



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

UNIVERSITE DE LORRAINE
2012

FACULTE DE PHARMACIE

T H E S E

Présentée et soutenue publiquement

Le 25/06/2012, sur un sujet dédié à :

**LE ROLE DE LA CHAUSSURE DANS LA
PREVENTION DES MICROTRAUMATISMES DU
PIED DU SPORTIF**

pour obtenir

le Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie

par Baptiste CLEMENÇON

né(e) 02/08/1985

Membres du Jury

| | | |
|-------------|---|---|
| Président : | M. Pierre LABRUDE, | Professeur, Faculté de Pharmacie, Nancy |
| Juges : | M. Bernard DAUM, M. Jean-François CUNY, Mme Martine JOSSET, | Rhumatologue, Nancy Dermatologue, CHU de Nancy-Brabois Pharmacienne, Toul |

**UNIVERSITE DE LORRAINE
FACULTÉ DE PHARMACIE
Année universitaire 2011-2012**

DOYEN

Francine PAULUS

Vice-Doyen

Francine KEDZIEREWICZ

Directeur des Etudes

Virginie PICHON

Président du Conseil de la Pédagogie

Bertrand RIHN

Président de la Commission de la Recherche

Christophe GANTZER

Président de la Commission Prospective Facultaire

Jean-Yves JOUZEAU

Responsable de la Cellule de Formations Continue et Individuelle

Béatrice FAIVRE

Responsable ERASMUS :

Responsable de la filière Officine :

Responsables de la filière Industrie :

Responsable du Collège d'Enseignement

Pharmaceutique Hospitalier :

Responsable Pharma Plus E.N.S.I.C. :

Responsable Pharma Plus E.N.S.A.I.A. :

Francine KEDZIEREWICZ

Francine PAULUS

Isabelle LARTAUD,

Jean-Bernard REGNOUF de VAINS

Jean-Michel SIMON

Jean-Bernard REGNOUF de VAINS

Bertrand RIHN

DOYENS HONORAIRES

Chantal FINANCE

Claude VIGNERON

PROFESSEURS EMERITES

Jeffrey ATKINSON

Gérard SIEST

Claude VIGNERON

PROFESSEURS HONORAIRES

Roger BONALY

Pierre DIXNEUF

Marie-Madeleine GALTEAU

Thérèse GIRARD

Maurice HOFFMANN

Michel JACQUE

Lucien LALLOZ

Pierre LECTARD

Vincent LOPPINET

Marcel MIRJOLET

François MORTIER

Maurice PIERFITTE

Janine SCHWARTZBROD

Louis SCHWARTZBROD

MAITRES DE CONFERENCES HONORAIRES

Monique ALBERT

Gérald CATAU

Jean-Claude CHEVIN

Jocelyne COLLOMB

Bernard DANGIEN

Marie-Claude FUZELLIER

Françoise HINZELIN

Marie-Hélène LIVERTOUX

Bernard MIGNOT

Jean-Louis MONAL

Dominique NOTTER

Marie-France POCHON

Anne ROVEL

Maria WELLMAN-ROUSSEAU

ASSISTANT HONORAIRE

Marie-Catherine BERTHE

Annie PAVIS

ENSEIGNANTS

*Section CNU**

Discipline d'enseignement

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

| | | |
|--------------------------------|----|--|
| Danièle BENSOUSSAN-LEJZEROWICZ | 82 | Thérapie cellulaire |
| Chantal FINANCE | 82 | Virologie, Immunologie |
| Jean-Yves JOUZEAU | 80 | Bioanalyse du médicament |
| Jean-Louis MERLIN | 82 | Biologie cellulaire |
| Jean-Michel SIMON | 81 | Economie de la santé, Législation pharmaceutique |

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

| | | |
|-------------------------------|----|--|
| Jean-Claude BLOCK | 87 | Santé publique |
| Christine CAPDEVILLE-ATKINSON | 86 | Pharmacologie |
| Pascale FRIANT-MICHEL | 85 | Mathématiques, Physique |
| Christophe GANTZER | 87 | Microbiologie |
| Max HENRY | 87 | Botanique, Mycologie |
| Pierre LABRUDE | 86 | Physiologie, Orthopédie, Maintien à domicile |
| Isabelle LARTAUD | 86 | Pharmacologie |
| Dominique LAURAIN-MATTAR | 86 | Pharmacognosie |
| Brigitte LEININGER-MULLER | 87 | Biochimie |
| Pierre LEROY | 85 | Chimie physique |
| Philippe MAINCENT | 85 | Pharmacie galénique |
| Alain MARSURA | 32 | Chimie organique |
| Patrick MENU | 86 | Physiologie |
| Jean-Bernard REGNOUF de VAINS | 86 | Chimie thérapeutique |
| Bertrand RIHN | 87 | Biochimie, Biologie moléculaire |

MAITRES DE CONFÉRENCES - PRATICIENS HOSPITALIERS

| | | |
|-----------------|----|--------------------|
| Béatrice DEMORE | 81 | Pharmacie clinique |
| Nathalie THILLY | 81 | Santé publique |

MAITRES DE CONFÉRENCES

| | | |
|-------------------|----|-------------------------|
| Sandrine BANAS | 87 | Parasitologie |
| Mariette BEAUD | 87 | Biologie cellulaire |
| Emmanuelle BENOIT | 86 | Communication et santé |
| Isabelle BERTRAND | 87 | Microbiologie |
| Michel BOISBRUN | 86 | Chimie thérapeutique |
| François BONNEAUX | 86 | Chimie thérapeutique |
| Ariane BOUDIER | 85 | Chimie Physique |
| Cédric BOURA | 86 | Physiologie |
| Igor CLAROT | 85 | Chimie analytique |
| Joël COULON | 87 | Biochimie |
| Sébastien DADE | 85 | Bio-informatique |
| Dominique DECOLIN | 85 | Chimie analytique |
| Roudayna DIAB | 85 | Pharmacie clinique |
| Joël DUCOURNEAU | 85 | Biophysique, Acoustique |
| Florence DUMARCAY | 86 | Chimie thérapeutique |
| François DUPUIS | 86 | Pharmacologie |

| ENSEIGNANTS (suite) | Section CNU* | Discipline d'enseignement |
|----------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Raphaël DUVAL | 87 | Microbiologie |
| Béatrice FAIVRE | 87 | Hématologie |
| Adil FAIZ | 85 | Biophysique, Acoustique |
| Luc FERRARI | 86 | Toxicologie |
| Caroline GAUCHER-DI STASIO | 85/86 | Chimie physique, Pharmacologie |
| Stéphane GIBAUD | 86 | Pharmacie clinique |
| Thierry HUMBERT | 86 | Chimie organique |
| Frédéric JORAND | 87 | Santé publique |
| Olivier JOUBERT | 86 | Toxicologie |
| Francine KEDZIEREWICZ | 85 | Pharmacie galénique |
| Alexandrine LAMBERT | 85 | Informatique, Biostatistiques |
| Faten MERHI-SOUSSI | 87 | Hématologie |
| Christophe MERLIN | 87 | Microbiologie |
| Blandine MOREAU | 86 | Pharmacognosie |
| Maxime MOURER | 86 | Chimie organique |
| Francine PAULUS | 85 | Informatique |
| Christine PERDICAKIS | 86 | Chimie organique |
| Caroline PERRIN-SARRADO | 86 | Pharmacologie |
| Virginie PICHON | 85 | Biophysique |
| Anne SAPIN-MINET | 85 | Pharmacie galénique |
| Marie-Paule SAUDER | 87 | Mycologie, Botanique |
| Gabriel TROCKLE | 86 | Pharmacologie |
| Mihayl VARBANOV ✕ | 87 | Immuno-Virologie |
| Marie-Noëlle VAULTIER | 87 | Mycologie, Botanique |
| Emilie VELOT ✕ | 86 | Physiologie-Physiopathologie humaines |
| Mohamed ZAIYOU | 87 | Biochimie et Biologie moléculaire |
| Colette ZINUTTI | 85 | Pharmacie galénique |
| PROFESSEUR ASSOCIE | | |
| Anne MAHEUT-BOSSER | 86 | Sémiologie |
| PROFESSEUR AGREGÉ | | |
| Christophe COCHAUD | 11 | Anglais |

✕ En attente de nomination

* Discipline du Conseil National des Universités :

80ème et 85ème : Sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé

81ème et 86ème : Sciences du médicament et des autres produits de santé

82ème et 87ème : Sciences biologiques, fondamentales et cliniques

32ème : Chimie organique, minérale, industrielle

11ème : Langues et littératures anglaises et anglo-saxonnes

SERMENT DES APOTHICAIRES



Je jure, en présence des maîtres de la Faculté, des conseillers de l'ordre des pharmaciens et de mes condisciples :

D' honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine ; en aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.



« LA FACULTE N'ENTEND DONNER AUCUNE APPROBATION,
NI IMPROBATION AUX OPINIONS EMISES DANS LES
THESES, CES OPINIONS DOIVENT ETRE CONSIDEREES
COMME PROPRES A LEUR AUTEUR ».

REMERCIEMENTS :

A monsieur Pierre LABRUDE,

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider cette thèse. Je tiens aussi à exprimer ma gratitude pour votre dynamisme au sein de la faculté de pharmacie de Nancy en y permettant notamment le diplôme universitaire d'orthopédie.

A monsieur Bernard DAUM,

Pour m'avoir permis de traiter un sujet qui m'est cher. Pour m'avoir soutenu dès le début et guidé tout au long de cette thèse. Pour votre enseignement. Pour avoir accepté de diriger cette thèse.

A monsieur Jean-François CUNY,

Pour votre enthousiasme à accepter de participer au jury de cette thèse.

A madame Martine JOSSET,

Pour m'avoir épaulé tout au long de mon enseignement pratique de l'exercice officinal, en me guidant à travers de nombreux stages. Pour votre gentillesse, et pour avoir accepté de participer au jury de cette thèse.

A mes parents

A mes frère et sœurs : Sarah, Noémie, Samuel

A toute ma famille : grands-parents, cousins et cousines, tantes et oncles...

A tous mes amis

A tous ceux que j'oublie

Je vous remercie pour tout

SOMMAIRE

| | |
|---------------------------|---|
| INTRODUCTION | 5 |
|---------------------------|---|

| | |
|--|---|
| I. Généralités de podologie | 6 |
|--|---|

| | |
|----------------------------------|---|
| A. Anatomie du pied | 6 |
|----------------------------------|---|

| | |
|---|----|
| 1. Le squelette du pied | 6 |
| a. Le tarse postérieur..... | 7 |
| b. Le tarse antérieur | 7 |
| c. Le métatarse..... | 7 |
| d. Les phalanges..... | 7 |
| 2. Les articulations du pied | 8 |
| a. L'articulation talo-crurale..... | 8 |
| b. L'articulation subtalaire..... | 9 |
| c. L'articulation transverse du tarse..... | 9 |
| d. Les articulations tarso-métatarsiennes | 9 |
| e. Les articulations des orteils | 9 |
| f. Les mouvements du pied | 10 |
| 3. Les muscles du pied | 12 |
| a. Les muscles extrinsèques..... | 12 |
| b. Les muscles intrinsèques | 15 |

| | |
|---|----|
| B. Vers une vision globale du pied | 18 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| 1. L'architecture du pied | 18 |
| 2. Introduction à la dynamique du pied | 19 |

| | |
|--|----|
| C. L'examen du pied du sportif à l'officine | 20 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 1. L'interrogatoire | 20 |
| 2. L'examen en décharge | 21 |
| 3. L'examen en charge | 21 |
| 4. L'examen de la chaussure | 24 |

II. Les différentes pathologies microtraumatiques du pied du sportif.....25

A. Les affections rhumatologiques.....27

- 1. Les pathologies de l'arrière-pied27**
 - a. Les tendinopathies calcanéennes28
 - b. Les bursites calcanéennes33
 - c. La maladie de Sever.....34
 - d. La talalgie plantaire commune.....35
 - e. Le syndrome du canal tarsien37
 - f. Le syndrome du carrefour postérieur de la cheville38
 - g. Le syndrome exostosant antérieur40
- 2. Les pathologies de l'avant-pied41**
 - a. La pathologie statique de l'avant-pied.....41
 - b. Les autres pathologies du premier rayon45
 - L'hallux valgus45
 - L'hallux rigidus.....47
 - Les sésamoïdopathies microtraumatiques.....48
 - c. Le syndrome de Morton.....49

B. Les affections dermatologiques51

- 1. Les dermatoses infectieuses.....51**
 - a. Les verrues plantaires51
 - b. Le pied d'athlète54
 - c. Les onychomycoses56
- 2. Les dermatoses traumatiques58**
 - a. Les hyperkératoses mécaniques.....58
 - b. Les phlyctènes60
 - c. Les ongles incarnés.....61
 - d. Les hématomes sous-unguéaux63
 - e. La pseudo-chromidrose65
 - f. Les engelures65
 - g. Les gelures66

| | |
|--|----|
| III. La chaussure de sport | 68 |
| A. Présentation de la chaussure de sport | 68 |
| 1. Historique de la chaussure de sport | 69 |
| 2. Des chaussures de sport | 71 |
| a. La nature du sport | 71 |
| b. La nature du sol | 72 |
| c. Le sportif | 72 |
| 3. Rappel de la biomécanique du pied nu | 73 |
| B. La chaussure de running | 74 |
| 1. La course à pied | 74 |
| 2. Analyse cinématique de la course à pied | 75 |
| 3. Anatomie de la chaussure de running | 76 |
| a. La tige | 76 |
| b. Le semelage | 77 |
| 4. Les exigences d'une chaussure de sport à travers l'exemple du running | 78 |
| a. L'amorti de la chaussure | 78 |
| b. Le dynamisme de la chaussure | 81 |
| c. Le contrôle de la prono-supination | 81 |
| d. Le contrôle de la liberté du pied | 84 |
| e. L'accroche ou l'adhérence de la chaussure | 84 |
| f. L'aération de la chaussure | 85 |
| g. Le poids de la chaussure | 85 |
| h. La résistance et la durée de vie de la chaussure | 85 |
| 5. Le choix d'une chaussure de course à pied | 86 |
| a. Ajustement à la forme du pied | 86 |
| b. Type de foulée du pratiquant | 87 |
| c. Type de terrain envisagé | 87 |
| d. Les types de chaussures de course | 88 |

| | |
|---|-----|
| C. Autres sports, autres chaussures | 91 |
| 1. La chaussure de marche | 91 |
| a. Description de la marche à pied..... | 91 |
| b. Les exigences de la chaussure de marche..... | 92 |
| c. Les différents types de chaussures de marche | 94 |
| 2. La chaussure de ski alpin | 97 |
| 3. Le chausson d'escalade | 101 |
| a. Le pied en escalade..... | 101 |
| b. La tige du chausson d'escalade..... | 101 |
| c. La semelle du chausson d'escalade | 103 |
| 4. La chaussure de football | 105 |
| a. Le football : description et approche cinématique..... | 105 |
| b. La tige de la chaussure de football | 106 |
| c. Les semelles de la chaussure de football | 107 |
| CONCLUSION | 110 |
| Bibliographie | 111 |

INTRODUCTION

Pour de nouvelles expériences, pour mieux se connaître, pour constater que l'on est toujours capable de faire des progrès ou de prendre des risques, pour repousser ses limites, pour lutter contre le stress ou l'anxiété, pour prévenir de certaines maladies ou pour son seul plaisir, les raisons de pratiquer un sport sont multiples. Et aujourd'hui ces activités sportives diverses et variées sont plébiscitées par tous.

Mais si le sport présente de nombreux bienfaits, une pratique excessive ou mal conduite expose le sportif à de nombreuses blessures. Les sportifs de loisir, nombreux, peu encadrés et parfois mal préparés, sont les plus exposés.

Le pied, extrémité distale du membre inférieur, est une structure unique à l'Homme bipède. C'est un élément déterminant du mouvement et du déplacement. Aux cours des activités sportives, le pied est, par son rôle de soutien du poids du corps et par sa relation étroite avec le sol, soumis à des contraintes et à des sollicitations importantes. Les capacités de résistances individuelles du pied sont parfois dépassées. Pour limiter la survenue de ces blessures d'hyperutilisation, appelées microtraumatismes, le sportif doit apprendre à respecter les règles de bonne pratiques spécifiques à son activité. Le manque d'encadrement de nombreux sportifs fait que le professionnel de santé de proximité tient un rôle privilégié dans le conseil vers une pratique plus sûre. Dans ce conseil, Le professionnel de santé se doit donc de connaître les différents microtraumatismes du pied du sportif, leur prise en charge et leur prévention.

La chaussure est à l'interface entre le sol et le pied, elle tient un rôle clef dans la prévention des microtraumatismes du pied du sportif. Mais la chaussure de sport apparaît aujourd'hui comme un outil très technique, qui évolue rapidement. Plusieurs modèles sont dédiés à chaque discipline. Et face à ce choix, le sportif a bien souvent du mal à s'y retrouver ; d'autant plus que la pression marketing, très forte dans ce secteur, ne contribue pas toujours à une vision éclairée de la situation. Comprendre les exigences et les qualités de la chaussure de sport est nécessaire pour un choix avisé de la chaussure et ainsi limiter les risques de microtraumatismes du pied.

Nous diviserons notre étude en trois parties. Nous débiterons par un rappel sur des généralités de podologie avec notamment l'anatomie et l'examen du pied. La seconde partie révélera l'éventail des pathologies microtraumatiques rhumatologiques et dermatologiques du pied du sportif.

Nous finirons par la troisième partie qui sera consacrée à l'étude la chaussure de sport. On y présentera tout d'abord les généralités de la chaussure de sport, puis nous explorerons en détail les exigences de la chaussure de running, avant d'élargir cette étude calcéologique sur d'autres disciplines sportives.

I. Généralités de podologie

A. Anatomie du pied [2, 4, 5, 7, 29, 38, 39, 42, 60, 64]

L'étude anatomique du pied est indispensable pour comprendre le fonctionnement du pied et de ses pathologies. Nous passerons d'abord en revue les os du pied, puis nous verrons successivement les articulations et les muscles.

1. Le squelette du pied

Chaque pied est composé de 28 os, l'organisation du squelette du pied permet de diviser ce dernier en trois groupes : le tarse lui-même subdivisé en deux parties le tarse postérieur et le tarse antérieur, le métatarse, et les orteils.

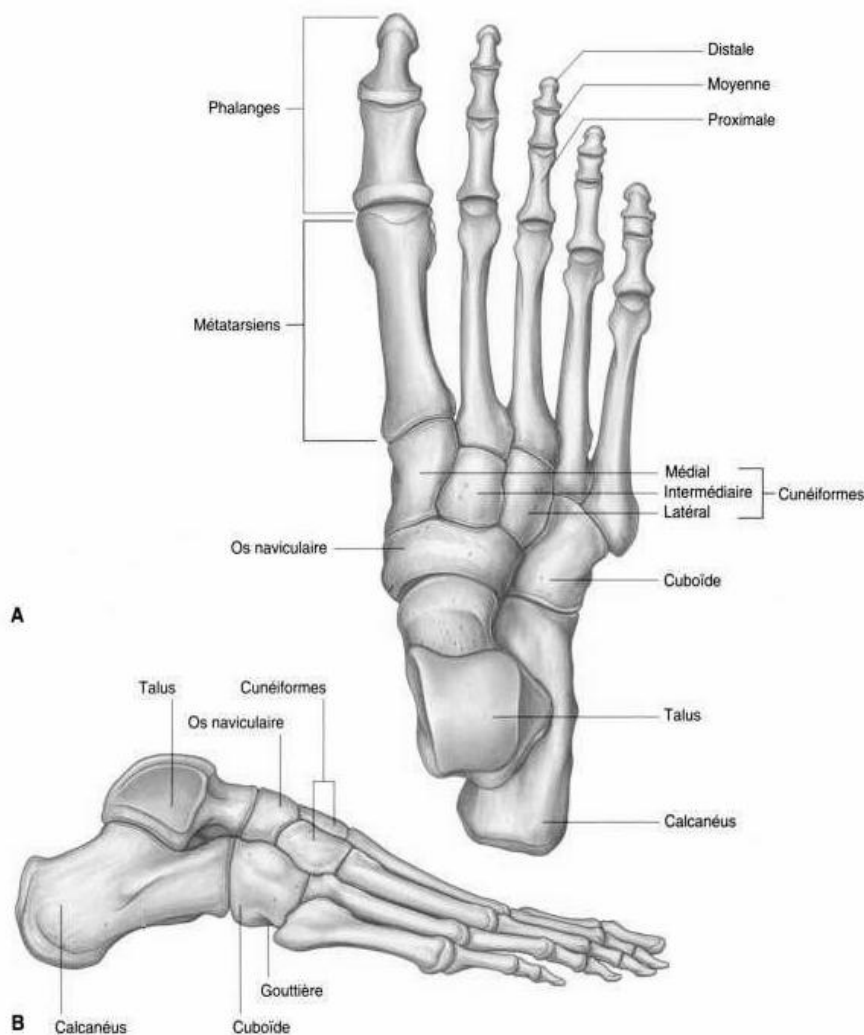


Figure 1: Les os du pied - A : Vue dorsale du pied droit B : Vue latérale du pied droit [29]

a. Le tarse postérieur

Communément désigné comme l'arrière-pied, le tarse postérieur est composé de deux os superposés dans le plan vertical.

Le **talus** (anciennement appelé astragale), en haut, est un os irrégulier situé à un carrefour articulaire, il reçoit le poids du corps transmis par la pince bi-malléolaire formée par le tibia et la fibula et le répartit sur l'ensemble du pied.

En dessous, le **calcanéus**, l'os le plus volumineux du tarse, forme le talon. Son extrémité postérieure donne l'attache du tendon calcanéen.

b. Le tarse antérieur

Nommé aussi médio-pied, le tarse antérieur est composé de cinq os alignés dans le plan horizontal. L'**os naviculaire** en regard de l'intérieur du pied s'articule avec le talus à l'arrière, et avec les trois os cunéiformes à l'avant.

L'**os cunéiforme médial**, l'**os cunéiforme intermédiaire** et l'**os cunéiforme latéral** s'articulent respectivement avec le premier, le deuxième et le troisième métatarsien à l'avant.

L'**os cuboïde** situé à l'extérieur du pied s'articule avec le calcanéus à l'arrière et avec le quatrième et le cinquième métatarsien à l'avant.

c. Le métatarse

Le métatarse est formé de cinq os longs, les **métatarsiens**. Ils sont numérotés de 1 à 5 du plan médial au plan latéral (M1 à M5).

d. Les phalanges

Les phalanges constituent le squelette de chacun des cinq orteils. Le premier orteil désigné sous le nom d'hallux ne possède que deux phalanges, une proximale qui s'articule avec le premier métatarsien et une distale à l'extrémité de l'orteil.

