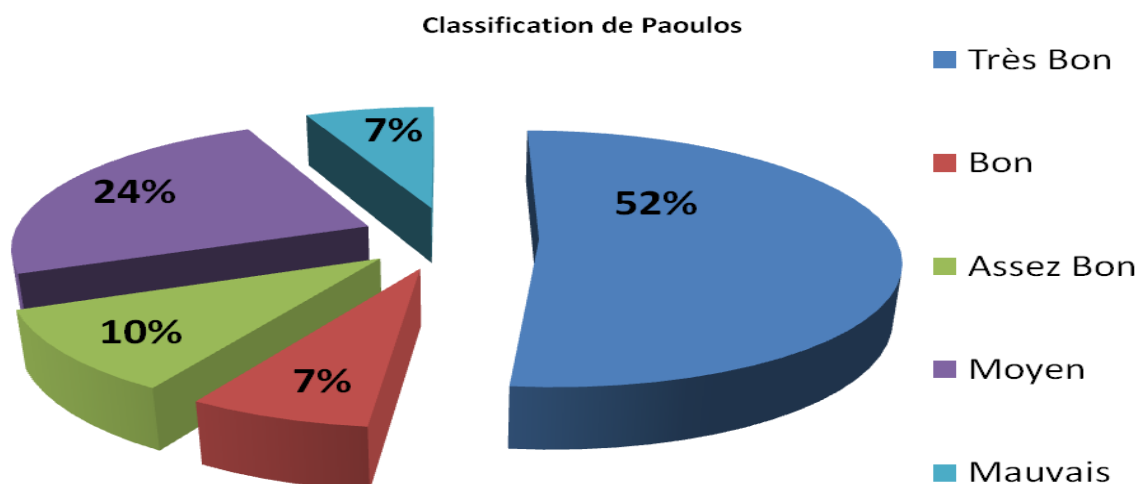
Nous jugeons utile de rappeler que dans notre étude nous avons des patients où l'intervention n'a concerné qu'un seul pied, ce qui explique la valeur « effectif patients » exprimée en décimales (0,5%). On note que plus de 21% des patients de la série représentés par 43 pieds ont obtenu après la chirurgie une correction complète de la déformation avec une démarche sans douleur et rétablissement de la mobilité articulaire dans la sous talienne et la médio tarsienne .Par contre, on note plus de 17% des patients de l'étude représenté par 09 pieds qui ont obtenu une correction incomplète de la déformation, présences de douleurs paroxystiques sur les têtes des métatarsiens. Cela peut être dû à la progression de la neuropathie.



Iconographie 66 : aspect aligné de l'arrière pied traduisant une correction complète de la déformation en post opératoire

Source : ©photo personnelle.

3- Classification de Paoulos



Graphe 61 : répartition des patients selon la Classification de Paoulos

On aboutit ici à un taux cumulé significatif de 93% autour d'un résultat bon et acceptable, contre 07% pas bon (Mauvais).

F- ANALYSE DES RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse des résultats cliniques, radiologiques, instrumentaux et thérapeutiques est faite sur la base de la comparaison des différents scores obtenus en préopératoire et au dernier recul.

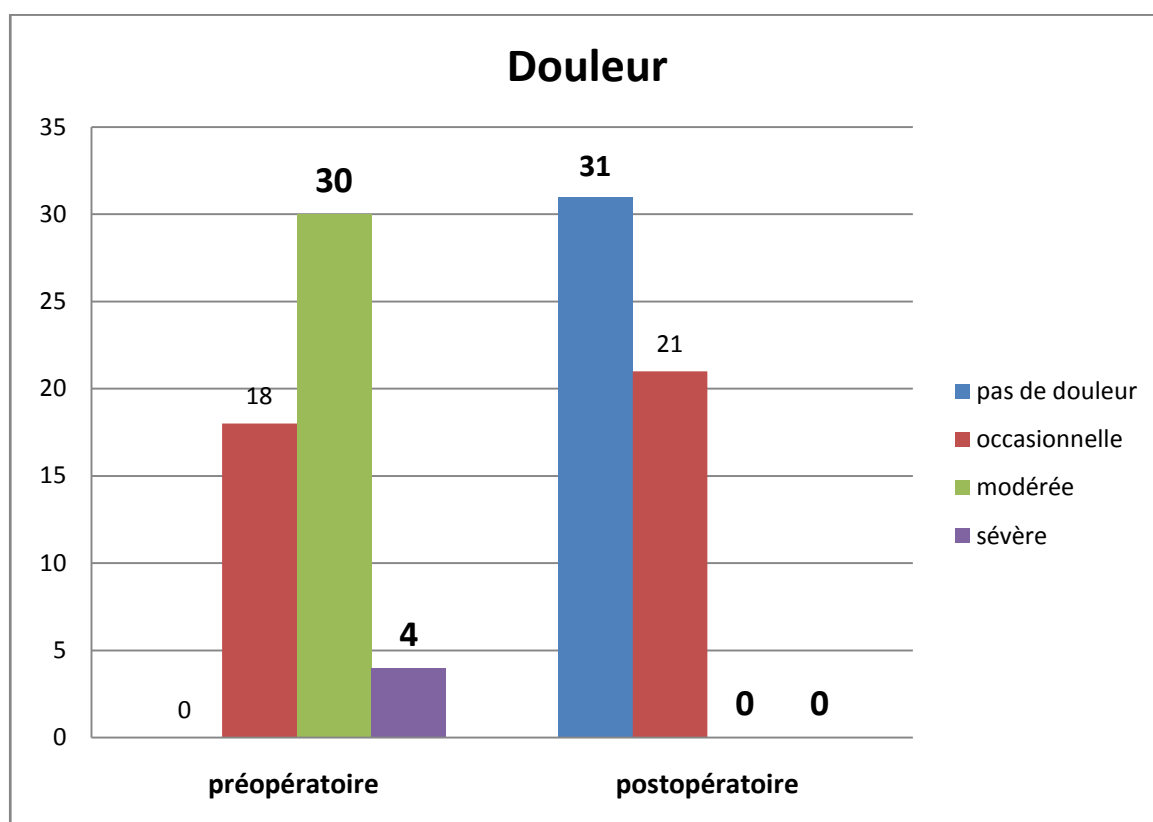
I- Analyse des résultats cliniques

Elles concernent le score A.O.F.A.S qui comprend trois items :

1- Analyse des résultats cliniques objectifs

- La douleur

La douleur est quasi présente avant la prise en charge dans 100% des cas dont 57,69 % étaient modérées et 07,69% sévères. La douleur disparaît après l'acte chirurgical dans 59,61% avec une différence significative ($p < 10^{-7}$; DS).



Graphe 62 : état comparatif de la douleur en pré et au dernier recul

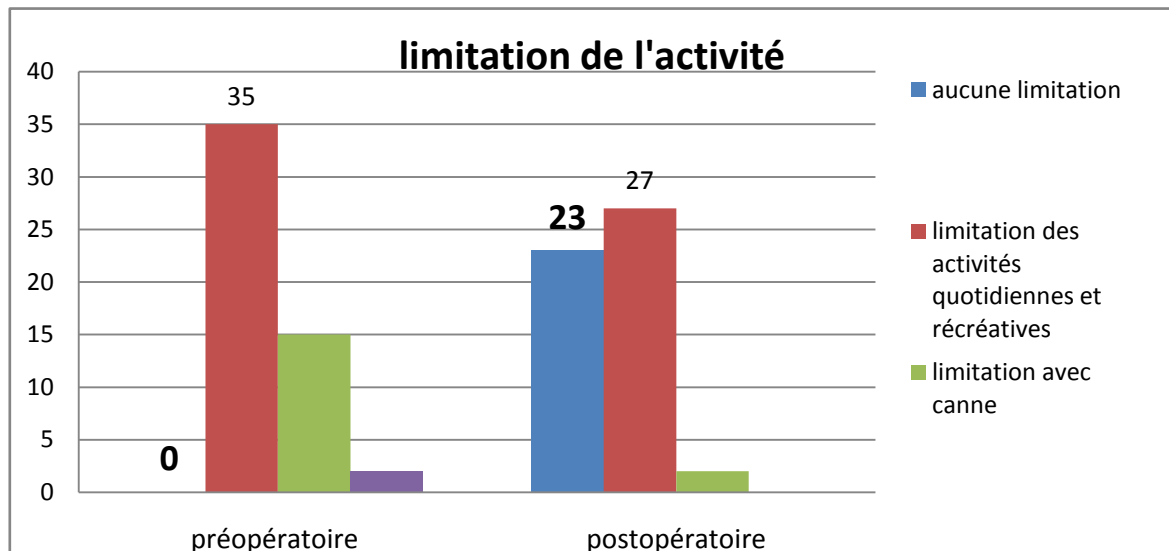
La persistance de douleurs occasionnelles est parfois expliquée par l'implication prépondérante des fibres sensitives myéliniques type A delta ou bien liées à la contracture musculaire (96). À ce titre nous recommandons l'étirement passif, qui peut aider à prévenir les contractures des tendons et les muscles.

• La fonction

⊕ La limitation de l'activité

La limitation de l'activité est présente dans 67,31% suivi de 32,69% des patients qui avaient cette limitation mais avec une aide externe avant la chirurgie.

Après la prise en charge chirurgicale, on a une inversion des tendances de la limitation de l'activité qui se traduit par une disparition totale de la limitation sévère de l'activité avec différence significative ($p < 10^{-7}$; DS).



Graph 63: état comparatif de la limitation de l'activité en pré et post opératoire.

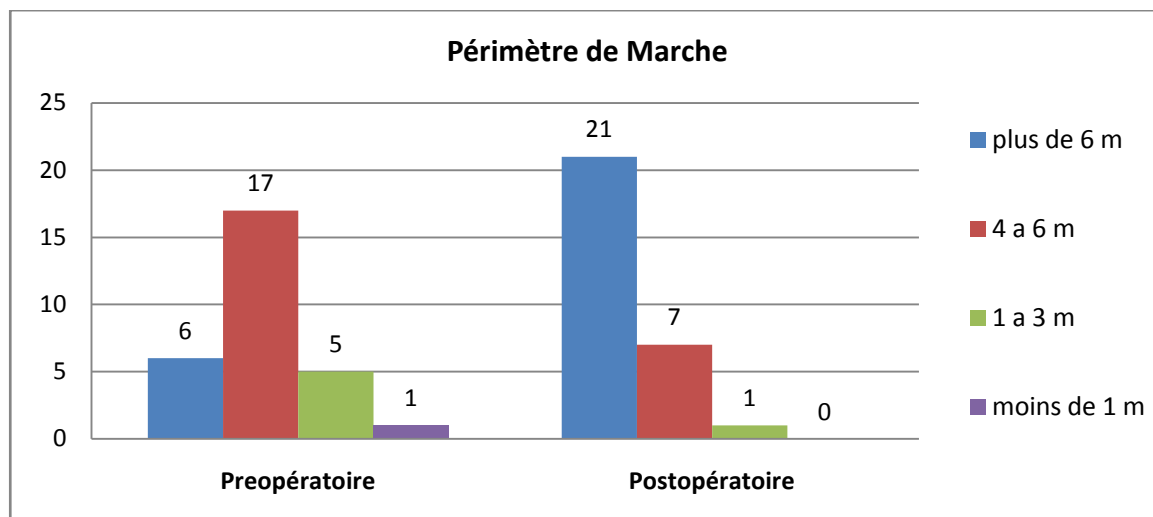
On assiste à une inversion des tendances de la limitation de l'activité après la correction chirurgicale. Ceci se traduit par une disparition totale des douleurs chez les patients qui avaient une limitation sévère et se sont intégrés dans le nombre des patients qui marchent avec une canne. Par contre, 27 pieds soit 51,92 présentent encore des limitations pour une activité quotidienne due à la faiblesse musculaire; d'où l'intérêt d'indiquer des séances de rééducation pour améliorer la force musculaire qui à son tour va améliorer les performances fonctionnelles.

Par ailleurs, au dernier contrôle effectué, seuls 03 patients présentent une limitation des activités persistantes et principalement durant la période de froid.

⊕ Le périmètre de marche

Le périmètre de marche se trouve améliorée après la prise en charge chirurgicale de 67,30%, avec une différence significative ($p < 4 \times 10^{-6}$; DS).

21 patients parmi les 23 qui ne pouvaient pas parcourir des distances de plus de 06 mètres, ont vu leurs performances évoluées, et acquièrent une aptitude à parcourir une distance plus acceptable (06 mètres et plus).



Graphe 64 : état comparatif du périmètre de marche en pré et post opératoire

Les 05 patients qui ne pouvaient pas parcourir plus de 01-03 mètres, ont vu leur performance de marche s'améliorer jusqu'à atteindre une distance de 04 - 06 mètres.

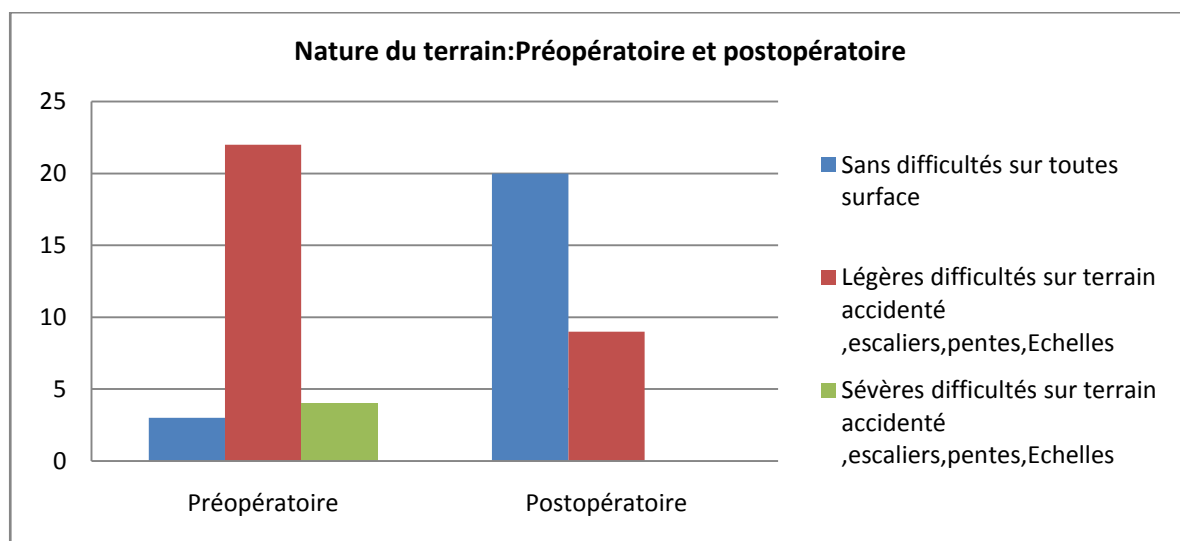
Il reste une patiente qui présente une maladie de **C.M.T** démyélinisante avec atteinte du membre supérieur (mains) dont le périmètre de marche qui était entre 01-03 mètres se retrouve améliorée et passe dans l'intervalle de distance 04 -06 mètres , ce qui lui a permis par conséquence de continuer ses études avec rééducation manuelle des mains par de la dictée sur microordinateur.

Le patient qui parcourait moins de 01m se retrouve indépendant de la chaise roulante et, s'aide parfois d'une canne pour se déplacer au delà de cette distance barrière.

Enfin il est important de signaler une nette évolution de la performance relative au périmètre de marche parcourue pour la totalité des patients pris en charge.

⊕ La nature du terrain

La majorité des patients (68,96%) ne trouve aucune difficulté sur toute surface; suivie de 31,03% de douleurs légères sur terrain accidenté avec différence significative ($p < 10^{-5}$; DS).



Graphe 65 : état comparatif de la nature du terrain en pré et en post opératoire

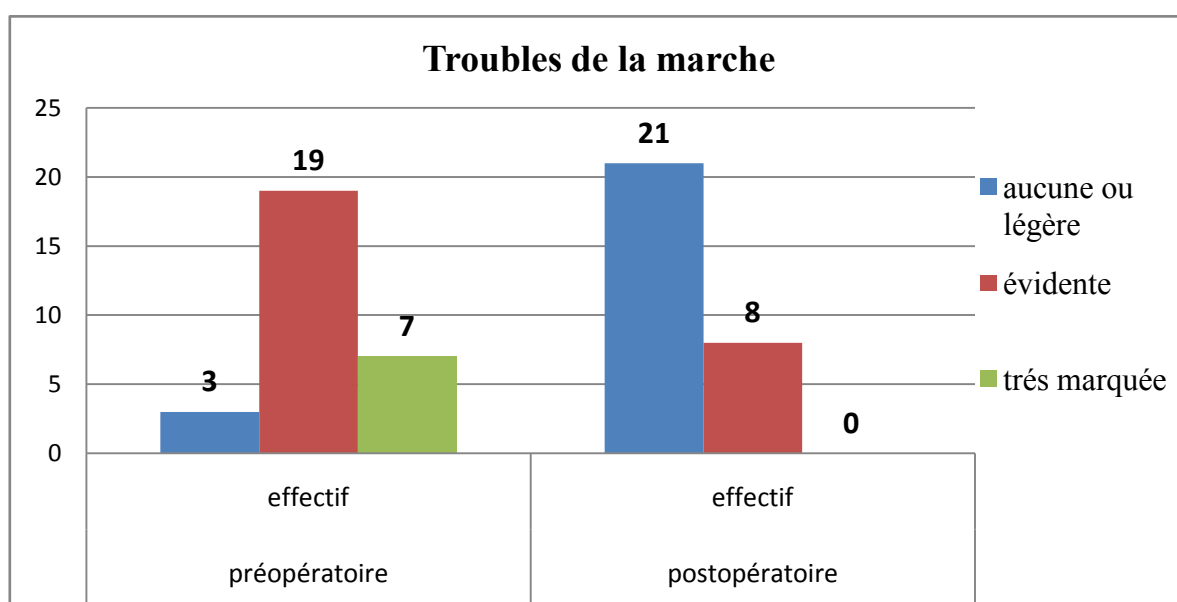
Tous les patients qui présentaient une difficulté sévère ou légère pour se déplacer sur différents types de surfaces inégales (terrain accidenté, escaliers, pentes, échelles..) se retrouvent améliorés dans leur marche au détriment de légères difficultés ou sans difficultés à la marche.

On dénombre 69% soit (20 patients) qui recouvrent la marche sans aucune difficulté sur toutes surfaces. Un constat flagrant de la disparition et glissement de la classe de patients qui rencontraient des difficultés sévères sur surfaces inégales vers la classe de type légères difficultés. Ceci est probablement en relation avec la faiblesse musculaire. On signale aussi que la correction chirurgicale a permis aux patients qui avaient des difficultés légères de retrouver une marche sans douleurs sur toutes surfaces.

A ce titre, nous jugeons ces résultats postopératoires comme étant satisfaisants.

⊕ Les troubles de la marche

Les troubles de la marche sont évidents et très marqués dans 89,64% avant la prise en charge, alors qu'ils sont redevenus normaux à légers (100%) après une prise en charge avec une différence significative ($p < 3 \times 10^{-6}$; DS).



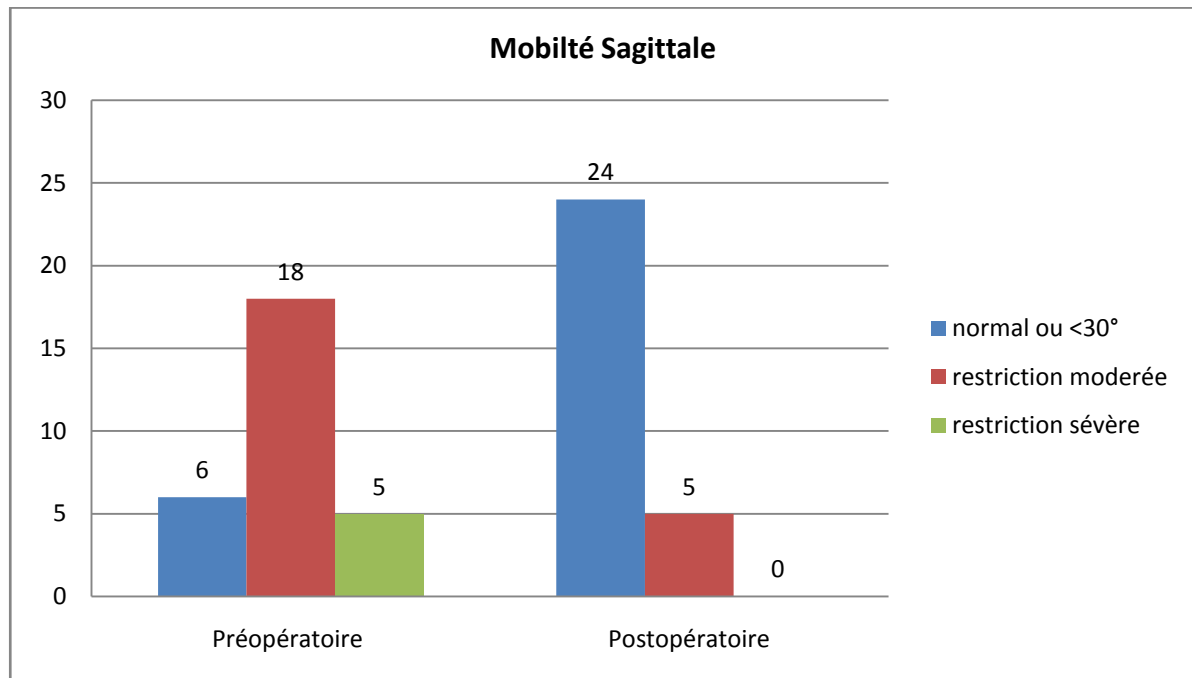
Graph 66 : état comparatif des troubles de la marche en pré et en post opératoire

Tout les patients qui présentaient une déformation très marquée se sont corrigés avec un résultat qui tend vers 00%, et que tout les patients qui avaient des troubles de la marche évidents voient leur démarche potentiellement corrigée et leur nombre diminuer de 11 patients et basculer vers le stade sans aucune ou légers troubles de la marche. Ainsi, on passe de 03 patients pour atteindre le nombre total de 21 patients soit une augmentation de 18 patients.

On peut alors se prononcer sur le traitement chirurgical adopté et dire qu'il a permis de corriger les troubles de la marche globalement et ainsi réduit la forme invalidante voire devenir minime ou absente.

⊕ La mobilité sagittale

La mobilité sagittale était limitée dans 80,76% avant la chirurgie alors qu'elle est redevenue normale pour 82,69% avec une différence significative ($p < 10^{-7}$; DS)



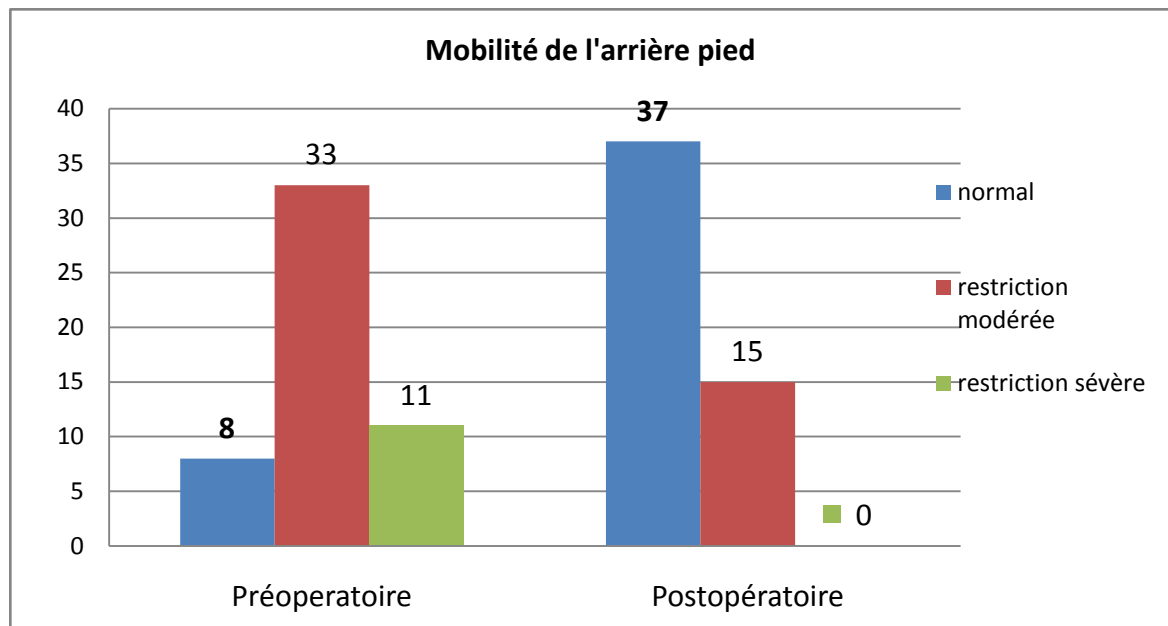
Graph 67 : état comparatif de la mobilité sagittale en pré et en post opératoire

On remarque qu'il y a une amélioration de la mobilité de flexion et d'extension pour 24 patients donc mobilité normale, contre 06 patients en préopératoire et donc 18 patients qui ont pu récupérer considérablement cette mobilité, voire limitée auparavant.

Les 05 patients qui présentaient une restriction sévère de la mobilité sagittale se retrouvent améliorés et, présentent une mobilité sagittale avec restriction modérée. Cela est due à la sévérité de la déformation antérieure et les limites de la correction vu que la déformation est secondaire à la neuropathie périphérique évolutive. A ce stade, on ne peut proposer une panarthrodèse pour une déformation rigide avec arthrose débutante. Si elle est pratiquée, elle constitue un échec thérapeutique.

⊕ La mobilité de l'arrière pied

La mobilité sagittale en préopératoire était normale voir modérément limitée dans 78,84% suivie de 21,15% de limitation sévère et en post opératoire la mobilité sagittale est normale dans 71,15% avec une différence significative ($p < 10^{-7}$; DS)



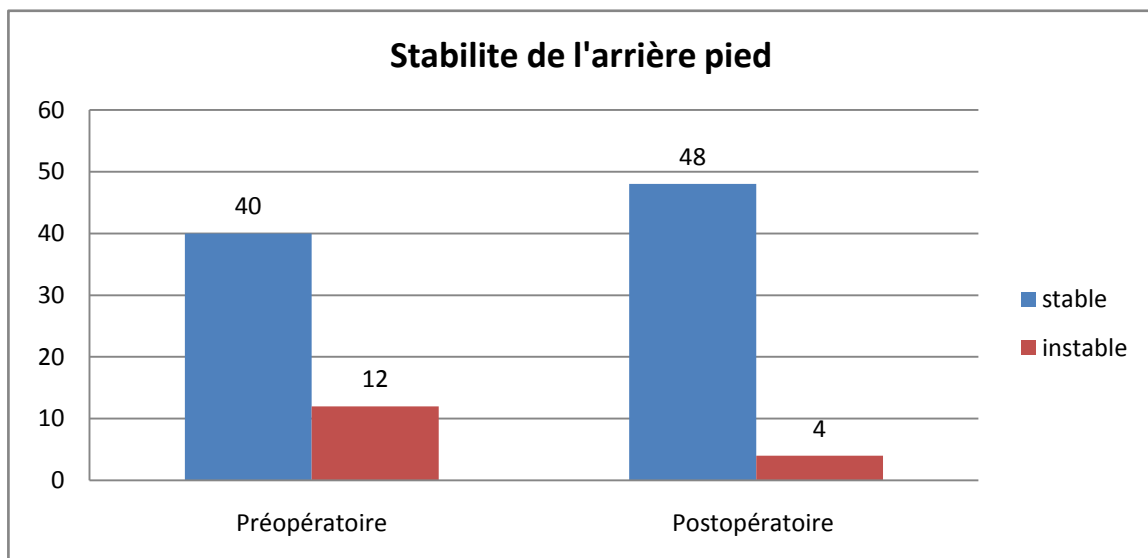
Graphe 68 : état de la mobilité de l'arrière pied en pré et en post opératoire

La majorité des patients ont obtenu une correction normale de la mobilité l'arrière pied avec disparition totale des patients à mobilité sévère.

On conclut alors que la correction chirurgicale a permis un gain de la mobilité de l'arrière pied et par conséquent un gain de mobilité sagittale autorisant une démarche satisfaisante.

⊕ La stabilité de l'arrière pied

On note que 76,92% des chevilles sont stables et 23,1% sont instables en pré opératoire ; alors que cette stabilité s'est améliorée avec 92,30% de chevilles stables avec une différence significative ($p < 0.03$; DS)



Graphe 69 : état comparatif de la stabilité de l'arrière pied en pré et en post opératoire

La correction de l'instabilité de l'arrière pied n'a concernée réellement que 12 pieds sur 52, du fait que les 40 pieds restants étaient déjà stables, néanmoins on a pu corriger 08 pieds instables sur la douzaine ; ce qui n'est pas négligeable à notre avis; contrairement aux 04 pieds restants (02 patients) qui présentent toujours cette instabilité modérée sans répercussion fonctionnelle .

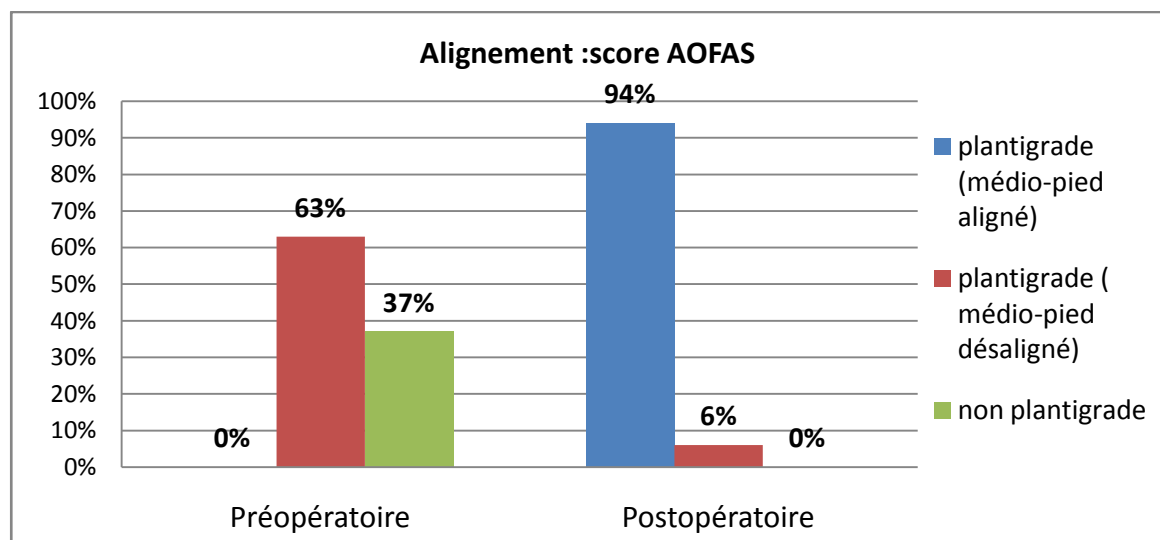
Il est à préciser qu'à la dernière consultation de suivi et évaluations de ces deux patients qui avaient des pieds creux bilatéraux neurologiques on signale que :

- Le premier patient (âgé de 19 ans) présente une récurrence du varus moins importante qu'au début. A cet effet, on préconise une reprise chirurgicale par une triple arthrodèse.

- Le deuxième patient (âgé de 19 ans) présentait un pied creux rigide avec instabilité importante de la cheville, chez qui la triple arthrodèse pratiquée n'a pu corriger que partiellement la déformation, néanmoins on note qu'il ne se plaint d'aucune symptomatologie fonctionnelle. Nous prévoyons probablement une reprise de la triple arthrodèse suite à l'évaluation des futurs suivis et contrôles.

• L'alignement

On note que les 100% des malades étaient non plantigrades et se retrouvent améliorés avec 94,23% de pieds plantigrades avec une différence significative ($p < 10^{-7}$; D)



Graph 70 : état comparatif de l'alignement du pied en pré et en post opératoire

On constate :

- Que la catégorie non plantigrade est réduite à 00%
- Que 06% de pieds ont migré de la catégorie non plantigrade vers la catégorie plantigrade (medio-pied désaligné)

Enfin, que la pratique de la correction chirurgicale sur l'alignement a permis à 63% de pieds plantigrades (medio-pieds désalignés) et plus de 31% de pieds non plantigrades de glisser

vers la catégorie de pieds plantigrades (médio-pieds alignés) totalisant 94% des pieds traités contre 00% avant le traitement.

2- Analyse des résultats cliniques subjectifs

L'évaluation subjective apprécie la douleur, l'apparence du pied, l'ajustement des chaussures et la mise en charge du patient. (205)

- **La douleur** : la correction de la déformation a atténué les douleurs dans 60% des cas et les patients sont très satisfaits de ce gain obtenu et persistant, pour 40% des patients des douleurs occasionnelles lors de la montée des pentes.

- **L'apparence des pieds** : une amélioration de l'apparence de leur pied a été observée chez tous les patients malgré les douleurs occasionnelles persistantes chez 05 sur 29 patients

- **L'ajustement des chaussures** : la majorité des patients retrouve leur choix dans les chaussures, excepté 03 d'entre eux qui ont déclaré utiliser des chaussures lâches en raison de la récurrence de la griffe du gros orteil ou du varus. A cet effet, nous recommandons dans un premier temps des orthèses des orteils (orthoplasties), dans le cas échéant, la reprise chirurgicale de la griffe des orteils est indiquée.

- **La mise en charge du patient** : tous les patients ont retrouvé leur autonomie qui était dépendante soit d'une tierce personne, soit d'une orthèse de marche soit d'une chaise roulante. Seul un patient âgé de 19 ans porteur d'une maladie de **C.M.T** démyélinisante et qui était dépendant d'une chaise roulante pour ses déplacements, devient indépendant de cette chaise mais avec parfois une canne afin de lui permettre une rééducation de la marche du fait de la perte de la notion de la marche.

Tableau N° 08 : les critères fonctionnels subjectifs post opératoire

Critères subjectifs	Satisfait	Non satisfait
Douleur	60%	40%
Apparence du pied	100%	17,24%
Ajustement des chaussures	89,65%	10,34%
Mise en charge du patient	96,55%	3,44%

II- L'Analyse des résultats radiologiques

1- L'angle de Meary –Tomeno

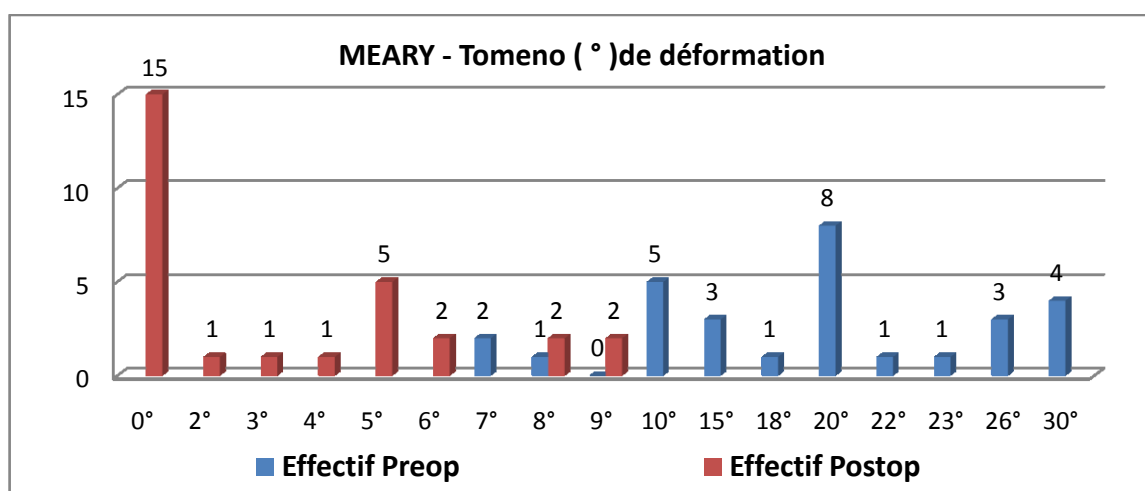
En préopératoire, on remarque une dispersion des angles radiologiques qui vont de 07° à 30° totalisant 11 angles différents qui se retrouvent tous et dans leur totalité en dehors de l'angle de **Meary - Tomeno** dont la valeur de la norme est de 00°.

En post opératoire, on remarque une tendance évolutive vers la norme de l'angle de **Meary - Tomeno** concernant 15 patients que nous considérons corrigés totalement.

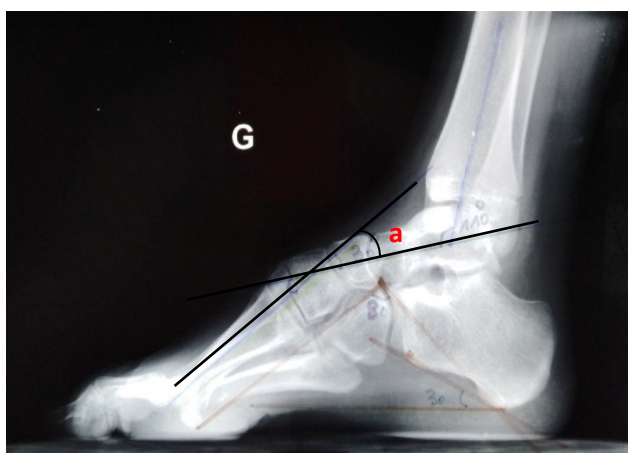
On remarque que l'angle de **Meary - Tomeno** des 14 patients restants est compris entre 02° et 09°; parmi lesquels 08 patients ont un angle compris entre 02°et 05°que nous considérons relativement proche de 00°.

On remarque enfin que le large intervalle de l'angle de **Meary -Tomeno** observé en préopératoire a été considérablement réduit.

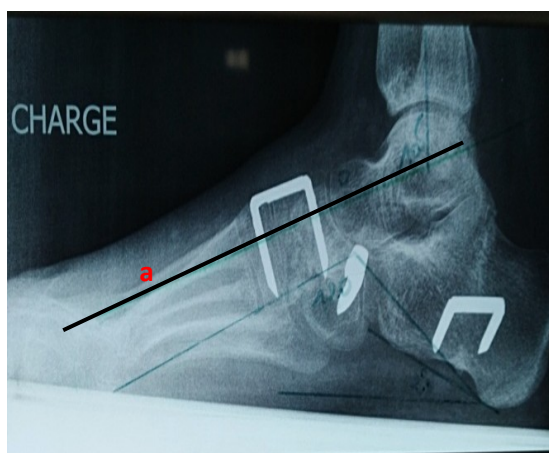
L'angle de **Meary -Tomeno** était supérieur à la norme de 05° dans 100% des cas ; il s'est corrigé dans 69, 22% avec une différence significative ($p < 10^{-7}$; DS).



Graph 71 : état comparatif de la répartition de l'effectif selon l'angle de Meary-Tomeno



1- Angle de Meary augmenté en préopératoire



2 - Angle de Meary nul en postopératoire

Iconographie 67 : aspect radiologique pré et postopératoire de l'angle de Meary - Tomeno (a).

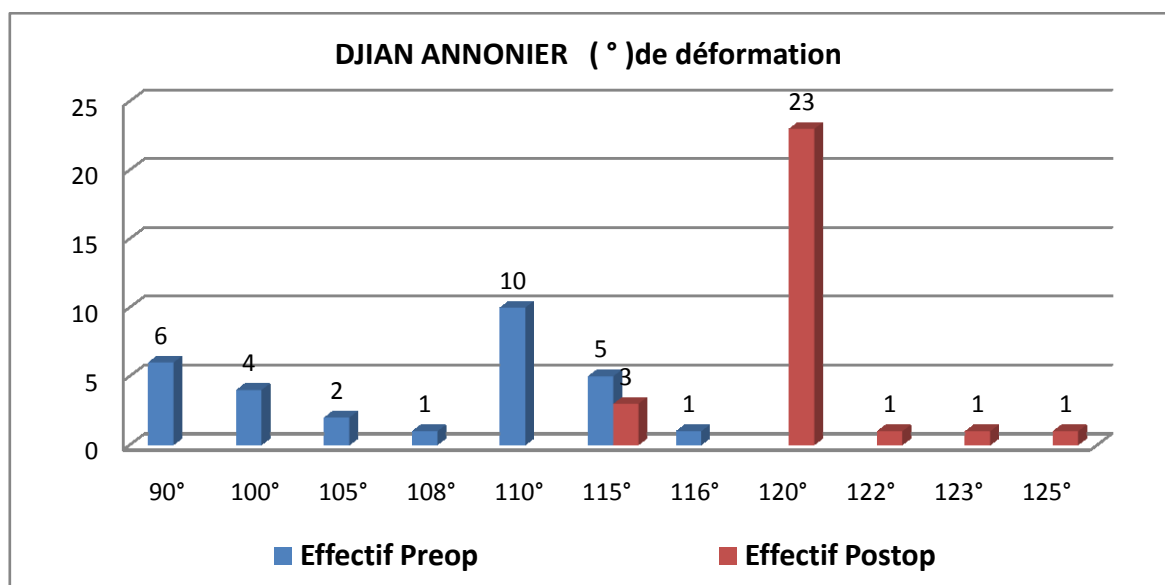
Source : ©photo personnelle.

2- L'angle de Djian -Annonier

En préopératoire, on remarque un étalement des angles radiologiques qui vont de 90°- 116° qui est au dessous de l'intervalle des normes (120°-125°) de l'angle de **Djian -Annonier**.

En post opératoire, on remarque que 26 patients ont atteint l'intervalle des normes de (120°-125°), ce qui correspond à une correction complète du creux ; néanmoins il persiste 03 patients dont l'angle est de 115° et, qui se situent en dessous de l'intervalle des normes, ils sont considérés comme une récurrence de la déformation du fait de la progression de la neuropathie. A cet effet, nous prévoyons probablement une reprise suite à l'évaluation des évolutions futures.

L'angle de **Djian Annonier** est au dessous de la normale (inférieure à 120°) dans 100% des cas en préopératoire. Il se corrige dans 94,23% avec une différence significative ($p < 10^{-7}$; DS).



Graphe 72 : état comparatif de la répartition de l'effectif selon l'angle de Djian Annonier



1 - Préopératoire : angle augmenté.



2 - Postopératoire : angle corrigé.

Iconographie 68 : Aspect radiologique préopératoire et postopératoire de l'angle de Djian-Annonier.

Source : ©photo personnelle.

3- La Pente calcanéenne

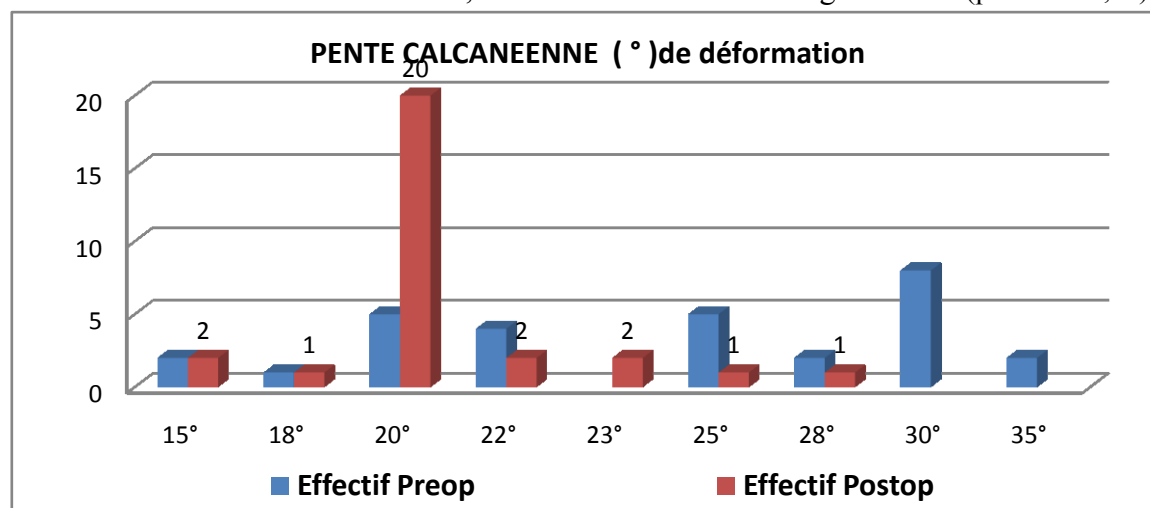
En se référant à la bibliographie, deux normes ont été retrouvées:

***Wicart et Seringe, 2009 (156)** : normes de la valeur moyenne 15°-20° : 08 patients sont au sein de la valeur moyenne en préopératoire, contre 23 patients sur 29 en postopératoire, soit 79,31% avec correction en référence à cette valeur moyenne normalisée.

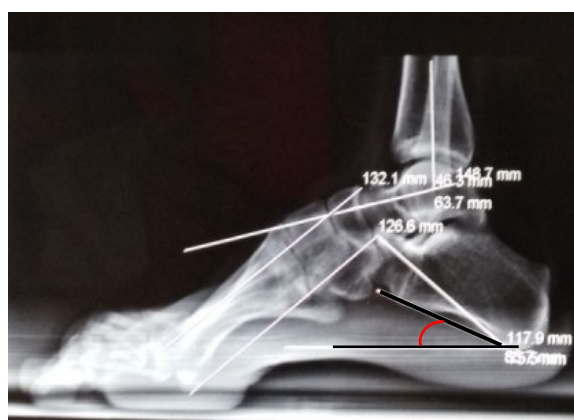
***Bouysset M., 2004 (122)** : normes de la valeur moyenne 20°-30° : 24 patients sont au sein de la valeur moyenne en préopératoire, contre 26 patients en postopératoire sur les 29, soit 90% de correction en référence à la valeur moyenne normalisée.

Si on prend une valeur moyenne des deux extrêmes proposées par les deux auteurs sus cités donc 15° -30°, on constate que les 29 patients, soit les 52 pieds traités, sont corrigés et rentrent dans cet intervalle de la valeur moyenne et donc 100% de correction des pieds.

La pente calcanéenne est de 36,61% pour un angle au dessus de 20° en préopératoire qui redeviendra dans les normes dans 96,15% avec une différence significative ($p < 6 \times 10^{-5}$; D)



Graphe73 : état comparatif de la pente calcanéenne en pré et en post opératoire



1 - Préopératoire : la pente calcanéenne est augmentée.



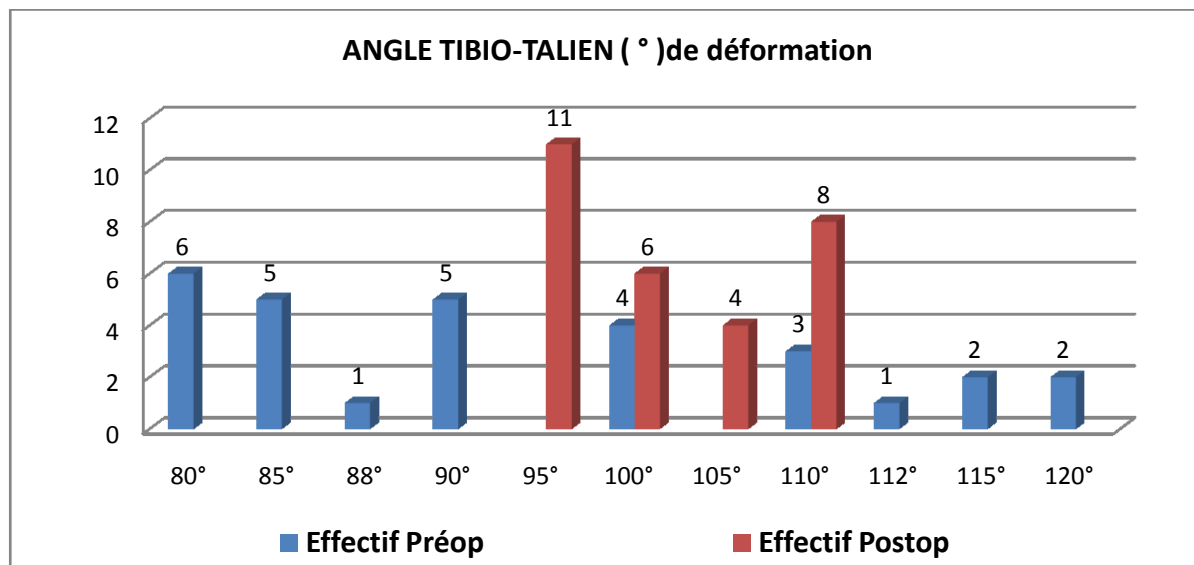
2 - Postopératoire : la pente calcanéenne est corrigée.

Iconographie 69 : Correction de la pente calcanéenne d'un patient âgé de 17 ans

Source : ©photo personnelle

4- L'angle tibio-talien

L'angle tibio talien est anormal dans 58,62% en pré opératoire qui se trouve amélioré en post opératoire avec 62,07% mais sans différence significative par rapport au référentiel ($P=0,12$; DNS).