Les quatre autres orteils possèdent chacun trois phalanges, une proximale, une moyenne et une distale (P1, P2 et P3).

On appelle un rayon, l'ensemble formé par un métatarsien et par les phalanges de l'orteil adjacent. Les cinq rayons constituent l'avant-pied.

Par ailleurs il existe deux osselets situés à la face inférieure de la première articulation métatarso-phalangienne. Ces osselets sont les sésamoïdes médial et latéral de l'hallux, ils jouent un rôle important dans le déroulement du pas. De tels os peuvent exister dans d'autres articulations de l'avant-pied, ils sont inconstant, mais toujours situés à la face inférieure des os.

2. Les articulations du pied

Une articulation, moyen d'union entre plusieurs pièces osseuses, est l'élément privilégié du mouvement. Nous allons décrire ici la structure et le rôle de celles du pied.

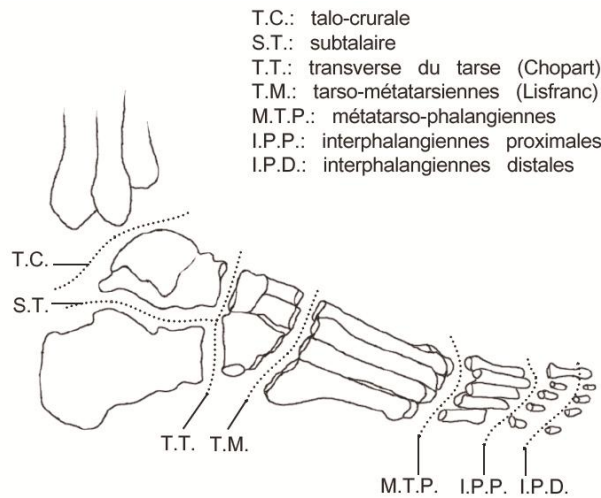


Figure 2 : Les articulations du pied (vue latérale) [2]

a. L'articulation talo-crurale

Encore appelée articulation tibio-tarsienne, l'articulation talo-crurale est l'articulation de la cheville. Les parties inférieures du tibia et de la fibula (anciennement le péroné) sont réunies par des ligaments pour former la pince tibio-fibulaire dont les deux mors sont respectivement la malléole médiale et la malléole latérale. C'est dans cet assemblage osseux fermé que vient s'insérer le talus pour former une articulation synoviale de type ginglyme. Cette pince ainsi formée est stabilisée par le ligament médial (deltoïde) et le ligament latéral.

L'articulation de la cheville va jouer un rôle de charnière entre la jambe et le pied, et de répartition des pressions vers l'avant et l'arrière-pied. Par ailleurs, elle permet les mouvements de flexion-extension du pied.

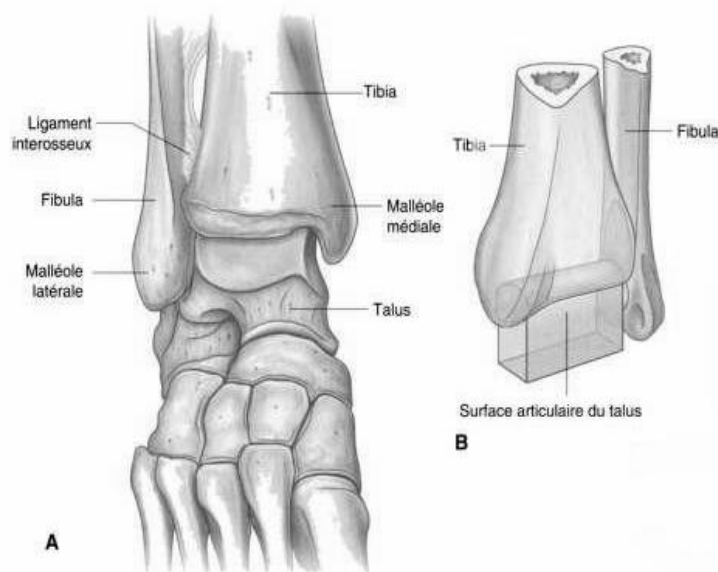


Figure 3: L'articulation de la cheville - A : Vue antérieure B : Schéma de l'articulation [29]

b. L'articulation subtalaire

L'articulation subtalaire, ou articulation talo-calcanéenne, lie le talus et le calcaneus. La surface articulaire entre ces deux os est discontinue, un intervalle est ainsi formé portant le nom de sinus du tarse, il est visible quand le squelette de l'arrière-pied est regardé par sa face latérale. C'est d'ailleurs dans cet intervalle qu'est situé le ligament interosseux talocalcanéen, principal ligament stabilisateur de l'articulation.

Cette articulation complexe forme une double articulation synoviale de type cylindrique (double trochoïde) ; elle assure les mouvements complexes d'inversion et d'éversion qui permettent au pied de rester en contact avec le sol dans les différentes positions de la station debout et de s'adapter aux irrégularités du terrain.

c. L'articulation transverse du tarse

L'articulation transverse du tarse, plus communément appelé articulation de Chopart est la jonction entre le tarse postérieur et le tarse antérieur.

Elle est constituée de deux parties, l'articulation talocalcanéo-naviculaire de type sphéroïde en interne et l'articulation calcanéocuboïdienne de type sellaire en externe.

Elle est renforcée par le ligament bifurqué, en Y (correspondant au ligament calcanéonaviculaire et au ligament calcanéocuboïdien), qui lie les deux os du tarse antérieur au calcaneus.

Elle autorise des mouvements de glissements dans toutes les directions mais dans de faibles amplitudes. Cette articulation permet donc d'amplifier et d'harmoniser les mouvements d'éversion-inversion initiés au niveau subtalaire.



Figure 4 : L'articulation transverse du tarse [92]

d. Les articulations tarso-métatarsiennes

L'ensemble des articulations qui lie la base des cinq métatarsiens au tarse antérieur est appelé l'articulation de Lisfranc. Ces articulations tarso-métatarsiennes sont des articulations planes, renforcées par des ligaments plantaires, dorsaux et interosseux. Elles permettent uniquement de faibles mouvements de glissement surtout de M1 et M5, et participent à la stabilisation du pied.

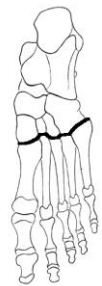


Figure 5 : L'articulation de Lisfranc [92]

e. Les articulations des orteils

Les articulations métatarso-phalangiennes sont des articulations synoviales de type ellipsoïde permettant des mouvements de flexion-extension et dans une amplitude plus limitée des mouvements d'abduction-adduction des orteils. Il faut noter que les mouvements d'abduction et d'adduction des orteils sont définis par rapport à l'axe du pied (axe correspondant au deuxième rayon) et non par rapport à l'axe du corps.

Les articulations interphalangiennes sont des articulations synoviales de type ginglyme qui permettent la flexion et l'extension des orteils.

f. Les mouvements du pied

• Les mouvements élémentaires du pied

Les mouvements de flexion-extension du pied sont des mouvements dans le plan sagittal.

La flexion dorsale du pied (ou flexion) est le rapprochement du dos du pied vers la partie antérieure de la jambe.

La flexion plantaire du pied (ou extension) est au contraire l'éloignement du dos du pied de la partie antérieure de la jambe.

Ils sont permis par l'articulation talo-crurale.

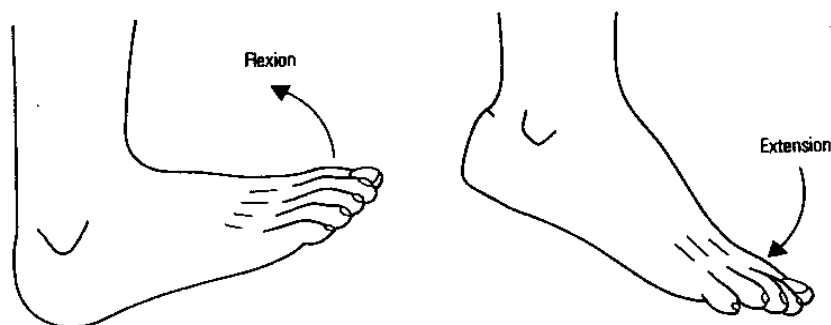


Figure 6 : Mouvements dans le plan sagittal [38]

Les mouvements d'abduction-adduction du pied sont des mouvements dans le plan horizontal.

L'abduction est l'éloignement du pied de l'axe de symétrie du corps (le pied se tourne vers l'extérieur).

L'adduction est au contraire le rapprochement du pied de l'axe de symétrie du corps (le pied se tourne vers l'intérieur).

Les mouvements de pronation-supination sont des mouvements dans le plan frontal.

La pronation correspond à l'orientation de la plante des pieds vers l'extérieur.

La supination correspond au contraire à l'orientation de la plante des pieds vers l'intérieur.

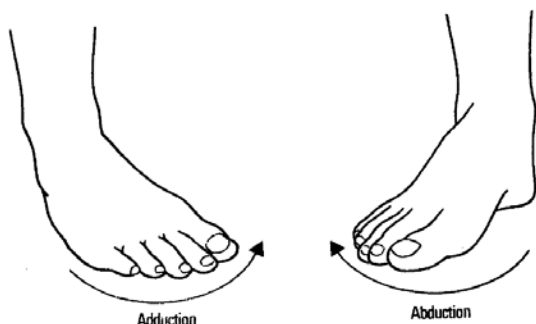


Figure 7 : Mouvements dans le plan horizontal [38]

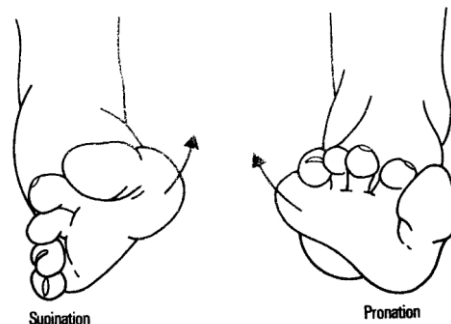


Figure 8 : Mouvements dans le plan frontal [38]

Les mouvements d'abduction-adduction et de pronation-supination ne sont pas possible seuls pour des raisons anatomiques et géométriques. On a en fait des mouvements dits complexes.

- **Les mouvements complexes du pied**

L'éversion et l'inversion sont des mouvements complexes du pied pouvant être décomposés en trois mouvements simples :

L'éversion est la combinaison des mouvements d'abduction, de pronation et de flexion dorsale du pied.

L'inversion est la combinaison des mouvements d'adduction, de supination et de flexion plantaire du pied.

Ils sont permis par les articulations inter-tarsienne, l'articulation talo-calcanéenne et l'articulation transverse du tarse.

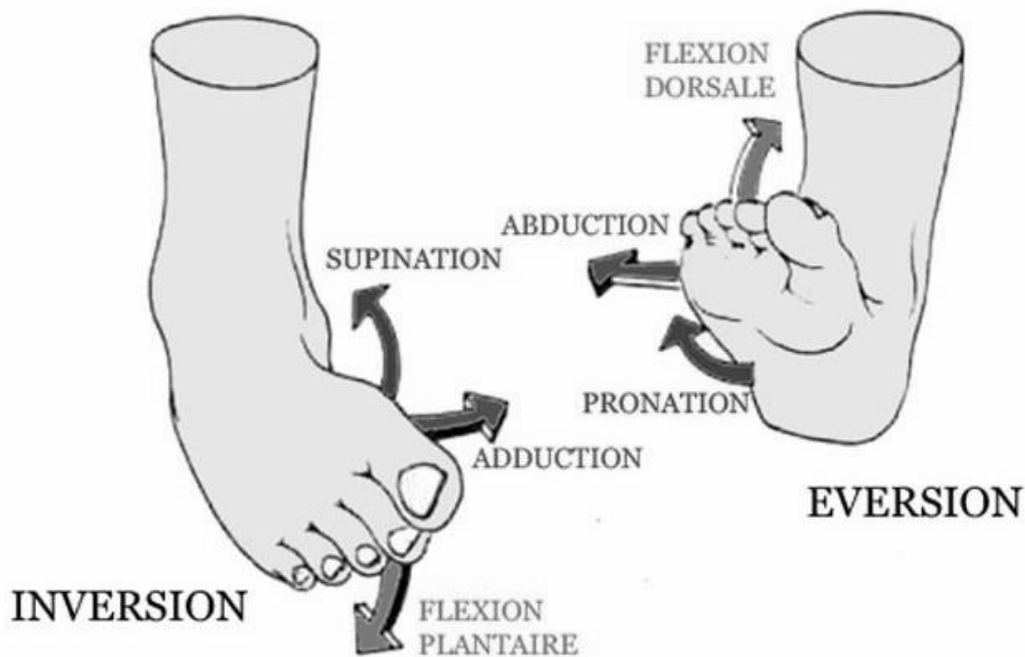


Figure 9 : Les mouvements complexes du pied [4]

Des mouvements de valgus-varus peuvent aussi être réalisés en combinant les mouvements de l'articulation talo-crurale et ceux des articulations inter-tarsiennes.

Le valgus est la combinaison d'une éversion et d'une flexion plantaire équivalente (dans le but d'annuler la flexion dorsale de l'éversion) soit une abduction associée à une pronation.

Le varus est la combinaison d'une inversion et d'une flexion dorsale équivalente (dans le but d'annuler la flexion plantaire de l'inversion) soit une adduction associée à une supination.

3. Les muscles du pied

Deux groupes musculaires sont à distinguer au niveau des muscles agissant sur le pied. On a les muscles extrinsèques, ou muscles de la jambe qui prennent naissance sur les os de la jambe et dont la contraction permet la mobilité du pied ; et les muscles intrinsèques qui sont situés uniquement au niveau du pied et qui agissent surtout sur les orteils.

a. Les muscles extrinsèques

Les muscles extrinsèques se répartissent en trois loges disposées de part et d'autre du squelette de la jambe : les loges antérieure, latérale et postérieure.

- **La loge antérieure** (du plan superficiel au plan profond)

- Le muscle tibial antérieur :

Origine : haut du tibia

Terminaison : cunéiforme médial et premier métatarsien

Action : flexion dorsale, inverseur du pied, et maintien des arches du pied

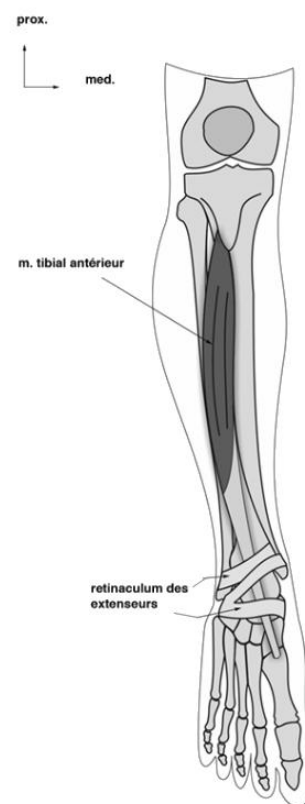


Figure 10 : Le tibial antérieur [42]

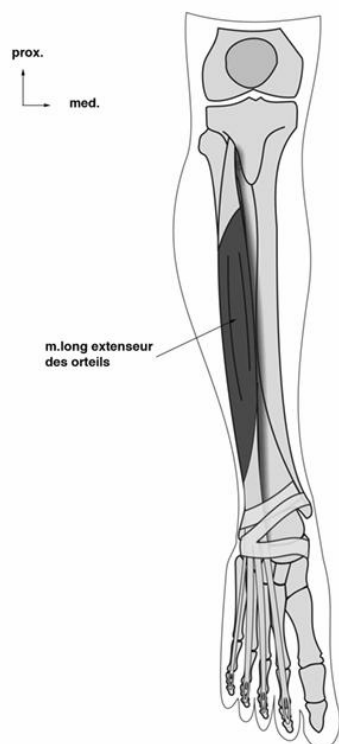


Figure 11 : Le long extenseur des orteils [42]

- Le muscle long extenseur des orteils :

Origine : haut de la fibula

Terminaison : phalanges proximales et moyennes des quatre dernier orteils (après division du muscle en quatre tendons dédiés)

Action : flexion dorsale des orteils et du pied

- Le muscle long extenseur de l'hallux :
 Origine : corps de la fibula
 Terminaison : face dorsale des deux phalanges de l'hallux
 Action : flexion dorsale de l'hallux et du pied, inverseur du pied
- Le muscle troisième fibulaire :
 Origine : partie basse de la fibula
 Terminaison : face dorsale du cinquième métatarsien
 Action : flexion dorsale et éverseur du pied

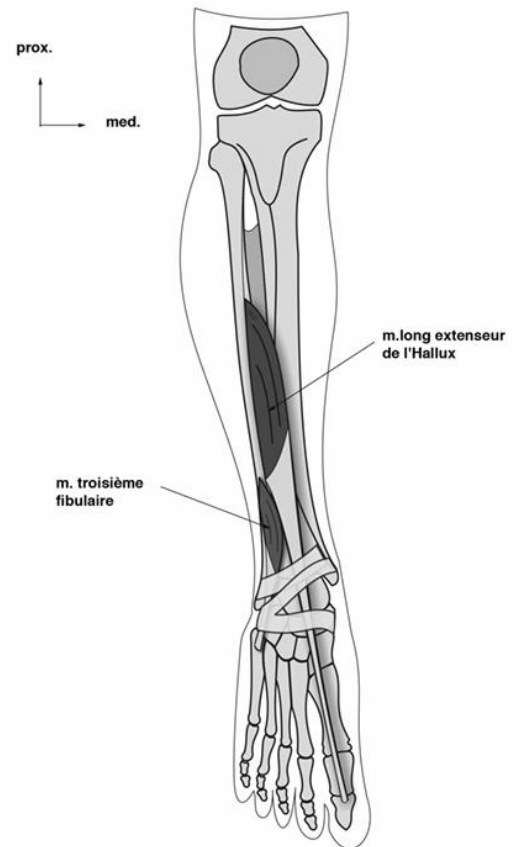


Figure 12: Le long extenseur de l'hallux et le troisième fibulaire [42]

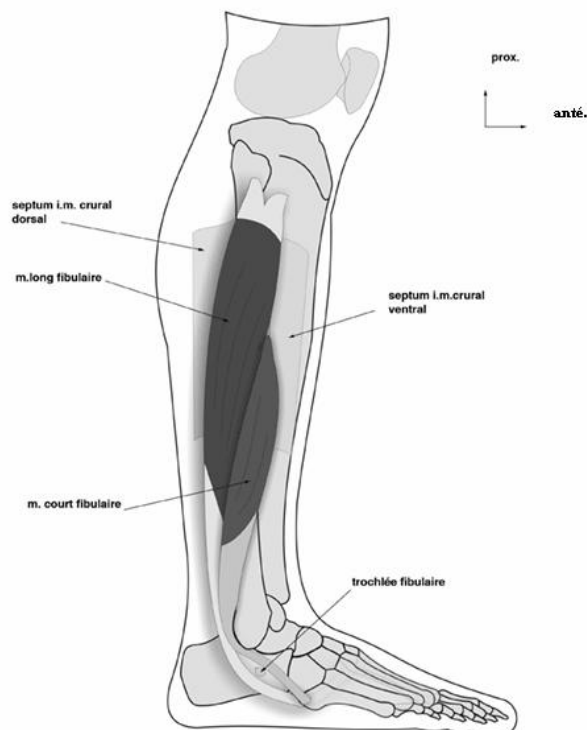


Figure 13 : Le long fibulaire et le court fibulaire [42]

• La loge latérale

- Le muscle long fibulaire :
 Origine : tête supérieure de la fibula et condyle latéral tibial
 Terminaison : face inférieure du cunéiforme médial et base de la face plantaire de premier métatarsien (après un passage sous la malléole fibulaire)
 Action : flexion plantaire, éverseur du pied et maintien des arches du pied
- Le muscle court fibulaire :
 Origine : diaphyse de la fibula
 Terminaison : tubérosité latérale du cinquième métatarsien
 Action : flexion plantaire et éverseur du pied

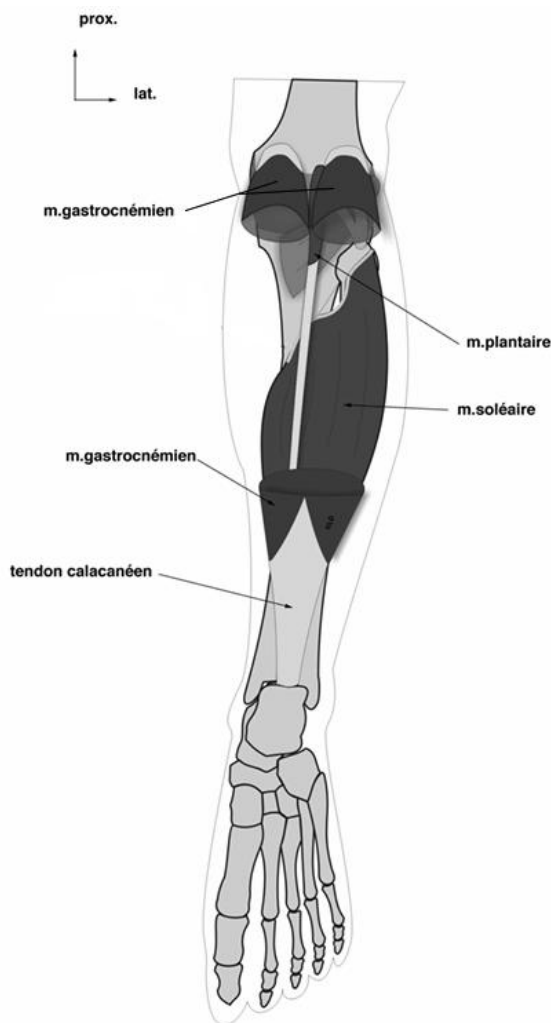


Figure 14 : Le gastrocnémien et le soléaire [42]

- **La loge postérieure**

- Plan superficiel

- Le muscle gastrocnémien :

Origine : épiphyse distale du fémur

Terminaison : face postérieure du calcaneus (via le tendon calcanéen)

Action : flexion plantaire du pied

- Le muscle soléaire :

Origine : tibia et fibula

Terminaison : face postérieure du calcaneus (via le tendon calcanéen)

Action : flexion plantaire du pied

Ces deux puissants muscles du mollet forment le triceps sural (une troisième entité vient renforcer l'action du triceps sural, le muscle plantaire, mais celui-ci est en retrait car beaucoup plus faible).

- Plan profond

- Le muscle tibial postérieur :

Origine : haut des diaphyses tibiale et fibulaire

Terminaison : principalement à la tubérosité médiale de l'os naviculaire et à moindre proportion aux os environnant (via le canal tarsien)

Action : flexion plantaire, inverseur du pied, et maintien des arches du pied

- Le muscle long fléchisseur de l'hallux :

Origine : haut de la diaphyse fibulaire (via le canal tarsien)

Terminaison : face plantaire de la phalange distale de l'hallux

Action : flexion de l'hallux, et accessoirement flexion plantaire et inverseur du pied

- Le muscle long fléchisseur des orteils :

Origine : haut de la diaphyse tibiale

Terminaison : face plantaire des phalanges distales des quatre derniers orteils (via le canal tarsien)

Action : flexion des quatre orteils latéraux et flexion accessoire du pied

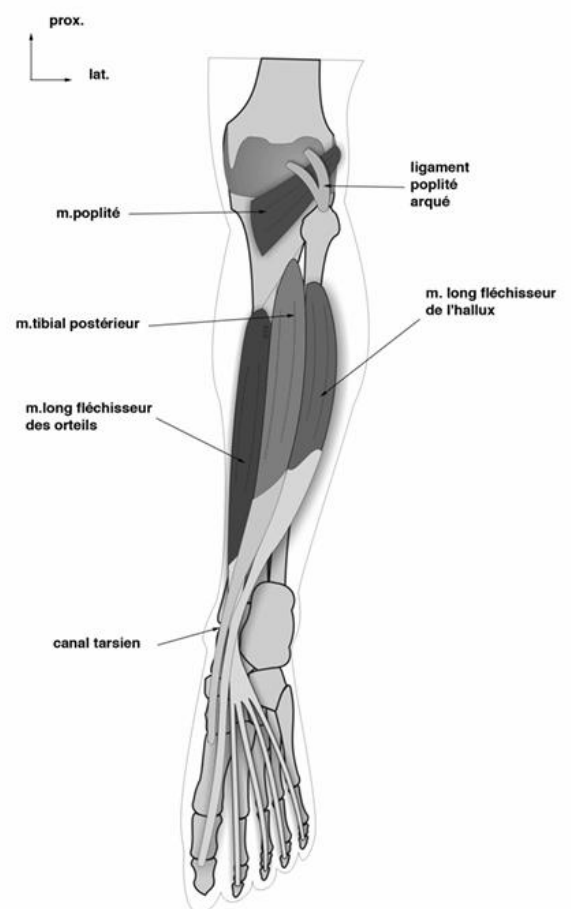


Figure 15 : Le tibial postérieur, le long fléchisseur de l'hallux et le long fléchisseur des orteils [42]

b. Les muscles intrinsèques

Les muscles intrinsèques naissent et s'insèrent au niveau du pied. Ils sont disposés inégalement sur la face dorsale et plantaire du pied, la majorité se trouve au niveau de la région plantaire où sont différenciés trois groupes musculaires : le plan médial, le plan latéral et le plan intermédiaire.

• Le muscle de la face dorsale du pied

Le muscle court extenseur des orteils :

Origine : calcanéus

Terminaison : phalange proximale de l'hallux et fusion avec la subdivision tendineuse du long extenseur des orteils

Fonction : flexion dorsale des orteils

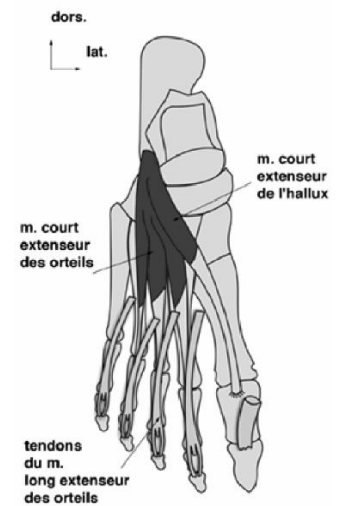


Figure 16 : Le court extenseur des orteils [42]

• Les muscles de la face plantaire du pied

○ Le plan médial

- Le muscle court fléchisseur de l'hallux :

Origine : cuboïde, cunéiforme latéral et tendon du muscle tibial postérieur

Terminaison : sésamoïdes médial et latéral de l'hallux

Fonction : fléchisseur de l'hallux

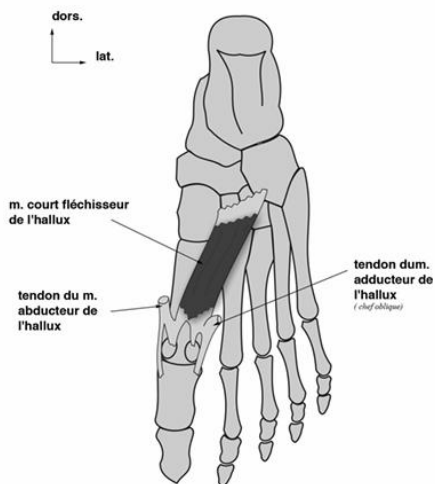


Figure 17 : le court fléchisseur de l'hallux [42]

- Le muscle abducteur de l'hallux :

Origine : calcanéus

Terminaison : phalange proximale de l'hallux et sésamoïde médial de l'hallux

Fonction : abducteur de l'hallux par rapport au pied et accessoirement fléchisseur de l'hallux

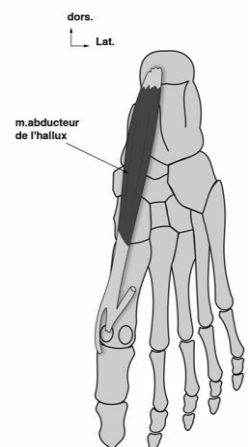


Figure 18 : L'abducteur de l'hallux [42]

- Le muscle adducteur de l'hallux :

(comprend deux faisceaux musculaires : oblique et transverse)

Origine du faisceau oblique : cuboïde, cunéiforme latéral et base des troisième et quatrième métatarsiens

Origine du faisceau transverse : articulation métatarso-phalangienne des trois derniers orteils

Terminaison : phalange proximale de l'hallux et sésamoïde latéral de l'hallux

Fonction : adducteur de l'hallux par rapport au pied

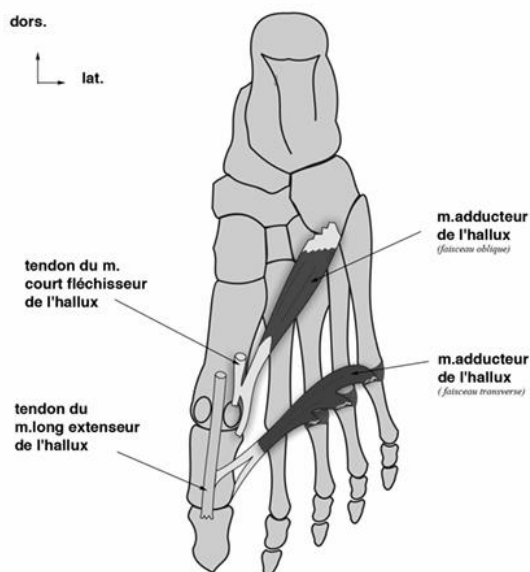


Figure 19 : L'adducteur de l'hallux [42]

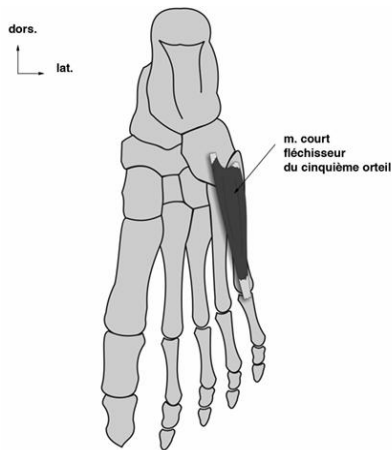


Figure 20 : Le court fléchisseur du petit orteil [42]

○ Le plan latéral

- Le muscle court fléchisseur du petit orteil :

Origine : cuboïde et base du cinquième métatarsien

Terminaison : phalange proximale du cinquième orteil

Fonction : fléchisseur du cinquième orteil par rapport au pied

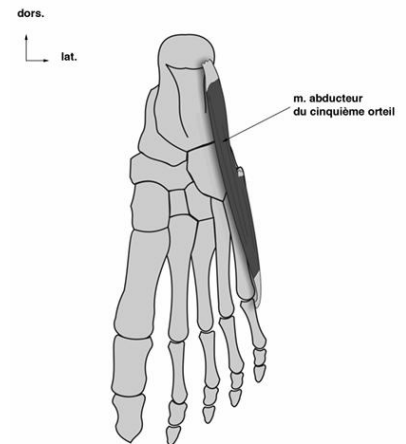


Figure 21 : L'abducteur du petit orteil [42]

- Le muscle abducteur du petit orteil :

Origine : calcanéus et tubérosité du cinquième métatarsien

Terminaison : phalange proximale du cinquième orteil

Fonction : abducteur du cinquième orteil

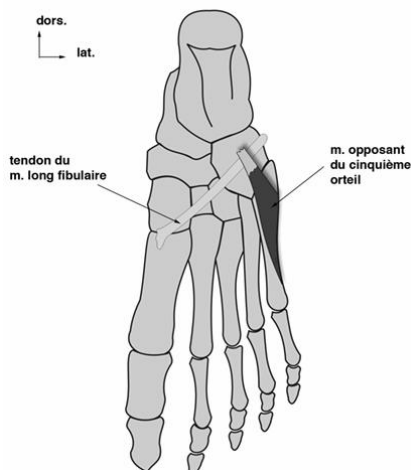


Figure 22 : L'opposant du petit orteil [42]

- Le muscle opposant du petit orteil :

Origine : cuboïde et base du cinquième métatarsien

Terminaison : bord latéral du cinquième métatarsien

Fonction : adducteur du cinquième orteil par rapport au pied

○ Le plan moyen superficiel

- Le muscle carré plantaire :

Origine : calcanéus

Terminaison : tendon du muscle long fléchisseur des orteils

Fonction : flexion des quatre derniers orteils (en corrigeant l'axe de traction du muscle long fléchisseur des orteils)

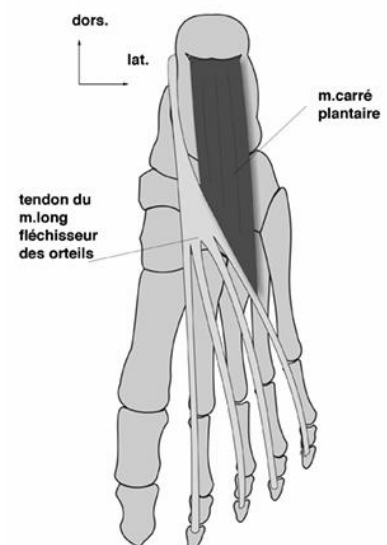


Figure 23 : Le carré plantaire [42]

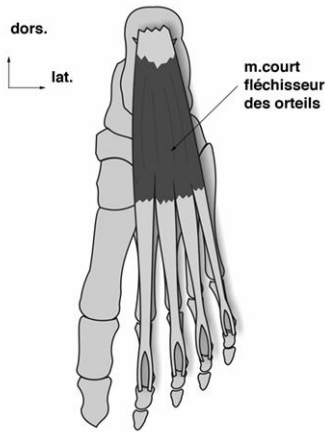


Figure 24 : Le court fléchisseur des orteils [42]

- Le muscle court fléchisseur des orteils :
- Origine : calcanéus
- Terminaison : phalanges médianes des quatre derniers orteils
- Fonction : flexion plantaire des quatre derniers orteils

○ Plan moyen profond

- Les quatre muscles interosseux dorsaux :
- Origine : diaphyse métatarsienne (ils se disposent entre deux métatarsiens)
- Terminaison : phalange proximale sur l'orteil le plus proche de l'axe du pied (deux sont liés au deuxième orteil)
- Fonction : flexion plantaire de la phalange proximale et abduction (par rapport à l'axe du pied) des trois orteils centraux

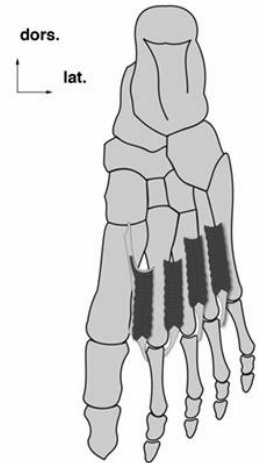


Figure 25 : Les interosseux dorsaux [42]

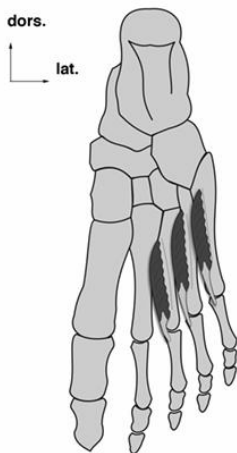


Figure 26 : Les interosseux plantaires [42]

- Les trois muscles interosseux plantaires : (dans les trois derniers espaces intermétatarsiens)
- Origine : métatarsien le plus éloigné de l'axe du pied (face interosseuse des trois derniers métatarsiens)
- Terminaison : phalange proximale de l'orteil le plus loin de l'axe du pied (phalange correspondante au métatarsien d'insertion)
- Fonction : flexion plantaire de la phalange proximale et adduction (par rapport à l'axe du pied) des trois derniers orteils

- Les quatre muscles lombricaux :
- Origine : tendons du muscle long fléchisseur des orteils
- Terminaison : phalange proximale des quatre derniers orteils et sur les quatre subdivisions tendineuses du muscle long extenseur des orteils
- Fonction : flexion plantaire de la phalange proximale et flexion dorsale des deux autres phalanges (au niveau des quatre derniers orteils)

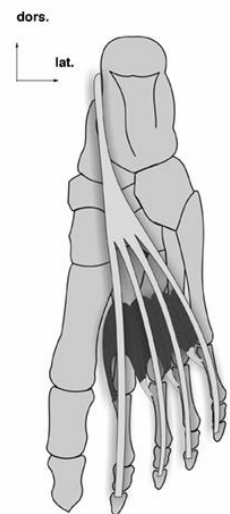


Figure 27 : Les lombricaux [42]

B. Vers une vision globale du pied [4, 5, 29,38, 39,57]

1. L'architecture du pied

Le pied est une structure architecturale complexe, on peut décrire au pied trois courbures, appelées classiquement des arches. Les os du pied ne reposent pas sur un même plan mais forment des arcs de cercles concaves par rapport au sol. Ces trois arches sont : l'arche longitudinale médiane, l'arche longitudinale latérale et l'arche transversale antérieure.

L'arche longitudinale médiane est l'arche la plus haute, elle forme ce qu'on appelle la voûte plantaire. Elle est constituée par le calcaneus, le talus, l'os naviculaire, le cunéiforme médial et par le premier métatarsien. Ses deux points d'appuis au sol sont le calcaneus et la tête du premier métatarsien.

L'arche longitudinale latérale est constituée par le calcaneus, le cuboïde et par le cinquième métatarsien. Ses deux points d'appuis au sol sont le calcaneus et la tête du cinquième métatarsien.

L'arche transversale antérieure s'étend de la tête du premier métatarsien à la tête du cinquième métatarsien. Cette dernière arche est seulement visible en décharge, en charge elle s'aplatit pour que le pied repose sur toute la surface des têtes métatarsiennes.

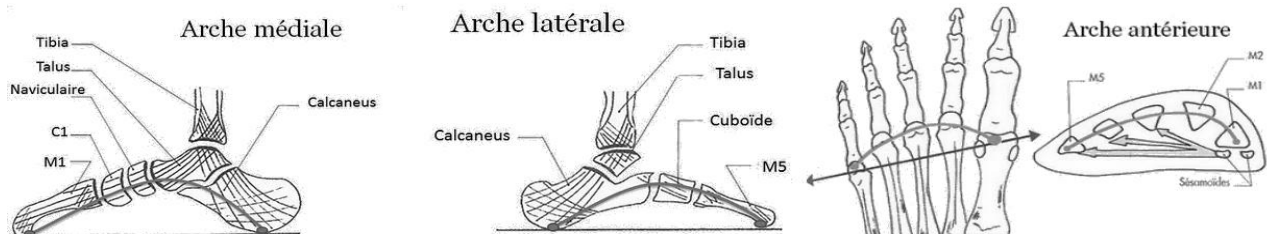


Figure 28 : Les arches du pied [4]

Les arches sont maintenues en place par un quadrillage musculaire (long fléchisseur des orteils, tibial postérieur...), par de puissants ligaments (ligament calcanéonaviculaire, ligament plantaire calcanéocuboïdien...) et par l'aponévrose plantaire.

L'aponévrose plantaire est le fascia superficiel des muscles de la plante du pied. C'est une lame de tissu conjonctif fibro-élastique. Elle est tendue longitudinalement et transversalement sur toute la plante du pied, et assure ainsi le maintien de la cambrure des arches du pied tel un hauban.

Cette structure en arche permet de distribuer harmonieusement le poids du corps aux pieds.

En dynamique, Ces arches font un véritable travail de ressort. Elles se déforment sous le poids du corps pour amortir les chocs lors du contact avec le sol, et par la présence du hauban élastique, elles peuvent restituer l'énergie de l'amortissement pour la propulsion.

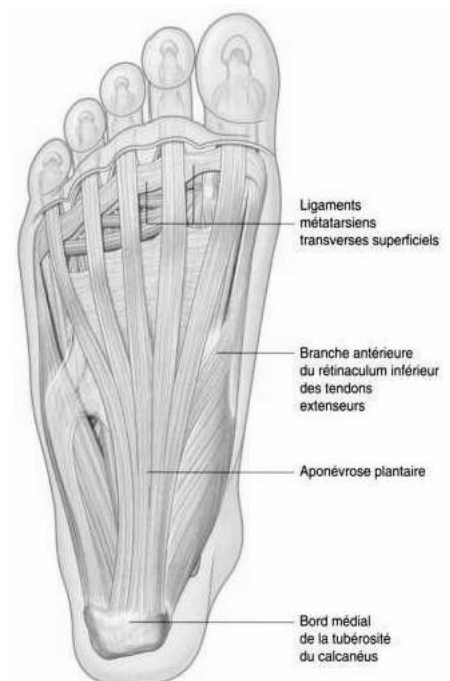


Figure 29 : L'aponévrose plantaire [29]

2. Introduction à la dynamique du pied

Pour comprendre les bases du fonctionnement du pied en dynamique nous allons étudier le déroulement du pied à la marche. Le déroulement du temps d'appui d'un pas peut être divisé en trois phases : taligrade, plantigrade et digitigrade.

La phase taligrade est l'attaque du sol par le talon.

Le talon est la première partie du pied qui se pose sur le sol, il doit jouer un rôle d'amortisseur face aux forces d'impact dues à la rencontre pied-sol. Le capiton plantaire va être le premier à intervenir. C'est une épaisse couche de cellules graisseuses située au niveau des zones d'appuis de la plante des pieds et qui est particulièrement développée au talon. Cette couche de graisse va pouvoir se déformer pour absorber les chocs. Mais elle ne travaille pas seule, les segments sus-jacents du corps constituent également une masse déformable qui absorbe une bonne part de l'énergie cinétique de la réception

Sous l'effet de la mise en charge du pied, la position neutre de celui-ci va passer en léger valgus pour présenter une surface maximale au moment du plein appui du pied. Une grande surface portante permet de répartir efficacement les pressions pour diminuer les forces subies par le pied, et permet aussi une meilleure stabilité du pied.

Le muscle tibial antérieur par action excentrique, amortit la chute de l'avant-pied pendant que le pied pivote sur l'arrondi de l'extrémité inférieure du calcaneus (le talon).

La phase plantigrade correspond au contact de la plante du pied avec le sol, c'est la phase de plein appui.

Dès que la plante du pied touche le sol, l'architecture toute entière du pied va jouer son rôle d'amortisseur. Tout d'abord par le capiton plantaire de tout le pied, puis par une tendance à l'aplatissement des arches du pied entraînant la mise en tension des ligaments et muscles les soutenant. Cela va absorber les chocs dans un premier temps et permettre d'obtenir une énergie gratuite dans un deuxième temps lorsque ces structures retrouvent leur forme initiale. Cette restitution de l'énergie accumulée va faciliter la phase de propulsion.

La phase digitigrade débute quand le talon quitte le sol, le pied repose alors sur les cinq têtes métatarsiennes ; c'est la phase propulsive.

Le décollement du talon est initié par un déplacement du centre de gravité du corps vers l'avant ; entraînant un déséquilibre, et une mise en charge progressive sur l'avant-pied et sur les orteils en extension. Le décollement du talon et la mise en charge de l'avant-pied est notamment permis par une puissante contraction concentrique du triceps sural.

On observe ensuite un déroulé transversal du pied avec un déplacement du poids sur le premier rayon par un pivotement du pied en varus autour des sésamoïdes de l'hallux.

La propulsion est finalisée par une poussée sur les orteils (avec une contraction des fléchisseurs des orteils) ; ceux-ci vont progressivement décoller, l'hallux en dernier.

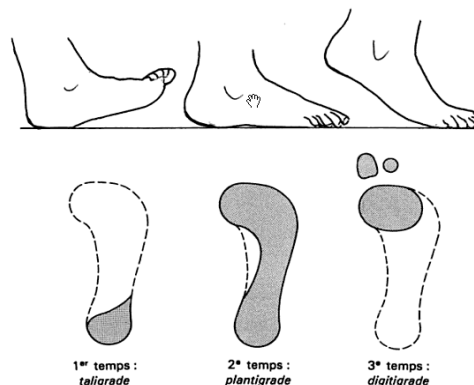


Figure 30 : Les trois phases du pas à la marche [39]

C. L'examen du pied du sportif à l'officine [5, 8, 19, 31, 32, 38, 39, 57]

A l'officine, un patient se présente sans rendez-vous, après un bref entretien avec lui, le pharmacien doit être dans la capacité d'orienter le patient vers la démarche thérapeutique qui lui semble la plus adéquate. Pour les problèmes spécifiques du pied, le pharmacien va parfois devoir prolonger cet entretien et se mettre dans la peau de l'orthopédiste qu'il est par le diplôme universitaire d'orthopédie ou au cas déficient réorienter le patient vers un professionnel de santé approprié. Nous décrivons donc ici l'examen complet du patient se présentant pour une affection podologique. Cet examen se fait en plusieurs étapes, on débute par l'interrogatoire avant de passer à l'examen du pied en décharge et en charge sans oublier l'observation des chaussures.

1. L'interrogatoire

L'interrogatoire du patient est fondamental. Il doit être rigoureux et standardisé dans la mesure du possible pour ne rien oublier.

Cette première étape de l'examen du patient a pour but de préciser le motif de la consultation, et de réaliser une anamnèse de la plainte du patient.