Graphe 74 : état comparatif de l'angle tibio talien en pré et en postopératoire

En préopératoire, on remarque une dispersion des angles radiologiques qui vont d'un minimum de 100° à 120° totalisant 09 angles différents et seulement 07 patients qui rentrent dans l'intervalle des normes 100°-110° et le reste des patients soit 18 se trouvent en dehors de cet intervalle.

En post opératoire, on remarque une tendance évolutive vers la norme (100°-110°) de 18 patients que nous considérons corrigés totalement, alors que les 11 patients restants ont un angle de 95° que nous considérons très proche de la valeur minimale de 100°.

On note aussi qu'avant la chirurgie, les valeurs angulaires de 95° et 105° ne figuraient pas parmi les angles calculés. De cela, on peut dire globalement que tous les angles ont été corrigés.



1 - Préopératoire : l'angle est augmenté.

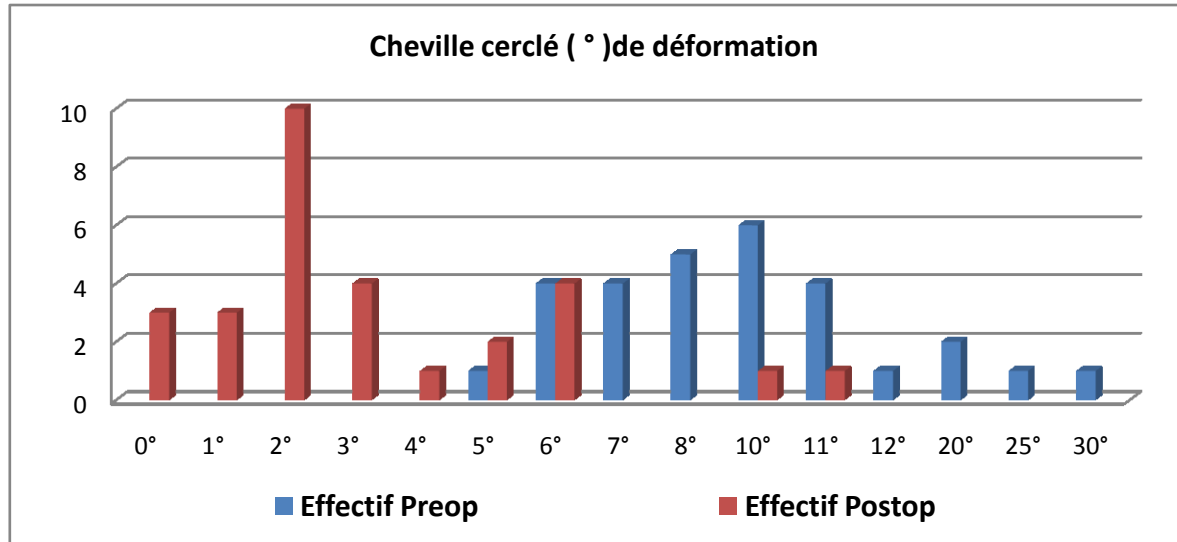


2 - Postopératoire : l'angle est corrigé.

Iconographie 70 : Aspect radiologique préopératoire et postopératoire de l'angle tibio-talien.
Source : ©photo personnelle

5- La cheville cerclée de Meary

On note que 100% des malades avaient un varus calcanéen qui dépassait les 05° avant la chirurgie et que cet angle se retrouve corrigé dans 80,77% avec une différence significative ($p < 10^{-7}$; DS)



Graphe 75 : état comparatif du varus calcanéen selon la cheville cerclée de Meary-Tomeno

Le varus clinique est corrigé pour 42 pieds et persistance du varus calcanéen dans 10 pieds ne dépassant pas 08°. Dans ce cas, on recommande des semelles à coin pronateur, dans le cas échéant une reprise chirurgicale est de règle.



1 – Préopératoire : varus de l'arrière pied



2 – Postopératoire : correction du varus calcanéen

Iconographie 71 : Aspect radiologique du varus calcanéen en préopératoire et de sa correction en postopératoire sur la cheville cerclée de Meary.

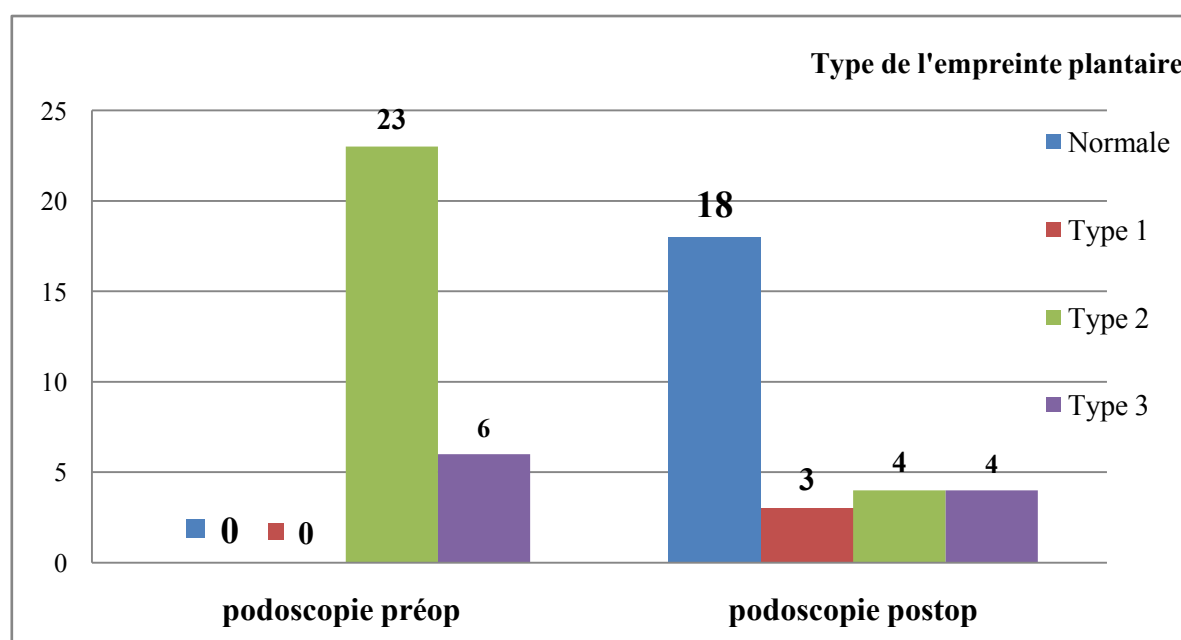
Source : ©photo personnelle.

6- L'évaluation de l'arthrose est basée sur la classification de **Morrey et Wiedeman**

Au dernier recul, on ne remarque aucune dégénérescence arthrosique post opératoire pour la totalité des patients, néanmoins nous recommandons sur un long terme, une surveillance et un suivi clinique et radiologique afin d'évaluer l'évolutivité de l'arthrose vers les articulations adjacentes.

3- L'analyse de l'empreinte plantaire sur **podoscope**

Le type de pied creux retrouvé en préopératoire est de 79,31% de type 2 et 20,69% de type 3 alors qu'après la prise en charge chirurgicale 62,02% des pieds sont d'aspect normale et 10,34% sont de type 1 et le type 2 et 3 avec un taux de 13,79% avec une différence significative ($p < 10^{-7}$; DS).



Graphe 76 : état comparatif de l'empreinte plantaire en préopératoire et postopératoire

On constate en postopératoire une amélioration perceptible de l'empreinte plantaire sur podoscope de 18 patients qui ont une empreinte proche de la normale, et 03 patients sont classés catégorie pied Type 1 (bande externe amincie), contre 0 patient en préopératoire, 04 patients garde toujours une empreinte de type 03 malgré l'amélioration clinique.

En préopératoire, les 29 patients sont répartis uniquement sur deux catégories, type 2 et type 3 de pieds creux, alors qu'en postopératoire ce nombre a considérablement changé

III- Analyses des résultats instrumentales

Concernant la comparaison des résultats de l'analyse des paramètres spatio temporels de la population d'étude par rapport au référentiel sur toute la série soit 29 patients avant et après la chirurgie ,Ces paramètres spatio temporels se trouvent non améliorés et sans différence significative par rapport au référentiel. Cela peut être expliqué par le manque de rééducation.

La solution est d'établir un protocole de rééducation spécifique et personnalisée et refaire l'examen 01 année après.

Tableau N° 09 : comparaison des paramètres spatio-temporels des patients avant et après chirurgie

Les paramètres spatio temporels	Population (n)	Avant la prise en charge	Après la prise en charge	p-value
		$m \pm \sigma$	$m \pm \sigma$	
Vitesse (cm/m)	29	94,8 $\pm$ 23,8	91,2 $\pm$ 23,8	p=0,505 ; DNS
Cadence (pas/mn)	29	110,6 $\pm$ 19,3	120,36 $\pm$ 11,01	p=0.838 ; DNS
Longueur de pas (cm)	29	52,3 $\pm$ 11,5	51,95 $\pm$ 8,02	P=0,055 ; DNS
Double appui (%)	29	21,35 $\pm$ 5,7	24,01 $\pm$ 4,45	P=0,902 ; DNS
FAP	29	91,76 $\pm$ 7,9	90,97 $\pm$ 7,9	P=0,62.DNS

G- LES COMPLICATIONS

1- Les complications per opératoires

Nous déplorons deux incidents per opératoire :

- * Une convulsion hypothermique en fin d'intervention chez un enfant de 09 ans qui est due probablement à sa neuropathie et qui a bien répondu aux soins de réanimation.

- * Une fragilité osseuse chez deux patients lors de la fermeture d'une tarsectomie et une ostéotomie de **Dwyer**, ce qui justifie un renforcement par broches et une immobilisation plâtré par plâtre circulaire.

2- Les complications post opératoires précoces

On note des complications locales apparues en postopératoire réparties comme suit :

- * Deux nécroses cutanées sur l'abord longitudinal externe de la triple arthrodèse qui ont bien répondu aux soins locaux et pansements adaptés,

- * Trois hématomes qui ont bien évolué sous soins locaux,

- * Une surinfection de la plaie sur plâtre qui a favorablement répondu aux soins locaux et à l'antibiothérapie.

3- Les complications tardives

- une infection sur désunion cutanée qui a justifié l'ablation d'agrafe avec soins locaux et antibiothérapie et qui a évolué favorablement.



1 - Surinfection sur le trajet de l'incision



2 - Ouverture cutanée tardive sur agrafe

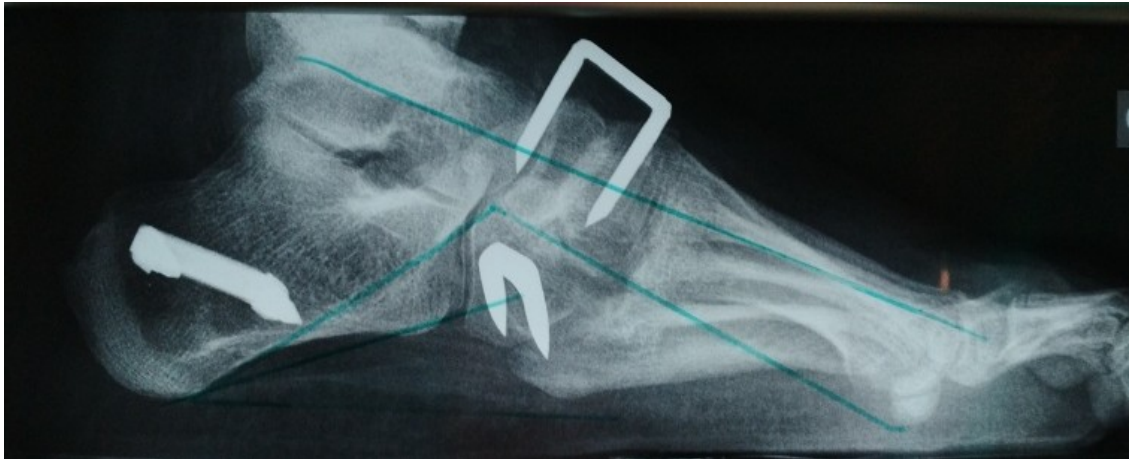


3- Incision cutanée sur le site de l'ouverture cutanée

Iconographie 72 : Infection sur désunion cutanée

Source : ©photo personnelle.

- Une saillie des agrafes sous la peau qui a conduit à l'ablation du matériel et contrôler l'évolution clinique et radiologique de deux patients jeunes en pleine croissance osseuse et déceler l'élément de progression sans que ces broches ou ces agrafes ne gênent leur croissance.



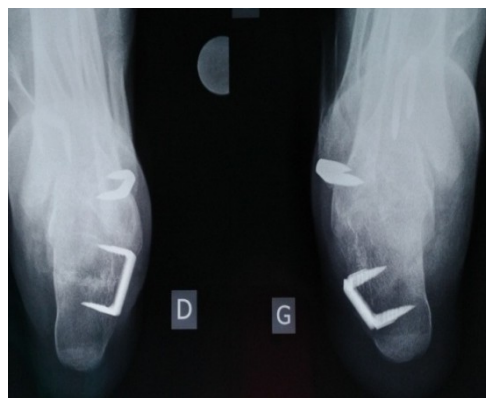
Iconographie 73 : Saillie de l'agraf sous la peau an niveau du tarse.

Source : ©photo personnelle.

- La récurrence du varus survenant 06 mois après. Ce varus peut être interprété par la progression de sa neuropathie qui n'a pas retentit sur la fonction de la marche. Pour cela des séances de rééducation seront entreprises avec des semelles comportant une cuvette talonnière pronatrice avec barre rétro-capitale pronatrice.



1 - aspect clinique



2 - aspect radiologique

Iconographie 74 : Récurrence du varus calcanéen

Source : ©photo personnelle



Iconographie 75 : Semelles thermoformée

Source : ©photo personnelle.

- La récurrence de la griffe du gros orteil survenue une année après chez une fillette de 14 ans qui sera prise en charge ultérieurement en fonction de sa réductibilité soit par la procédure de **JONES** qui consiste à libérer l'extenseur de hallux et le réinsérer sur le col de M1 ou résection arthroplastique avec arthrodèse inter phalangienne



Iconographie 76 : Récurrence de la griffe du gros orteil clinique et radiologique

Source : ©photo personnelle.

- La récurrence de la déformation a été constatée chez un patient de 17 ans chez qui une chirurgie articulaire et une chirurgie des parties molles suivies d'une ostéotomie de **Dwyer** a été pratiquée et marquée par une récurrence de la pronation de l'avant pied, d'un varus de l'arrière pied et une griffe du gros orteil. Cela a donné des résultats satisfaisants tant qu'elle est asymptomatique. Elle nécessite une réévaluation tous les 06 mois.

- Correction incomplète de la déformation du fait de la sévérité de la déformation initial chez qui une panarthrodèse a été évité



1 - aspect clinique préopératoire



2 - aspect clinique post opératoire

Iconographie 77 : Correction incomplète de la déformation

Source: ©photo personnelle.

- Des douleurs paroxystiques apparues 02 ans après une triple arthrodèse chez une patiente de 19 ans calmées après port de semelles rétro capitales faites sur podomètre.

4- Les complications de la triple arthrodèse

- La non fusion (pseudarthrose) est rare (05%-10%)
- L'infection tardive
- La nécrose du talus
- La malposition
- L'arthrose dégénérative peut être observée secondairement dans le temps au niveau de la cheville et du médio-pied.

H- DISCUSSION

Notre étude prospective de 2017 - 2020 concernant 29 patients (52 pieds) dont l'âge est compris entre 07-19 ans, et présentant tous des pieds creux neurologiques a permis d'évaluer cette population sur le plan démographique, clinique, radiologique, thérapeutique et instrumentale par l'étude des paramètres spatio-temporels de la marche .

- Le sexe ratio de la population d'étude F/M est de 1,2 avec une prédominance masculine qui se conforte avec les études réalisées par **You Zhou**, et **Zhen Yu Chen** .

Tableau N° 10 : Corrélation du facteur sexe avec les différentes séries

Auteurs	NB patients / NB pieds	Période de l'étude	Sexe
Wicart et Seringe (2006), (45)	26/36		11H/15F
Imad (2015), (10)	34/54	2009-2014	15H/19F
Ignacio-Sanpera, et al (2018), (206)	15/24	2012-2015	5H/10F
L Simon , (191)	19/25	1977-2011	
You Zhou (2014), (205)	17/17	2008-2012	10H/7F
Zhen –You Chen (2019), (31)	21/28	2014-2017	11H/10F
Notre série (2020)	29/52	2017-2020	16H/13F

- La tranche d'âge de la population d'étude est de 07-19 ans qui se conforte avec la tranche d'âge prise par certaines séries étudiées.

L'âge moyen de la prise en charge est de $15,38 \pm 3,7$ qui se rapproche avec la série de **Zhen Yu Chen** et **You Zhou**

Tableau N° 11 : corrélation du facteur âge avec les séries étudiées

Auteurs	NB patients / NB pieds	Age	Age moyen de la chirurgie
Wicart et Seringe (2006), (45)	26 / 36	8 - 12 ans	10,3 (5,5-13,6)
Imad (2015), (10)	34 / 54	4 - 14 ans	
You Zhou , et al. (2014), (205)	17 / 17		16,8 ans (12-36 ans)
Simon (2013), (191)	19 / 25	15,6 (14-20)	
Ignacio Sanpera, et al. (2018) (206)	15 / 24	7 - 13 ans	10 ans (7 - 13 ans)
Zhen –Yu Chen , et al.(2019), (31)	21 / 28	10 - 14 ans	$12,46 \pm 1,20$
Naudi , et al. (2009), (207)	33 / 39	16 - 49 ans	
Notre série (2020)	29 / 52	7 - 19 ans	$15,38 \pm 3,7$

- L'étiologie des pieds creux de la série est neurologique dans 100% des cas dont la forme la plus fréquente est une maladie de **C.M.T** (79%). Ceci se conforte avec toutes les séries de la littérature.

Tableau N° 12 : répartition des différents types de neuropathies avec les séries confrontés

Auteurs	Causes
Brewerton, et al. (23)	75% neurologique
Bodman (179)	85% neurologique avec 70% de C.M.T
Simon (191)	100% neurologique 25 / 19 (C.M.T)
Zhen –Yu Chen, et al. (31)	15/13pieds neurologiques (C.M.T)
Ignacio-Sanpera (206)	1 3/11pieds neurologiques
Wicart et Seringe (45)	Tous neurologiques, C.M.T 41% - 08% Friedrich - 07% dysraphisme spinal (66% progressive)
Notre série	100 % neurologique avec 79% de C.M.T

- Concernant les ATCD familiaux, 66% de nos patients ont des ATCD familiaux de neuropathies périphériques (frère, père, mère, sœur) se rapproche fortement avec la série étudiée par **Gonzales de Aledo**

Tableau N° 13 : corrélation des ATCD familiaux de la série avec celle de l'étude de Gonzales de Aledo

Auteurs	Cas familiaux
Gonzales De Aledo, et al. (1996), (208)	60%
Notre série (2020)	66%

- Les signes cliniques motivant la prise en charge chirurgicale

Toutes les séries rapportent les mêmes symptômes d'une déformation flexible et rigide ayant motivé une prise en charge chirurgicale.

Tableau N° 14: corrélation des signes cliniques de la série avec les series consultés

Auteurs	Signes cliniques motivant la chirurgie
Zhen -Yu chen (31)	Cavus-varus –rétraction du tendon d'Achille –callosités – pronation de l'avant pied –griffes –troubles de la marche
Imad (10)	Instabilité –trouble de la marche –fatigue –déformation – douleur
Echala (129)	Gêne à la marche-steppage –fatigue –instabilité de la cheville- douleur –difficulté aux chaussages
Notre série	Fatigabilité –instabilité –difficulté au chaussage –gêne à la marche –steppage –callosités

- Le délai entre l'apparition de la déformation du pied creux et la prise en charge est variable dans notre série. Il va de 06 à 10 ans et représente 28%, suivie de 24% pour une durée inférieure à 05 ans. Ces résultats sont similaires aux études retrouvées dans les différentes séries

Tableau N° 15 : corrélation entre l'intervalle de l'apparition de la déformation et la prise en charge avec les différentes séries

Auteurs	Délai entre l'apparition de la déformation et la prise en charge
Naudi et al , (207)	05- 07 ans
Imad (10)	05- 20 ans
Echala (129)	05- 10ans
Notre série	06- 10ans

- Les résultats cliniques objectifs selon le score de **A.O.F.A.S** a été amélioré avec une différence significative par rapport au référentiel ($p < 10^{-7}$; DS) mais avec un score total de 89,6/100 plus significatif par rapport aux score AOFAS de **You Zhou** avec un score de 75,8/100 et celui de **Sammarco** avec un score de 89%

Tableau N°16 : comparaison du score AOFAS en pré et post opératoire

Auteurs	A.O.F.A.S Préopératoire	A.O.F.A.S post opératoire	GAIN (points)
Sammarco et al. (177)	45/100	89/100	44 points
You Zhou (205)	34,7/100	75,8/100	41,1 points
Naudi et al. (207)		69,2/100	
Notre série	62,2/100	89,6/100	27,4 points

- Les résultats cliniques subjectifs

Les résultats subjectifs obtenus sont comparables avec trois des paramètres étudiés de deux auteurs : **You Zhou** et **Meary et al** sauf pour la douleur ou il ya un écart qui s'explique par la nature de la douleur qui est paroxystique, intermittente qui se déclenche seulement lors de la montée des pentes. Elle est reliée à la faiblesse musculaire engendrée par la neuropathie en cause. Les résultats de l'apparence du pied ainsi que l'ajustement des chaussures sont identiques aux résultats obtenus dans la série de **You Zhou**.

Concernant la mise en charge, nous n'avons pas pu trouver de séries d'études afin de confronter et discuter nos résultats. Néanmoins, nous considérons qu'avec un résultat de 96,55% des patients qui déambulent sans tuteur externe et sans douleur est très significatif.

Tableau N°17 : corrélation des critères subjectifs de notre série avec les séries confrontés.

Auteurs	Douleur	Apparence du pied	Ajustement des chaussures	Mise en charge du patient
You Zhou (205)	94,1%	100%	03 utilisent des chaussures lâches	
Meary et al. (48)	76%			
Notre série	60%	100%	03 utilisent des chaussures lâches	96,55% dont 01 cas avec canne

• Tous les angles radiologiques à savoir l'angle de **Meary – Tomeno**, l'angle de **Djian Annonier**, la **pente tibiale** se sont améliorés par rapport au référentiel avec une différence significative ($p < 10^{-7}$ DS) sauf pour l'angle tibio – talien. Ces angles se rapprochent de la série de **You Zhou**. Les résultats sont confortés avec les séries de la littérature. On note que dans les séries étudiées par **Naudi** et par **Zhen Yu Chen**, il y a amélioration des angles radiologiques mais sans montrer si elle significative ou non

Tableau N°18 : corrélation des angles radiologiques de la série avec les séries confronté

Auteurs	Angle de Djian Annonier		Angle de Meary		Pente calcanéenne		Angle tibio-talien		P-value
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
You Zhou (205)			26,3°	5,5°	44,5°	28,3°	133°	100°	$p < 10^{-5}$ DS
Naudi et al . (207)	85°		23°	9°	30,8°	24,8°			
Zhen -Yu Chen (31)			26,3	5,5	44,5	28,3	133,1	100,8	P=0,000 DNS
Notre série	90°	125	30°	9°	35°	20°	120°	95°	$p < 10^{-7}$ DS

• Sur la cheville cercle de **Meary**, on note la correction du varus calcanéen chez 42 patients (80,77%) avec arrière pied normo-axé .Nos résultats sont proches des séries étudiées par **Meary** et suivis de ceux de **Naudi** et un écart marqué par rapport à l'étude de **Melka** et al. Le varus résiduel observé dans toutes ces séries évoque soit la progression de la neuropathie ou correction incomplète.

Tableau N° 19 : corrélation de la correction du varus calcanéen de la série avec les séries comparé

Auteurs	Correction du varus	Varus résiduel
Naudi et al. (207)	65,2%	34,8%
Meary, et al. (48)	78,2%	21,8%
Melka, et al. (209)	55%	45%
Notre série	80,77%	19,23%

●L'évaluation de l'arthrose a été attribuée selon les normes de **Morrey et Wiedeman** au dernier recul, on ne remarque aucune dégénérescence arthrosique post opératoire pour la totalité des patients, néanmoins nous recommandons sur un long terme, une surveillance et un suivi clinique et radiologique afin d'évaluer l'évolutivité de l'arthrose vers les articulations adjacentes.

Tableau N° 20 : comparaison du stade d'arthrose de la série avec les autres séries confronté

Auteurs	Nombre de cas	Siege d'arthrose
You Zhou (205)	04	Sous talienne
Naudi et al. (207)	18	Sous talienne
	17	Tarso métatarsienne
Notre série	03	Talo naviculaire

●Concernant la comparaison des paramètres spatio temporels de la population d'étude par rapport au référentiel sur toute la série soit 29 patients en pré et en post opératoire, on ne trouve pas de différence significative. Afin de les corrélérer aux données de la littérature; nous n'avons pas pu trouver des séries d'étude concernant l'évaluation des techniques chirurgicales du pied creux neurologique. On a du confronter nos résultats aux normes du test de la marche et qui ne révèle pas une amélioration des paramètres spatio temporels de la marche par rapport au référentiel et ne trouve aucune différence significatif. Cela peut s'expliquer par le manque de rééducation et le court suivi.

Tableau N°21 : comparaison des paramètres spatio-temporels des patients pris en charge avant et après l'acte chirurgical

Paramètres spatio temporels	Population (n)	Avant la prise en charge	Après la prise en charge	p-value
		m ± σ	m ± σ	
Vitesse (cm/m)	29	94,8 ± 23,8	91,2 ± 23,8	p=0,505 ; DNS
Cadence (pas/mn)	29	110,6 ±19,3	120,36 ±11,01	p=0.838 ; DNS
Longueur de pas (cm)	29	52,3 ± 11,5	51,95 ± 8,02	P=0,055 ; DNS
Double appui (%)	29	21,35 ± 5,7	24,01 ±4,45	P=0,902 ; DNS
FAP	29	91,76 ± 7,9	90,97 ± 7,9	P=0,62.DNS

- Les différentes combinaisons chirurgicales ont eu un apport considérable sur la correction de l’empreinte plantaire du fait de la correction de la déformation et par conséquent on obtient 68,96% d’empreinte de type 1 et 17,24% de type 2 et persistance de 13,79% d’empreinte type 3 mais sans retentissement fonctionnel. Ces empreintes se sont améliorées avec une différence significative ($p < 10^{-7}$; DS) les résultats des empreintes sur podoscopie ne reflète pas la correction chirurgicale car elle est réalisée de façon statique.

Tableau N° 22 : comparaison de l’empreinte plantaire avant et après la chirurgie

Type d’empreinte	Avant la prise en charge (n ; %)	Après la prise en charge (n ; %)	p-value
Empreinte normale	00	18/62,06	$p < 10^{-7}$; DS
TYPE 1	00	03/10,34	
TYPE 2	23 /79,31	04/13,79	
TYPE 3	06/20,69	04/13,79	
Total	29	29	104

- Sur le plan thérapeutique

L’évaluation des critères de **JAPAS** a été jugée très bien pour 21 ,5 pieds (43 cas) avec 83% et bon pour 07,5 pieds (09 cas) avec 17% qui sont proches des études réalisées par **You Zhou, Bingua** (2014).

Tableau N°23 : comparaison des critères de Japas de la série avec la série de You Zhou

Auteurs	Très bien	Bien
You Zhou (205)	64,75(11 cas)	23,55(4 cas)
Notre série	83% (43 cas)	17%(9 cas)

- L’évaluation thérapeutique selon la classification de **Wicart** et Seringe a montré des résultats très satisfaisants qui se confortent avec la série de **Zhen You Chen** quelque soit la combinaison chirurgicale effectuée.

- Combinaison chirurgicale selon la classification de **Wicart** et **Seringe**.

Tableau N°24 : comparaison de la classification de Wicart et Seringe de la série avec celle des séries confronté

Auteurs	Combinaisons chirurgicales	Wicart	Taux
Zhen chen You, et al. (2019), (31)	-18 Dwyer -18 Transfert du tendon du long péronier sur le court peronier - 25 allongements d'Achille - 10 ostéotomies en V	18 pieds Très bien 7 bons 3 passable	89 ,3%
Wu, et al. (210)	-ostéotomie en V du tarse -aponévrotomie plantaire 7 cas supérieur à 6 ans		83,3%
Yan et al. (211)	- ostéotomie de relèvement de M1 -ostéotomie des os cunéiformes	34 très bien 7 bons	
Notre série	- Dwyer - tarsectomie antérieure - triple arthrodèse - aponévrotomie plantaire - allongement du tendon calcanéen	14 très bien 8 bons 7 passable	88,21%

●évaluation thérapeutique selon la classification de Paoulos

On aboutit ici à un taux cumulé significatif de 93% autour d'un résultat bon et acceptable, contre 7% pas bon (Mauvais).

Tableau N° 25 : critères d'évaluation selon Paoulos

Résultats	Description (Critères d'évaluations)	Effectif patients	Taux
Très bon	Disparition complète des déformations.	15	52%
Bon	Lorsqu'il persiste une chute réductible du premier métatarsien.	2	7%
Assez Bon	Lorsqu'il persiste une chute irréductible du premier métatarsien.	3	10%
Moyens	S'il persiste un varus de l'arrière pied, une déformation des orteils .	7	24%
Mauvais	Si aucune amélioration n'a été obtenue ou que les déformations ont récidivées ou se sont aggravées, ou encore si le pied est hypercorrigé.	2	7%

- Selon le caractère flexible ou non du pied creux :

- ◆ Pour les pieds creux flexibles

Toutes les séries présentes dans le tableau qui suit concernent des pieds creux neurologiques flexibles chez qui une combinaison chirurgicale associant une libération des parties molles associées à une chirurgie extra articulaires a donné des résultats satisfaisants dans 93% des cas mais avec une reprise chirurgicale prévue, nos résultats se rapprochent fortement des séries confrontées .

Tableau N° 26 : comparaison des résultats des différentes combinaisons chirurgicales de la série avec les résultats des séries confrontés pour les pieds creux flexibles

Auteurs	Nombre Patients / (pieds)	Traitements	Ré intervention	Résultats
Roper, et Tiberwal (09)	10 (18)	-Allongement Achille – Aponevrotomie plantaire - Jones , transfert du tendon du tibial antérieur	2 récidence (autre libération plantaire) 20%	Tous satisfait
Chatterjee and Sahu (212)	18(18)	Japas - allongement Achille etaponévrotomie plantaire	2 Triples arthrodèses 2 Dwyer	06 très bien 08 bons 04 mauvais
Ward et al (27)	25(41)	Aponévrotomie plantaire + transfert du tendon du long péronier sur le court péronier, Ost M1 +transfert du tendon du tibial antérieur, résection du tendon du long extenseur de l'hallux	11	21 varus arrière pieds Arthrose C1M1 (08pieds)
Faldini et al. (29)	12(24)	Aponévrotomie plantaire Ostéotomie medio tarse, arthrodèse naviculo-cunéene, Jones osteoM1	5 chirurgies pour griffes 0 chirurgie ultérieure	12 excellents scores de 72-86 02dehiscence 0 récidence
Leeuwesteijn, et al. (28)	33(52)	OsteoM1 +Aponévrotomie plantaire + allongement Achille +Transfert du tendon du long péronier sur le court péronier	10(2) arthrodèse pour récidence	90% satisfait
Notre série	29(52)	Dwyer +allongement d'Achille+ aponévrotomie plantaire	00 chirurgie ultérieure 01 Récidence du varus	10 Très bien 02 Bons 01 mauvais

♦Pour les pieds creux rigides

Toutes les séries présentes dans le tableau qui suit concernent des pieds creux neurologiques rigides. Les différentes combinaisons chirurgicales ont permis d'obtenir des résultats satisfaisants avec un gain fonctionnel qui varie selon la sévérité de la déformation. Les différentes ostéotomies pratiquées sont comparables à notre série, mais il est à noter que des séries ont rapporté des reprises chirurgicales soit par triple arthrodèse ou reprise de l'ostéotomie. Cela n'a pas été le cas pour notre série avec 00 reprises par conséquent un gain fonctionnel (score **A.O.F.A.S**) qui va de 10 points à 56 points avec un gain moyen de 27,5 points.

Tableau N°27 : comparaison des résultats des différentes combinaisons chirurgicales de la série avec les séries de la littérature concernant les pieds creux rigides

Auteurs	Nombre patients / (pied)	Diagnostic	Traitement	Ré intervention	Résultats
Samarco et Taylor (177)	15(21)	Tous neurologiques C.M.T10	Ostéotomie. calcanéenne +ostéotomie mediotarsienne	1 reprise de l'ostéotomie cal 1 fusion 1 allongt Achille	Amélioration de 17,8 points 42,8 score hindfoot 47,9 midfoot gain
Wicart et Seringe (45)	26 (36)	Tous neurologiques C.M.T 16	Ostéotomie calcanéenne; aponévrotomie plantaire, ostéotomie cunéenne	12 triples arthrodèses 33%, 24 pieds n'ont pas nécessité de triple arthrodèse	11 mauvais
Mubarak and Valin (40)	13 (20)	C.M.T 3, variable	Ostéotomie M1 ostéotomie cunéenne, transfert du LP sur CP. Ostéotomie des 2é, 3é, 4é méta.	Non reporté	35%très bon 6% bon, 5% pauvre
YouZhou, et al. (205)	17	Polio 10 idiopath4	Ostéotomie medio tarse, correction de la griffe transfert TP, allongt Achille	Non reporté	Gain 40 points AOFAS
Notre série	29(52)	Tous neurologiques	Dwyer +Aponévrotomie plantaire+tarsectomie +allongement d'Achille +ost relèvement M1	Aucune reprise	02 résultats modérés 01 récidence de la déformation avec un gain en points de 27,4

♦Pour les pieds creux rigides ayant justifié d'une triple arthrodèse :

Pour les pieds creux rigides sévères et irréductibles avec instabilité de la cheville, les séries rapportent que la triple arthrodèse réalisée seule ou en association avec une chirurgie des parties molles ou articulaire donne des complications à savoir la pseudarthrose et l'arthrodèse non retrouvées dans notre série pouvant avoir une explication dans la durée de suivi courte .

Tableau N°28 : comparaison des résultats des différentes combinaisons chirurgicales des auteurs avec notre série concernant les pieds creux rigides et instables.

Auteurs	Patient (pieds)	Traitement	Score	Résultats
Wetmor et Drennan (26)	16(30)	Triple arthrodèse A (30)	(7%) 02 excellents (17%) 05 bons (30%) moyen (47%) 14 mauvais dépendent des orthèses	(23%) 07 récides (77%) 23 pieds dégénérescence progressive
Wukich and Brown (200)	22 patients	Triple arthrodèse	(32%) 11 pieds bons 03 dépendent des semelles (62%) 21 pieds ont une arthrose du medio pied (24%) et 08 arthroses de cheville	45% récide déformation 60% récide griffe
Mann and Hsu (186)	10(12)	Triple arthrodèse +transfert tendon tibial postérieur (03)	75% bon (50pieds)	05 pieds plantigrades 03 pieds PSD asymptomatique sur pied plantigrade 03 pieds déformations résiduelles asymptomatique
Salzman et al. (144)	57 (67)	Triple arthrodèse A+03 Aponévrotomie plantaire +06allongements Achille + 28 transferts de tendons+ Arthrodèse du médio pied		08 pieds (12%) complication mineur 55% douleur d'1 ou plusieurs articulations 28%16 patients dépendent d'analgésiques 13 pieds ont PSD dont10 douloureuses (32%)
Notre série	6(11)	Triple arthrodèse + 02 aponévrotomie plantaires + 02 allongements d'Achille + 02 résections arthroplastique	01 dépend des semelles	01 douleur résiduelle 01déformation résiduelle asymptomatique

●Les complications retrouvées dans notre série sont représentées par des complications mineures (17%) et par des complications majeures (3%) qui diffère des séries confortée en matière de PSD retrouve élevé chez **Levitt et al**, et se comparant avec les résultats cités par **Levitt et al**,et 12,5% de complications chez **Ignacio Sanpera qui est propre a la technique** réalisé (Hemiepiphysiodese de M1).

Tableau N° 29 : comparaison de complications trouvées dans la série avec les séries de la littérature

Auteurs	NB patients / NB pieds	Complications
Wicart et Seringe (45)	26 / 36	Pied plat mineur Infection profonde
Levitt, et al. (24)	15 / 30 pieds	30% de pseudarthrose
Ignacio Sanpera, et al. (206)	15 / 24	Mauvaise fixation de la vis (02) Une rupture de la plaque (01)
Notre série	52 / 29	Saillie des agrafes sous la peau (04) Hématomes superficielles (03) Désunion cutanée sur agrafe saillante (01) Infection sous plâtre (1) Nécrose cutanée (2) Récidive du varus (1)

●Les différentes ostéotomies ont atteint une fusion osseuse dans un délai de 03 mois à 12 mois observé chez tous les patients sans aucun cas de pseudarthrose sans aucune dégénérescence arthrosique.

I- LES LIMITES ET RECOMMANDATIONS

► Les limites

Les limites de notre étude sont :

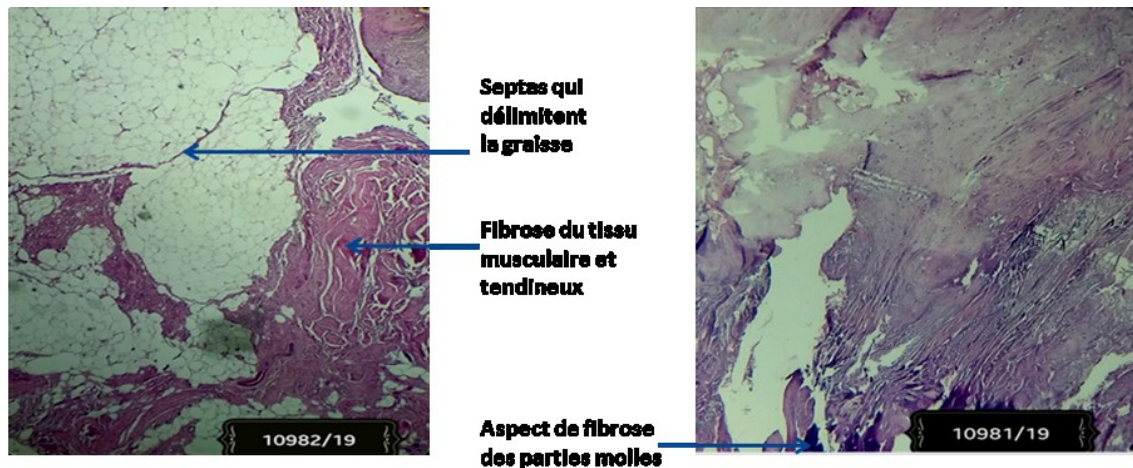
- ♦ C'est une cohorte qui n'est pas étoffée et le suivi étroit doit être fait à long terme.
- ♦ La durée de suivi était courte, non suffisante pour évaluer les résultats de la procédure chirurgicale à long terme. Les patients devront être réévalués à moyen et à long terme.
- ♦ Tous les patients n'étaient pas gérés de manière uniforme. Il n'est pas possible de distinguer les avantages indépendants.
- ♦ Le manque de services de rééducation spécialisée en neuro orthopédie pour la prise en charge rééducatif du pied creux neurologique en pré et post opératoire adapte afin d'optimiser les résultats fonctionnels, redonner et améliorer la marche et la proprioception d'où réinsertion socio professionnel.
- ♦ Les combinaisons chirurgicales adoptées n'étaient pas destinées à être le traitement définitif pour ces enfants car la maladie est évolutive.

► Les recommandations

- Refaire une évaluation de l'étude de marche avec calcul des paramètres spatio temporels 01 à 02 ans avec et sans chaussures, et sans semelles orthopédiques afin de détecter les stigmates de récidence ou d'évolutivité de la neuropathie périphérique.
- Réévaluer les patients cliniquement, radiologiquement, objectivement après rééducation spécialisée
- Nous recommandons d'établir un livret d'auto rééducation sensitivomotrice de la main et des pieds en collaboration avec les collègues de pédiatrie, de la Médecine Physique et de la Réadaptation fonctionnelle et des neurologues, psychologues, et autres disciplines.
- Etablir un protocole de rééducation en collaboration avec le médecin de la médecine physique et de la réadaptation fonctionnelle pour la bonne prise en charge de ces pieds creux neurologiques qui sera consulté par le patient et ses parents.
- Dans le cadre du programme de la formation continue nous recommandons de :
 - Former les médecins de l'hygiène scolaire pour détecter tous les troubles statiques des pieds par un examen neuro-clinique approfondi suivi d'une étude podoscopique, étude de marcheetc.
 - Formations dans la baropodométrie et acquisition d'un Baropodomètre
- Lancer une étude de prévalence de cette pathologie en Algérie.
- Un suivi au long terme afin de connaître le devenir des patients pris en charge présentant un pied creux neurologique tant sur le plan social que professionnel.

• Le pied creux neurologique représente un problème de santé publique insuffisamment pris en charge, il influe et impact négativement sur la productivité des patients, d'où Il serait judicieux d'évaluer l'impact de ces déformations sur la qualité de vie par le **test d'OXFORD (213)** « The OXFORD ANKLE FOOT Questionnaire for children scaling, reliability and validity ». pour un meilleur avenir physique, mental, scolaire, émotionnel et, social.

• Suite aux aspects retrouvés dans les pièces analysées, qui se compose d'un tissu fibreux voir calcifié de toutes les structures entourant l'os à savoir le muscle, le tendon avoisinant l'os avec un tissu osseux conservé.



Nous recommandons vivement, afin de promouvoir la recherche scientifique dans le volet « anatomopathologique du pied creux neurologique », avec comme objectifs de comprendre ce qui suit:

-Est ce que la chirurgie précoce permet d'éviter la fibrose voire la calcification par la diminution des contraintes sur les structures osseuses déformées

-Pourquoi l'Os de certains patients est fragile. est cela est due à la mauvaise minéralisation de sa structure du fait du bouleversement architecturale des os du pied engendre par la neuropathie

-Travailler en collaboration avec les neurologues pour expliquer ou Etablir un lien entre la progression et les lésions trouvées qui pourrait nous donner une voie vers la thérapie

J- CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous concluons que la prise en charge chirurgicale précoce et pluridisciplinaire de nos patients âgés de 07 à 19 ans a donné des résultats fonctionnels et morphologiques satisfaisants en utilisant des différentes combinaisons chirurgicales qui vont rééquilibrer les contraintes sur les articulations. Le résultat principal obtenu est la correction de la déformation chez la majorité des patients rendant un pied plantigrade tant sur le plan clinique, radiologique ou instrumentale.

Le résultat fonctionnel obtenu est la correction de la déformation chez la majorité des patients rendant un pied plantigrade, rétablissant ainsi le trépied du pied statique, l'indolence par l'acquisition d'une autonomie acceptable avec indépendance, une amélioration de l'apparence de leur pied, réintégrant ainsi leur scolarité, leur travail et/ou leur activité sportive.

La fusion osseuse a été obtenue dans les délais (3 à 12 mois) sans aucun cas de pseudarthrose et sans aucune dégénérescence arthrosique.

La récurrence de la déformation dans 01 cas est due à la sévérité initiale de la déformation et à la progression de la neuropathie périphérique, au retard à la prise en charge.

Ces différentes combinaisons chirurgicales ont permis de corriger la déformation, préserver les articulations (sans instabilité), de rendre le pied moins symptomatique et chaussable.

En l'absence d'arbre décisionnel, les stratégies chirurgicales personnalisées doivent être formulées sur la base d'une évaluation préopératoire de la déformation et de son retentissement fonctionnel et de son évolutivité.

La chirurgie du pied creux est une chirurgie fonctionnelle :

Plus le sujet est jeune, plus les gestes chirurgicaux doivent être économes et conservateurs, compte tenu de l'incertitude sur l'évolutivité ultérieure.

Les indications thérapeutiques doivent être individualisées au cas par cas, en fonction de l'attente réelle du patient.

Il est judicieux de suivre ces patients au long terme par mesures préventives, afin de détecter toute récurrence future de la déformation ou progression de la neuropathie, pour une meilleure prise en charge.

BIBLIOGRAPHIE

- N°
- 1 . Seringe. R : Les malformations congénitales du pied ; La revue du praticien 79 ; 24 :4307-4311:In Imad L.2015.
- 2 . Dyck PJ.,Chance P., Lebo R., Carney JA., Hereditary motor and sensory neuropathies in :Dyck PJ ,Lowpa Poduslo JF editor peripheral neuropathy 3 ed Philadelphia W.B. saunders 1993.
- 3 . Vallat JM., et Funalo B., Charcot-Marie-Tooth (CMT) disease: an update .2010.Med Sci (Paris),volume 26,numero 10 ;842-847.
- 4 . Chabrol B., Dulac O., Mancini J., Ponsot G., Arthuis M.,Neurologie pédiatrique 2010., (3 édition).Médecine-Sciences Flammarion Éditions Lavoisier.
- 5 . Piazza S.,Ricci G.,Caldarazzo Lenco E.,Calesi G.,Volpi L.,Siciliano G., Mancuso M., Pes Cavus and Hereditary Neuropathies, when the Relationship should be suspected.2010.,J Orthop Traumatol 11 (4):195-201.
- 6 . D'Astorg H.,Rampal V.,Seringe R.,Glorion C.,Wicart P., Is Non-Operative Management of Childhood Neurologic Cavovarus Foot Effective?. 2016., Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research) Volume 102, Issue 8, Pages 1087-10.
- 7 . Dix-Peek S.,Clinical article :An approach to the assesement of cavus deformity. 2008.,(SAOJ)SA Orthopaedic Journal,vol 7 numero 3,pp54-58.
- 8 . Desroches A., Pansard E., Denormandie P., Judet T., Traitement des pieds creux varus équin dans la maladie de Charcot Marie Tooth par talectomie. 2013.,Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique volume 99,numero7S page 335.
- 9 . Roper B A., Tibrewal S B., Soft Tissue Surgery In Charcot-Marie-Tooth Disease.1989., J Bone Joint Surg Br ;71(1):17-20.
- 10 . Imad L., La prise en charge du Pied Creux chez l'enfant (a propos de 54 cas), These de Doctorat en Médecine.2015.Université Mohamed V Rabat.
- 11 . Seringe R., Tomeno B., Pied creux. 2014, Ency Médico-chirurgicale 27-060-A- 20. P, Elsevier Masson, p1-p8.
- 12 . Wicart P., et Besse J L. Pied de la maladie de charcot marie tooth in déformation du pied de l'enfant et de l'adulte (A l'exclusion de l'avant pied). 2010 ;cahiers de l'enseignement de la SOFCOT ,Elsevier Masson .
- 13 . Mansoor M A.,Long Term Results Of Surgical Treatment For Pescavus.2001., Original Article, JK-Practitioner;Vol 8 (4): 215-218.
- 14 . ZIRM R.J., Surgery of the pes cavus foot :A historical perspective.1994., Chapitre 40-pdf .
- 15 . Kirkup J., Nicholas Andry et l'orthopédie. 1994., Histoire des Sciences Médicales. , TomeXXVIII- No3
- 16 . Kohler R.,Nicolas Andry de Bois Regard (Lyon 1658 - Paris 1741) the inventor of the word "orthopaedics" and the father of parasitology. 2010. J Child Orthop,V.4(4):349-355.
- 17 . Andry Nicolas (1658-1742)., L'Orthopédie ou l'art de prévenir et corriger dans les enfants, les difformités du corps. Le tout par des moyens à la portées des pères & des mères, & de toutes les personnes qui ont des enfants a élever. 1741., Tome Premier – Second Edition La veuve Alix, Lambert & Durand, Paris.
- 18 . Krzysztof Pietrzak., Andrzej Grzybowski & Jacek Kaczmarczyk., William John Little (1810–1894).2016., Journal of Neurology volume 263, pages1047–1049.