- **Le motif de consultation**

Les signes d'appel conduisant le patient à une consultation de podologie peuvent être réduits à cinq situations caractéristiques :

- Une douleur (motif de consultation le plus fréquent)
- Une impotence fonctionnelle (troubles de la marche)
- Des lésions dermatologiques (d'origine traumatiques ou infectieuses)
- Des déformations du pied (notamment des orteils.)
- Des difficultés de chaussage.

- **L'anamnèse**

L'anamnèse est l'histoire de la maladie du patient, dans tous les cas, il faut noter :

L'âge, le sexe, la taille et le poids (un ordre de grandeur suffit).

Le sport pratiqué : type, intensité, cadre (loisir, compétition, professionnel).

La profession.

Le siège du traumatisme et les circonstances d'apparition.

Tous changements récents des habitudes quels qu'ils soient (sportif, alimentaire, personnel...).

Évaluation précise des symptômes (en particulier de la douleur) : nature, localisation, ancienneté (récente, ancienne), mode et horaire d'apparition, évolution depuis leur apparition jusqu'à la consultation.

Le retentissement fonctionnel (pratique sportive uniquement, activités quotidiennes, pratique professionnelle).

Les antécédents personnels et familiaux au niveau du pied et au niveau général (problèmes vasculaires, neurologiques, diabète, rhumatisme, traitements en cours...).

Les traitements essayés et leurs effets (médicaments, médecine classique ou alternative, orthèse...).

2. L'examen en décharge

Orienté par l'interrogatoire, l'examen des pieds en décharge se fait avec un sujet allongé sur une table d'examen, déshabillé jusqu'à la taille et bien sûr pieds nus. C'est la partie de l'examen appelée « pied dans la main », où l'on regarde et manipule le pied attentivement.

Il faut noter ici que l'une des principales difficultés pour le pharmacien orthopédiste lors de l'examen des pieds sera de reconnaître le pathologique, pour ce faire il est indispensable de bien connaître la « normalité ». Cela nécessite un long apprentissage qui passe par un examen complet systématique du patient et cela toujours en comparant le pied pathologique au pied sain.

Il faut relever :

Les caractéristiques globales du pied (court ou long, étroit ou large, menu ou trapu, attitude du pied au repos).

Les déformations du pied notamment celles de l'avant-pied (hallux valgus, griffes d'orteils, chevauchements...).

Les points de pression douloureux (localisation, point de pression spécifique de certains troubles).

Il faut réaliser :

Un bilan dermatologique : on inspecte la peau et les ongles (lésions cutanées, hyperkératoses, hématomes, signes inflammatoires, cicatrices...), sans oublier les espaces interdigitaux.

Un bilan articulaire : on mobilise les articulations de façon active et passive au maximum de leurs amplitudes pour mettre en évidence les mouvements anormaux, réduits en amplitude et/ou douloureux.

Un bilan musculaire : tonus et force musculaire.

Un bilan vasculaire (varices) et neurologique (sensibilité, réflexes, tonus).

3. L'examen en charge

- **L'examen en statique**

Le pied est examiné à l'aide d'un podoscope. Le sujet est placé debout, pieds nus sur cet appareil qui grâce à un jeu de miroir permet de visualiser les appuis plantaires. Ces appuis correspondent aux zones pâles dévascularisées dues à la peau comprimée par le poids du corps. Toutes les dissymétries entre les deux pieds doivent interpeller car elles résultent soit d'une séquelle pathologique soit d'une affection en cours.

On peut alors observer la plante des pieds en charge, décrire l'assise plantaire du patient et noter les écarts avec l'assise plantaire de référence dite normale.

L'assise plantaire normale correspond à un fort appui talonnier ovoïde, une bande d'appui latérale (l'isthme du pied), un large arc de cercle formant la bande métatarsienne (appelé parfois le talon antérieur) et des empreintes arrondies des cinq orteils séparés du reste de l'assise.

Les écarts avec l'assise plantaire de référence permettent de définir deux principaux types de pied :

Le pied plat, qui montre un élargissement de l'isthme du pied dû à l'affaissement de l'arche médiale du pied. Chez l'enfant, le pied plat est physiologique et disparaît généralement à l'âge de 7 ou 8 ans. On distingue principalement trois degrés de pied plat selon leur importance.

Le pied creux, qui montre, au contraire une réduction de la largeur de l'isthme plantaire. Cette diminution de la surface d'appui est due à l'exagération de la hauteur de l'arche longitudinale médiale. Ici aussi, on distingue trois degrés de pieds creux.

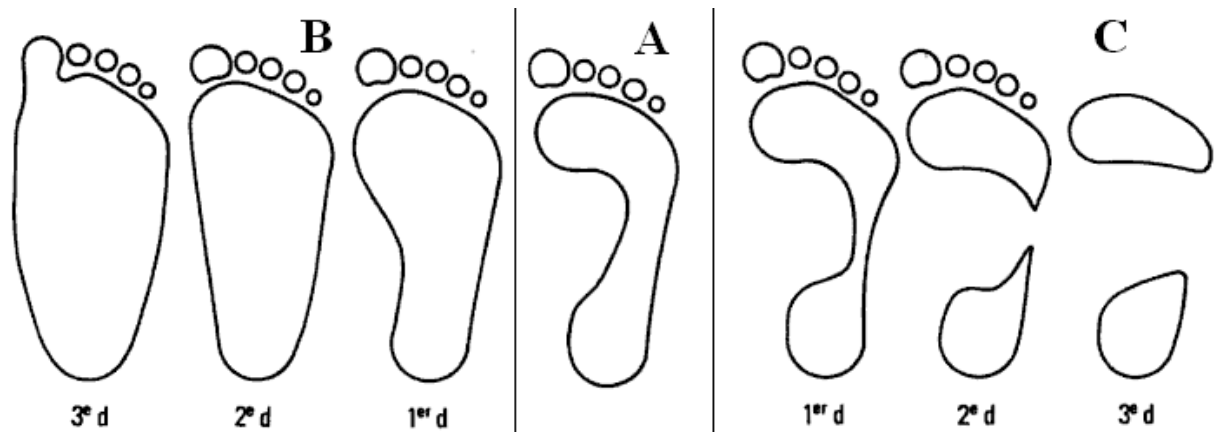


Figure 31 : L'assise de référence (A) avec les trois types de pieds plats (B) et les trois types de pieds creux (C) [38]

La description de l'assise plantaire sera complétée par une prise d'empreinte. Pour se faire, on utilise généralement un podographe, peu coûteux et simple d'utilisation. La prise d'empreinte permet d'objectiver les troubles observés au podoscope, de garder une trace du dossier du patient et peut servir au tracé des orthèses plantaires.

La position du sujet debout sur le podoscope permet de révéler la face plantaire en charge, mais il faut également observer les autres faces du pied.

L'observation du sujet vue de dos va permettre d'analyser l'angle formé entre l'axe de la jambe et celui du talon. En effet ils ne sont pas confondus mais forment un angle physiologique en valgus d'environ 5°. Ainsi on parlera de talon valgus (ou valgus calcanéen) si l'angle est ouvert en dedans (et supérieur à 5°) et de talon varus (ou varus calcanéen) si l'angle est ouvert en dehors.

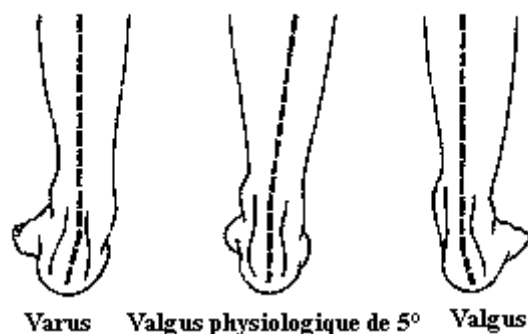


Figure 32 : Pied droit vu de dos [38]

L'observation du sujet vue de face révèle l'incidence dorsale du pied. On peut alors aisément repérer les déformations des orteils (oignons, griffes, chevauchements...), une saillie osseuse accentuée, mais également l'orientation et l'harmonie globale du pied.

On retiendra que les sept saillies osseuses physiologiques du pied sont les têtes métatarsiennes de M1 et M5, l'apophyse styloïde de M5, le tubercule naviculaire, l'apophyse calcanéenne postérieure et les malléoles fibulaire et tibiale.

Par ailleurs on retrouve des orteils de longueurs différentes selon les sujets. On classe donc les pieds en fonction du canon des orteils.

Le pied égyptien, canon le plus fréquent est défini par un hallux plus long que les autres orteils (il sera donc plus fortement sollicité).

Le pied grec est caractérisé par un deuxième orteil plus long que les autres (donnant lieu à une charge plus importante du deuxième rayon).

Le pied carré est signé par la longueur identique des deuxième et troisième orteils.



Figure 33 : Les différents canons d'orteils [38]

Les faces latérales et médiales ne sont pas à oublier pour détecter de possibles saillies osseuses pathologiques ou un affaissement des arches du pied.

• L'examen en dynamique

L'examen des pieds en dynamique passe par l'analyse de la marche (angle du pas, déroulement du pas, boiterie), elle sera faite pieds nus puis pieds chaussés. L'examen de la marche pieds chaussés pourra se faire à l'insu du patient (lors d'un changement de pièce par exemple) pour que celle-ci soit la plus naturelle possible.

L'examen du pied en charge permet donc, entre autre, d'apprécier la statique du pied.

La statique de référence peut se résumer à cinq critères :

- L'assise plantaire normale et symétrique du pied,
- La pression plantaire harmonieusement répartie sur le podoscope,
- Le valgus physiologique du pied par rapport à l'axe du tibia,
- La morphologie harmonieuse du pied (saillies osseuses physiologiques, canon des orteils),
- Le déroulement physiologique du pas.

La non-conformité du pied à l'un de ces cinq critères définit un trouble statique du pied, troubles qui peuvent être constitutionnels ou secondaire à un traumatisme.

4. L'examen de la chaussure

L'examen de la chaussure à travers son usure et ses déformations est un excellent reflet du comportement du pied en dynamique.

L'usure du talon postérieur :

Normalement, la pose du pied au sol se fait par le bord postéro-latéral du talon. Une usure trop latérale traduit un varus talonnier tandis qu'une usure trop médiale évoque un valgus.

L'usure du talon antérieur :

Normalement le pas se termine par le gros orteil et sa partie antéro-médiale s'use légèrement plus. Mais une usure trop importante de cette partie est signe une pronation de l'avant-pied. Si c'est le bord antéro-latéral qui s'use plus vite, cela fait supposer une supination de l'avant-pied.

Déformation de la tige :

Un bord médial évasé sera en faveur d'un valgus talonnier, tandis qu'un bord latéral déformé peut traduire un varus. Il faudra dans tous les cas vérifier que la déformation de la chaussure n'est pas due à une mauvaise habitude de chaussage (ne pas faire ses lacets, utilisation d'un chausse-pied).

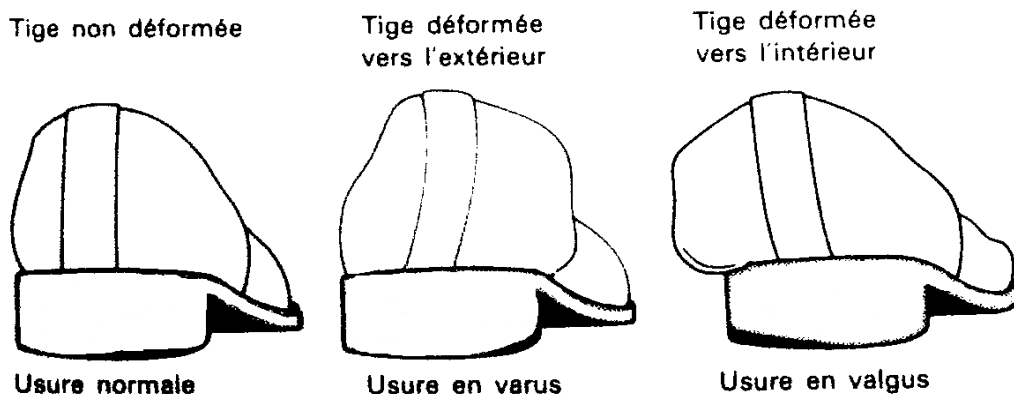


Figure 34 : Usure d'une chaussure vue de dos (pied droit) [38]

L'examen de la semelle de propreté révèle l'impact des têtes métatarsiennes et des orteils, on observera aussi l'orthèse plantaire si le patient en porte.

On profitera également de cet examen pour regarder le type de chaussures que le patient porte, pour le questionner sur ses habitudes de chaussages et ainsi lui donner des conseils pour le choix de ses chaussures.

L'examen podologique doit donc être méthodique et minutieux pour cerner correctement le trouble du patient et lui conseiller un traitement adapté.

L'imagerie notamment à travers la radiographie, l'échographie ou le scanner peut compléter le diagnostic, elle nécessitera un avis médical si elle est jugée nécessaire. Elle s'impose en traumatologie mais peut souvent être évitée en microtraumatologie.

II. Les différentes pathologies microtraumatiques du pied du sportif [47, 74]

Un microtraumatisme est un traumatisme, un dommage physique, de faible intensité mais qui par sa répétition sera néfaste pour la santé. C'est une pathologie de surutilisation où les tissus sollicités n'ont pas le temps de récupérer des contraintes subies.

Dans les atteintes du pied du sportif, la majorité des blessures sont des microtraumatismes. Leur origine est multifactorielle, on note des causes intrinsèques et des causes extrinsèques.

- **Causes intrinsèques**

- L'âge

Aux deux extrémités de la vie, l'appareil locomoteur apparaît comme plus à risque.

Dans l'enfance les tendons et les ligaments sont très solides et sont plus rarement lésés que chez l'adulte. Ce sont les os ici qui sont les plus sensibles, ils présentent une quantité importante de cartilage de croissance, et forment une structure moins solide que celle l'os adulte (ostéochondroses de croissance).

Chez le sujet âgé, on observe une déminéralisation de l'os (fracture), et une altération des propriétés mécaniques du cartilage (hallux rigidus), des ligaments et des tendons (tendinopathies).

- Les troubles statiques du pied

Les troubles statiques du pied sont toutes les différences qui sont observées par comparaison avec la statique de référence du pied.

Ils peuvent causer différents types de contraintes, sollicitant le pied de manière inhabituelle :

- Des excès locaux de pression par une mauvaise répartition des charges.

- Des conflits de frottement, notamment entre le pied et la chaussure par la présence d'une saillie osseuse excessive ou inhabituelle.

- Des augmentations des tensions musculo-tendineuses par désaxations du pied.

- Des perturbations proprioceptives à l'origine de fautes techniques.

Ils pourront être pris en charge par un traitement orthopédique. Celui-ci n'est indiqué que si ces troubles sont liés à des antécédents microtraumatiques, car tout trouble statique asymptomatique est considéré comme compensé par l'organisme.

- **Causes extrinsèques**

- La qualité de l'entraînement

Certains gestes sont particulièrement éprouvants pour le corps. La réalisation du geste sportif nécessite un apprentissage. Ils doivent être parfaitement exécutés pour minimiser les contraintes qu'ils induisent. Un bagage technique déficient, un geste mal réalisé, est source de blessure.

L'échauffement est une phase obligatoire qui débute l'activité. Il mène progressivement de la situation de vie quotidienne à celle envisagée pendant la séance (préparation cardiovasculaire, locomotrice et psychologique). Il doit être d'intensité et de spécificité croissante. Toutes erreurs dans la réalisation de cet échauffement augmentent le risque de blessure (trop court, non progressif, trop peu intense...).

- La quantité de l'entraînement

Chaque sportif pratique son sport avec comme il lui convient. Mais certaines situations de fréquences et d'intensités d'entraînement ne permettent pas au corps d'encaisser la charge qui lui est imposée.

Le « sportif du dimanche » qui pratique une fois par semaine (ou moins), n'est pas assez régulier pour que son corps puisse s'adapter. Il risque de faire une séance trop intense, qui sera source de blessures. Cette situation peut également être observée, chez l'ancien sportif qui veut reprendre « au top », sans progressivité après un long arrêt.

D'un autre côté, chez le sportif de haut niveau, la fréquence élevée des entraînements à la limite physiologique, expose le pratiquant à un dépassement des capacités adaptatives du corps, et aux blessures.

- La qualité du matériel utilisé

Le matériel sportif suit souvent des règles strictes, il est étudié pour que le sportif exerce son activité en toute en sécurité. Un matériel trop usé ou inadapté peut être à l'origine de blessures (tapis de réception absent ou trop mou, revêtement glissant, erreurs de chaussage...).

Tous changements récents dans la pratique de l'activité ou dans le matériel utilisé est à suspecter.

Nous allons essayer ici d'exposer le plus clairement possible les différents microtraumatismes du pied du sportif pour pouvoir les identifier rapidement en vue de permettre une prise en charge adaptée.

On distinguera les lésions rhumatologiques liées à l'atteinte de l'appareil locomoteur en lui-même (affection des os, articulations, muscles, tendons, ou ligaments) et les lésions dermatologiques liées à l'atteinte cutanée du pied.



Figure 35 : coureur hyperpronateur [13]

A. Les affections rhumatologiques

1. Les pathologies de l'arrière-pied

Les affections microtraumatiques de l'arrière-pied du sportif sont nombreuses. Elles se traduisent généralement par une talalgie, et on se trouve parfois dans l'embarras quand il s'agit d'identifier précisément l'origine du trouble. La solution réside alors dans la description de cette douleur, notamment par une analyse topographique précise.

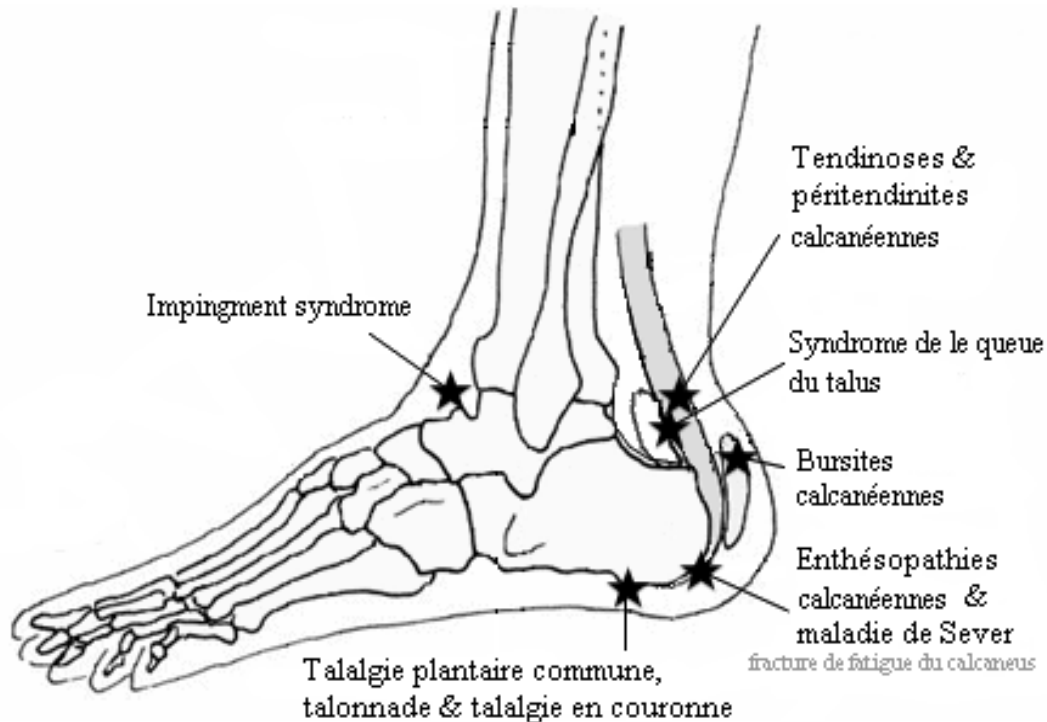


Figure 36 : Principales pathologies microtraumatiques de l'arrière-pied [105]

a. Les tendinopathies calcanéennes [7, 39, 43, 46, 56, 64, 75,76, 77, 82, 105]

Le tendon calcanéen, ou tendon d'Achille selon l'ancienne nomenclature, terminaison du triceps sural est le tendon le plus volumineux et le plus puissant du corps humain. Il est entouré par une gaine aponévrotique le séparant de la peau, et d'un péric tendon (appelé aussi paratendon). Le péric tendon n'est pas histologiquement parlant une gaine synoviale (donc pas de ténosynovite du tendon calcanéen), mais cette gaine va faciliter le glissement du tendon et assurer la nutrition de celui-ci grâce à sa forte vascularisation. L'aide au glissement est complétée à la base du tendon par la présence de bourses séreuses : une bourse rétro-calcaneenne constante entre le calcaneus et le tendon et une bourse de Bovis inconstante entre le tendon et la peau.

Le triangle de Kager est l'espace compris entre les muscles postérieurs de la jambe à l'avant (juste derrière le tibia), le tendon calcanéen à l'arrière et le bord supérieur du calcaneus en bas. Il contient la bourse séreuse rétro-calcaneenne. Sa radiographie permet de mettre en évidence la présence d'une tendinopathie calcanéenne. Le diagnostic peut être confirmé et spécifié par IRM.

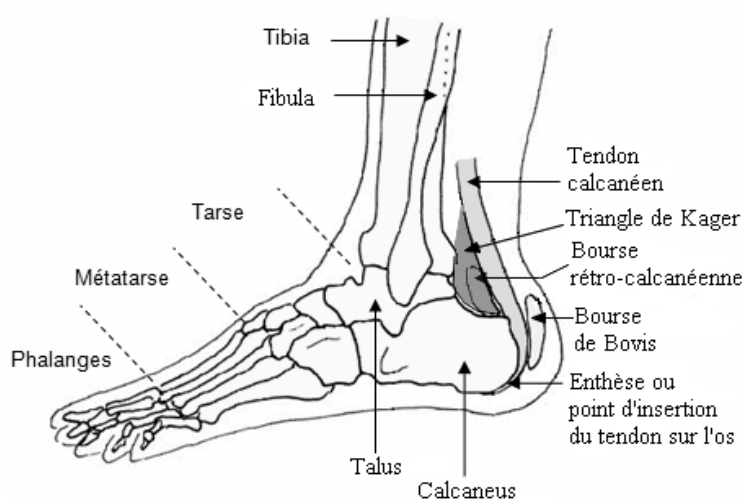


Figure 37 : Localisation des bourses séreuses du tendon d'Achille [105]

Le signe d'appel d'une tendinopathie calcanéenne est une talalgie postérieure. L'évaluation clinique va s'attacher à la localisation exacte de la douleur, donc de la lésion et à son importance.