- 19 . AFM ,l'Association Française contre les Myopathies .,La banque de données des mutations du gène DMD (UMD – DMD France), mise a jour 2009,
- 20 . Downey M.S., Cole Osteotomy: In Mc Glamry ED., Banks AS., Downey MS., Comprehensive Text book of 'Foot surgery'.1992., 2ed. Baltimore. williams & wilkins.
- 21 . Banks Alan S.; Downey Michael S.; Martin Dennis E.; Miller Stephen J., McGlamry's comprehensive textbook of foot and ankle surgery(Volume 1). 2001., Published by Lippincott Williams & Wilkins.
- 22 . Groner T W., A Didermenico L., Midfoot Osteotomies for the Cavus Foot .2005. Clin Podiatr Med Surg 22(2):247-64.
- 23 . Brewerton DA., Sandifer PH., Sweetman DR., Idiopathic pes cavus: an investigation into its etiology.1963., British Medical Journal J 2:659-661.
- 24 . Levitt RL., Canale ST., Cooke AJ., et al, the role of foot surgery in progressive neuromuscular disorders in children.1973, The Journal of Bone and Joint Surgery American,55A :1396-1410 Olney.
- 25 . Medhat M.A., et Krantz H., Neuropathic ankle joint in Charcot-Marie-Tooth disease after triple arthrodesis of the foot.1988., Orthopaedic Review Vol. 17, n° 9, pp. 873-880.
- 26 . Wetmore R S., Drennan J C ., Long-Term Results of Triple Arthrodesis in Charcot Marie Tooth Disease.1989., J Bone Joint Surg Am.;71(3):417-22.
- 27 . Ward CM., Dolan LA., Bennett L., Morcuende JA., Cooper RR. Long-term results of reconstruction for treatment of a flexible cavovarus foot in Charcot-Marie-Tooth disease. 2008.; J Bone Joint Surg Am;90A:2631-42.
- 28 . Leeuwesteijn, A E., De Visser E., et Louwerens, J W., Flexible cavovarus feet in Charcot-Marie-Tooth disease treated with first ray proximal dorsiflexion osteotomy combined with soft tissue surgery : A short-term to mid-term outcome study.2010., Foot and Ankle Surgery. Vol. 16, n° 3, pp. 142-147.
- 29 . Faldini C., Traina F. Nanni M., Mazzotti A., Calamelli C., Fabbri D., Pungetti C. et Giannini S. Surgical treatment of cavus foot in Charcot-Marie-tooth disease: a review of twenty-four cases: AAOS exhibit selection. 2015; The Journal of Bone and Joint Surgery American.
- 30 . Sanpera Jr Ignacio., Frontera-Juan Guillem,Julia Sanpera-Iglesias & Corominas-Frances Laura Innovation treatment for pes cavus :a pilot study of 13 children. 2018. ,Acta Orthop,89(6):668-673.
- 31 . Zhen-Yu Chen, Zhan-Yong Wu, Yue-Hui An, Li-Fei Dong, Jia He, and Run Chen . Soft tissue release combined with joint-sparing osteotomy for treatment of cavovarus foot deformity in older children: Analysis of 21 cases . 2019 Oct 26; World journal of clinical cases 7(20): 3208–3216.
- 32 . Schwend RM, Drennan JC. Cavus foot deformity in children. J Am Acad Orthop Surg. 2003.Vol.11(3):201-211.
- 33 . Piat C., Simon V., Huber-Levernieux C. Pied creux de l'adulte Conférences d'enseignement .2008.; Elsevier Masson ; p 97-118.
- 34 . Seringe R., Les malformations congénitales du pied.1999. ; Acta Orthopaedica Belgica Vol. 65-2.
- 35 . Wicart P., Cavus foot, from neonates to adolescents.2012., Orthopaedics & Traumatology:Surgery&Research; 98,813-828 ; ELSEVIER MASSON.
- 36 . Mosca VS , the cavus foot.2001.J Pediatr Orthop;21(4):423-4
- 37 . Paoulos L.,Coleman SS., Samuelson KM. Pes cavus review of surgical approach using selective soft tissue procedures.1980.; The Journal of Bone and Joint Surgery American;62(6):942-953.

- 38 . Burns J,Ouvrier R ,Estilow T, Shy RM., Laura M., Eichinger K., et al
 ,symmetry of foot alignment and ankle flexibility in paediatric charcot marie
tooth disease. 2012 ; Clin Biomech(Bristol,Avon) 27(7):744-7
- 39 . Burns J.,Scheinberg A.,Ryan MM.,Rose KJ.,Ouvrier RA. randomized trial of
botulinum toxin to prevent pes cavus progression in pediatric charcot marie
tooth disease type A1muscle nerve.2010; Clin Biomech(Bristol,Avon)
42(2):262-7
- 40 . Mubarak SJ., Van Valin SE. Osteotomies of the foot for cavus deformities in
children. 2009 ;J Pediatr Orthop;29:294-9.
- 41 . Skre H., Genetic and clinical aspects of Charcot-Marie-Tooth's disease.
1974.,Clin Genet.;6:98-118.
- 42 . Adoukonou T.A., et Mathis S., La Maladie de CHARCOT-MARIE-TOOTH de
TYPE I (CMT1) .2015., african journal of neurological sciences ,AJNS
volume34 numero1.
- 43 . Curvale G., Rochewerger A., Pied creux : Appareil locomoteur.2002., EMC
Sciences Directes ;ELSEVIER Volume 35,Issue 3,Pages 1-13.
- 44 . Combarros O., Calleja J., Polo JM., Berciano J., Prevalence of hereditary motor
and sensory neuropathy in Cantabria.1987.,Acta Neurol Scand.;75:9-12.
- 45 . Wicart P., Seringe R., Plantar opening wedge osteotomy of cuneiform bones
combined with selective plantar release and Dwyer osteotomy for pes
cavovarus in children. 2006; J Pediatr Orthop.;26:100-8.
- 46 . Gasc Marine .,Les pieds bandés ou l'enfer des orteils chinois. 2016.
<http://www.racontemoilhistoire.com/2016/04/pieds-bandes-chinois>
- 47 . Barbet JP., Themes :Orthopedie, Cours :Pied-Embryologie, 2009.,pdf. Collège
National Hospitalier et Universitaire de Chirurgie Pédiatriques, CNHUCP.
- 48 . Meary R., Mattei C.R., Tomeno B., tarsectomie anterieure pour pied creux
 ,indications et résultats lointains ,revue de chirurgie orthopediques
1976 ;62 :231-243
- 49 . Barbet JP., Pathologie Embryo-fœtale.1997., Eds Masson.
- 50 . O'Rahilly R., Bossy J., Muller F., Introduction à l'Etude des Stades
Embryonnaires de l'Homme.1981., Bull Assoc Anat ;Vol 65(189).
- 51 . Olivier G.; Formation du Squelette des Membres.1962.,Edité par Vigot frères.
- 52 . Kawashima T., Uhthoff HK., the Developpment of the Ankle and Foot. In: The
Embryology of the Human Locomotor System.1990.,Springer, Berlin,
Heidelberg; p141-153.
- 53 . Kamina P., Précis d'Anatomie Clinique Précis d'anatomie clinique, tome 1 :
Anatomie générale - Organogénèse des membres - Membre supérieur - Membre
inférieur.2002., Edition Maloine.
- 54 . Kawashima T., Uhthoff HK., Development of Foot in Prenatal Life in Relation
to Idiopathic Club Foot.1990.,J Pediatric Orthop;10(2):237-07.
- 55 . Gardner E., Gray DJ., O'rahilly R., The prenatal Development of the Skeleton
and Joints of the Human Foot.1959., J Bone Joint Surg Am;41-A(5):847-76.
- 56 . Kamina P., Anatomie clinique: Tome 1, Anatomie Générale. Membres .2009., 4
ème édition; p375-565(Ostéologie et Arthrologie du membre inférieur)
.Edition Maloine.
- 57 . Marchessoux C., Système d'acquisition 3D pour le pied humain Traitement du
signal et de l'image [eess.SP].2003.,Université de Poitiers.
- 58 . Drake R L.,Wayne Vogl À., et Mitchell WM A., Gray's Anatomie pour les
étudiants.2006., Elsevier Masson . pp1142.

- 59 . Frasnay M., Les Petits Bobos des Pieds : quels médicaments, dispositifs médicaux et cosmétiques ? . 2010. Thèse de Doctorat d'Etat en Pharmacie. Université de Nantes.
- 60 . Callanquin J., et Labrude P., Les Guides de Pharmathèmes : Traité de Podologie à l'Usage des Praticiens. 2013., Edition PHARMATHEMES .
- 61 . Yabka A., Photos réalisées au Laboratoire d'Anatomie, d'Organogenèse et de Biomécanique à l'Université Libre de Bruxelles (ULB) au mois de Février 2016 par le Pr Yabka Assia MCA en anatomie générale à la faculté de médecine d'Alger.
- 62 . Netter FH., Scott J. et CO Atlas d'Anatomie Humaine (Traduit par Kamina P., et Richer JP.) 7eme Edition. 2019., Elsevier Health Sciences.
- 63 . Jougleux JL., Massé PG., Tranchant CC., Vitamines C, ;B6, K et A : Un rôle préventif sur le métabolisme osseux et ostéoporose. Dossier Thematique; Septembre-Octobre 2006., Métabolismes Hormones Diabètes et Nutrition(X), n°5.
- 64 . White T., Black M., Folkens P., Traité d'Osteologie Humaine .2016., Edition DE BOECK supérieur .
- 65 . Girard M., Le pied de la personne âgée : impact sur la qualité de vie Enquête sur la santé des pieds auprès des personnes âgées de 65 ans et plus. 2016., Thèse de Doctorat en pharmacie , Université de Poitiers.
- 66 . Cléménçon B., Le Role de la Chaussure dans la Prévention des Microtraumatismes du Pied du Sportif. 2012., Thèse de Doctorat , Université de Lorraine.
- 67 . Dimeglio A., Herisson C., Simon L., Le Pied de l'Enfant et de l'Adolescent. 1998., Elsevier Masson.
- 68 . Meziti -Zerhouni L., Guerini H., Pessis E., L'huillier F., Feydy A., Drapé J L., chevrot A., Aponevrose plantaire superficielle ou fascia plantaire superficiel .2017.; Service de Radiologie B CHU Cochin AHPH , Université paris 5.
- 69 . Millies-Lacroix J., Effets du renforcement de la musculature intrinsèque du pied : Intérêt curatif et préventif pour les pathologies micro-traumatiques du pied Revue de la littérature. session 1; 2018-2019 , Mémoire n°1567, Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation. ISTR.
- 70 . Beauthier J P., Beauthier F., Lefèvre P., Traité d'anatomie palpatoire : Membre inférieur et ceinture pelvienne. 2019., Deboeck Supérieur.
- 71 . Delamarche P., Horrut T., Multon F., Nougier V., STAPS : Anatomie, Physiologie, Neurosciences, Biomécanique. 2018., ELSEVIER MASSON.
- 72 . Muscolino Joseph E., Manuel de Palpation osseuses et musculaire : points gachettes , zones de projection et étirements. 2018., 2 Edition; Elsevier Masson.
- 73 . Goldcher A., Abrégés : Podologie. 2012., Edition Elsevier Masson.
- 74 . Cardenas J., Atlas d'Anatomie du corps Humain : Veines du pieds , TLC- Edusoft- Mattel Interactive 2000, Révision médicale Doctissimo, 2015.
- 75 . Antropotomia.univ-tours.fr/v2 /membres /les-membres-inferieurs
- 76 . Bonnel F., Teissier P., Anatomie topographique du pied. 2012. EMC Podologie ; V8, N°4
- 77 . Frank H. Netter, M.D Atlas d'Anatomie Humaine : section VII, membre inférieur (Traduit par Kamina P.). 2017., 5ème Edition Elsevier Masson. pp : 493- 504.
- 78 . Beaudin M T., Arthrodèse Tibio Talo Calcanenne par Enclouage Rétrograde à propos de 60 Cas. 2009. These de Doctorat en Medecine , Université Victor Ségalen Bordeaux II.

- 79 . Stanislas R., 2009. Arthrodèse Tibio-Talo-Calcanéenne par enclouage rétrograde à propos de 60 cas. Thèse de Diplôme d'Etat de Docteur en Médecine. Université Victor Ségalen - BORDEAUX II U.F.R des Sciences Médicales.
- 80 . Benbouzid A., Le Pied du Sportif. 2011.EHS Ben Aknoun-Alger, 18ème Congrès National de la SACOT Oran .
- 81 . VIEL E., Biomécanique des fonctions majeures du pied humain : amortissement, équilibre, propulsion et pivotement Kinésithérapeute,. Ann. Kinésith ér., 1985, t. 12, n° 1-2, pp. 35-49 © Masson, Paris.
- 82 . Benbouzid A., La double arthrodèse dans le traitement des troubles statiques de l'arrière pied. 1987. Thèse de Doctorat . Université d'Alger.
- 83 . Gasq D., Molinier F., Lafosse J M., Physiologie, méthodes d'explorations et troubles de la marche. 2009.
- 84 . Legrain F., Le Locometre®: Analyse des paramètres spatio-temporels de la marche . 2012., Thèse de Diplôme d'Etat de Docteur en Médecine., Université du Droit et de la Santé - Lille 2.
- 85 . Viel E., et al., La Marche Humaine, la Course et le Saut : Biomécanique, explorations, normes et dysfonctionnement. 2000., Elsevier Masson.
- 86 . Tabard R., Diagnostic –Reflexologie plantaire : Diagnostic d'une douleur du pied chez l'adulte. 2015., Profomed.
- 87 . Lopez A.A., Goldcher A., Historique de la Compréhension de la Biomécanique du Pied nu. 2010., EMC, Podologie, 27-010- A-10.
- 88 . Delacroix S., Evaluation des effets cinématiques et dynamiques induits par le port d'orthèses plantaires lors de la marche. 2014., Biomécanique - Université Claude Bernard - Lyon I.
- 89 . Guay M., Anatomie fonctionnelle de l'appareil locomoteur : Os, articulations, muscles. 2005., Presses de l'Université de Montréal. Pp356.
- 90 . Pernot A., Effet de la correction du valgus de l'arrière pied sur les pressions et les surfaces de l'avant pied en statique et en dynamique. Diapos Mémoire. 2013.
- 91 . Benichou M., Les métatarsalgies. 2018. Cours du DIU de chirurgie du pied. Montpellier
- 92 . Seringe R., et Wicart P., Les articulations talo-naviculaire et sous-taliennes : le concept de « bloc calcanéo-pédieux ». 2013. Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique., 99(6):S248-S259.
- 93 . Schuwer F., Villeneuve S., Desenne P., Nouhet B., Villeneuve P., Analyse biomécanique des translations Pelviennes. 1998. Association de posturologie de France.
- 94 . Larramendy F., Interface entre neurones et puces structurées électroniques pour la détection de potentiels d'action. 2013., Université Paul Sabatier - Toulouse III.
- 95 . Mathis S., Corrélations génotype/phénotype dans la maladie de Charcot-Marie-Tooth : l'exemple des mutations du gène INF2. Médecine humaine et pathologie. 2014 ; Université de Limoges.
- 96 . Calvino B., Rivot JP., Peschanski M., Le système Nerveux Végétatif , Lexique Neurobiologie. 1990., Médecine-Sciences; 6:4, MIS n°5 vol.6.
- 97 . Dali M., Modélisation de l'interface entre une électrode multipolaire et un nerf périphérique. Optimisation des courants pour la stimulation neurale sélective. 2017. , Ingénierie biomédicale-Unité de recherche CAMIN. Université de Montpellier.

- 98 . Coget J., Physiologie du Neurone .2009.,CUEEP - Département Sciences ,Université Lille 1, Sciences et Technologies.
- 99 . Avancées de la Recherche dans la maladie de Charcot-Marie-Tooth.2019, Savoir et Comprendre., AFMTéléthon - CMT.
- 100 . St-Jacques R., Corp Humain :Neurone.2017.(<http://corpshumain.ca/Neurone.php>).
- 101 . Zhenzhen You., Etude de la morphologie et de la distribution des neurones dans le cerveau de macaque par microscopie optique.2017., Bio-informatique, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI,Français.
- 102 . Annales corrigées, La communication nerveuse . 2013,Restitution des connaissances,Académie France métropolitaine.
- 103 . Riche C., La polyneuropathie hereditaire du leonberg: caractérisation clinique, électromyographique et génétique. 2006 ;These de doctorat de la faculté de médecine de Créteil ;France.
- 104 . Mackinnon SE., Anatomy and physiology for the perpheral nerve surgeon ,nerve surgery.2014 ; Thieme Medical Publisher
- 105 . Durandeau A., et Tlesions F., Traumatiques des nerfs périphériques (plexus brachial exclu). 2000 ;EMC appareil locomoteur ,15-003-A-10-,12p
- 106 . Banks Alan S.; Downey Michael S.; Martin Dennis E.; Miller Stephen J., McGlamry's comprehensive text book of foot and ankle surgery(1-Volume Set-Third Edition).1992., Published by Lippincott Williams & Wilkins.
- 107 . Stojkovic T., Comment j'examine, Orientation diagnostique et prise en charge du pied creux.2004., Rev.Neurol;160 : 8-9, 859-861.
- 108 . Martyn C.N and Hughes RAC., Epidemiology of peripheral Neuropathy.(1997)., Journal of Neurology .Neurosurgery & Psychiatry 62,310-318.
- 109 . Thomas P.K.,Calne D.B.,and stewart G., Hereditary motor and sensory polyneuropathy (peroneal muscular atrophy) 1974. Ann.Hum.Genet;38,111-153.
- 110 . Dyck P.J., Inherited neuronal degeneration and atrophy affecting peripheral motor ,sensory and autosomic neurons.1975.,in Peripheral neuropathy Philadelphia :Saunders ,vol 2;pp.825-867.
- 111 . Hoogendijk J.E.,Hensels G.W.,Janssen E.A.M.,Valentijn L.J.,Baas F., de Visser M.,et al.,De-novo mutation in hereditary motor and sensory neuropathy type I. 1992., The LANCET (short reports -Volume 339), P1081-1082.
- 112 . Boerkoel C.F.;Takashima H,Garcia C.A.,et al.,Charcot Marie Tooth diseases and related neuropathies :mutation distribution and genotype phenotype correlation . 2002.,Ann.neurol.51;190-201.
- 113 . Sghirlanzoni A., Pareyson D., Scaioli V., Marazzi R., Pacini L., Hereditary Motor and Sensory Neuropathy Type I and Type II.1990., Ital J Neurol Sci ; 11(5):471-9.
- 114 . Bar C., Villéga F., Espil C., Husson M., Pedespan J.M., Rouanet M.F., La neuropathie avec hypersensibilité à la pression.2016., archives de pédiatrie Vol 24, n°3 pages 260-262 .
- 115 . Holmes.JR., ST.Hansen Jr., Foot and ankle manifestations of Charcot Marie Tooth disease.1993.,Foot ankle ; 14:476-486.
- 116 . Lupski J.R., De oca-Luna R M.,Slaugenhaupt S., Pentao L.,Guzzetta V., Trask B.J., Socedo-cardenas O., Barker D F., Killian J M., Garcia C A., Chakravarti A., Patel P I,DNA duplication associated with Charcot Marie Tooth diseases type 1A.1991.,Cell Press;66:219-32 .

- 117 . Lupski JR., Wise CA., Kuwano A., et al., Gene dosage is a mechanism for CMT disease type 1A. 1992., Nat Genet; 1:29-33.
- 118 . Bergoffen J., Scherer S S., Wang S., Scott M O., Bone L J., et al., Connexin mutations in X-linked Charcot Marie Tooth diseases. 1993., Science; 262:2039-42.
- 119 . Ben Othmane K., Hentati F., Lenon F., Ben Hamida C., Blel S., Roses A D., Pericak-Vance MA., Ben Hamida M., Vance JM., Linkage of a locus (CMTA4) for autosomal recessive Charcot Marie Tooth diseases to chromosome 8q . 1993., Hum Mol Genet; 2:1625-8.
- 120 . Barhoumi C., Amouri R., Ben Hamida C., Ben Hamida M., Machghoul S., Gueddiche M., Hentati F., Linkage of a new locus autosomal recessive axonal form of CHARCOT MARIE TOOTH disease to chromosome 8q 2001., Neuromuscular Disord 11; 27-34.
- 121 . Bouhouche A., Benomar A., Birouk N., Mularoni A., Meggouh F., Tassin J., Grid D., Vandenberghe A., Yahyaoui M., Chkili T., Brice A., LeGuern E., A locus for an axonal form of autosomal recessive Charcot Marie Tooth disease maps to chromosome 1q21.2-q21.3. 1999., Am J Hum Genet 65:722-7.
- 122 . Bouysset M., Pathologie Ostéo-articulaire du pied et de la cheville . 2004., Edition springer verlag.
- 123 . Florensa G, Dimeglio A., Etiologies des pieds creux neurologiques de l'enfant. 1987., Edit MASSON: 193-199. Paris . In Echalla H., Prise en charge du Pes cavus chez l'enfant et l'adolescent a propos d'une serie retrospective de 3 cas . 2015., These de Doctorat en Medecine , Université Mohamed V , Rabat – Maroc.
- 124 . Lassale B., Rigault P., Pouliquen JC., La diastématomélie, etude de 21 cas. 1980., Revue de chirurgie orthopédie; 66 :123-140 in Azennoud A., La prise en charge globale du Spina Bifida à l'Hopital d'enfant de Rabat (a propos de 13 cas). 2010., Thèse de Doctorat en Médecine , Université Mohamed V , Rabat – Maroc.
- 125 . Grandmougin A., Duprès R., Filippitzi F., Planel S., Schmitt E., Bracard S., Imagerie des dysraphismes spinaux . 2018., JFR-pdf - Service de Neuroradiologie - CHRU Nancy.
- 126 . Curvale A., Rochwerger A., Pied creux. 2014., Ency Médico-chirurgicale 14-112-A-10, Elsevier Masson, p 1- p 13.
- 127 . Meary R., Le pied creux essentiel, 19e réunion annuelle de la SOFCOT. 1967. Rev Chir Orthop; 53:389-467.
- 128 . Dwyer FC., Osteotomy of the calcaneum for pes cavus. 1959., J Bone Joint Surg Br; 41-B:(1):80-6.
- 129 . Echalla H., Prise en charge du Pes cavus chez l'Enfant et l'Adolescent a propos d'une Série Rétrospective de 38 cas . 2015., These de Doctorat en Medecine , Université Mohamed V , Rabat – Maroc.
- 130 . Wicart P., Pied creux du nouveau né et l'adolescent . 2012., R.C.O.T 98, 728-743.
- 131 . Seringe R., et Besse J L., Wicart P., Déformation du pied de l'enfant et de l'adulte . 2010. Cahiers d'Enseignement de la SOFCOT. Elsevier Masson.
- 132 . Birouk N. La maladie de Charcot-Marie-Tooth. 2009 ; La Presse Médicale. ; 38 :200- 207.
- 133 . Coleman SS. , Chesnut WJ., A simple test for Hindfoot flexibility in the cavovarus foot . 1977., Clin Orthop Relat Res; (123) :60-2.
- 134 . Aminian A., Sangeorzan BJ., The anatomy of cavus foot deformity. 2008., Foot Ankle Clin.; 13(2):191-8.

- 135 . Mann RA., Missirian J., Pathophysiology of Charcot-Marie-Tooth disease.1988., Clin Orthop Relat Res.:(234):221-8.
- 136 . Leal A., Morera B., Del Valle G., Heuss D., et al., A second locus for an axonal form of autosomal recessive Charcot Marie Tooth disease maps to chromosome 19q 13.3. 2001. Am J Hum Genet 68:269-74.
- 137 . Bleton J-P., L'évaluation musculaire manuelle par l'échelle MRC.2013.Kinésithér Scient ;0547:61-62.
- 138 . Lelièvre J .,et Lelièvre J.F ., Pathologie du pied(5ème édition).1981., ELSEVIER MASSON.
- 139 . Metaxiotis D., Accles W., Pappas A., Döderlein L., Dynamic pedobarography (DPB) in operative management of cavovarus foot deformity. 2000.,Foot Ankle Int, 21(11): 935-47;
- 140 . Baudet B., Toullec E., L'Analyse Baropodometrique du Pied Creux Varus. 2009., Entretiens de Bichat .
- 141 . Charles Y P., Axt M., Döderlein L., Evaluation postopératoire du pied creux à l'aide du podobarographe dynamique.2001., Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique; 87: 696-705.
- 142 . Mansat C., Le Cycle de Marche normal..2004., L'Observatoire du Mouvement, L.I N°11.p 1-3.
- 143 . Perry J.,et Burnfield J M., Gait analysis : Normal and Pathological Function.2010., J Sports Sci Med,9(2):353.
- 144 . Saltzman CLI., Fehrt MJ., Cooper RR., Spincer EC., Pensiti IV Triple arthrodesis :Twenty five and four year average follow-up of the same patients.1999. J Bone Joint Surg Am.;81(10):1391-402.
- 145 . Fusco N., Analyse, Modélisation et Simulation de La Marche Pathologique. Sciences du Vivant.2008.Université Rennes II.
- 146 . Serra -Tosio G.,Repères et Mesures en imagerie ostearticulaire,2011.,Imagerie Medicale Pratique;Elsevier Masson.
- 147 . Daguet E., Imagerie du pied et de la Cheville.Dui Podologie.2014.; Présentation , Cabinet de Radiologie.CHU de Dijon.Ss.163.
- 148 . Mirali B., Muayad K., The Orthopedic evaluation of the child.2007.PPT, Published by Eustacia L.
- 149 . Heitz F., Montagne E., Meyer F., Buthiau D., Imagerie Médicale :Radiologie Conventionnelle Sans Produits de Contraste.2005. Collection Reflexes.HdF.
- 150 . Dubois J F., .Le manipulateur d'électro-radiologie médicale : Etude Radiographique du Pied.1968.,La Revue Officielle de l'Association Nationale du Personnel Qualifié d'Electro-Radiologie Médicale N 7 ,PP.13-24.
- 151 . Lelièvre J., Pathologie du pied. Physiologie - Clinique. Traitement médical, orthopédique et chirurgical.1971.,4 Edition ,Masson.
- 152 . Rigault P. le pied creux de l'enfant. Table ronde de la société d'orthopédie de l'ouest, 1998 ; 20 :99-130 :In Imad L.,2015.
- 153 . Delagoutte J P., Pied creux ,éthiopathogénie et approche thérapeutique.2014.,EMC appareil locomoteur vol 9 numero 2 :1-10.
- 154 . Plasse M.C.,Le pied et ses déformations morpho statiques :forme et usure des chaussures .1980.,Ann Kinesither ,7,43-60.
- 155 . Thiebault C M., Sprumont P., L'enfant et le sport : Introduction A Un Traité De Médecine Du Sport Chez L'Enfant. Sciences et pratiques du sport.1998.,De Boeck Supérieur ,p 184.

- 156 . Wicart P., Seringe R., Pieds Creux .DESC de Chirurgie Pédiatrique. Session de Septembre 2009. Collège Hospitalier Universitaire de Chirurgie Pédiatrique,CHUCP.
- 157 . Tullis BL., Mendicino RW., Catanzariti AR., Henne TJ.,The Cole Midfoot Osteotomy: A Retrospective Review of 11 Procedures in 8 Patients.2004.;J Foot Ankle Surg.;43(3):160-5.
- 158 . Deleu P A., et Deschamps K., Pied : Orthèses Plantaires.2015.Faculté de médecine et de médecine dentaire -Service d'orthopédie des Cliniques universitaires. Université Catholique de Louvain.
- 159 . Le Goux P., Orthèses Plantaires :Quelle place dans les Pathologies Mécaniques et Dégénératives des Membres Inférieurs ?.2015., La Revue du Praticien Médecine Générale ;TOME 29 ;N° 940.
- 160 . Ortho-Maine.,Podologie :Catalogue de semelles orthopediques.2006.
- 161 . Paysant J., Appareillage du Pied Neurologique.2017., Institut Régional de Médecine Physique et de Réadaptation de Nancy ;Université de Lorraine-FFPO.
- 162 . Wicart P., Pieds Creux, du Nouveau-Né à L'adolescent : Cavus feet, from newborn to teenager. Conférences d'enseignement .2011., Elsevier Masson SAS, p 173-193.
- 163 . Mosca, V.S., Principles and Management of Pediatric Foot and Ankle Deformities and Malformations.2014., 1st Ed. Lippincott Williams & Wilkins (LWW).
- 164 . Wicart P.,Seringe R., Plantar Opening Wedge Osteotomy of Cuneiforms Bones combined with Selective Plantar Release And Dwyer Osteotomy for Pes Cavovarus in Children.2016., J Pediatric Orth;26(1):100-8.
- 165 . Dendane MA., Khairallah H., Amrani A., Pied Creux de l'Enfant.2018., Revue Marocaine de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique N°77.,RMCOT.
- 166 . D'Astorg H., Wicart P., Glorion C., Seringe R.:Le traitement orthopédique du pied creux varus neurologique est-il efficace ? .2016., Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique; RCOT 102:768-73.
- 167 . Morier A., Kubezyk M., Lallemand A., DE Sousa A., ADAMS D., Mon livret d'auto-rééducation SENSITIVE ET MOTRICE.2017.,Centre Référent Maladies Rares – Hôpitaux Universitaires - Assistance Public Hopitaux de Paris Sud.
- 168 . Dwyer FC., Osteotomy of the calcaneum in the treatment of the grossly everted feet with special reference to cerebral palsy. In : 8e Congrès international de chirurgie orthopédique.1960.; New York. Imprimerie Liepens ; 892 p.
- 169 . Dwyer FC.,The present status of the problem of pes cavus.1975.,Clinical Orthopaedics and Related Research; (106):254-274.
- 170 . Malerba F., De Marchi F., Milani R., HaddoO., Ostéotomie Calcanéen de Réalignement de L'Arrière Pied : In Leemrijse T., Valtin B., Pathologie du pied et de la Cheville.2015.,Masson ; pp.267-278.
- 171 . Mitchell GP. Posterior displacement Osteotomy of the calcaneus.1977., Bone Joint Surg Br; 59(2):233-5.
- 172 . Lintz F., Colombier J.A , Toullec E., Ostéotomie du calcaneum. 2018 .DIU Chirurgie du Pied, Toulouse.
- 173 . Medhat MA, Krantz H., Neuropathic Ankle Joint in Charcot-Marie-Tooth Disease after Triple Arthrodesis of the Foot.1988.,Orthop Rev; 17(9): 873-80.
- 174 . Curvale G, Tracol P, Devred P, Groulier P. Les ostéotomies du calcaneus dans les troubles statiques du pied de l'adulte. In : Claustre J., Simon L., Monographie de podologie : pathologie du talon. éd. Masson, 1986:93-97.

- 175 . Groulier P., Vérola J., Sassoon D., Poitout D., Ostéotomie du calcaneus dans les troubles statiques de l'arrière-pied de l'adulte.1982.SOFCOT,Réunion annuelle.Rev Chir Orthop, 68 (suppl 2):144-147.
- 176 . Lariviere JY., Miladi L., Dubousset JF., Seringe R., Les échecs de l'opération de Dwyer dans le pied creux interne de l'enfant. Considérations physiopathologiques et déductions thérapeutiques.1985., Rev Chir Orthop; 71 : 563-573.
- 177 . Sammarco G J.,et Taylor R.,Cavovarus Foot Treated with Combined Calcaneus and Metatarsal Osteotomies .2001., Foot Ankle Int;22(1):19-30.
- 178 . Lee MC., Sucato DJ., Pediatric Issues with Cavovarus Foot Deformity.2008., Foot Ankle Clinic; 13(2):199-219.
- 179 . De Bodman C., Fournier J., Bonnard C., Brilhault J., Conflit Antérieur de Cheville après Ostéotomie Calcaneenne dans l'Enfance pour Pied Creux Postérieur.2014.Revue de Chirurgie Orthopédique;100S :S69-S73.
- 180 . Wicart P, Seringe R. Ostéotomies du tarse. Encycl. Méd Chir (Elsevier Masson, Paris), Techniques chirurgicales-Orthopédie-Traumatologie, 44-920 ; 2010.
- 181 . Fowler SB, Brooks AL, Parrish TF. The cavovarus feet. J Bone Joint Surg Am 1959; 41: 757.In McGlamry's comprehensive text book of foot and ankle surgery(Volume 1- Fourth Edition).2013., Lippincott Williams & Wilkins.
- 182 . D'Astorg H., Wicart P., Glorion C., Seringe R., Le traitement conservateur du pied cavovarus est-il efficace ?. 2011.Revue de chirurgie orthopédique et traumatologique ;Vol. 97; Elsevier Masson.
- 183 . Gough M., Shortland AP., Could Muscle Deformity in Children with Spastic Cerebral Palsy Be Related to a Impairment of Muscle Growth and Altered Adaptation ?.2012., Dev Med Child Neurol.,545(6):495-9.
- 184 . Viehwenger E.,Jacquemier M.,Launay F.,Giusiano B.,Bollini G., First Cuneiform Osteotomy Alters Hindfoot Architecture.2005., Clin Orthop Relat Res;441:356-65.
- 185 . Sherman FC.,Westin GV., Plantar Release in the Correct of Deformities of the Foot in Childhood. 1981.J Bone Joint Surg Am;63(9):1382-9.
- 186 . Mann DC., Hsu JD., Triple Arthrodesis in the treatment of fixed cavovarus deformity in adolescent patients with CMT Disease.1992.Foot &Ankle;13(1):1-6.
- 187 . G.Parekh S., Foot and Ankle Surgery : Pes Cavus Deformity (Benjamin RW., et Deland JT.).2012.Jaypee Brothers Medical Publisher (P) LTD.pp275-291.
- 188 . McGlamry's comprehensive text book of foot and ankle surgery(Volume 1- Fourth Edition). 2013., Lippincott Williams & Wilkins.
- 189 . McCarthy J J., Drennan J C., Drennan's the Child's Foot and Ankle 2009 Edition Lippincott Williams & Wilkins, 543 pages.
- 190 . Cole WH., The treatment of claw-foot. 1940.J Bone Joint Surg; 22:895-908.
- 191 . Simon A L., Ramamoudjane M., Seringe R., Glorion C., Wicart P., :Evaluation en fin de croissance des résultats de la tarsectomie antérieure de Meary associée à l'ostéotomie de Dwyer dans la reprise en charge du pied creux varus de la maladie de Charcot Marie Tooth.2013., Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique; Volume 99.
- 192 . Sammarco G J.,et Taylor R., Combined Calcaneus and Metatarsal Osteotomies for the Treatment Cavus Foot.2001., Foot Ankle Clin;6(3):533-43.
- 193 . Curvale G., Traitement chirurgical du pied creux .2009. : In Leemrijse T., Besse J L., Bevernage B D.,Valtin B., Pathologie du Pied et de la Cheville.2015. ,2eme Edition, Elsevier Masson.

- 194 . Musculoskeletal Key-Fastest Insight Engine: 50 Japas V-Osteotomy of the Tarsus -Operative Technique.2016.
- 195 . Chiappara P., Verrina F., Dagnino G., Pedroni-Menconi F., Pes Cavus : Treatment by Naviculo-Cuboid Osteotomy.1986., Ital J Orthop Traumatol.;12(3) :353-8.
- 196 . Mark E. Easley., Sam W. Wiesel., Operative Techniques in Foot and Ankle Surgery.2011., edited,Lippincott Williams & Wilkins.
- 197 . Leemjrise T., Graff W., Devos Bevernage B., Gombault V., Maldague P., Deleu P.-A., Notre expérience de la triple arthrodèse de l'arrière-pied.2011., Maîtrise Orthopédique n°204.
- 198 . Santavirta S., Turunen V., Ylinen P., Konttinen YT., Tallroth K., Foot and ankle fusion in Charcot-Marie-Tooth disease.1993., Arch Orthop Trauma Surg;112(4):175-9.
- 199 . Alexander IJ ,Pes Cavus : In Advanced reconstruction foot and ankle ;,Edited by Nunley JA., Pfeffer GB., Sanders RW., Trepman E.2004. Ed 1,pp 495-501 Amercian Academy of Orthopaedic Surgeons ,Rosement.
- 200 . Wukich D K., Bowen R J., A Long Term Study of Triple Arthrodesis for Correction of Pes Cavovarus in Charcot Marie Tooth Disease.1989.J Pediatr Orthop;9(4): 33-437.
- 201 . Morrey BF., GP Wiedeman Jr., Complications and Long-Term Results of Ankle Arthrodesis Following Trauma(A review of sixty patients). 1980., J Bone Joint surgery Am Vol.62(5):777-784.
- 202 . Gouelle A., Développement d'un score de stabilité chez les personnes présentant des pathologiesd'origine neurologique entraînant des troubles de la marche et/ou de l'équilibre.2011., Médecine humaine et pathologie. Université Paris Sud - Paris XI.
- 203 . Auer-Grumbach M., Weger M.,et al., Fibulin-5 mutations link inherited neuropathies, age-related macular degeneration and hyperelastic skin. Brain J Neurol. juin 2011;134(Pt 6:1839-52).In : Protocole National de Diagnostic et de soins (PNDS) Neuropathies héréditaires sensitivomotrices de Charcot-Marie-Tooth Texte du PNDS Mars
- 204 . Japas LM., Surgical Treatment of Pes Cavus by Tarsal V-Osteotomy. Preliminary report.1968., J Bone Joint Surgery Am ; Vol.50(5):927-944.
- 205 . You Zhou, Bingha zhou, junpeng Liu, Xiaokang Tan; Xu Tao, Wan Chen and, Kanglai Tang., A prospective study of midfoot osteotomy combined with adjacent joint sparing internal fixation in treatment of rigid pes cavus deformity.2014., Journal of Orthopaedic Surgery and Research. vol.9:44.
- 206 . Ignacio Sanpera Jr., Guillem Frontera Juan., Julia Sanpera -Iglesias and Laura Corominas-Frances., Innovative treatment for pes cavovarus: a pilot study of 13 children.2018.,journal Acta orthopaedica;volume 89 ,issue 6, pages:668-673.
- 207 . Naudi S., Dauplat G., Seaquet V., Parents S., Mehdi N., Maynou C., Anterior Tarsectomy Long Term Results in Adult Pes Cavus.2009., Orthopaedics Traumatology Surgery Research-OTSR, 95(4):293-300.
- 208 . Gonzalez De Aledo Linos A., et al., Results of Podoscope Screening in 948 Non Selected Children with Special Reference to Cavus Foot.1996.An Esp Pediatr; 45:579-582. :In Echala H.2015.
- 209 . Melka J.,Buscayret C.,Brahin B., Paron M., Vidal J., Traitement Chirurgical du Pied Creux Antérieure ,Troubles Congénitaux et Statiques Du Pied Podologie 2 paris masson (1982),85-89

- 210 . WU Jiang-yan,MEI Haibo,LIU Kun,et al.Wu JY., Mei HB., Liu k., He RG., Tang J., Hu X., Ye WH., the clinical research for idiopathic pes cavus in children with Japas operation.2008., Linchuang Xiaoer Waike Zazhi. 2008;29:11-14.
- 211 . Yan GS,Yang Z,Lu M,Zhu ZH ,Zhang JL,Guoy, cavovarus foot in children : evaluation of deformity and choise of treatment . Linchuang Xiaoer Waike Zazhi. 2015;36:496–500.
- 212 . Protyush Chatterjee., M K Sahu.,A prospective study of Japas' Osteotomy in paralytic pes cavus deformity in adolescent feet .2009.,Indian journal of orthopaedics.,vol 43 issue3:281-5.

Autres références

Références bibliographique sur support électroniques :

Ouvrages et sites référentiels consultés.

- <http://mickaelle.over-blog.com/2016/11/la-mesure-d-excitabilite-neuro-musculaireoutil-d-approche-globale-du-patient.html>
- <https://musculoskeletalkey.com/surgical-treatment-of-cavus-foot/#R12-122>
- <https://academic.oup.com/brain/article/133/10/2838/326012>
- http://corpshumain.ca/les_muscles.php
- <https://fr.scribd.com/document/365664291/Operative-Techniques-in-Orthopaedic-Pediatric-Surgery>
- <http://urologie-fonctionnelle.com/documents/Cours%20anatomie/PIED.pdf>
- <https://tel.archives-ouvertes.fr>
- <https://www.afblum.be/bioafb/neurone/neurone.htm>
- <https://zestedesavoir.com/tutoriels/1332/la-biologie-au-quotidien/comment-sexplique-la-rigidite-cadaverique/lorganisation-structurale-des-muscles-et-des-nerfs/>
- [http://Passeport.univ-lille1.fr/site/biologie:physiologie du neurone](http://Passeport.univ-lille1.fr/site/biologie:physiologie%20du%20neurone)
- <http://www.psychomedia.qc.ca/neurologie/2016-09-18/systemes-nerveux-autonome-et-somatique>
- <http://onclepaul.fr/wp-content/uploads/2011/07/Imagerie-des-dysraphismes-spinaux-JFR-2018.pdf>
- www.peditrans.com
- http://www.chirurgie-cheville-pied.com/media/b_baudet_analyse_baropodomerique_du_pied_creux_bichat_011881500_2011_01022010.pdf
- <http://podologie-biss.fr/podologie-paris09/examen-podologique-paris-09>
- <https://www.ffpo.fr/wp-content/uploads/2017/03/JAP2017-Appareillage-du-pied-neurologique-Pr-PAYSANT.pdf>
- <https://docplayer.fr/3128863-Orthopedie-semiologie-et-traumatologie-de-la-cheville-et-du-pied.html>
- <https://ortho-maine.fr/Catalogue/Podologie%20-%20semelles%20orthop%C3%A9diques>

- <https://thion-medical.com/fr/73-pieds-creux>
- <http://www.sfrm-gemmsor.fr/file/medtool/webmedtool/gemmtool01/botm0033/pdf00012.pdf>
- https://issuu.com/copycentrefmpc/docs/atlas_d_anatomie_humaine_netter
- https://issuu.com/fofazugu77701/docs/0914168940-netter_s_concise_atlas_of_orthopaedic_a
- <http://www.posturologie-essonne.fr/comment/traitements-posturaux/>
- [LAROUSSE encyclopédie en ligne](#)
- <https://posturologie.asso.fr/wp-content/uploads/2017/11/analyse-biomecamique-des-translations-pelviennes.pdf>
- <https://docplayer.fr/6451308-Le-medio-pied-talo-naviculaire-calcaneuscuboide.html>
- www.peditrans.com
- <https://ortho-maine.fr/Catalogue/Podologie%20-%20semelles%20orthop%C3%A9diques>
- <http://medecineegypte.canalblog.com/archives/2014/12/13/31130461.html>
- <https://www.doctissimo.fr/html/sante/atlas/fiches-corps-humain/gaines-tendineuses-pieds-02.htm>
- <https://www.ecoledepodologie.com/images/DIAPOS%20MEMOIRES/2013/PERNOT.pdf>
- <https://www.proformed.fr/actualites/diagnostic-dune-douleur-du-pied-chez-ladulte/>
- http://www.college-chirped.fr/College_National_Hospitalier_et_Universitaire_de_Chirurgie_Pediatrique/Cours_Themes_Orthopedie_files/Pied%20-%20Embryologie%20-%20Barbet%20-%202009-09-2015.pdf
- https://www.researchgate.net/publication/278827436_Evaluation_of_kinematic_and_dynamic_effects_induced_by_foot_orthotics_during_walking
- http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotat-LCXR200802008.htm
- http://www.medecine.ups-tlse.fr/pcem2/physiologie/doc/Physiologie&MethodesExploMarche_P2R.pdf
- <https://books.google.dz/books?id=ObCVDQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q&f=false>
- <https://online.boneandjoint.org.uk/doi/pdf/10.1302/0301-620x.41b1.80?journalCode=bjj>

- https://books.google.dz/books?id=BFPjabOu5noC&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- http://www.descorthopedie.org/diupiedbordeaux2018/29_Osteotomies_Calcaneum_Bordeaux_2018.pdf
- <http://www.smacot.ma/revue/Archives/rmacot%2077.pdf>
- http://corpshumain.ca/les_muscles.php corpshumain.ca
- [https://books.google.dz/books?id=EEJFXUCSxJcC&pg=PA292&lpg=PA292&dq=1998,mosby,cavus+foot+deformity+lester+D%E2%80%99souza++G.&source=bl&ots=rC02ZstMsB&sig=ACfU3U3fNVkY-5H_rK3hOca7BLQX3bve7g&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwix_nkq-7pAhWEA2MBHRejDV4Q6AEwAHoECAoQAQ#v=onepage&q=cavus %20foot%20deformity%20lester%20CD%E2%80%99souza%20%20G%2C&f=false](https://books.google.dz/books?id=EEJFXUCSxJcC&pg=PA292&lpg=PA292&dq=1998,mosby,cavus+foot+deformity+lester+D%E2%80%99souza++G.&source=bl&ots=rC02ZstMsB&sig=ACfU3U3fNVkY-5H_rK3hOca7BLQX3bve7g&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwix_nkq-7pAhWEA2MBHRejDV4Q6AEwAHoECAoQAQ#v=onepage&q=cavus%20foot%20deformity%20lester%20CD%E2%80%99souza%20%20G%2C&f=false)
- https://www.google.dz/search?q=Besse+J+L.,+et+Seringe+R.,+D%C3%A9formation+du+pied+de+l%27enfant+et+de+l%27adulte.2010&client=firefox-b&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=tFJpHDAULH_AJM%253A%252CP2CAhDndsv41xM%252C%252Fg%252F11b7qgybjj&vet=1&usg=AI4_-kQv6GncU-0Lsj-4NhTFwZWjS5MUhg&sa=X&ved=2ahUKEwig9NLkmoLqAhVHxoUKHUoUAHIQ_B16BAgREBA#imgsrc=tFJpHDAULH_AJM:
- https://streaming-canal-u.fmsh.fr/vod/media/canalu/documents/cutms/diu.de.podologie.2014.imagerie.du.pied.et.de.la.cheville_20154/4.daguet.imageriepiedetcheville.pdf
- https://books.google.fr/books?id=vm_TaJD5bUC&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- <https://musculoskeletalkey.com/50-japas-v-osteotomy-of-the-tarsus/>
- http://www.radiologuesassocies.com/media/reperes_osteo_8_cheville_et_pied_052374100_1356_08022017.pdf
- http://www.applis.univ-tours.fr/scd/Medecine/Theses/2014_Medecine_Chattellard_Romain.pdf
- <https://books.google.mv/books?id=yIJftFyw74EC&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q&f=false>

LISTE DES FIGURES

Figures N°	Pages
Figure 01 : Portrait de NICOLAS ANDRY DE BOISREGARD (1658 -1742).	3
Figure 02 : Page, planche et titre du livre "L'Orthopédie».	3
Figure 03 : Arbre d'ANDRY	4
Figure 04 : Portrait de WILLIAM John Little (1810 -1894)	4
Figure 05 : Portrait de STROMEYER de HANOVRE (1804 -1876).	5
Figure 06 : Portrait de Guillaume-Benjamin Duchenne (1806 - 1875) surnommé Duchenne de Boulogne	6
Figure 07 : Aspect des pieds bandés chinois	14
Figure 08 : Première ébauche du pied (vers 33 ^{eme} jours).	15
Figure 09 : Centre de croissance du pied.	16
Figure 10 : Allongement global du pied « rayons des orteils visibles.	16
Figure 11 : Les deux membres inférieurs sont parallèles.	17
Figure 12 : Stade de formation du naviculaire, calcaneus, cuboïde, métatarses et les phalanges.	17
Figure 13 : Vue inférieure d'un embryon au stade 22 (vers 54 j).	18
Figure 14 : Vue dorsales du pied d'un embryon au stade 22 (vers 54 j)	18
Figure 15 : Coupe histologique axiale d'un orteil dans un fœtus vers 16 semaines	19
Figure 16 : Le système vasculaire	20
Figure 17 : Vue plantaire du pied montrant le tarse, métatarse et les phalanges ainsi que le plan des articulations sur une pièce plastinée	22
Figure 18 : Vu latérale des os du pied	23
Figure 19 : Structure du talus.	23
Figure 20 : Schéma du talus.	24
Figure 21 : Vue médiale du calcaneus	25
Figure 22 : Vue latérale du calcaneus	25
Figure 23 : Vue dorsale du calcaneum	26
Figure 24 : Les os du médio pied	26
Figure 25 : Les os de l'avant pied	27
Figure 26 : Squelette du pied avec une vue médiale montrant les structures ligamentaires ; ligament calcaneo naviculaire plantaires	28
Figure 27 : La structure de l'aponévrose plantaire :	28
Figure 28 : Vue antérolatérale du cou-de-pied gauche montrant le plan tendineux	29
Figure 29 : Le muscle court extenseur des orteils	30
Figure 30 : Vue superficielle des muscles intrinsèques du pied	31
Figure 31 : Vue plantaire du muscle carré plantaire et les lombricaux	32
Figure 32 : Les muscles interosseux plantaires et dorsaux	32
Figure 33 : Le muscle psoas iliaque	34
Figure 34 : Le muscle grand fessier et moyen fessier	34
Figure 35 : Le tendon calcanéen	35
Figure 36 : Vue latérale des tendons péroniers et le muscle tibial antérieur	35
Figure 37 : La vascularisation du pied	36
Figure 38 : L'arcade vasculaire dorsale du pied	36
Figure 39 : Les branches de division du nerf cutané sural	37
Figure 40 : Semelle veineuse plantaire de LEJARS	37
Figure 41 : L'articulation sous talienne et transverse du tarse	38
Figure 42 : Illustration des mouvements du calcaneum sous talus	38
Figure 43 : L'articulation talo crurale: vue dorsale(droite) , vue ventrale (gauche	39
Figure 44 : Vue postérieure du pied et de la cheville	40
Figure 45 : L'articulation tarso métatarsienne (articulation de LISFRANC)	41
Figure 46 : Les principales structures cérébrales impliquées dans l'organisation de la	43

	marche	
Figure 47	: Systèmes trabéculaires de la cheville et du pied	43
Figure 48	: Les mouvements du pied en flexion – extension – abduction – adduction	44
Figure 49	: Les mouvements du pied en inversion et en éversion, supination et pronation	44
Figure 50	: La conception des appuis osseux	45
Figure 51	: Les trois arches du pied	46
Figure 52	: La ferme podale de Doncker et Kowalski	47
Figure 53	: La statique et la dynamique du pied	47
Figure 54	: La palette métatarsienne	48
Figure 55	: Répartition des Charges sur le pied	48
Figure 56	: Le bloc calcanéopédieux	49
Figure 57	: L'axe de Henké d'après Calais-Germain	50
Figure 58	: Structure générale du neurone	52
Figure 59	: Structure schématique d'un neurone, indiquant par une flèche le sens de l'influx nerveux	53
Figure 60	: Processus de myélinisation	53
Figure 61	: Les différentes formes de maladie de CMT	54
Figure 62	: Schéma d'une synapse	54
Figure 63	: Morphotype des neurones	55
Figure 64	: Schéma de neurone afférent sensible en T (bleu) et motoneurone efférent (rouge)	55
Figure 65	: Propagation saltatoire de l'influx nerveux	56
Figure 66	: Structure du nerf périphérique	57
Figure 67	: Anatomie microscopique d'une coupe d'une gaine de myéline	59
Figure 68	: Pied creux direct antérieur	66
Figure 69	: Pied creux direct postérieur	66
Figure 70	: Pied creux direct mixte	67
Figure 71	: Physiopathologie dans le plan sagittal	68
Figure 72	: Physiopathologie dans le plan frontal	68
Figure 73	: Physiopathologie dans le plan horizontal	68
Figure 74	: Examen statique sur podoscope d'un pied valgus creux	69
Figure 75	: Pieds plats et creux.	69
Figure 76	: Atrophie musculaire des mains donnant l'aspect de main de singe ou main squelettique	77
Figure 77	: Empreinte baropodométrique statique montrant en rouge la zone d'hyperappui et en bleu la zone où l'appui est faible	78
Figure 78	: Empreintes baropodométriques du pied creux	78
Figure 79	: D'Aristote à Etienne – Jules Marey en passant par Léonard de Vinci ou Giovanni Borelli, la compréhension de la marche n'a cessé de passionner les savants	80
Figure 80	: Représentation du cycle de marche d'après Viel	80
Figure 81	: Les trois principales méthodes d'analyse de la marche	82
Figure 82	: Les principaux paramètres spatiaux du cycle de marche	83
Figure 83	: Mesure de l'angle de Hibbs sur un cliché du pied de profil en charge	89
Figure 84	: Technique de réalisation de l'incidence rétro-tibiale ascendante avec un rayon directeur de 40°-50° montrant le varus calcanéen	92
Figure 85	: Incidence rétro-tibiale descendante avec rayon directeur de 30°-45°	93
Figure 86	: Empreinte plantaire du cavus	95
Figure 87	: Empreinte plantaire normale en charge du pied	95
Figure 88	: Comparaison de l'empreinte plantaire normale avec et celle du pied creux	96
Figure 89	: Les orthèses plantaires	102