L'interrogatoire va préciser les caractères de la douleur et son retentissement fonctionnel. Classiquement la douleur évolue en trois phases : au début, elle n'apparaît que lors d'un effort sollicitant le tendon et disparaît au repos ; ensuite, la douleur se manifeste aussi à la marche (notamment après une période de repos) ; enfin la douleur devient quasi permanente.

L'examen clinique fait appel à la **triade douloureuse des tendinopathies**, trois manœuvres qui doivent réveiller la douleur :

La palpation du tendon : elle est réalisée en décubitus ventral, la palpation vérifie la consistance, l'épaisseur du tendon et la présence éventuelle d'un nodule et de signes inflammatoires.

La mise en tension passive du tendon : elle est réalisée en décubitus dorsal en faisant une flexion dorsale passive de la talo-crurale, on appréciera également l'amplitude de ce mouvement.

La contraction résistée des muscles insérés sur le tendon (le triceps sural) : elle est réalisée en charge, on demande au patient de se mettre sur la pointe des pieds, en cas de réussite, des épreuves de difficultés croissantes seront demandées (marche sur la pointe des pieds, sautillerment en bipodal puis en unipodal, course) mettant ainsi en évidence l'importance de la lésion.

- **Etiologie des tendinopathies calcanéennes**

Les tendinopathies microtraumatiques sont une pathologie de surmenage, le plus souvent liée à la pratique sportive. Le tendon calcanéen est fortement sollicité dans tous les sports comprenant des phases de course et particulièrement lors des démarrages (accélérations brusques) et des impulsions (sauts) (athlétisme, basketball, football ...).

Les erreurs de chaussage sont souvent mises en cause : amortissement talonnier insuffisant, mauvais maintien de l'arrière-pied, chaussures trop usées, trop lourdes, ou encore une semelle trop rigide qui augmente les tensions sur le tendon lorsque que le talon décolle du sol.

Les tendinopathies calcanéennes sont grandement favorisées par l'âge du patient du fait que les tendons se modifient avec l'âge et perdent en résistance, on observe ainsi une forte augmentation des atteintes tendineuses après 40 ans.

Les troubles statiques notamment un pied creux ou une pronation excessive de l'arrière-pied vont augmenter le travail du tendon et faciliter une décompensation tendineuse, la brièveté de tendon calcanéen est aussi retrouvée fréquemment.

La déshydratation peut être évoquée comme facteur de risque, en effet les tendons sont des territoires mal irrigués où tout déficit en eau, notamment lors de la pratique sportive, se répercute immédiatement sur la bonne élimination des déchets et sur son bon fonctionnement.

Les foyers infectieux sont également cités comme facteurs favorisant.

Par ailleurs les activités sportives peuvent aussi conduire à une disproportion entre la force musculaire et la résistance tendineuse augmentant le risque de lésion au niveau des fibres tendineuses (les bienfaits des étirements prennent ici tout leur sens).

- **diagnostic différentiel des tendinopathies microtraumatiques**

Une tendinopathie calcanéenne n'est pas toujours d'origine microtraumatique, elle peut être secondaire à une affection inflammatoire chronique (polyarthrite rhumatoïde, spondylarthropathie...) (le contexte inflammatoire de la pathologie sera alors orienté par une atteinte bilatérale et des douleurs nocturnes) ou métabolique (hyperuricémie, dyslipidémies...). Elle peut également être d'origine iatrogène (avec les corticoïdes, les fluoroquinolones, les statines, et les médicaments hyperuricémiants comme les diurétiques ou la ciclosporine). Il faut donc dans tous les cas éliminer ces étiologies.

Il faut aussi écarter la rupture totale du tendon, traumatisme qui nécessite une prise en charge médicale avec le plus souvent un traitement chirurgical. Ce diagnostic différentiel est facilité par les signes spécifiques de cette lésion : douleur d'apparition brutale (au moment du traumatisme) ; impossibilité totale de se mettre sur la pointe des pieds particulièrement en unipodal ; en décubitus dorsal la flexion dorsale passive est augmentée par rapport au côté opposé ; en décubitus ventral la pression manuelle du mollet (manœuvre de Thomson) n'entraîne pas de flexion plantaire.



Figure 38 : Manœuvre de Thomson non réactive [56]

Il faut également noter l'absence de tendinopathies chez l'enfant et dans le cas d'une talalgie postérieure chez l'enfant, il faudra penser à la maladie de Sever.

- **Les différentes tendinopathies calcanéennes**

On va différencier les atteintes tendineuses en fonction de la localisation de la douleur et de l'aspect du tendon :

- Les tendinoses (tendinopathies du corps du tendon ou tendinopathies corporéales)
- Les péricarotendinites calcanéennes (inflammation du péricarotendon)
- Les enthésopathies : tendinopathies de l'insertion distale du tendon
- Les bursites calcanéennes (traitées dans le paragraphe suivant)

- Les tendinoses

Les tendinopathies du corps du tendon sont les plus fréquentes des tendinopathies calcanéennes. Elles se situent préférentiellement à mi-tendon où le diamètre est plus étroit et la vascularisation plus faible.

Les tendinoses correspondent à la lésion du tissu tendineux lui-même sous la forme de micro-ruptures associées à des processus de cicatrisation. Les tissus cicatriciels anarchiques vont donner des nodules sensibles à la palpation et visibles à l'imagerie, on parle de tendinopathies nodulaires. Ces nodules seront des zones de fragilisation du tendon qui peuvent expliquer la tendance chronique de ces tendinopathies.

La zone de micro-ruptures donnera une tuméfaction localisée du tendon.

La palpation des nodules doit être différenciée d'une encoche dans le tendon témoignant d'une rupture partielle de celui-ci.

- Les péricarotendinites

Les péricarotendinites sont une inflammation du péricarotendon due à une sollicitation excessive du tendon. Ces lésions se traduisent cliniquement par un épaississement douloureux et diffus du tendon, sensible à la pression. La réaction inflammatoire se traduit par une rougeur, un gonflement et de la chaleur.

On retrouve dans 30% des cas, des nodules caractérisant une forme combinée avec une tendinose. Cette atteinte combinée regroupe la majorité des formes chroniques des tendinopathies de l'Achille.

- Les enthésopathies

Les enthésopathies sont signées par des douleurs basses à l'insertion calcanéenne, ces douleurs sont spontanées ou provoquées par le contact avec la chaussure.

Ces enthésopathies, notamment chez l'Homme jeune sont souvent un symptôme caractéristique de certaines maladies inflammatoires chroniques comme les spondylarthropathies.

Si elles présentent un contexte sportif, elles doivent faire évoquer une désinsertion partielle du tendon calcanéen et seront préférentiellement présentes chez le sportif âgé, à partir de la cinquième décennie.

- **Le traitement des tendinopathies calcanéennes**

- Le repos

Le traitement des tendinopathies calcanéennes est dominé par un repos, plutôt relatif qu'absolu, variant de deux semaines à trois mois en fonction de l'importance des signes fonctionnels. S'il est relatif, il doit dans tous les cas supprimer les gestes nocifs et la pratique des sports exposés (privilégier par exemple le vélo à la place de la course à pied). La reprise de l'activité sera toujours progressive.

Cette mise au repos du tendon doit être aidée par le rehaussement du talon, qui diminuera son étirement. Cela passe par le port de chaussure avec le talon légèrement relevé (chaussure de running classique par exemple), et par l'utilisation de talonnettes qui au besoin seront associées à un coin pronateur postérieur pour stabiliser l'arrière-pied.

- La cryothérapie

Le froid a une action antalgique (par diminution de l'excitabilité des nocicepteurs et ralentissement de la conduction nerveuse), anti-inflammatoire (par son action vasoconstrictrice qui s'oppose à la vasodilatation de l'inflammation) et vasomotrice (correspond à une hyperthermie réactionnelle, présente que si l'application est suffisamment longue, on a alors une alternance de vasoconstriction et de vasodilatation).

La cryothérapie voit donc son utilité dans le traitement des tendinopathies. Bien que les protocoles de modalités d'application du froid divergent d'un manuel à l'autre, on préconise généralement une application de froid pendant 20 minutes 3 fois par jour (les vessies de glace s'adaptant aux reliefs du corps sont particulièrement conseillées).

Il faut rappeler ici que l'application du froid est un geste à entreprendre immédiatement après tout traumatisme sportif pour son action antalgique immédiate et anti-œdémateuse, elle doit dans ce cas être associée à une élévation et à une légère compression de la région atteinte.

- Le travail musculaire excentrique

La rééducation de la chaîne suro-calcanéo-plantaire par des exercices de musculation en travail excentrique est essentielle, elle suit des protocoles basés sur les travaux de Stanish.

La contraction musculaire excentrique correspond à un effort musculaire contre une résistance extérieure qui lui est supérieure, on a donc un mouvement des segments osseux dans la direction opposée à la force générée par les contractions musculaires.

La règle veut que les exercices se fassent lorsque les étirements sont indolores, tous les jours, en augmentant progressivement la charge et la vitesse de l'exercice durant six à douze semaines.

Pour les tendinopathies calcanéennes, le travail excentrique sera réalisé en décubitus dorsal à l'aide d'un kinésithérapeute dans un premier temps, puis pourra se faire seul sur une marche d'escalier en partant de la station debout sur la pointe des pieds puis en freinant la descente du talon. Dans ce deuxième cas l'augmentation de l'intensité de l'exercice se fera en passant progressivement d'un appui bipodal vers un appui unipodal. Il faut noter ici que le retour en montant sur la pointe des pieds, travail concentrique, n'est pas recherché, ce retour se fera donc à l'aide du second pied ou des bras.

Ces exercices ont montré des actions bénéfiques sur la cicatrisation du tendon et sont indiqués dans les lésions dégénératives du tendon (tendinoses et enthésopathies microtraumatiques).

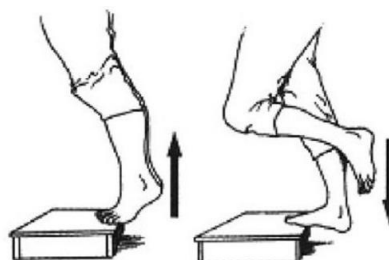


Figure 39 : exemple de travail de remusculation en excentrique [82]

- Les massages transverses profonds

A raison de 10 séances de 10 minutes étalées sur 3 semaines, ces massages, étudiés par Cyriac, sont destinés à favoriser la cicatrisation des tendinoses nodulaires, ils ne peuvent être proposés qu'en l'absence de lésion inflammatoire (tendinoses non combinées) car ils n'agissent que dans le processus de cicatrisation du tendon et sont mal tolérés s'il existe une inflammation (massages douloureux).

Il s'agit d'une friction effectuée perpendiculairement à l'organisation longitudinale du tendon. Ces massages ont un effet anesthésiant rapide mais de courte durée, et surtout une action défibrosante et de remodelage de la cicatrice nodulaire.

- Les ondes de chocs radiales

Les ondes de chocs sont des ondes sonores qui vont générer une variation transitoire et brutale de pression pendant un court instant. Elles sont dites radiales quand elles sont libérées directement au niveau de l'émetteur, par différence avec les ondes de chocs focalisées libérées en un point précis à distance de la source d'émission. Même si le nombre de séances est plus long, un traitement par ondes de chocs radiales ou RSWT (radial shock wave therapy) est souvent préféré à un traitement par ondes de chocs focalisées car les modalités d'utilisation sont plus simples (pas de nécessité d'anesthésie) et l'appareillage moins coûteux.

Ces chocs contrôlés et répétés ont une action mécanique défibrosante associée à une hypervascularisation par création d'une néo-lésion susceptible de mieux cicatriser ensuite. Elles ont également un effet analgésique par libération d'endorphines et par stimulation des fibres de gros diamètre qui vont inhiber les afférences douloureuses de la moelle épinière (gate control).

Elles se comportent donc comme des « super » massages transverses profonds, on les préfère d'ailleurs à ces derniers car les ondes de chocs semblent donner de meilleurs résultats et sont plus facilement maîtrisables.

- Les ultrasons

L'utilisation des ultrasons va avoir pour objectif une action antalgique et une action sur la cicatrisation du tendon atteint (action proche de celle des massages transverses profonds et des ondes de chocs). De nombreuses études mettent en doute leur efficacité.

- Les traitements médicamenteux

Les antalgiques sont à discuter avec le patient pour le soulagement de sa douleur.

Les AINS, au vu de la physiopathologie ne trouvent leur intérêt que dans les formes réellement inflammatoires. Ils peuvent être utilisés sous la forme de topiques locaux (les formes tissugels sont particulièrement intéressantes) ou per os dans ce second cas, ils devront être prescrits à de fortes doses réellement anti-inflammatoires.

Les infiltrations de corticoïdes peuvent être utilisées dans le cas de péri-tendinites résistantes mais sont à proscrire du traitement des tendinoses et des enthésopathies car elles fragilisent la structure du tendon et perturbent sa cicatrisation, on ne fait jamais d'infiltration sur le tendon.

- La chirurgie

La chirurgie doit être exceptionnelle et réservée à des formes résistantes aux traitements médicaux et rééducatifs.

- **Les moyens de prévention**

La prévention de la survenue d'une tendinopathie calcanéenne ou d'une récurrence passe par :

- L'éviction des facteurs de risques cités plus haut (erreurs de chaussage, changements non progressifs dans la pratique et l'intensification de l'activité sportive...),
- Le port de semelles orthopédiques en cas de troubles statiques,
- Une bonne hydratation, une bonne hygiène de vie,
- Une prise en charge des foyers infectieux.

Les exercices d'étirement vont permettre par une augmentation de la souplesse d'un groupe musculaire de diminuer les contraintes sur les tendons.

L'échauffement au début de l'activité sportive doit être progressif et suffisamment long. Il doit être adapté au sportif et à sa discipline ; il sera général puis spécifique à l'activité.

b. Les bursites calcanéennes [39, 43, 46, 56, 58, 76]

Les bursites calcanéennes font partie des tendinopathies calcanéennes, elles se traduisent également par des talalgies postérieures. Ce sont des inflammations de la bourse séreuse rétro-calcanéenne et/ou de la bourse de Bovis. Elles ont toujours pour origine un conflit entre le pied et la chaussure, et elles sont le plus souvent bilatérales. On observe une douleur et une tuméfaction au niveau postéro-supérieur du calcaneus (au dessus de la zone d'insertion du tendon calcanéen).



Figure 40 : observation d'une bursite calcanéenne au podoscope [58]

Face à une bursite calcanéenne principalement deux étiologies sont à suspecter : les pathologies inflammatoires chroniques qui constitueront ici une cause à écarter, et un syndrome de Haglund.

Le syndrome de Haglund peut avoir une cause directement osseuse : la maladie de Haglund. C'est une malformation de l'os, le calcaneus est haut et pointu, et donc saillant sur son angle postéro-supérieur où il entre en conflit avec le contrefort de la chaussure.

L'autre origine de ce syndrome est un trouble statique du pied. Un problème de pied creux ou de varus talonnier excessif en dynamique (hyperpronation) auront tendance à verticaliser le calcaneus et ainsi, indirectement, à rendre son angle postéro-supérieur trop saillant ; les conséquences seront donc semblable à une malformation de Haglund.

Cette pathologie n'est donc pas provoquée par le sport mais peut être favorisée par sa pratique où les contraintes entre le pied et la chaussure sont exacerbées.

Elle engendre donc un conflit entre la saillie du calcaneus et la chaussure, et va provoquer des bursites calcanéennes parfois associées à une tendinose. Une tuméfaction douloureuse de la saillie osseuse va également apparaître provoquant un cercle vicieux par augmentation du conflit avec la chaussure.

Le traitement de ces bursites passe essentiellement par le port d'une talonnette pour horizontaliser le calcaneus, détendre le tendon et modifier les zones de contact avec la chaussure. Celle-ci pourra être associée à une semelle orthopédique pour corriger les éventuels troubles statiques du pied. Un traitement anti-inflammatoire est conseillé. L'utilisation d'infiltration de corticoïdes pourra être envisagée après une discussion du rapport bénéfice-risque en cas de bursites résistantes (risque de toucher le tendon lors de l'infiltration). On doit également regarder le type de chaussure utilisé pour éviter tout contrefort trop haut ou trop rigide à l'origine des lésions (on peut conseiller des chaussures ouvertes à l'arrière de type mule en période aiguë).



Figure 41 : Evolution des contacts entre le calcaneus et la chaussure avec le port d'une talonnette [58]

c. La maladie de Sever [7, 69]

La maladie de Sever est une ostéochondrose de croissance atteignant l'apophyse postérieure du calcaneus. Elle survient chez le jeune sportif entre 8 et 15 ans. En effet chez l'enfant les structures fragiles ne sont pas les tendons mais les os avec le cartilage de croissance et les noyaux secondaires d'ossification (il n'y pas de tendinopathies chez l'enfant). Sous l'effet des classiques microtraumatismes liés aux tendinopathies calcaneennes de l'adulte c'est l'os qui sera altéré. L'atteinte est le plus souvent bilatérale et on retrouve une douleur à la pression du bord postéro-inférieur du calcaneus (correspondant à la zone d'insertion du tendon calcaneen).

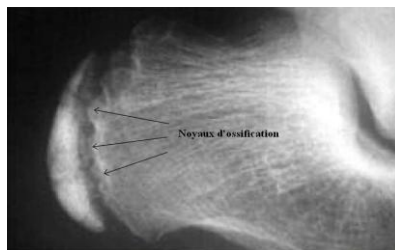


Figure 42 : Radiographie du calcaneus dans la maladie de Sever [69]

Le traitement passe avant tout par un repos sportif strict, celui-ci est long (4 à 6 mois en général) mais indispensable pour ne pas aggraver les microfissurations du noyau secondaire. Il sera parfois difficilement accepté (principale activité de loisir de l'enfant, suspension de la « carrière » sportive de l'enfant, la disparition des douleurs n'autorise pas la reprise du sport) et il faudra donc prendre le temps d'éduquer l'enfant et les parents.

On pourra l'associer au port d'une talonnette amortissante pour son action antalgique.

L'évolution de la maladie (en 6 à 15 mois généralement) est toujours favorable et sans séquelle si l'on respecte le repos sportif.

d. La talalgie plantaire commune [5, 7, 12, 14, 39,43, 51, 61, 79]

La talalgie plantaire commune est une douleur aiguë au niveau du talon liée à des chocs répétés sur cette zone qui conduisent à une mise en tension excessive et trop fréquente du système suro-calcanéo-plantaire.

Elle va apparaître lors d'un surmenage sportif, notamment sur sols durs (longue marche, course, sauts, impulsions...).

• Physiopathologie et clinique de la talalgie plantaire commune

Elle est la conséquence de tiraillements au niveau de l'insertion calcanéenne de l'aponévrose plantaire et des muscles s'insérant sur la grosse tubérosité du calcaneus (principalement l'abducteur de l'hallux, mais parfois l'abducteur du 5^{ème} orteil et le court fléchisseur des orteils). Ces tiraillements vont provoquer une dégénérescence des insertions calcanéennes de ces structures.

Figure 43 : Insertions postérieures sur la grosse tubérosité du calcaneus (vue plantaire). 1 : Abducteur du 5^{ème} orteil, 2 : abducteur de l'hallux, 3 : court fléchisseur plantaire, 4 : aponévrose plantaire, 5 : fibres en continuité avec le tendon calcanéen (emc)



Le signe d'appel de cette enthésopathie myoaponévrotique est une douleur aiguë au niveau de la partie médiane de la face inférieure du talon, elle est décrite comme un clou qui entre dans le talon. Cette douleur est particulièrement vive le matin au lever, elle va diminuer après quelques pas, mais peut se réveiller à l'effort.

Elle peut être diffuse ou très localisée. Une localisation à la partie médiane du talon (cas le plus fréquent) signera une enthésopathie de l'aponévrose plantaire et/ou du muscle abducteur de l'hallux, une localisation moyenne fera penser à une atteinte du muscle court fléchisseur des orteils et une localisation latérale fera suspecter une atteinte du muscle abducteur du 5^{ème} orteil.

A l'examen clinique, on peut reproduire la douleur par la pression de cette zone. La flexion dorsale du pied et des orteils (marche sur les talons) ou la flexion plantaire contrariée (marche sur la pointe des pieds) vont mettre en tension l'aponévrose plantaire et les muscles associés, et accentuer cette douleur. L'atteinte est le plus souvent unilatérale et il faut se méfier d'une atteinte bilatérale pouvant révéler une atteinte inflammatoire chronique de type spondylarthropathie.

La radiographie ne montre aucune anomalie, mais on retrouve parfois une « épine calcanéenne ». Cette épine peut survenir secondairement, elle correspond à l'ossification de l'insertion calcanéenne. Si cette épine est typique de cette pathologie, il n'existe aucun rapport entre sa présence et les signes cliniques.



Figure 44 : Epine calcanéenne à la radiographie [61]

La talalgie plantaire commune sera favorisée par des troubles statiques de l'arrière-pied, on retrouve principalement le pied plat valgus (effondrement de l'arche médiale conduisant à une tension persistante sur l'aponévrose) et le pied creux (rehaussement de l'arche médiale et raccourcissement du système suro-calcanéo-plantaire qui en dynamique sera plus fortement sollicité).

Elle est également favorisée par le port de chaussures très rigides comme les chaussures à crampons (football, rugby) et par les chaussures à semelles trop fines manquant d'amortissement talonnier.

Comme les autres tendinopathies, elle touche plutôt le sportif après 40 ans. Il faut aussi noter qu'une surcharge pondérale augmentant les contraintes sur les arches du pied est souvent observée.

- **Diagnostics différentiels**

Le myoaponévrosite est la talalgie plantaire la plus fréquente. Lorsqu'on suspecte une myoaponévrosite, il faut toujours écarter la rupture de l'aponévrose plantaire, c'est un traumatisme sportif aigu avec une douleur plantaire intense d'apparition brutale empêchant tout appui.

Mais elle est également à différencier de l'aponévrosite plantaire et de deux autres causes de talalgies plantaires microtraumatiques : la talonnade et la talalgie en couronne

L'aponévrosite plantaire :

Comme la myoaponévrosite, c'est une atteinte microtraumatique de l'aponévrose plantaire mais siège pour sa part au niveau du corps de l'aponévrose. Ce sont des microruptures de l'aponévrose qui se traduisent par une plantalgie. On la retrouve plutôt chez le sportif de plus de 40 ans.

La talonnade :

Terme fréquemment utilisé dans le jargon sportif pour désigner toutes talalgies plantaires, la talonnade est en fait la conséquence de percussions et de cisaillements du capiton plantaire talonnier lors des chocs talonniers. Elle fait le plus souvent suite à des microtraumatismes mais elle peut également survenir dans le cadre d'un unique choc brutal (pathologie traumatique).

On la retrouve fréquemment chez les coureurs de fond (marathonien sur bitume ou trailers avec travail du talon majoré par les fortes descentes) mais aussi dans les sports en salle avec de nombreuses séquences de course où il faut freiner rapidement (handball, futsal...).

Cette attrition du capiton plantaire peut être accompagnée d'une inflammation de la bourse séreuse sous-calcanéenne (bourse inconstante), appelé bursite de Lenoir.

Pour soulager le pied, on utilise une talonnette en mousse placée sous les deux pieds.

La talalgie en couronne

La talalgie en couronne est une talalgie spécifique du pied creux du 3^{ème} degré. Dans ce type de pied, le calcaneus sera fortement verticalisé et les microtraumatismes au niveau du talon vont directement agir sur le calcaneus. On a donc un conflit osseux qui se va se traduire par une douleur permanente autour du calcaneus, douleur en « couronne ». Ici les contraintes peuvent être réduites au simple frottement entre le calcaneus et la chaussure pour déclencher la pathologie.

Pour soulager le pied, on utilisera une orthèse plantaire avec une coque talonnière en mousse en regard de la zone douloureuse.

- **Le traitement des talalgies plantaires**

Le traitement de ces talalgies passe par le repos, on supprimera ainsi tous sports impliqués dans la pathologie et on réduira le kilométrage de marche. Le maintien d'une activité physique peut se faire au travers de la natation ou du vélo, elle doit être dans tous les cas non douloureuse.

On associera ce repos au port de talonnettes bilatérales de 10 à 15 mm viscoélastiques ou en mousse compressible qui vont diminuer la sollicitation de la chaîne suro-calcanéo-plantaire et diminuer l'impaction du pied sur le sol. Ce traitement orthopédique procure un soulagement immédiat de la douleur.

Un programme de rééducation est également à réaliser. Il comprend des étirements des chaînes musculaires et un renforcement des muscles impliqués dans la pathologie (notamment par travail excentrique).

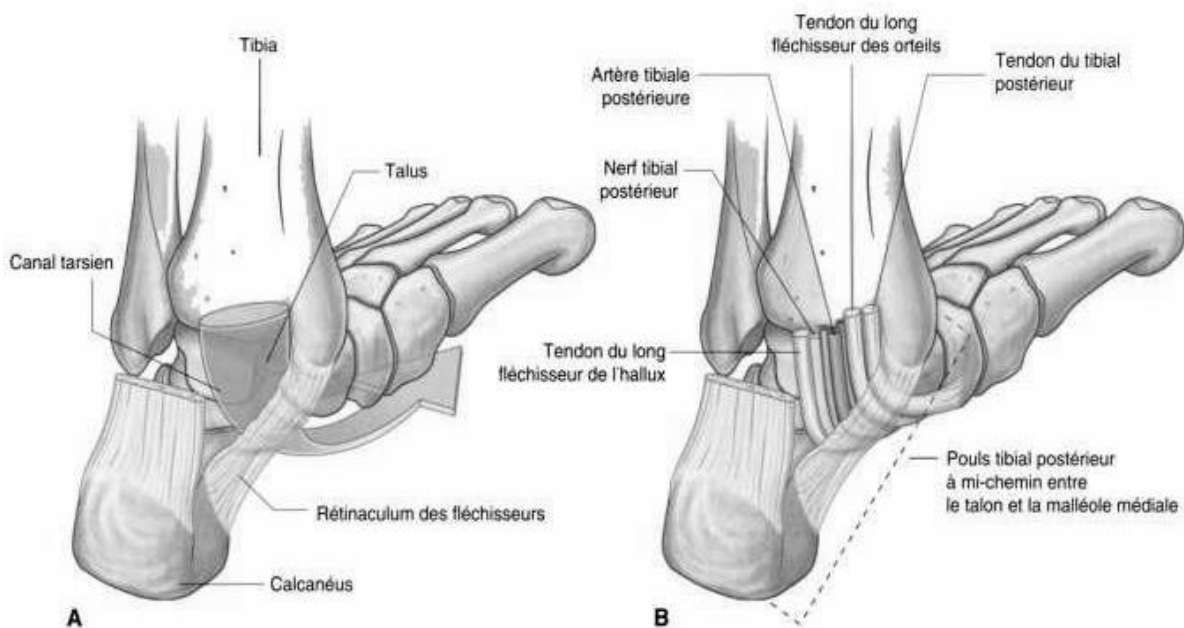
On peut y associer la prise d'anti-inflammatoire per os et la cryothérapie dans un but antalgique. Les infiltrations de corticoïde seront limitées aux cas d'échecs thérapeutiques.

La prévention passe par le port de semelles orthopédiques pour corriger les troubles statiques, et par une restructuration de l'entraînement.

- e. **Le syndrome du canal tarsien [29, 39, 41]**

Le canal tarsien est un espace où passe de nombreuses structures venant de la jambe.

Il est situé sur le bord médial de la cheville. Il est délimité par la malléole tibiale et le calcaneus d'un côté, et par le rétinaculum des fléchisseurs d'un autre côté (un rétinaculum est une large bande de tissu conjonctif initialement destinée à maintenir des tendons contre les structures osseuses telle une sangle). Cet espace ainsi formé contient : le tendon du muscle tibial postérieur, le tendon du long fléchisseur des orteils, le tendon du long fléchisseur de l'hallux mais également l'artère tibiale postérieure et le nerf tibial.



Rare en pathologie sportive, le syndrome du canal tarsien (ou syndrome du tunnel tarsien) est un syndrome canalaire qui correspond à la compression du nerf tibial au niveau de ce canal tarsien par un rétrécissement de ce dernier.

La diminution du calibre de ce canal peut avoir de nombreuses causes, chez le sportif, elle est souvent la séquelle d'un traumatisme ou d'une fracture au niveau de la cheville, mais un valgus calcanéen associée à des microtraumatismes répétés peut également être incriminé (par augmentation de la pression de la malléole tibiale sur la tige de la chaussure).

Il faudra dans tous les cas éliminer une cause métabolique ou inflammatoire.

Les signes cliniques se définissent essentiellement par des paresthésies qui irradient depuis la zone sous la malléole médiale (engourdissements, fourmillements, brûlures, picotements).

Ces douleurs apparaissent surtout à la marche, à la station debout prolongée ou lors de la pratique du sport (course à pied principalement) ; mais on retrouve parfois des douleurs nocturnes ou au repos généralement quand la pathologie est présente depuis longtemps.

La douleur sera réveillée à l'examen clinique par pression au niveau du canal tarsien

On peut retrouver une tuméfaction le long du trajet du nerf tibial.

Des troubles moteurs au niveau des orteils, bien que rare, sont à rechercher. Ils peuvent se traduire par des griffes d'orteils, par une diminution de leur force de flexion, par un défaut d'appui des extrémités des orteils en statique, et par un chevauchement de l'hallux sous le second orteil en flexion.

Le traitement de ce syndrome passe par le repos, le glaçage et les infiltrations intracanales de corticoïdes. On conseille néanmoins de préserver une mobilisation active pour éviter tout enraidissement.

On prendra en charge les éventuels troubles statiques par le port de semelles orthopédiques et on évitera un chaussage trop serré comprimant le pied.

En cas d'échec thérapeutique, malheureusement fréquent, la chirurgie peut être envisagée.

f. Le syndrome du carrefour postérieur de la cheville [5, 18, 39, 63]

Le syndrome du carrefour postérieur de la cheville correspond à des lésions traumatiques ou microtraumatiques au niveau du processus postérieur du talus lors de l'hyperextension du pied (flexion plantaire maximale). C'est une pathologie essentiellement sportive, elle est plus communément désignée par syndrome de la queue du talus (ou de l'astragale selon l'ancienne dénomination).

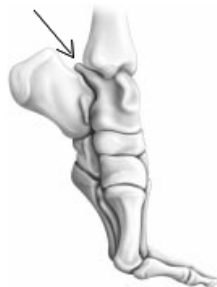


Figure 46 : Lieu du syndrome du carrefour postérieur de la cheville, ici avec le cas d'un processus postérieur du talus long [63]

Ces lésions sont principalement retrouvées chez les danseuses lors du travail sur pointes. On retrouve également ce syndrome chez le footballeur (lors des shoots avec le dos du pied) ou lors de l'impulsion des sauts (athlétisme, volley-ball, basket-ball...) mais les lésions sont alors plutôt d'apparition aiguë s'apparentant à un réel traumatisme du pied.

La douleur est une talalgie postérieure (au niveau de la partie supérieure du calcaneus), les tendinopathies calcaneennes sont donc le principal diagnostic différentiel.

La douleur ne survenant qu'en flexion plantaire, on affirmera le diagnostic en provoquant la douleur par le signe de la pince coupante, il correspond à une hyperextension forcée du pied par une poussée du talon vers la jambe, le patient en décubitus ventral.

Le processus postérieur du talus présente des variantes morphologiques, on différencie ainsi le processus postérieur du talus long (queue longue), celui détaché (formant l'os trigone) et le court (queue courte).

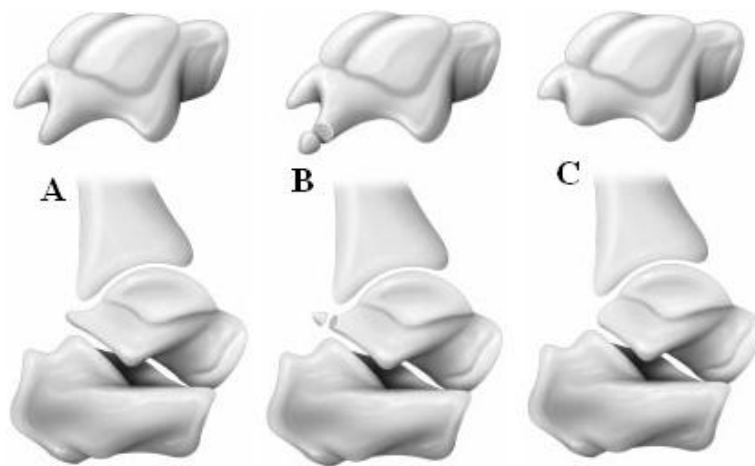


Figure 47 : Les différentes variantes morphologiques du processus postérieur du talus – A : long / B : détaché / C : court [63]

Ces variantes vont caractériser la pathologie :

Le syndrome du carrefour postérieur sur queue longue est un conflit osseux, le processus long est pincé entre le calcaneus et le tibia lors de l'hyperextension, les martèlements répétés sur le talus vont déformer le processus talien et peuvent conduire jusqu'à la fracture de fatigue et provoquer le détachement de la partie distale du processus talien.

Le syndrome du carrefour postérieur sur queue détaché ou syndrome de l'os trigone est également un conflit osseux provoquant une déformation de l'osset. Si l'on aboutit à la fracture de fatigue, l'osset sera broyé entre le tibia et le calcaneus.

Le syndrome du carrefour postérieur sur queue courte est beaucoup plus rare, la capsule synoviale de l'articulation talo-crurale est pincée entre le calcaneus et le tibia.

Ces différentes caractéristiques lésionnelles seront différenciées par radiologie qui confirmera par là le diagnostic et permettra de hiérarchiser l'importance de la lésion.

Le traitement passe par la mise au repos de la cheville, le repos est obtenu par le port d'orthèse qui va maintenir l'arrière-pied. La durée du port de l'orthèse va de quinze jours à six semaines en fonction de l'importance de la lésion.

La rééducation est indispensable, elle débute dès la fin de la période de repos. C'est un travail complet de renforcement musculaire et d'assouplissement de la cheville, associé à des exercices de proprioception.

La chirurgie ne peut être envisagée qu'en cas d'échec du traitement médical associé à la rééducation.

Comme toute pathologie de surmenage, le patient devra adapter l'intensité de son entraînement et l'exécution de certains gestes pour éviter les récurrences.

g. Le syndrome exostosant antérieur (ou impingement exostose de O'Donoghue) [18, 39]

Le syndrome exostosant antérieur est la conséquence d'un conflit osseux douloureux entre la margelle tibiale (extrémité distale antérieure du tibia) et la face antérieure du talus lors de la flexion dorsale du pied.

Le conflit est permis par la présence d'un processus osseux sur la face antérieure du talus. Cette pathologie osseuse semble avoir pour origine une enthésopathie. Lors des hyperflexions plantaires, il y aurait des tractions répétées sur les insertions ligamentaires du col du talus provoquant la calcification de ces insertions et à la formation d'enthésophytes (comme dans la talalgie plantaire commune). Ces enthésophytes, lors de la flexion dorsale vont venir cogner contre le tibia et provoquer la douleur.

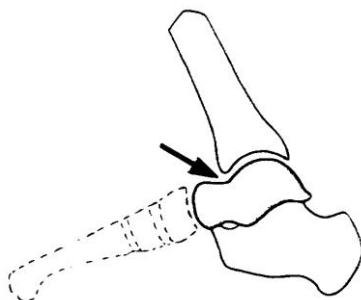


Figure 48 : Lieu du conflit osseux dans le syndrome exostosant antérieur [18]

Cette pathologie est donc d'origine microtraumatique. Elle est favorisée par les pieds creux où l'on retrouve souvent une chaîne suro-calcanéo-plantaire courte qui augmente les tensions en dynamique.

On retrouve ce syndrome le plus souvent chez la danseuse ou chez le rugbyman où les gestes en hyperflexion plantaire sont répétés et traumatisants.

La lésion se manifeste par une douleur imprécise sur le coup de pied, en flexion dorsale. L'examen met en évidence une diminution de l'amplitude de la flexion dorsale lors de la mobilisation passive, mobilisation qui déclenche la douleur. L'imagerie est essentielle pour confirmer le diagnostic.

Le traitement comprend la prise d'anti-inflammatoires par voie générale ou locale et des infiltrations de corticoïde. On limitera la flexion dorsale du pied par la pose d'un strapping adapté et par le port d'une cheville. La chirurgie pourra être envisagée en cas d'échec thérapeutique.

2. Les pathologies de l'avant-pied

a. La pathologie statique de l'avant-pied [5, 7, 28, 33, 38, 39, 61, 64]

La pathologie statique de l'avant-pied, peut être désignée par deux autres termes : métatarsalgies statiques ou syndrome de surcharge capito-métatarsien.

Ces deux termes permettent de résumer clairement la pathologie. On a donc affaire à des douleurs au niveau de têtes métatarsiennes déclenchées par des contraintes de pressions sur les métatarsiens et sur le capiton plantaire sous-jacent, chez un sujet qui présente au départ des troubles statiques du pied.

C'est le motif de consultation le plus fréquent en pathologie du pied.

La pratique sportive va ici augmenter les contraintes sur l'avant-pied. Elle aura ainsi tendance à révéler la maladie en déclenchant la douleur et à l'accélérer dans son évolution. Les sports avec un appui accentué sur l'avant-pied sont particulièrement incriminés (course avec ou sans phase taligrade, art martiaux, danse classique...).

On peut évoquer d'autres facteurs favorisants comme :

La surcharge pondérale, qui augmente les contraintes sur le pied.

L'insuffisance du capiton plantaire sous les têtes métatarsiennes par le port prolongé de chaussure à semelles trop amortissantes. Une sensation de brûlure ou d'échauffement plantaire est alors le signe typique d'un capiton plantaire insuffisant.

Le port de chaussures trop étroites ou trop serrées.

• Note sur la biodynamique de l'avant-pied

Rappelons qu'en charge l'arche antérieure disparaît, l'appui se répartit en effet sur la totalité des cinq têtes métatarsiennes. Elles forment un talon antérieur adaptatif où les charges se répartiront harmonieusement entre les différentes têtes en statique comme en dynamique.

La présence d'un trouble statique va perturber cet équilibre et provoquer des surcharges plus ou moins localisées à certaines têtes métatarsiennes.

Toute verticalisation d'un métatarsien augmente la charge sur la tête correspondante.

Physiologiquement l'inclinaison est plus forte au niveau du 1^{er} métatarsien et diminue progressivement jusqu'au 5^{ème}. La première tête supporte ainsi une charge plus importante que les autres.

Cette verticalisation des métatarsiens est accentuée par un pied creux ou par le port de chaussure à talon. Le pied plat quant à lui aura tendance à horizontaliser les métatarsiens. La charge globale sur les têtes métatarsiennes n'est pas tant affectée par ces variations que la répartition de ces charges entre les cinq têtes ; la 1^{ère} tête sera la plus touchée entraînant une surcharge ou une insuffisance du 1^{er} rayon.

Dans le plan horizontal, l'alignement et l'écartement harmonieux des têtes métatarsiennes est défini par la parabole de Lelièvre. Un métatarsien trop long sera surchargé, tandis qu'un métatarsien trop court conduit à la surcharge des têtes voisines.

On peut noter la longueur du premier métatarsien par rapport au second, dont le raccourcissement est à l'origine de nombreuses métatarsalgies, grâce au procédé de la double pince où l'on palpe avec chacun des deux pouces les deux premières têtes métatarsiennes.

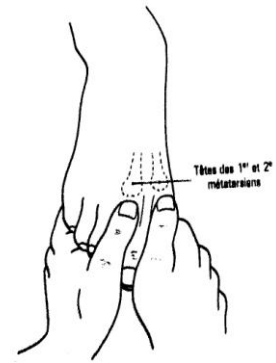


Figure 49 : Procédé de la double pince [38]

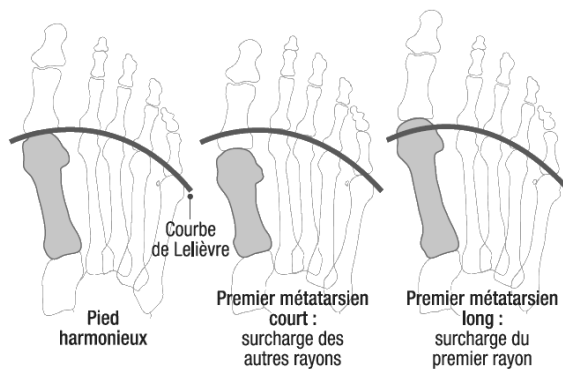


Figure 50 : Alignement des têtes métatarsiennes dans le plan horizontal [61]

• Différentes métatarsalgies

Ces déséquilibres conduisent à différencier un certain nombre de pathologies, et malgré le fait qu'elles soient souvent imbriquées entre elles, on peut définir :

L'insuffisance du premier rayon. Elle peut avoir pour origine : l'horizontalisation du 1^{er} rayon (pied plat, hyperlaxité constitutionnelle), la brièveté du 1^{er} métatarsien (qui aura également tendance à horizontaliser le 1^{er} rayon), un hallux valgus, ou une sésamoïdopathie. L'insuffisance du 1^{er} rayon peut conduire à la fracture de fatigue de 2^{ème} métatarsien, à la surcharge des têtes métatarsiennes moyennes ou au syndrome du 2^{ème} rayon.

Le syndrome du deuxième rayon. C'est une surcharge élective de la 2^{ème} tête métatarsienne. Il a pour origine l'insuffisance du 1^{er} rayon et sera favorisé par une hallomégalie (un excès de longueur) du second orteil. Ce syndrome évolue en trois phases. Une phase douloureuse simple (instabilité douloureuse de la 2^{ème} articulation métatarso-phalangienne) avec une métatarsalgie au niveau de la 2^{ème} tête. Une phase de subluxation (ou luxation réversible) avec une inflammation de l'articulation métatarso-phalangienne et une hyperkératose plantaire. Et il peut évoluer jusqu'à la phase de luxation fixée de l'articulation métatarso-phalangienne (une luxation est la perte totale de contact entre 2 surfaces articulaires) avec une griffe proximale du second orteil.

La surcharge des têtes métatarsiennes moyennes. Elle sera induite par une insuffisance du 1^{er} rayon, un pied plat, une hyperlaxité ligamentaire et par des erreurs de chaussage. En effet la chaussure étroite et pointue, plus encore si elle présente une surélévation talonnière, va comprimer les rayons latéraux en surchargeant ainsi les têtes métatarsiennes moyennes.

On observe un avant-pied plat avec une palette métatarsienne effondrée qui peut s'aggraver jusqu'à devenir un **pied rond antérieur** où le clavier métatarsien devient convexe vers le bas.

On retrouve une métatarsalgie, une hyperkératose, une attrition du capiton plantaire et des griffes d'orteils localisés aux trois rayons moyens.

Il faut différencier cette pathologie du syndrome de Morton mais dans des cas d'avant-pied rond avancés on peut retrouver un Morton comme complication.

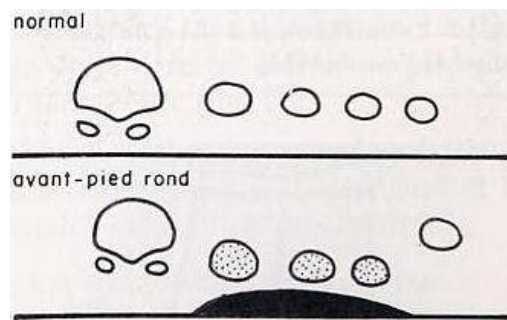


Figure 51 : Coupe transversale de la palette métatarsienne dans le cas d'un pied rond antérieur [48]

La maladie de Freiberg. C'est une ostéochondrose de croissance de la tête d'un métatarsien qui atteint souvent la jeune sportive entre 9 et 14 ans. De nombreux cas ont été décrits chez l'adulte, mais elle s'apparente alors à une ostéonécrose aseptique. Elle touche le plus souvent la 2^{ème} tête (elle est alors également désignée sous le nom de maladie de Köhler) mais peut aussi affecter la 3^{ème} tête ; l'atteinte des autres têtes métatarsiennes est exceptionnelle. Elle semble être favorisée par un excès de longueur du second métatarsien, une insuffisance du 1^{er} rayon, mais surtout par une pratique trop précoce de certains sports (danse classique, gymnastique, art martiaux, course...). Elle doit être suspectée dans tous les cas de métatarsalgies de l'enfant.