Figure 90	: Les orthèses plantaires mécaniques et dégénératives des membres inférieurs	103
Figure 91	: Le type d'orthèses pour pied creux	103
Figure 92	: Appareillage du pied creux neurologique	104
Figure 93	: Traitement moderne du pied creux interne de l'enfant par « Attelle de Perlstein dévillante ».	105
Figure 94	: Botte plâtrée dévillante	105
Figure 95	: Exercices d'auto- rééducation sensitivomotrice des pieds et des mains	107
Figure 96	: Tracé de l'ostéotomie calcanéenne de Dwyer à 45° du plan plantaire	111
Figure 97	: Tracé de l'ostéotomie de Malerba associant un trait vertical et deux traits horizontaux	113
Figure 98	: Les étapes de l'ostéotomie de Malerba	114
Figure 99	: Pied creux postérieur chez un enfant avant la chirurgie montrant un calcaneus très verticalisé	116
Figure 100	: Radio de profil montrant la translation dorsale et postérieure de la grosse tubérosité selon la technique de Mitchell maintenu par un clou de Steinmann	116
Figure 101	: Profil du pied montrant la correction de la pente calcanéenne et consolidation de l'ostéotomie chez un enfant ayant un pied creux	116
Figure 102	: Le fragment provenant de l'ostéotomie de Dwyer servira de greffon à l'ostéotomie des cunéiformes	117
Figure 103	: Les étapes de l'ostéotomie d'ouverture des os cunéiformes	118
Figure 104	: Les étapes de la technique de l'hémiépiphysiodèse dorsale de M1	120
Figure 105	: Libération plantaire élargie par incision médiale plantaire	123
Figure 106	: Ostéotomie extra articulaire de correction du pied creux antéro-interne associant une ostéotomie de Dwyer et une ostéotomie basi métatarsienne de soustraction dorsale	129
Figure 107	: L'ostéotomie du médiopied en chevron selon JAPAS	130
Figure 108	: La réduction de l'ostéotomie de Japas	130
Figure 109	: L'ostéotomie du médio pied selon Chiappara	131
Figure 110	: Procédure de Jones avec transfert de long extenseur de l' hallux sur le col de M1	132
Figure 111	: Triple arthrodèse	136
Figure 112	: Répartition de l'effectif selon la provenance géographique	149

LISTE DES ICONOGRAPHIES

N°	Pages
Icono 01 : Les différentes formes du pied	50
Icono 02 : Pied cavovarus invétéré avec instabilité de la cheville sur maladie de C.M.T démyélinisante type A1	63
Icono 03 : Les différentes composantes de la déformation du pied creux sur Maladie de C.M.T.	73
Icono 04 : Signe du crayon témoignant du creux médial avec exagération de la concavité de l'arche médiale	75
Icono 05 : Signe de Silfverskiold pour évaluer la contracture des gastrocnémiens	76
Icono 06 : Analyse des parametres spatio temporels de la marche par le système GAITRite au laboratoire de marche du CHU TIZI OUZOU	82
Icono 07 : Technique de réalisation d'une radio du pied de profil en charge	85
Icono 08 : Mesure de l'angle de Djian Annonier sur un pied en charge de profil d'un patient âgé de 18 ans avec pied creux sur CMT	86
Icono 09 : Angle de Meary-Tomeno sur un cliché de profil en charge d'une patiente âgée de 14 ans sur pied creux sur CMT	86
Icono 10 : Mesure de l'angle calcaneus -5ème métatarsien	87
Icono 11 : Mesure de l'angle d'attaque de M1 sur un cliché de profil	87
Icono 12 : Evaluation de l'articulation talocrurale et l'arrière pied sur une radio du pied de profil en charge	88
Icono 13 : Mesure de la pente du calcaneus sur un cliché de profil	88
Icono 14 : Mesure de l'angle tibio-talien sur une radio de profil en charge	89
Icono 15 : L'Angle d'ouverture de l'avant pied.	90
Icono 16 : Cheville cerclé de Meary avec varus calcaneen	91
Icono 17 : Cheville cerclé selon la méthode de Meary et de Djian de face en charge	92
Icono 18 : L'empreinte plantaire vue sur un podoscope.	94
Icono 19 : Empreinte podoscopique d'un pied creux neurologique bilatéral grade 3.	96
Icono 20 : Scanner du pied creux sévère sur maladie de C.M.T avec déformation osseuse multiplanare	97
Icono 21 : Radio d'un pied creux direct antérieur	98
Icono 22 : Radio d'un pied creux postérieur	98
Icono 23 : Radio d'un pied creux mixte	98
Icono 24 : L'ostéotomie calcaneenne de valgisation de Dwyer sur une vue postérieure du pied	110
Icono 25 : Tracé de l'incision externe rétro malléolaire pour ostéotomie calcaneenne de Dwyer	111
Icono 26 : Les étapes de l'ostéotomie de valgisation de Dwyer	112
Icono 27 : Individualisation de l'aponévrose plantaire près de l'insertion calcaneenne	122
Icono 28 : Double voie d'abord longitudinale dorsale et interne	125
Icono 29 : Tarsectomie antérieure à base dorsale de Meary	126
Icono 30 : Exposition de l'articulation par la voie d'abord de DUCROQUET	133
Icono 31 : Aspect final de la triple arthrodèse avec résection arthroplastique	135

Icono 32	: Examen de l'arrière pied d'un patient de 16 ans présentant un pied creux sur maladie de C.M.T irréductible confirmé par le block test de Coleman	140
Icono 33	: pied creux antéro-interne sur maladie de C.M.T chez un patient de 16 ans sur une radio de profil en charge illustrant les différents angles caractérisant le pied creux.	141
Icono 34	: Radiographie de profil en charge d'un pied creux neurologique sur maladie de C.M.T (déformation sévère).	142
Icono 35	: Scoliose dorsale avec angle de Cobb de 14,8° chez un patient de 18 ans avec un pied creux neurologique sur maladie de C.M.T	142
Icono 36	: Varus calcanéen sur l'incidence retro tibiale ascendante	143
Icono 37	: Phénotype clinique et radiologique d'un pied creux antero-interne neurologique avec instabilité de la cheville secondaire à une supination du BCP avec rotation externe de la jambe par rapport au pied traduisant le recul de la malléole externe chez un patient âgé de 19 ans	143
Icono 38	: Pied creux cavovarus antéro-interne	144
Icono 39	: pied creux mixte	144
Icono 40	: . Analyse des paramètres spatio-temporels de la marche au « Laboratoire de marche - CHU de Tizi-Ouzou »	146
Icono 41	: résultats de l'étude de marche d'une patiente de 18 ans présentant un pied creux sur maladie de C.M.T en pré et post opératoire	146
Icono 42	: Angle de Meary –Tomeno	161
Icono 43	: Angle de Djian Annonier	162
Icono 44	: Angle tibio talien	163
Icono 45	: Cheville cerclée de Meary	164
Icono 46	: Calcul de la pente calcanéenne	165
Icono 47	: Instabilité de la cheville sur une radio en charge de face	166
Icono 48	: Aspect clinique et radiologique de profil en charge d'un patient âgée de 14 ans avec pied creux antero interne sur maladie de CMT type A1	167
Icono 49	: Aspect clinique et radiologique de profil en charge d'un patient âgé de 19 ans avec pied creux mixte sur maladie de CMT type A1	167
Icono 50	: Aspect effilé avec ostéo condensation talo naviculaire	168
Icono 51	: Ostéo-condensation débutante de la talo-naviculaire avec creux déformant les structures plantaires	169
Icono 52	: Epaississement de l'aponévrose plantaire	169
Icono 53	: Empreinte plantaire sur papier (Podographe) et, sur Podoscope d'une patiente de 17 ans en préopératoire montrant le pied creux	170
Icono 54	: Matériel d'ostéosynthèse utilisée	174
Icono 55	: Les étapes de la réalisation d'une ostéotomie calcanéenne de Dwyer	177
Icono 56	: Les étapes de la réalisation de l'aponevrotomie plantaire	178
Icono 57	: Les étapes de réalisation de la tarsectomie antérieure de Méary	181
Icono 58	: Les étapes de la réalisation de la triple arthrodèse	184
Icono 59	: L'angle de Meary –Tomeno en postopératoire	195
Icono 60	: L'Angle de Djian –Annonier post opératoire	196
Icono 61	: La pente calcanéenne post opératoire	197

Icono 62 : Varus calcanéen résiduel sur la cheville cerclée de Meary postopératoire	198
Icono 63 : L'Angle tibio talien postopératoire	199
Icono 64 : Correction partielle du varus de l'arrière pied clinique et radiologique	200
Icono 65 : Effilement de l'articulation talo-naviculaire après ablation du matériel de synthèse chez un patient âgé de 19 ans	200
Icono 66 : aspect aligné de l'arrière pied traduisant une correction complète de la déformation en post opératoire	204
Icono 67 : Aspect radiologique pré et postopératoire de Angle de Meary -Tomeno	213
Icono 68 : Aspect radiologique préopératoire et postopératoire de l'angle de Djian-Annonier.	214
Icono 69 : Correction de la pente calcanéenne d'un patient âgé de 17 ans	215
Icono 70 : Aspect radiologique préopératoire et postopératoire de l'angle tibio-talien	216
Icono 71 : Aspect radiologique du varus calcanéen en préopératoire et de sa correction en postopératoire sur la Cheville cerclée de Meary	217
Icono 72 : Infection sur désunion cutanée	220
Icono 73 : Saillie de l'agrafe sous la peau au niveau du tarse.	221
Icono 74 : Récidive du varus clinique et, radiologique	221
Icono 75 : Semelles thermoformées	222
Icono 76 : Récidive de la griffe du gros orteil clinique et radiologique	222
Icono 77 : Correction incomplète de la déformation	223

LISTE DES GRAPHES

Graphe N°	Pages
Graphe 01 : Répartition de l'effectif selon l'âge	147
Graphe 02 : Répartition de l'effectif selon le sexe	148
Graphe 03 : Répartition de l'effectif selon le côté de la déformation	148
Graphe 04 : Répartition de l'effectif selon la présence ou non des ATCD familiaux	149
Graphe 05 : Répartition de l'effectif selon l'activité sociale	150
Graphe 06 : Répartition des patients selon l'intervalle chirurgical entre les deux pieds	150
Graphe 07 : Répartition de l'effectif selon l'étiologie	151
Graphe 08 : Répartition de l'effectif selon l'intervalle de temps entre le début de la déformation et la prise en charge chirurgicale	151
Graphe 09 : Répartition de l'effectif selon la difficulté au chaussage	152
Graphe 10 : Répartition de l'effectif selon l'utilisation du tuteur externe	152
Graphe 11 : Répartition de l'effectif selon les lésions associées	153
Graphe 12 : Répartition des patients selon le degré de réductibilité du pied	153
Graphe 13 : Répartition de l'effectif selon le siège de hyperpression	154
Graphe 14 : Répartition de l'effectif selon l'instabilité de la cheville	154
Graphe 15 : Répartition de l'effectif selon le degré de réductibilité de la griffe des orteils	155
Graphe 16 : Représentation de l'effectif selon le type de douleur	155
Graphe 17 : Représentation de l'effectif selon la limitation de l'activité	156
Graphe 18 : Répartition de l'effectif selon le périmètre de marche	156
Graphe 19 : Répartition de l'effectif selon la nature du terrain	157
Graphe 20 : Répartition de l'effectif selon les troubles de la marche	157
Graphe 21 : Répartition de l'effectif selon la mobilité sagittale	158
Graphe 22 : Répartition selon la mobilité de l'arrière pied	158
Graphe 23 : Répartition de l'effectif selon la stabilité de l'arrière pied	159
Graphe 24 : Répartition de l'effectif selon l'alignement du pied	159
Graphe 25 : Répartition de l'effectif selon test de réductibilité de l'arrière pied	160
Graphe 26 : Répartition de l'effectif selon l'angle de Meary-Tomeno	161
Graphe 27 : Répartition de l'effectif selon l'angle de Djian Annonier	162
Graphe 28 : Répartition de l'effectif selon l'angle tibio talien	163
Graphe 29 : Répartition de l'effectif selon le degré de déviation en varus mesuré sur la cheville cerclée de Meary	164
Graphe 30 : Répartition de l'effectif selon l'angle de la pente calcanéen	165
Graphe 31 : Répartition des pieds selon la stabilité de la cheville	166
Graphe 32 : Répartition des pieds creux selon le stade d'arthrose	168
Graphe 33 : Répartition des patients selon le type de pieds creux	170
Graphe 34 : Répartition de l'effectif selon le type d'anesthésie	172
Graphe 35 : Répartition de la durée d'intervention chirurgicale	172
Graphe 36 : Répartition de l'effectif selon la durée de l'intervention chirurgicale	173
Graphe 37 : Répartition de l'effectif selon les différentes voies d'abord pratiquées	174
Graphe 38 : Aponévrotomie plantaire superficielle	186
Graphe 39 : Allongement du tendon calcanéen	186
Graphe 40 : La Tarsectomie antérieure	187
Graphe 41 : L'Ostéotomie de valgisation de Dwyer	187

Graphe 42 : L'Ostéotomie de relèvement de M1	188
Graphe 43 : La Triple arthrodèse	188
Graphe 44 : La Résection arthroplastique avec une arthrodèse inter phalangienne	189
Graphe 45 : Répartition de l'effectif selon la douleur en post opératoire	190
Graphe 46 : Répartition de l'effectif selon la limitation de l'activité en post opératoire	190
Graphe 47 : Répartition de l'effectif selon le périmètre de marche en post opératoire	191
Graphe 48 : Répartition de l'effectif selon la nature du terrain en post opératoire	191
Graphe 49 : Répartition de l'effectif selon des troubles de la marche post opératoire	192
Graphe 50 : Répartition de l'effectif patient selon la mobilité sagittale	192
Graphe 51 : Répartition de l'effectif pied selon la mobilité de l'arrière pied postopératoire	193
Graphe 52 : Répartition de l'effectif pied selon la stabilité de l'arrière pied postopératoire	193
Graphe 53 : Répartition de l'effectif selon l'alignement du pied en postopératoire	194
Graphe 54 : Répartition de l'effectif selon l'angle de Meary- Tomeno	195
Graphe 55 : Répartition selon l'angle de Djian-Annonier	196
Graphe 56 : Répartition de l'effectif postopératoire selon l'angle de la pente calcanéenne	197
Graphe 57 : Répartition de l'effectif selon le calcul du varus calcanéen	198
Graphe 58 : Repartition de l'effectif selon l'angle tibio talien post operatoire	199
Graphe 59 : Les différents types d'empreinte plantaire sur podoscope en post opératoire	201
Graphe 60 : Répartition des patients selon des résultats thérapeutique suivant la Classification de Wicart et Seringe	203
Graphe 61 : Répartition des patients selon la Classification de PAOULOS	204
Graphe 62 : Etat comparatif de la douleur en pré et au dernier recul	205
Graphe 63 : Etat comparatif de la limitation de l'activité en pré et post opératoire	206
Graphe 64 : Etat comparatif du périmètre de marche en pré et post opératoire	207
Graphe 65 : Etat comparatif de la nature du terrain en pré et en post opératoire	207
Graphe 66 : Etat comparatif des troubles de la marche en pré et en post opératoire	208
Graphe 67 : Etat comparatif de la mobilité sagittale en pré et en post opératoire	209
Graphe 68 : Etat de la mobilité de l'arrière pied en pré et en post opératoire	210
Graphe 69 : Etat comparatif de la stabilité de l'arrière pied en pré et en post opératoire	210
Graphe 70 : Etat comparatif de l'alignement du pied en pré et en post opératoire	211
Graphe 71 : Etat comparatif de la répartition de l'effectif selon l'angle de Meary - Tomeno	213
Graphe 72 : Etat comparatif de la répartition de l'effectif selon l'angle de Djian-Annonier	214
Graphe 73 : Etat comparatif de la pente calcanéenne en pré et en post opératoire	215
Graphe 74 : Etat comparatif de l'angle tibiotalien en pré et en postopératoire	216
Graphe 75 : Etat comparatif du varus calcanéen selon la cheville cerclé de Meary-Tomeno	217
Graphe 76 : Etat comparatif de l'empreinte plantaire en préopératoire et postopératoire	218

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°	Pages
Tableau 01 : Les muscles dorsaux	30
Tableau 02 : Les muscles plantaires latéraux	31
Tableau 03 : Les muscles plantaires intermédiaires	31
Tableau 04 : Les muscles plantaires médiaux	32
Tableau 05 : les paramètres spatio-temporels des patients pris en charge en Préopératoire	171
Tableau 06 : les paramètres spatiotemporels des patients pris en charge en post opératoire	202
Tableau 07 : L'évaluation qualitative des patients suivant les critères de Japas	203
Tableau 08 : Critères fonctionnels subjectifs postopératoire	212
Tableau 09 : Comparaison des paramètres spatio-temporels des patients avant et après chirurgie	219
Tableau 10 : Corrélation du facteur sexe avec les différentes séries	224
Tableau 11 : Corrélation du facteur âge avec les différentes séries	224
Tableau 12 : Corrélation des différents types de neuropathies avec les séries confrontés	225
Tableau 13 : Corrélation des ATCD familiaux de la série avec celle de l'étude de Gonzales de Aledo	225
Tableau 14 : Corrélation des signes cliniques de la série avec les séries confrontés	225
Tableau 15 : Corrélation entre le délai d'apparition de la déformation et la prise en charge avec les séries confrontées	226
Tableau 16 : Comparaison du score AOFAS en pré et post opératoire	226
Tableau 17 : Corrélation des critères subjectifs de notre série avec les séries de la littérature	227
Tableau 18 : Corrélation des angles radiologiques de la série avec les séries confrontés	227
Tableau 19 : Corrélation de la correction du varus calcanéen de la série avec les séries comparées	227
Tableau 20 : Comparaison du stade d'arthrose de la série avec les autres séries confronté	228
Tableau 21 : Comparaison des paramètres spatio temporels des patients pris en charge avant et après chirurgie	228
Tableau 22 : Comparaison de l'empreinte plantaire avant et après chirurgie	229
Tableau 23 : Comparaison des critères de JAPAS de la série avec la série de Yu Zhou	229
Tableau 24 : Comparaison des la classification de Wicart et Seringe de la serie avec des series confrontés	230
Tableau 25 : Criteres d'évaluation de Paoulos	230
Tableau 26 : Comparaison des résultats des différentes combinaisons chirurgicales de la serie avec les résultats confrontés pour les pieds creux flexibles	231
Tableau 27 : Comparaison des résultats des différentes combinaisons chirurgicales de la serie avec les résultats confrontés pour les pieds creux rigides	232
Tableau 28 : Comparaison des résultats des différentes combinaisons chirurgicales de la serie avec les résultats confrontés pour les pieds creux rigides et instables	233
Tableau 29 : Comparaison de complications trouvées dans la serie avec les series de la littérature	234

L - ANNEXES

Ankle-Hindfoot Scale (100points Total)

I Pain (40 points)

None	40
Mild, occasional	30
Moderate, daily	20
Severe, almost always present	0

II Function (50 points)

Activity limitations, support requirement	
No limitations, no support	10
No limitation of daily activities, limitation of recreational activities, no support	7
Limited daily and recreational activities, cane	4
Severe limitation of daily and recreational activities, walker, crutches, wheelchair, brace	0

Maximum walking distance, blocks	
Greater than 6	5
4-6	4
1-3	2
Less than 1	0

Walking surfaces	
No difficulty on any surface	5
Some difficulty on uneven terrain, stairs, inclines, ladders	3
Severe difficulty on uneven terrain, stairs, inclines, ladders	0

Gait abnormality	
None, slight	8
Obvious	4
Marked	0

Sagittal motion (flexion plus extension)	
Normal or mild restriction (30° or more)	8
Moderate restriction (15°-29°)	4
Severe restriction (less than 150)	0

Hindfoot motion (inversion plus eversion)	
Normal or mild restriction (75%-100% normal)	6
Moderate restriction (25%-74% normal)	3
Marked restriction (less than 25% normal)	0

Ankle-hindfoot stability (anteroposterior, varus-valgus)	
Stable	8
Definitely unstable	0

III Alignment (10 points)

Good, plantigrade foot, midfoot well aligned	15
Fair, plantigrade foot, some degree of midfoot malalignment observed, no symptoms	8
Poor, nonplantigrade foot, severe malalignment, symptoms	0

Total=100

Service Traumatologie - Orthopédie

Nom : Prénom : Age : Profession :
 Domicile : Médecin traitant : Date d'entrée :
 DEBUT DE LA MALADIE :
 ANTECEDENTS :
 DIAGNOSTIC :