Les griffes d'orteils. La griffe d'orteil est la conséquence d'un déséquilibre entre les muscles extenseurs et fléchisseurs de l'orteil, associé à une surcharge de la tête métatarsienne correspondante (l'orteil se place en griffe par tenter de soulager l'hyperappui métatarsien). Cette surcharge est augmentée par le port de chaussures trop courtes ou trop étroites (la chaussure féminine à talon tout particulièrement, où l'orteil va se retrouver recroquevillé dans le bout de la chaussure). Cette lésion peut toucher les quatre orteils latéraux, elle sera réductible au début puis aura tendance à devenir fixée (irréductible) par raccourcissement des tendons. Classiquement elle se traduit par une flexion de l'articulation inter-phalangienne proximale (griffe proximale), c'est **l'orteil en marteau**. Le haut de cette articulation va se retrouver en conflit avec la chaussure et se forme alors une hyperkératinisation et une tuméfaction dorsale douloureuse, un cor. La griffe peut également être distale (flexion de l'articulation inter-phalangienne distale), totale (flexion des deux articulations inter-phalangienne), ou inversée appelée aussi griffe en col de cygne (flexion de l'articulation inter-phalangienne proximale avec une hyperextension de l'articulation distale).

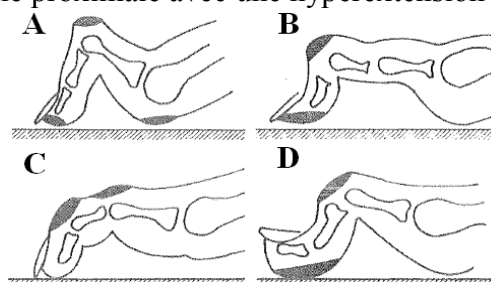


Figure 52 : Les griffes d'orteils. A : griffe proximale, B : griffe distale, C : griffe totale, D : griffe inversée [38]

On peut également citer d'autres métatarsalgies comme :

L'hyperappui plantaire latéral. C'est un hyperappui de la 5^{ème} tête métatarsienne qui révèle ou complique le plus souvent une lésion siégeant ailleurs sur le pied. Il peut par exemple être la conséquence d'un hallux rigidus douloureux conduisant à une supination de l'avant-pied.

La bursite latérale de la 5^{ème} tête métatarsienne ou tailor's bunion. Elle a pour origine un quintus varus, c'est déformation du 5^{ème} orteil physiopathologiquement similaire à l'hallux valgus. Cette déformation va former une saillie osseuse latérale au niveau de l'articulation métatarso-phalangienne, qui par conflit avec la chaussure va se tuméfier et révéler la maladie.

Dans tous les cas, il faut pouvoir éliminer du diagnostic des métatarsalgies statiques, les fractures de fatigue des métatarsiens et le syndrome de Morton.

Une fracture de fatigue est une fracture qui survient suite à des microtraumatismes répétés. Elle doit être considérée comme un trouble d'adaptation de l'os à l'effort où les processus de remaniement de l'os sont dépassés. Classiquement, les impacts osseux provoquent des microfissures sur l'os, qui sera reconstruit plus fort. Mais lors d'une hypersollicitation inhabituelle (intensité ou fréquence trop élevée), l'ostéogenèse est dépassée et l'os s'affaiblira petit à petit jusqu'à la fracture. La prise en charge d'une fracture de fatigue sera similaire à celle des fractures traumatiques classiques. Au niveau du pied, sont principalement retrouvés par ordre de fréquence les fractures de fatigue des métatarsiens, celles des sésamoïdes, du naviculaire et du calcaneus.

La fracture de fatigue peut être différenciée par la présence d'une ecchymose et par l'apparition tardive de l'hyperkératose mais ne peut être définitivement écartée que par l'imagerie.

Le syndrome de Morton sera éliminé par ses signes cliniques caractéristiques.

Au vue de la description de ces différentes affections, on peut résumer le syndrome de surcharge capito-métatarsien avec la description des étapes successives de cette pathologie évolutive:

- 1-Prédisposition morphostatique asymptomatique.
- 2-Surcharge localisée visible au podogramme.
- 3-Gêne minime et intermittente : douleur associée ou non à une hyperkératose localisée à la zone de surcharge.
- 4-Compensations fonctionnelles : griffes d'orteils, surcharge collatérale, modification dynamique.
- 5-Décompensations : douleurs mécaniques quotidiennes, hyperkératose nécessitant au moins une séance de pédicurie par mois, fonte du capiton plantaire.
- 6-Complications : luxation d'orteils, fracture de fatigue, ostéonécrose d'une tête métatarsienne surchargée, bursite, exostose, syndrome de Morton.

• Le traitement des pathologies statiques de l'avant-pied

Le traitement passe essentiellement par la prescription d'une orthèse plantaire qui peut être conseillée dès les premières douleurs. Elle a pour but de mettre en décharge les têtes métatarsiennes touchées. Elle présentera des éléments rétrocapitaux en pelote (pour soulager les têtes médianes) ou en barre (pour soulager l'ensemble des têtes métatarsiennes).

La prise en charge des griffes d'orteils se fait par le port de petites orthèses d'orteils (orthoplasties) sous la forme de capuchons d'orteils ou de séparateurs d'orteil en silicone.

Les hyperkératoses doivent également être prises en charge pour diminuer les douleurs.

Enfin, il faut corriger les erreurs de chaussage ; on conseil des chaussures larges, souples et sans talon.

Le traitement de la maladie de Freiberg y associe un repos sportif strict comme pour toutes les ostéochondroses de croissance.

La rééducation de l'avant-pied a aussi son importance, elle doit comporter des exercices d'assouplissement, de mobilisation musculaire et articulaire (travail de préhension avec les orteils...). Ces exercices doivent être réalisés pieds nus.

b. Les autres pathologies du premier rayon

- **L'hallux valgus [5, 17, 38, 39, 58, 64]**

L'hallux valgus est une pathologie très courante du gros orteil. Si la déviation exagérée de l'hallux en dehors (par rapport à l'axe du corps) en est le signe le plus visible, c'est une pathologie qui touche la totalité du premier rayon.



Figure 53 : L'hallux valgus [58]

Cette déformation évolutive sur plusieurs années est caractérisée par :

Une déviation en valgus (abduction + pronation) de l'hallux. Elle est considérée comme pathologique lorsque le valgus est supérieur à 15° .

Une déviation en varus du premier métatarsien. L'angle entre M1 et M2 est exagéré s'il est supérieur à 10° .

Si ces déformations osseuses signent la maladie, on observe également une modification progressive des structures musculaires et capsulo-ligamentaires qui vont fixer les lésions et les aggraver :

Une exostose inflammatoire apparaît progressivement par conflit de la tête métatarsienne déviée en dehors du pied avec les structures capsulo-ligamentaires de l'articulation métatarso-phalangienne. Cet oignon va détendre les structures molles médiales (ligaments métatarso-sésamoïdien et métatarso-phalangien) et engendrer une laxité articulaire.

Le tendon du long fléchisseur de l'hallux, va se retrouver à l'intérieur du pied, prenant le rôle d'une corde de l'arc créé par la déformation. Il va ainsi se rétracter et tirer l'hallux vers l'intérieur du pied.

Le muscle abducteur de l'hallux va suivre la translation latérale des sésamoïdes de l'hallux. D'une position médiale, il devient plantaire. Le seul muscle « antivalgus » perd ainsi sa fonction et n'est plus que fléchisseur de l'hallux.

Ces déformations, principalement par la position latérale des sésamoïdes et l'écartement du 1^{er} métatarsien, font perdre la fonction d'appui du 1^{er} métatarsien. Et elles vont provoquer une surcharge des métatarsiens moyens notamment du 2^{ème}.

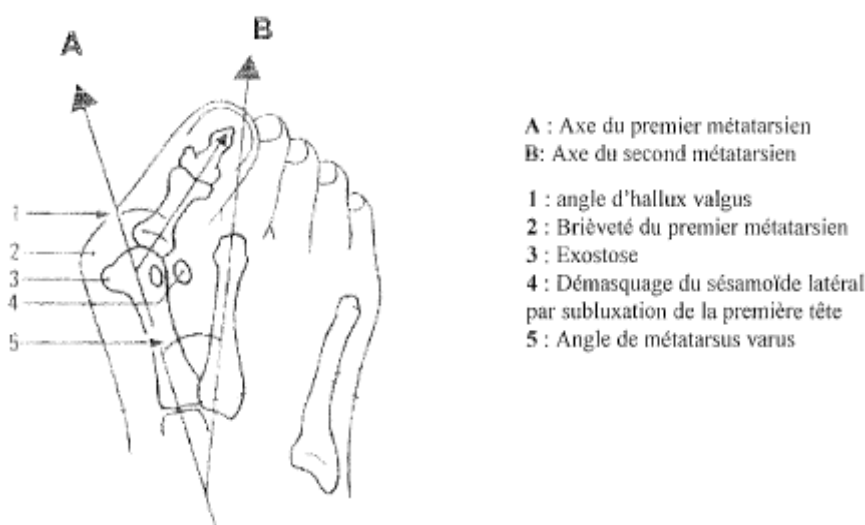


Figure 54 : Les modifications osseuses dans un hallux valgus [38]

Les causes de cette pathologie sont mal définies, on note une prédisposition génétique avec certains facteurs anatomiques comme l'excès de longueur de l'hallux (pied égyptien) ; et une prédisposition selon le sexe, les femmes représentant 95% des patients principalement à cause de leurs habitudes de chaussage.

Les chaussures féminines de ville à talons hauts et à bouts pointus sont les principales responsables. L'extrémité étroite de la chaussure va obliger les orteils à se serrer les uns contre les autres en concentrant les contraintes sur l'hallux qui est maintenu en valgus. Elle va également entraîner un conflit douloureux avec l'exostose, qui favorisera le développement de cette saillie osseuse. La hauteur du talon va quant à elle augmenter les charges sur l'avant-pied et aggraver les contraintes sur l'hallux.

Au niveau sportif, la chaussure est souvent plus confortable et mieux conçue (à l'exception de certaines disciplines comme l'escalade). C'est plutôt une aggravation de la pathologie que l'on retrouve par un conflit prolongé entre le pied et la chaussure, notamment dans les activités d'endurance (cyclisme, course à pied, randonnée pédestre).

A l'examen clinique, on retrouve des douleurs et une tuméfaction locale au niveau de la saillie osseuse formée par l'exostose. Selon l'avancé de la pathologie, on voit apparaître des signes de décompensation (le 1^{er} rayon atrophié cherche une aide sur les rayons voisins) : un chevauchement du 2^{ème} orteil, une rétraction en griffe des orteils voisins, un syndrome du 2^{ème} rayon... En dehors de l'aspect inesthétique, le sportif va surtout se plaindre d'une gêne au chaussage.

Il n'y a pas à proprement parler de traitement curatif de l'hallux valgus. On aura des mesures palliatives pour soulager la douleur et retarder l'évolution de la pathologie.

Cela passe essentiellement par un chaussage non agressif pour l'avant-pied : chaussure large, sans talon excessif, suffisamment souple et déformable pour s'adapter aux déformations du pied et respecter les zones de conflits. L'orthèse plantaire est souvent nécessaire pour répartir au mieux les appuis plantaires (réduction de l'hyperappui secondaire du 2^{ème} rayon notamment).

Les orthoplasties généralement en silicones moulés auront pour vocation de soulager les conflits interdigitaux ou ceux sur l'exostose.

Lors de l'activité sportive la mise en place d'un strapping anti-valgus peut être utile pour diminuer les conflits avec la chaussure.

Il existe aussi des orthèses nocturnes pour redresser l'hallux, mais leur utilité est limitée aux contractures musculaires et aux douleurs d'étirement de la capsule articulaire métatarso-phalangienne seulement présentes dans un hallux valgus débutant.

La rééducation par mobilisation passive et active de l'hallux permet de préserver la souplesse articulaire et de renforcer les muscles du 1^{er} rayon.

L'intervention chirurgicale sur un hallux valgus est aujourd'hui une pratique courante, lorsque les douleurs deviennent invalidantes et le chaussage pénible, elle doit être envisagée.

Il existe une multitude de techniques et il faut discuter celle à employer en fonction de la gravité de la pathologie (objectivée par l'imagerie) et des spécificités du patient.

On réalise le plus souvent une exostomie et des ostéotomies sur le 1^{er} rayon pour corriger son axe. Ce travail sur les os sera associé à une remise en tension capsulo-ligamentaire médiale et à une libération des tissus latéraux rétractés. Il faut également travailler sur les orteils voisins s'ils sont touchés. On déconseille d'opérer les deux pieds à la fois car cela engendre un handicap trop important et perturbe également les exercices de rééducations.

La raideur articulaire surtout en flexion plantaire est chose usuelle après une opération, elle sera réduite par des exercices de rééducation. Mais cela incite à éviter la chirurgie chez certains sportifs notamment chez les grimpeurs de haut niveau.

La reprise de l'activité sportive sera progressive après une chirurgie, on peut reprendre assez vite la pratique de la natation ou du vélo mais il faudra attendre plusieurs mois pour la reprise des sports d'impulsion (course à pied, football, tennis...).

- **L'hallux rigidus [5, 38, 39, 53, 58]**

L'hallux rigidus est une double arthrose métatarso-phalangienne et métatarso-sésamoïdienne, ostéophytique et ankylosante.

L'arthrose est une dégénérescence du cartilage des articulations sans infection ni inflammation particulière, qui va nuire aux mouvements et provoquer des douleurs diurnes de type mécanique.



Figure 55 : l'hallux rigidus avec la déformation en barquette [58]

L'hallux rigidus touche plutôt les hommes, après la cinquantaine. Au contraire de l'hallux valgus, il n'y a pas de déviation axiale du 1^{er} rayon. Le début est marqué par des douleurs articulaires, déclenchées notamment par des mouvements de propulsion (basket, tennis) ou par des mouvements sur un seul pied d'appui (art martiaux, escrime). Cette pathologie se traduit ensuite par la perte de mobilité progressive de l'articulation métatarso-phalangienne, principalement en flexion dorsale, qui signe la dégénérescence arthrosique de l'articulation. Il y a souvent une ostéophytose dorsale au niveau de l'articulation qui va provoquer une tuméfaction et une inflammation locale par conflit avec la chaussure.

Une fois l'arthrose constituée, le déroulement du pas se fait avec une supination de l'avant-pied, pour éviter l'appui douloureux sur le 1^{er} rayon par flexion dorsale forcée de l'articulation métatarso-phalangienne enraidie. Mais cette supination va surcharger le 5^{ème} rayon.

Le gros orteil se déforme alors en « barquette » (flexion dorsale anormale de l'articulation inter-phalangienne de l'hallux) pour compenser la perte du déroulement correct du pas autour des sésamoïdes de l'hallux ; il peut apparaître un durillon caractéristique sous l'articulation inter-phalangienne.

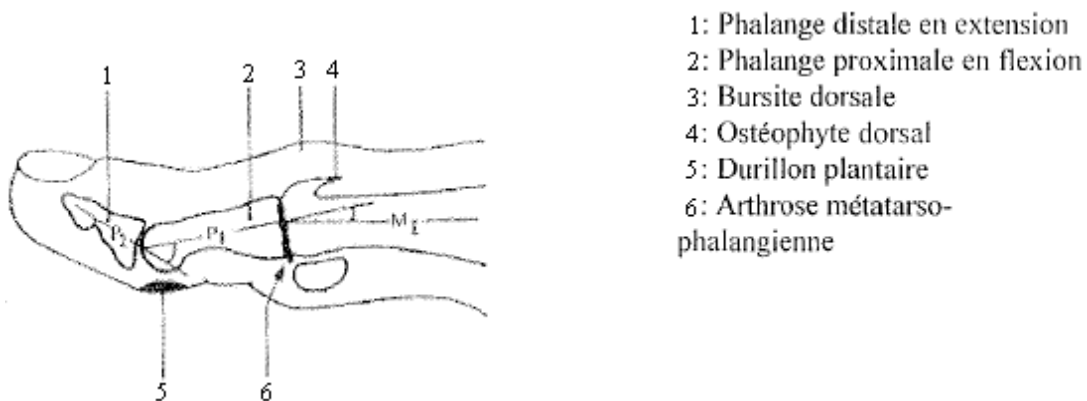


Figure 56 : Les conséquences d'un hallux rigidus [38]

L'origine de l'hallux rigidus n'est pas parfaitement élucidée, mais on a relevé des facteurs prédisposant à cette pathologie :

- Surcharge du 1^{er} rayon par excès de longueur du 1^{er} rayon (pied égyptien),
- Activités sportives qui exposent aux microtraumatismes axiaux du 1^{er} rayon (art martiaux, danse, escrime),
- Antécédents de traumatisme sportif ou chirurgical de l'hallux,
- Troubles des sésamoïdes,
- Surcharge pondérale.

Comme dans l'hallux valgus, il n'y a pas à proprement parler d'origine sportive directe, mais la pratique sportive sera particulièrement handicapée et elle risque d'aggraver la lésion.

Le traitement médical n'a qu'une vocation antalgique, il est sans action sur l'évolution de la maladie. Il passe essentiellement par la prise d'antalgiques et d'anti-inflammatoires oraux, les infiltrations de corticoïde sont possibles. Il faut préserver l'articulation par une mobilisation active.

Lors d'une activité sportive pieds nus, seul le strapping de l'hallux peut limiter sa dorsiflexion source de douleur. Mais pour les activités avec les pieds chaussés, une semelle correctrice est conseillée, elle sera renforcée par un élément rigide sous la 1^{ère} tête métatarsienne et prolongée par une logette en regard de l'hallux pour limiter la flexion dorsale et faciliter le déroulement du pied.

Dans les formes avancées ou douloureuses malgré le traitement médical, la chirurgie peut être conseillée. Chez des sujets jeunes pratiquant encore une activité sportive, on peut proposer des méthodes conservatrices qui vont retarder l'ankylose de l'articulation de quelques années. Sur un hallux rigidus plus évolué ou chez des individus plus sédentaires on proposera plutôt une arthrodèse (blocage définitif de l'articulation interdisant toute pratique sportive sollicitant le 1^{er} rayon) qui permet de soulager définitivement les douleurs.

- **Les sésamoïdopathies microtraumatiques [5, 22, 39, 66]**

Les sésamoïdes sont deux os ovoïdes qui doivent leur nom à leur ressemblance à des grains de sésame. Ils sont situés à la face plantaire de l'articulation métatarso-phalangienne de l'hallux. La surface plantaire de M1 présente deux gouttières longitudinales pour l'insertion des sésamoïdes qui permettent de les maintenir en place lors de leur course antéro-postérieure pendant les mouvements de flexion-extension de l'articulation métatarso-phalangienne. Entre les deux sésamoïdes passe le tendon du long fléchisseur de l'hallux.

Les sésamoïdes ont un rôle majeur en statique et en dynamique lors des appuis sur le 1^{er} rayon, ils sont mis en jeu quelle que soit le type de déambulation (marche, course, saut). Ils contribuent à l'amortissement des chocs lors des réceptions des sauts ou lors des passages des appuis sur la 1^{ère} tête métatarsienne. Au cours de la phase de propulsion du pas, ils assurent le déroulement de l'appui antéro-médial du pied et protègent le tendon du long fléchisseur contre l'écrasement.

Jouant ainsi en 1^{ère} ligne au niveau de l'interface pied-sol lors des appuis sur le 1^{er} rayon, les sésamoïdes sont des os fortement sollicités. La pathologie microtraumatique des sésamoïdes survient volontiers à l'occasion des exercices de vitesse ou de course de fond en côte (trails), où l'on court en priorité sur l'avant des pieds. Mais également en danse lors des pratiques sur demi-pointes, ou en football si l'utilisation des crampons est inadaptée au terrain. Tout surmenage du 1^{er} rayon peut mener à ces lésions, ainsi en dehors des facteurs sportifs, les troubles statiques, comme une surcharge du premier rayon (pied creux, hallux long...) ou l'existence d'un hallux valgus, faciliteront l'apparition de l'atteinte des sésamoïdes.

Les microtraumatismes des sésamoïdes peuvent engendrer différentes pathologies. On peut retrouver :

Une ostéochondrose de croissance des sésamoïdes appelée **maladie de Renander**. Préférentiellement féminine, elle se rencontre chez le jeune sportif entre 9 et 17 ans. Des cas sont décrits chez l'adulte mais l'absence de cartilage de croissance à cet âge doit faire envisager une physiopathologie différente de la maladie. Elle est alors décrite comme une ostéonécrose aseptique des sésamoïdes, elle semble faire suite à une ischémie locale, secondaire à une fracture de fatigue ou à un autre traumatisme des sésamoïdes.

Une bursite sésamoïdienne. Une bourse séreuse est retrouvée dans 30% des cas sous l'articulation métatarso-phalangienne de l'hallux. Elle peut s'inflammer suite à des microtraumatismes répétés associés à une autre sésamoïdopathie ou à une affection inflammatoire chronique.

Une enthésopathie des muscles qui s'insèrent sur les sésamoïdes (fléchisseur, abducteur et adducteur de l'hallux). En cas d'insuffisance fonctionnelle de M1 ou d'un défaut d'appui de la 1^{ère} tête métatarsienne, l'hallux va chercher à suppléer ce manque d'appui par l'action musculaire. Cette mise en tension va conduire à un surmenage des insertions musculaires sous la forme de tendinopathies d'insertion

Une fracture de fatigue des sésamoïdes.

Les sésamoïdopathies se traduisent par des douleurs plantaires sous la 1^{ère} articulation métatarso-phalangienne à la phase de propulsion du pas. Le patient ne peut plus courir sur l'avant-pied. On retrouve ces douleurs à la pression des sésamoïdes. Elles sont majorées par la flexion dorsale forcée de l'hallux, l'articulation métatarso-phalangienne restant indolore. Les sésamoïdopathies sont différenciées entre elles par l'imagerie en complément de l'interrogatoire.

Le traitement médical passe essentiellement par le repos. Pour ce faire, on fait appel à une orthèse plantaire avec une barre rétrocapitale pour soulager les têtes métatarsiennes et une cuvette en mousse sous la 1^{ère} tête métatarsienne pour y loger les sésamoïdes. Pour une fracture de fatigue de sésamoïdes, on envisagera le port d'une orthèse de décharge complète de l'avant-pied, type chaussure de Barouk,

La mise au repos pourra être associée à des infiltrations de corticoïdes à la périphérie des osselets pour soulager la douleur. La chirurgie peut suivre l'échec du traitement médical.

c. Le syndrome de Morton [5, 7, 33, 39, 58, 68]

Le syndrome de Morton est la compression douloureuse d'un nerf digital plantaire dans le canal métatarsien, entre les têtes métatarsiennes.

Ce syndrome canalaire touche le plus souvent le 3^{ème} espace intermétatarsien, mais on retrouve parfois l'atteinte du 2^{ème} espace (ce syndrome douloureux du 2^{ème} espace intercapito-métatarsien est parfois appelé maladie de Serre et Simon) ; le 1^{er} et le 4^{ème} espace ne sont qu'exceptionnellement touchés.