GAUCHE

BILAN MUSCULAIRE

DROIT

DATES

DATES

				RACINE	MOUVEMENT	MUSCLES	NERF			
OMOPLATE				C 4 . 5 . 6 .	Abd. + rot. sup.	Grand dentelé	Pl. brach.			
				C 2 . 3 . 4 .	Adduction	Rhomb. angulaire	Pl. cerv.			
				X I	Relever	Trapèze	Spinal			
				X I	Abaïsser	Trapèze	Spinal			
EPAULE				C 5 - C 6 C 6 - C 7	Antépulsion	Deltoïde Coraco brachial	Circonf. l. M. Cut.			
				C 5 . 6 . 7 .	Rétropulsion	Gr. Rond - Gr. dorsal	Pl. brach.			
				C 5 - C 6	Abduction	Diet. sus-épineux	Circonf. l.			
				C 5 - D 1	Adduction	Grand pectoral	Pl. brach.			
				C 4 - C 6	Rot. ext.	Sous-épineux Pt rond	Pl. brach. Circonf. l.			
				C 4 - C 8	Rot. int.	Sous-scapulaire Gr. Dorsal - Gr. Rond	Pl. brach.			
COUDE				C 5 . 6 . 7 .	Flexion	Biceps - Radial ant. Long supinateur	Mus. cut. Radial			
				C 7		Triceps	Radial			
				C 5 . 6 . 7 .	Supination	Biceps - Ct. supin.	M. Cut. ant.			
				C 6 - C 7 C 7 . 8 - D 1	Pronation	Rond pronateur Carré pronateur	Médian			
POIGNET				C 6 . 7 . 8 .	Flexion	Grand palmaire Cubital antérieur	Médian Cubital			
				C 6 . 7 . 8 .	Extension	1 ^{er} - 2 ^e Rad. Cub. Postérieur	Radial			
DOIGTS				C 8 - D 1	Flex. M. Phal.	Lombri-caux	Médian			
				C 7 . 8 - D 1	Flex. I. Phal. P.	Fléch. Superficiel	Médian			
				C 7 . 8 - D 1	Flex. I. Phal. D.	Fléch. prof.	Cubital			
				C 7	Ext. Mét. Phal.	Ext. Commun	Radial			
				C 8 - D 1	Ext. Int. Phal.	Inter-osseux	Cubital			
				C 8 - D 1	Abduction	Inter-osseux dorsal	Cubital			
				C 8 - D 1	Adduction	Inter-osseux palm.	Cubital			
POUCE				C 8 - D 1	Flex. Mét. Phal.	Court fléchisseur	Cubital			
				C 7 . 8 - D 1	Flex. Int. Ph.	Long fléchisseur	Médian			
				C 7 - C 8	Ext. Mét. Ph.	Court extenseur	Radial			
				C 7 - C 8	Ext. Int. Ph.	Long extenseur	Radial			
				C 7 - C 8	Abduction	Court abducteur	Médian			
				C 8 - D 1		Long abducteur	Cubital			
				C 8 - D 1	Adduction	Adducteur 1 ^{er}	Cubital			
				C 7 . 8 . D 1	Opposition	Opposant	Médian			

DROIT

BILAN MUSCULAIRE

GAUCHE

DATES

DATES

			RACINE	MOUVEMENT	MUSCLES	N. RF			
COU			C 2 - C 4	Flexion	Sterno-cléido-mast.	Plexus cerv.			
			XI	Extension	Trapeze	N. spinal			
TRONC			D 6 - L 1	Flexion	Droit antérieur	N. inter-cost.			
			D 1 - S 3	Extension	Masse sacro. lomb. Long dorsal	Inter. cost.			
			D 6 - L 1	Rotation	Gr. Et Pt oblique				
			C 3 - C 5	Diaphragme		Phrénique			
			D1 - D 11	Intercostaux					
			D 6 - D 1	Transverse					
			D 12 - L 2	Carré lombes		Pl. lombaire			
HANCHE			L 1. 2. 3. 4. L 3 - L 4	Flexion	Psoas Droit antérieur	Plexus lomb. Crural			
			L 5 - S 1. 2.	Extension	Grand fessier	Plexus sacré Fessier inf.			
			L 4. 5 - S 1.	Abduction	Moyen fessier	Fessier sup.			
			L 2. 3. 4-S1	Adduction	Add. pédiné Dr. antérieur	Crural Obturbateur			
			L 4. 5 - S1	Rotation ext.	Obt. Carré crural Pyramidal-Jumeaux	Obturbateur Plexus sacré			
			L 4. 5 - S1	Rot. interne	Petit fessier	Fessier sup.			
			L 2 - L 3	Flexion abd.	Couturier	Crural			
			L 5 - S 1	Rot. Externe	Tenseur facia lata	Fessier sup.	Dt	Gche	
GENOU			L 4. 5 - S1 S 2 - S 3	Flexion	Isch. jambier Biceps ½ membraneux ½ tendineux	Crural Sciatique			
			L 2. 3. 4.	Extension	Quadriceps	Crural			
TIBIO TARSIEENNE			L4. 5 - S1. 2	Flex. plant.	Triceps jumeaux soléaire	Sciat. Pl. int. Tib. post.			
			L 4 - L5	Flex. dors.	Jambier antérieur	S. p. e.Ti. ant.			
			L 5 - S 1	Varus en flex. plant.	Jambier postérieur	Sc. Popl. int. Tib. post			
			L 4. 5 - S 1	Valgus en flex. plant.	Péron. Lat.	Sc. Popl. ext. Tib. ant.			
ORTEILS			L 5 - S 1	Flex. orteils	Lg ct. flechis.	Sc. Popl. int.			
			L 5 - S 1. 2	Fle gros ort.	Lg. Ct. Fl. propres	Sc. Popl. int.			
			L 4. 5 - S 1	Ext. orteils	Ext. Com. des ort.	Sc. Popl. ext.			
			L 4. 5 - S 1	Ext. Gros ort.	Ext. Propre gr. ort.	Sc. Popl. ext.			

Classification de Wicart et Seringe

Tableau 1

Évaluation du résultat du traitement du pied cavovarus en fin de croissance [8]

Résultat	Symptômes	Examens clinique et radiographiques
Très bon	Aucun	VG et $0^\circ \leq \text{angle de Méary} \leq 15^\circ$ ou N ou VR et $0^\circ \leq \text{angle de Méary} \leq 5^\circ$
Bon		VG et $15^\circ < \text{angle de Méary} \leq 20^\circ$ ou N et $5^\circ < \text{angle de Méary} \leq 20^\circ$ ou VR et $5^\circ < \text{angle de Méary} \leq 15^\circ$ ou $-15^\circ \leq \text{angle de Méary} < 0^\circ$ (hypercorrection mineure)
Moyen		VG ou N et angle de Méary $> 20^\circ$ ou VR et angle de Méary $> 15^\circ$ ou angle de Méary $< -15^\circ$ (hypercorrection majeure)
Mauvais	Douleur ou entorse	Récidive de la déformation nécessitant une triple arthrodèse

Axe du talon : VG = valgus, N = neutre, VR = varus.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Classification de Wicart et Seringe

Tableau 5 : Classification de Paulos [35]

Résultats	Description
Très bons	Disparition complète des déformations.
Bons	Lorsqu'il persiste une chute réductible du premier métatarsien
Assez bons	Lorsqu'il persiste une chute irréductible du 1er métatarsien
Moyens	S'il persiste un varus de l'arrière pied, une déformation des orteils
Mauvais	Si aucune amélioration n'a été obtenue ou que les déformations ont récidivé ou se sont aggravées, ou encore si le pied est hypercorrigé.

	Fiche d'exploitation du patient ou fiche technique
	Traitement chirurgical du pied creux neurologique d'une population de 7-19 ans
Données préopératoire	
1)	Etat civil
	Numéro du dossier :
	Nom : Prénom :
	Age : Sexe
	Origine :
	Cote : droit : gauche : bilatéral :
2) ATCD	
	*Personnels
	-Age de diagnostique
	-Age de prise en charge
	-scolarisation : oui non
	-Pathologie associés :
	-Activité sportif : oui non :
	-Activité : actif : non actif :
	*Familiaux
	-Cas similaires dans la famille : père : frere :
	Sœur : autre :
	-Hérédité
3) Examen	
	*Interrogatoire
	-Motif de consultation
	Douleur du medio pied
	Trouble de la marche
	Fatigabilité
	Notion de chute
	Difficulté au chaussage
	Orthèses : oui : non :
	*Examen physique
	-En décharge :
	Etat de l'aponévrose plantaire
	Identifier les zones de conflits
	Hyperlaxité ligamentaire

	Bilan articulaire :	flexion :	extension :
		Inversion :	éversion :
	Bilan neurologique :	Sensibilité superficielle :	
		Sensibilité profonde :	
		Reflexes :	
		Testing musculaire :	
	Examen vasculaire		
	Examen des chaussures :	usée :	non usée :
	Examen général des membres inférieurs et supérieurs.		
	-En charge		
	Boiterie (steppage)		
	Tuteur externe :	oui :	non :
	Torsion hélicoïdale du membre inférieur :	oui :	non :
	Existence de la griffe :	réductible :	non réductible :
	Détaxation du membre inférieur :	oui :	non :
	Voussure du medio pied		
	Examen de l'assise talonnière :	varus :	valgus :
	Instabilité de l'arrière pied :	oui :	non :
	Saillie des tendons extenseurs :	oui :	non :
	Forme du pied :	carre :	égyptien : grec :
	Test de Coleman :	réductible	non réductible :
	Signe du crayon :		
	Empreintes plantaires : podoscope :	type1 :	type2 : type3 :
	Délai entre le diagnostic et la prise en charge		
	4) Bilan radiologique :		
	Cliché de face et profil en charge avec calcul des angles		
	Cheville cerclée de Meary		
	Incidence retro tibiale ascendante ou descendante		
	Echographie des parties molles		
	EMG		
	Scanner du pied/IRM		
	5) bilan instrumental :		
	étude de la marche pour apprécier les paramètres spatiotemporelles		
	Evaluation préopératoire		
	*évaluation clinique objectifs par le score d'AOFAS et subjectifs		
	*évaluation radiologique par le calcul des angles et la classification de l'arthrose de Morrey et Weidman		

	*évaluation instrumentale par l'étude de marche		
	*évaluation de l'empreinte plantaire		
6) L'intervention			
	Type d'anesthésie :	A/G :	rachianesthésie :
	Durée d'intervention		
	Voies d'abord		
	Garrot :	oui :	non :
	Type de traitement		
	-Chirurgie des parties molles		
	Libération plantaire :	oui :	non :
	Procédures tendineuses : allongement du tendon d'Achille :		
	Oui :	non :	
	-Chirurgie osseuse extra-articulaire		
	Ostéotomie calcanéen type Dwyer :	oui :	non :
	Ostéotomie de relèvement de M1 :	oui :	non :
	-Chirurgie articulaire		
	Tarsectomie antérieure :		
	-Triple arthrodèse		
	-Chirurgie de la griffe des orteils :	oui :	non :
	Résection arthroplastique :	oui :	non :
	Type d'implant :	agraffe :	broches :
	Grefe osseuse :	oui :	non :
	Incidents per opératoire :		
	Mobilité en fin d'intervention :		
	Plâtre :	type :	durée :
7) état post opératoire précoce			
	Soins post opératoire		
	Antibiothérapie :	oui :	non :
	Antalgiques :	oui :	non :
	Anticoagulant :	oui :	non :
	Changement de pansement et drainage		
	Données post opératoire : Résultat au dernier recul		
	Le recul		
	Evaluation clinique		
	-subjectifs		
	-score AOFAS		
	Evaluation radiologique		

	Calcul des angles radiologiques par les différentes incidences
	Evaluer l'arthrose par la classification de Morrey –Weidman
	Evaluation instrumentale : étude de marche
	Empreinte plantaire par le podoscope
	Evaluation thérapeutique
	Consolidation
	Complications :
	- Précoce ; infection ; hématome
	- Secondaire : désunion de suture
	-Tardives : algodystrophie-récidive du varus et de la griffe des orteils
	-Etats du matériel : migration : oui non :
	-récidive
	Ablation de matériel de synthèse Rééducation fonctionnelle
	Appuis
	Reprise du travail ou la scolarité
	Reprise du sport
	Conflits avec les chaussures
	Reprise chirurgical
	Pour ablation de matériel
	Pour récidive de la déformation

الخلاصة

العنوان: العلاج الجراحي للقدم المجوفة العصبية لمجموعة أفراد تتراوح أعمارهم ما بين 7 و 19 سنة.

المؤلف: حمراني هجيرة

الأهداف: القدم المجوفة العصبية هي تشوه نادر ومعقد ومتعدد المستويات للوتيرة التقدمية التي يمكن أن تصل في بعض الأحيان إلى حد الإعاقة بسبب تنكس التهاب المفاصل. هذا التشوه هو ثانوي لاعتلال الأعصاب الحسي الحركي الوراثي المحيطي ، وأكثر أشكاله شيوعاً هو C.M.T A1 (Charcot Marie Tooth).

العنصر البادئ هو عدم توازن العضلات الداخلية لصالح العضلات الباسطة. ناعمة ومرنة في البداية ، ستصلب بالتدريج ، وتصبح ثابتة وغير قابلة للاختزال عن طريق سحب العناصر المحفوظة والعضلية والرباطية واللفافية وتصبح معقدة تجاه عدم استقرار الكاحل الذي سيكون مصدراً لالتواء الكاحل و بالأحرى التهاب المفاصل. تم اقتراح العديد من التركيبات الجراحية و التي تعتمد مؤشراتها على السن، المسببات ، القدرة التطورية أو عدم اعتلاله العصبي ، و موقع التشوه ، و درجة الاختزال. الهدف من هذه الدراسة هو تقييم مساهمة العلاج الجراحي في القدم المجوفة العصبية.

المعدات و الأساليب: هذه دراسة وصفية طولية ومتعددة المراكز ومستقبلية لسلسلة من 29 مريضاً يبلغ مجموعهم 52 قدمًا ، يعالجون من القدم المجوفة العصبية لمجموعة عمرية تتراوح بين 7 و 19 عامًا داخل قسم جراحة العظام والكسور بللمستشفى الجامعي بنيزي وزو بين يونيو 2017 ومارس 2020. خضع 14 مريضاً لتركييب جراحي يضم اللفافة الأخمصية ، وتمديد وتر العرقوب واستئصال الغشاء الأمامي ، وخضع 06 مرضى لفصل مفصلي ثلاثي (Triple Arthrodes) يرتبط أحياناً بتمديد وتر العرقوب واستئصال مفاصل إصبع القدم و تم إجراء عملية قطع العظم بتقنية دواير (Ostéotomie de Dwyer) لـ 09 مرضى المرتبطة بلفافة أخمصية (Aponévrotomie plantaire) مع امتداد لوتر العرقوب (Allongement du Tendon d'Achille) أحياناً. تم تقييم المرضى وظيفياً بشكل موضوعي من خلال درجة AOFAS والشخصية والإشعاعية والفعالة من خلال دراسة المعلومات المكانية و الزمانية للمشية وكذلك التقييم العلاجي.

النتائج: التحسن الوظيفي للقدم الذي تم تقييمه من خلال درجة AOFAS مرضية في 89.6 ٪ من الحالات ، وبالتالي مدعومة بالقياسات الإشعاعية ودراسة المعلومات المكانية الزمانية للمشي. القدم المجوفة العصبية خطر تكرار التشوه بسبب تطور اعتلالها العصبي المحيطي لكونها تعتمد على التقدم الطولي المعتمد.

الكلمات المفتاحية: القدم المجوفة العصبية - الطول التقدمي المعتمد - التركيبات الجراحية - متعدد المستويات - خلل في العضلات الداخلية.

Résumé

Titre : Traitement chirurgical du pied creux neurologique pour une population de 7-19ans

Auteur : Houmrani Hadjira

Objectifs : le pied creux neurologique est une déformation rare, complexe et multiplanaire d'allure progressive pouvant aller parfois jusqu'à l'invalidité du fait de la dégénérescence arthrosique. Cette déformation est secondaire à une neuropathie héréditaire périphérique sensitivo- motrice dont la forme la plus fréquente est la C.M.T A1.

L'élément initiateur est le déséquilibre des muscles intrinsèques au profit des muscles extenseurs. Souple et flexible au début, elle va progressivement s'enraidir, se fixer et devenir irréductible par rétraction des éléments capsulaires, musculaires, ligamentaires et aponévrotiques et se compliquer vers une instabilité de la cheville qui sera source d'entorses de la cheville voir une dégradation arthrosique.

Plusieurs combinaisons chirurgicales sont proposées et leurs indications dépendent de l'âge, de l'étiologie, du potentiel évolutif ou non de sa neuropathie, du siège de la déformation et, du degré de réductibilité.

Le but de cette étude est d'évaluer l'apport du traitement chirurgical dans le pied creux neurologique.

Matériels et méthodes : Il s'agit d'une étude descriptive longitudinale, multicentrique et prospective d'une série de 29 patients totalisant 52 pieds, pris en charge pour pied creux neurologique pour une population de tranche d'âge comprise entre 7 et 19 ans au sein du service de chirurgie orthopédique et traumatologique du Centre Hospitalo-Universitaire de Tizi-Ouzou entre les mois de juin 2017 et Mars 2020.

14 patients ont subi une combinaison chirurgicale comprenant une aponévrotomie plantaire, un allongement du tendon d'Achille et une tarsectomie antérieure, 06 patients ont subi une triple arthrodèse associée parfois à un allongement du tendon d'Achille et des résections arthroplastiques des griffes des orteils et, 09 patients ont été opérés par une ostéotomie de Dwyer associée à une aponévrotomie plantaire avec parfois un allongement du tendon d'Achille.

Les patients ont été évalués sur le plan fonctionnel de façon objective par le score de l'AOFAS et subjective, radiologique et instrumentale par l'étude des paramètres spatio-temporels de la marche ainsi qu'une évaluation thérapeutique.

Résultats : L'amélioration fonctionnelle du pied évaluée par le score de l'AOFAS est satisfaisante dans 89,6% des cas, appuyé ainsi par des mesures radiologiques et l'étude des paramètres spatio-temporels de la marche.

Le pied creux neurologique présente un risque de récurrence de la déformation du fait de la progression de sa neuropathie périphérique car elle est longue dépendante.

Mots clés : pied creux neurologique - progressive -longue dépendante - combinaisons chirurgicales - multiplanaire - déséquilibre des muscles intrinsèques.

Summary

Title: surgical treatment of neurological hollow foot for a population of 7-19 years

The neurological hollow foot is a rare, complex and multiplanar deformation of progressive pace which can sometimes go as far as disability due to arthritis degeneration. This deformation is secondary to a hereditary peripheral sensory-motor neuropathy, the most frequent form of which is C.M.T A1 and which the initiating element is the imbalance of the intrinsic muscles in favor of the extensor muscles. Soft and flexible at the start, it will gradually harden, become fixed and become irreducible by retraction of the capsulo musculo ligamento aponeurotic elements and is complicated by ankle instability which will be a source of ankle sprains or even arthritis degradation.

Several surgical combinations or combined surgical procedures have been proposed and their indications depend on the age, etiology, whether or not his neuropathy is progressive and the site of the deformity.

The aim of this study was to assess the contribution of surgical treatment to the neurological hollow foot (Pes cavus).

Materials and methods: It is a descriptive longitudinal, multicentric and prospective study of a series of 29 patients totaling 52 feet treated for neurological hollow foot for a population of age group between 7 and 19 years old in the service of orthopedic and trauma surgery at the Center Hospitalo-universitaire de Tizi-Ouzou between September 2017 and March 2020.

14 patients underwent a surgical combination including a plantar aponevrotomy, an extension of the Achilles tendon and an anterior tarsectomy, 6 patients underwent a triple arthrodesis associated sometimes with an extension of the Achilles tendon and arthroplastic resections of the toe claws and, 9 patients were operated by a Dwyer's osteotomy associated with a plantar aponevrotomy with sometimes an elongation of the Achilles tendon.

The patients were evaluated on the objective functional level by the AOFAS score and subjective, radiological and instrumental evaluation by the study of the spatio-temporal parameters of walking as well as a therapeutic evaluation.

Results: The functional improvement of the foot evaluated by the AOFAS score is satisfactory in 89,6% of cases , supported as well by radiological measurements and spatio-temporal parameters of walking study.

The neurological hollow foot presents a risk of recurrence of the deformation due to the progression of its peripheral neuropathy because it is length dependent.

Keywords: neurological hollow foot (Pes cavus) - progressive - dependent length – surgical combinations

Résumé

Titre : Traitement chirurgical du pied creux neurologique pour une population de 7-19ans

Auteur : Houmrani Hadjira

Objectifs : le pied creux neurologique est une déformation rare, complexe et multiplanaire d'allure progressive pouvant aller parfois jusqu'à l'invalidité du fait de la dégénérescence arthrosique. Cette déformation est secondaire à une neuropathie héréditaire périphérique sensitivo- motrice dont la forme la plus fréquente est la C.M.T A1.

L'élément initiateur est le déséquilibre des muscles intrinsèques au profit des muscles extenseurs. Souple et flexible au début, elle va progressivement s'enraidir, se fixer et devenir irréductible par rétraction des éléments capsulaires, musculaires, ligamentaires et aponévrotiques et se compliquer vers une instabilité de la cheville qui sera source d'entorses de la cheville voir une dégradation arthrosique.

Plusieurs combinaisons chirurgicales sont proposées et leurs indications dépendent de l'âge, de l'étiologie, du potentiel évolutif ou non de sa neuropathie, du siège de la déformation et, du degré de réductibilité.

Le but de cette étude est d'évaluer l'apport du traitement chirurgical dans le pied creux neurologique.

Matériels et méthodes : Il s'agit d'une étude descriptive longitudinale, multicentrique et prospective d'une série de 29 patients totalisant 52 pieds, pris en charge pour pied creux neurologique pour une population de tranche d'âge comprise entre 7 et 19 ans au sein du service de chirurgie orthopédique et traumatologique du Centre Hospitalo-universitaire de Tizi-Ouzou entre les mois de juin 2017 et Mars 2020.

14 patients ont subi une combinaison chirurgicale comprenant une aponévrotomie plantaire, un allongement du tendon d'Achille et une tarsectomie antérieure, 06 patients ont subi une triple arthrodèse associée parfois à un allongement du tendon d'Achille et des résections arthroplastiques des griffes des orteils et, 09 patients ont été opérés par une ostéotomie de Dwyer associée à une aponévrotomie plantaire avec parfois un allongement du tendon d'Achille.

Les patients ont été évalués sur le plan fonctionnel de façon objective par le score de l'AOFAS et subjective, radiologique et instrumentale par l'étude des paramètres spatio- temporels de la marche ainsi qu'une évaluation thérapeutique.

Résultats: L'amélioration fonctionnelle du pied évaluée par le score de l'AOFAS est satisfaisante dans 89,6% des cas, appuyé ainsi par des mesures radiologiques et l'étude des paramètres spatio-temporels de la marche.

Le pied creux neurologique présente un risque de récurrence de la déformation du fait de la progression de sa neuropathie périphérique car elle est longueur dépendante.

Mots clés : pied creux neurologique - progressive -longueur dépendante - combinaisons chirurgicales - multiplanaire - déséquilibre des muscles intrinsèques.

Summary

Title: surgical treatment of neurological hollow foot for a population of 7-19 years

The neurological hollow foot is a rare, complex and multiplanar deformation of progressive pace which can sometimes go as far as disability due to arthritis degeneration. This deformation is secondary to a hereditary peripheral sensory-motor neuropathy, the most frequent form of which is C.M.T A1 and which the initiating element is the imbalance of the intrinsic muscles in favor of the extensor muscles. Soft and flexible at the start, it will gradually harden, become fixed and become irreducible by retraction of the capsulo musculo ligamento aponeurotic elements and is complicated by ankle instability which will be a source of ankle sprains or even arthritis degradation.

Several surgical combinations or combined surgical procedures have been proposed and their indications depend on the age, etiology, whether or not his neuropathy is progressive and the site of the deformity.

The aim of this study was to assess the contribution of surgical treatment to the neurological hollow foot (Pes cavus).

Materials and methods: It is a descriptive longitudinal, multicentric and prospective study of a series of 29 patients totaling 52 feet treated for neurological hollow foot for a population of age group between 7 and 19 years old in the service of orthopedic and trauma surgery at the Center Hospitalo-universitaire de Tizi-Ouzou between September 2017 and March 2020.

14 patients underwent a surgical combination including a plantar aponevrotomy, an extension of the Achilles tendon and an anterior tarsectomy, 6 patients underwent a triple arthrodesis associated sometimes with an extension of the Achilles tendon and arthroplastic resections of the toe claws and, 9 patients were operated by a Dwyer's osteotomy associated with a plantar aponevrotomy with sometimes an elongation of the Achilles tendon.

The patients were evaluated on the objective functional level by the AOFAS score and subjective, radiological and instrumental evaluation by the study of the spatio-temporal parameters of walking as well as a therapeutic evaluation.

Results: The functional improvement of the foot evaluated by the AOFAS score is satisfactory in 89,6% of cases, supported as well by radiological measurements and spatio-temporal parameters of walking study.

The neurological hollow foot presents a risk of recurrence of the deformation due to the progression of its peripheral neuropathy because it is length dependent.

Keywords: neurological hollow foot (Pes cavus) - progressive - dependent length – surgical combinations