Le canal métatarsien est formé par le ligament transverse intermétatarsien au-dessus, l'aponévrose plantaire en-dessous, et par la bandelette péri-tendineuse des muscles fléchisseurs des orteils de chaque côté. Il contient le nerf digital, les vaisseaux digitaux et le muscle lombrical.

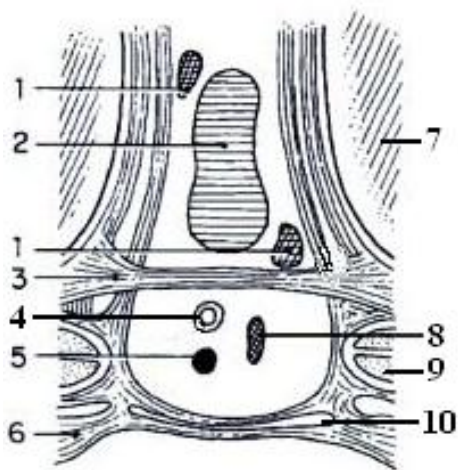


Figure 57 : Coupe transversale du canal métatarsien. 1 : muscles interosseux, 2 : bourse séreuse intercapitométatarsienne, 3 : ligament transverse intermétatarsien, 4 : artère interdigitale, 5 : nerf digital, 6 : bandelette péri-tendineuse, 7 : métatarsien (os), 8 : muscle lombrical, 9 : tendon du muscle fléchisseur, 10 : aponévrose plantaire [5]

La compression du nerf est due à un manque de place dans ce canal, cela peut être dû à une hyperpression chronique sur l'arche antérieure, à une tuméfaction du nerf lui-même c'est le névrome de Morton (ce névrome touche le plus souvent le 3^{ème} espace), ou à une inflammation de la bourse intercapito-métatarsienne (cette bursite touche le plus souvent le 2^{ème} espace). Il faut noter qu'une compression chronique du nerf évoluera vers un névrome de Morton qui ira en s'aggravant s'il n'est pas pris en charge.

La douleur survient en charge, à la marche ou à la course, ou lors d'un sport sollicitant la flexion dorsale des orteils (danse, course à pied...). Elle se traduit par une métatarsalgie très localisée, typiquement située dans le troisième espace intermétatarsien. La douleur survient par crise, elle est décrite comme une brûlure ou une décharge électrique. Elle oblige souvent le patient à se déchausser et à masser la zone douloureuse.

Le diagnostic est suspecté dès l'interrogatoire. Il sera confirmé par l'examen clinique par :

Le signe de la sonnette : une pression plantaire ou dorsale de l'espace intermétatarsien touché provoque une douleur irradiant les orteils adjacents.

Une absence de douleur à la mobilisation métatarsophalangienne ou à la palpation osseuse.

Le signe de Lasègue rapporté à l'orteil : la flexion d'un orteil bordant l'espace douloureux provoque une douleur qui disparaît si l'on fléchit les articulations phalangiennes.

Une divergence de deux orteils adjacents signe la présence d'une bursite.

Le signe de Mudler qui révèle une atteinte du nerf lui-même. Une main vient comprimer le bord interne du 1^{er} métatarsien alors que l'autre main comprime le bord externe. Le pouce de la main du bord interne vient alors exercer une pression assez forte à la face plantaire de l'espace suspecté. On alterne ensuite la pression sur les faces externes du pied et sur l'espace intermétatarsien et l'on perçoit parfaitement le ressaut douloureux du névrome chassé vers le bas, alors que les deux têtes métatarsiennes s'entrechoquent sous l'effet de la pression externe.



Figure 58 : palpation de l'espace intermétatarsien, signe de la sonnette [33]

Le syndrome de Morton sera favorisé par les troubles statiques de l'avant-pied qui augmentent les charges sur les têtes métatarsiennes (insuffisance du 1^{er} rayon, griffes d'orteils, pied plat ou creux) et par le port de chaussure trop serrés.

Le traitement passe par le port de chaussures larges associé à une semelle orthopédique comportant un appui rétrocapital en regard de l'espace douloureux pour soulager et écarter les têtes métatarsiennes. Pour les dames, le port de chaussures de ville à talons hauts sera à bannir. Il faut observer un repos relatif, on évitera notamment le piétinement et les marches prolongées. Les infiltrations de corticoïde sont indiquées si le soulagement des douleurs par un chaussage et des semelles adaptées est insuffisant. La chirurgie est possible en cas d'échec du traitement médical.

B. Les affections dermatologiques

1. Les dermatoses infectieuses

a. Les verrues plantaires [20, 23, 37, 39, 45, 78, 80]

Les verrues sont des tumeurs cutanées bénignes qui correspondent à des excroissances de la peau. Elles sont courantes et touchent 7 à 10% de la population générale. Ce sont des lésions dues à des virus du genre Papillomavirus humain (HPV).

L'individu porteur de verrues est le principal réservoir de virus. La contagion peut se faire par contact direct ou indirect. La transmission indirecte est la plus fréquente, dans le cas des verrues plantaires c'est le sol qui sert d'intermédiaire. Les squames épidermiques infectées sont disséminées lorsque le malade déambule pieds nus. Le virus « attend » d'être écrasé par le pied nu d'un hôte potentiel ; et à la faveur d'une lésion de la barrière cutanée, pénétrera l'épiderme. Les lieux les plus contaminés sont les espaces collectifs, humides (où le virus résiste plus longtemps), et où l'on y marche pied nus : sols des piscines, salles de sports, les sanitaires collectifs, le sable humide des plages... A ce jeu les enfants et les sportifs (nageurs, pratiquants d'arts martiaux...) sont les plus touchés.

Le mécanisme de développement des verrues et leurs interactions avec le système immunitaire sont encore mal compris. Particulièrement par le fait que tous les individus ne présentent pas la même susceptibilité aux verrues :

Leur origine virale en fait des atteintes plus fréquentes chez les personnes dont le système immunitaire est affaibli.

Le développement des lésions varie d'un cas à l'autre : lorsque le papillomavirus pénètre la cellule épidermique, il peut se développer rapidement ou rester à l'état de latence de nombreux mois et ne se réveiller qu'à la faveur d'un stress.

Une verrue a tendance à la régression spontanée, mais seulement un tiers guérissent en six mois et deux tiers disparaissent dans les deux ans.

Une variabilité du terrain immunitaire est donc suspectée sans être démontrée.

• Clinique des verrues plantaires

Au niveau du pied, la grande majorité des verrues observées sont des verrues plantaires, mais d'autres formes comme des verrues vulgaires sur les orteils sont possibles. Les verrues plantaires sont des verrues spécifiques du pied, elles se déclinent sous deux formes : les myrmécies et les verrues mosaïques.

Les myrmécies sont les verrues plantaires les plus fréquentes (75% des verrues plantaires). Elles se présentent par une lésion unique au niveau de la plante des pieds, le plus souvent localisée aux points d'appui. Elles sont dues aux HPV de type 1. Ces lésions arrondies sont recouvertes d'hyperkératoses. Elles sont à peine surélevées, mais s'enfoncent profondément dans le derme sous la pression exercée par le poids du corps, et sont donc dites endophytiques et comparées au « clou kératosique » du cor. La localisation et surtout la profondeur de ces verrues, en font des affections douloureuses, notamment à la pression et à la marche. Le diagnostic d'une verrue est avant tout clinique. Elles se distinguent des durillons par la vascularisation et l'innervation de la lésion. Ainsi un piqueté hémorragique (points noirs) peut apparaître par grattage, spontanément ou lors du traitement kératolytique ; et un pincement de la lésion entre deux doigts déclenche la douleur.

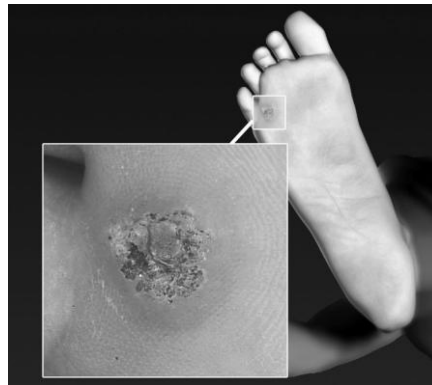


Figure 59 : Une myrmécie [80]

Les verrues mosaïques sont des verrues plus rares. Situées au niveau de la plante des pieds, elles sont au contraire des myrmécies, exophytiques (superficielles) et non douloureuses. Elles sont multiples, serrées les unes contre les autres tel une mosaïque, et sont dues aux HPV de type 2.



Figure 60 : Des verrues mosaïques [80]

- **Le traitement des verrues**

La prise en charge des verrues est compliquée.

Il y a tout d'abord l'existence d'une probable guérison spontanée qui laisse la zone infectée sans séquelle et qui permet d'acquérir une immunité durable. Elle fait donc discuter la nécessité d'un traitement sur des verrues de moins de deux ans.

Mais l'inesthétisme, la contagiosité et les douleurs éventuelles des verrues sont des arguments pour une prise en charge des lésions en vue d'une guérison plus rapide.

De nombreuses techniques sont proposées mais aucune ne permet d'éradiquer totalement le virus. Actuellement l'objectif thérapeutique se résume à la destruction des lésions visibles.

On peut, pour ce faire, utiliser des agents physiques comme le froid, ou chimiques avec les kératolytiques. Ces sont les deux méthodes les plus utilisées car elles sont simples et ne laissent pas de cicatrices.

La destruction par cryothérapie est la méthode la plus répandue par sa facilité d'utilisation et son faible coût. Après avoir supprimé l'hyperkératose de surface par traitement kératolytique ou par ablation au scalpel ; on expose la verrue au froid. L'azote liquide à -196°C est réservé au dermatologue, mais des sprays délivrant un mélange de gaz (éther, propane...) aux alentours de -50°C sont disponibles à l'officine. La peau gelée et la verrue se détachent en quelques jours. C'est une méthode qui peut être efficace dès la première séance, mais il est souvent nécessaire de renouveler l'opération plusieurs fois pour obtenir la disparition totale des lésions.

Il est également courant de recourir à des agents kératolytiques. On utilise des préparations à base d'acide salicylique sous formes liquides ou en pommades, elles sont à appliquer tous les jours en les recouvrant d'un pansement occlusif, et en veillant à protéger la peau saine par un vernis neutre. La peau morte est à éliminer régulièrement (tous les 2-3 jours) par une lime ou une pierre ponce. On continue le traitement jusqu'à disparition de la lésion, il sera plus ou moins long en fonction de la profondeur et de l'ancienneté de la verrue.

Le caractère bénin des lésions font écarter tout traitement plus agressifs qui laisserait des séquelles (électrocoagulation, chirurgie, bléomycine, antimimétiques...).

Ainsi la médecine traditionnelle s'appuie principalement sur ces deux méthodes pour traiter les verrues. Mais les résultats des essais cliniques sur ces procédés thérapeutiques, bien que difficiles à interpréter en raison des guérisons spontanées, se sont révélés peu probants.

La faiblesse de l'arsenal thérapeutique a permis le développement de nombreuses méthodes alternatives plus ou moins douteuses (application de ruban adhésif, eau chaude, hypnothérapie, homéopathie, acupuncture...).

Les verrues sont donc encore mal comprises et un traitement réellement efficace est encore à découvrir.

- **La prévention des verrues plantaires**

A cause des difficultés de traitements, la prévention des verrues plantaires est primordiale pour réduire la prévalence de cette pathologie.

Il faut éviter de marcher pied nus dans les endroits à risque. On conseille le port de sandales ou de chaussons en caoutchouc aux abords des piscines, sur les plages ou dans les sanitaires publics.

Pour la personne infectée :

- Il ne faudra pas partager le linge ou les ustensiles de toilette en contact avec la verrue (chaussette, tapis de bain, serviette, pierre ponce ayant servi à frotter une verrue...).

- Il faudra soigneusement se laver les mains après avoir touché ou soigné la verrue.

- La verrue devra être couverte (pieds chaussés ou pansement occlusif).

- Eviter la piscine.

b. Le pied d'athlète [35, 39,45, 52 55, 62, 73]

Le pied d'athlète ou tinea pedis est une infection mycosique interdigitale. C'est une pathologie particulièrement fréquente dans la population sportive.

C'est une affection très contagieuse qui se transmet par contact avec des squames de peau infectées. La contamination peut se faire par contact direct avec un individu infecté, par auto-contamination à partir d'un autre foyer mycosique inguinal ou unguéal, ou par contact indirect (linge, chaussettes, chaussures et marche pieds nus sur un sol contaminé).

Les microtraumatismes cutanés vont faciliter l'initiation de l'infection, et les milieux chauds et humides comme une transpiration excessive dans des chaussures fermées et mal aérées vont favoriser le développement de ces champignons microscopiques.

Tous les sports sont touchés.



Figure 61 : Pied d'athlète [90]

Le pied d'athlète se traduit par un intertrigo au niveau du pli du 4^{ème} espace interdigital (parfois au niveau du 3^{ème} espace). Un intertrigo désigne simplement une dermatose au niveau des plis cutanés. Cet intertrigo débute par un léger érythème qui passe souvent inaperçu, puis s'aggrave en un érythème squameux prurigineux avec une tendance à l'hyperkératinisation. La desquamation accélérée de la peau est visible par les lambeaux épidermiques blanchâtres apparaissant au niveau du pli interdigital. Par ailleurs la macération de la lésion va ramollir la peau qui va se fissurer, pouvant rendre la lésion douloureuse.

L'infection peut s'étendre aux espaces des autres orteils et aux ongles (30% des patients avec un tinea pedis présentent également une onychomycose). Elle peut aussi atteindre la plante du pied (forme dite « type mocassin ») et le dos du pied.

Le pied d'athlète est dans plus de 90% des cas, dû à un dermatophyte (*Trichophyton rubrum* le plus souvent, *Trichophyton mentagrophytes*, *Epidermophyton floccosum*...). Ce sont des champignons microscopiques filamenteux qui vivent sur la peau et se nourrissent de kératine. Dans les 10% restant ou lors d'une surinfection mycosique, une levure, *Candida albicans*, sera mise en cause ; la lésion est alors suintante et recouverte d'un enduit blanc crémeux.

La lésion peut aussi se compliquer par une infection bactérienne plus grave.

Dans ces formes surinfectées, étendues ou en cas de doute, un avis médical est nécessaire. La mise en culture en vue de l'identification de l'agent pathogène est possible mais elle n'est généralement pas indispensable au vu de la spécificité clinique des lésions et le large spectre d'action des nouvelles molécules antifongiques.

- **Traitement**

Bien que ces mycoses ne mettent pas en jeu le pronostic vital, un traitement est nécessaire pour mettre fin à l'infection mycosique somme toute gênante et contagieuse. On dispose pour ce faire de plusieurs familles d'antifongiques très efficaces.

Un protocole thérapeutique bien suivi engendre rapidement la guérison, mais on est confrontés à de gros problèmes d'observance donnant lieu à des récurrences car les signes de la mycose disparaissent rapidement, avant l'élimination totale des champignons.

On utilise en première intention un traitement local, efficace et sûr. On a à notre disposition différents antifongiques azolés qui semblent d'efficacités équivalentes, et un antifongique de la classe des allylamine (la terbinafine) un peu plus efficace et d'action plus rapide du fait de son activité fongicide mais est nettement plus coûteux. Le produit est à appliquer 1 à 2 fois par jour pendant 1 à 4 semaines, sur une lésion propre et sèche et sur une surface légèrement plus grande que la lésion pour éviter la propagation de l'infection. Les topiques antifongiques se déclinent généralement sous différentes formes, on utilisera par exemple les crèmes dans les formes sèches et les poudres pour les lésions macérées. Les poudres serviront également à traiter les chaussures en saupoudrant l'intérieur deux fois par semaine.

Un traitement per os peut être envisagé en 2^{ème} intention (terbinafine ou hors AMM le fluconazole), il permet notamment de réduire les problèmes d'observance. Il est réservé aux formes sévères et récidivantes car ce traitement est d'un coût beaucoup plus élevé, il présente de nombreuses contre-indications (grossesse, allaitement...), et il peut y avoir des effets indésirables (troubles digestifs...).

A côté de ce traitement médical, il faut associer des mesures d'hygiène :

- Se laver quotidiennement les pieds à l'eau et au savon.

- Après la toilette, sécher soigneusement ses pieds y compris au niveau des espaces interdigitaux.

- Ne pas utiliser de tapis de bain ou le décontaminer avec des poudres antifongiques.

- Changer tous les jours la serviette réservée aux pieds.

- Changer de chaussettes (ou collant) tous les jours (ou plus si les pieds sont moites).

- Porter des chaussettes en coton

- Préférer des chaussures ouvertes ou bien aérées

- Ne pas porter tous les jours les mêmes chaussures afin que la transpiration ait le temps de s'évacuer. Retirer les semelles des chaussures le soir pour qu'elles sèchent durant la nuit.

- Au besoin, prise en charge l'hyperhydrose (talc, anti-transpirants...).

- Eviter de marcher pieds nus pour ne pas contaminer les sols.

- Ne pas partager les sources potentielles de contamination (serviettes, chaussettes, chaussures).

- Vérifier l'absence d'infection de personnes vivant sous le même toit.

- Laver chaussettes, draps et serviettes de toilette à 60°C (température nécessaire pour détruire le champignon).

- Passer régulièrement l'aspirateur pour éliminer les squames et laver avec une solution javellisée les sols carrelés, la baignoire et la douche.

Les mesures de prévention rejoignent ces conseils d'hygiène. Ils peuvent se résumer en trois items :

- Lutter contre l'humidité des pieds pour éviter la macération : lutter contre la transpiration, ne pas garder les chaussures de sport aux pieds une fois l'activité sportive terminée, aérer les pieds en ôtant les chaussures autant que possible...

- Eviter de marcher pied nus dans les lieux collectifs (piscine, sanitaires collectif, les salles de sports...).

- Surveiller régulièrement ces pieds et les laver quotidiennement.

c. Les onychomycoses [1, 35, 36, 39, 44, 45, 52, 55, 62, 81]

Les onychomycoses sont définies par l'envahissement d'un ou plusieurs ongles par un champignon microscopique. Elles sont à rapprocher du pied d'athlète car se sont les mêmes espèces de champignons qui sont mises en cause et le mode de contamination est similaire.

Les onychomycoses sont des infections très fréquentes du pied, particulièrement en milieux sportifs. Elles se transmettent par contact direct ou indirect. Leur implantation est favorisée par des microtraumatismes des ongles ou des pieds et leur développement par les milieux chauds et humides (excès de transpiration, chaussures fermés...). On retrouve ainsi les courses de fond, la natation et les arts martiaux parmi les sports les plus touchés.

• Clinique des onychomycoses

Bien que tous les ongles puissent être atteints, c'est l'hallux le plus souvent infecté. Les champignons mis en cause sont dans 90% des cas un dermatophyte (*Trichophyton rubrum* principalement) et dans les autres cas une levure (*Candida albicans*) ou une moisissure. Le lieu de pénétration du champignon dans l'appareil unguéal va conditionner la clinique des onychomycoses.

L'onychomycose sous-unguéale distolatérale est de loin la forme la plus fréquente. Les micro-organismes pénètrent sous l'ongle en passant par le bord libre distal ou par un bord latéral puis envahissent progressivement la totalité de l'ongle. Cet envahissement de l'espace sous-unguéal est facilité par une onycholyse primitive (décollement de l'ongle) due à des microtraumatismes unguéaux (chocs répétés, plaies, infections, ongles incarnés...). La mycose est caractérisée par une hyperkératose, la lame unguéale s'épaissit, devient opaque et blanchâtre. Puis l'ongle se déforme, devient jaunâtre et friable entraînant une onycholyse secondaire.

Les leuconychomycoses superficielles correspondent à une attaque du champignon directement sur la table unguéale superficielle. Elle est caractérisée par la survenue d'une ou plusieurs taches blanchâtres et opaques sur la surface de l'ongle.

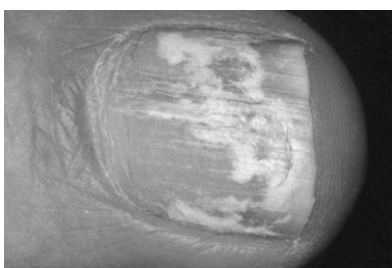


Figure 62 : Leuconychomycose superficielle [55]

Les mycoses sous-unguéales proximales où la pénétration se fait au niveau du repli sus-unguéal, se distinguent en deux types :

La première forme est en fait une leuconychie profonde où des taches blanches apparaissent à la partie sous-unguéale proximale, taches pouvant s'étendre à la totalité de l'ongle. C'est une forme rare plutôt retrouvée dans des cas d'immunodépression.

La seconde forme débute avec un périonyxis, c'est-à-dire avec une inflammation des tissus entourant l'ongle. C'est la seule forme majoritairement due à *Candida albicans*. Le reste de l'ongle est envahi dans un deuxième temps, prenant une teinte marron à verdâtre (en cas de surinfection bactérienne). C'est une forme douloureuse relativement rare au niveau des pieds mais courante au niveau de la main.

L'onychodystrophie totale est l'aboutissement des formes précédentes, lorsque la mycose a été négligée pendant plusieurs années. L'ongle s'est déformé puis effrité et a finalement disparu, laissant le lit de l'ongle presque nu seulement parsemé de débris kératosiques.



Figure 63 : Evolution d'une onychomycose distolatérale vers l'onychodystrophie totale [104]

• Prise en charge des onychomycoses

Le traitement d'une onychomycose nécessite une prise en charge médicale.

Le prélèvement et la mise en culture doit être systématique avant l'instauration d'un traitement. En effet, bien que la clinique suffit souvent à son identification, l'affection fongique des ongles, nécessite un diagnostic de certitude car le traitement est long et coûteux, les infections à germes multiples sont courantes (surinfection bactérienne possible), et les diagnostics différentiels sont nombreux (onycholyse d'origine traumatique ou psoriasique, pathologie unguéale tumorale...). Le schéma thérapeutique sera choisi en fonction des résultats du prélèvement et des signes cliniques.

Un traitement systémique par prise d'antifongique per os quotidiennement est généralement nécessaire. Actuellement la terbinafine semble être la molécule la plus efficace en cas de dermatophytose. Elle a une action fongicide vis-à-vis des dermatophytes et fongistatique vis-à-vis de *Candida albicans*. Et elle a la particularité de diffuser dans la kératine unguéale, permettant de réduire à 3 à 6 mois la durée de traitement (avec les molécules plus anciennes comme la griséofulvine ou le kétoconazole le traitement doit se poursuivre jusqu'à remplacement total de l'ongle, c'est-à-dire sur 12 à 18 mois, pour une efficacité moindre).

Le fluconazole ou l'itraconazole sont souvent cités comme les molécules de choix pour le traitement des candidoses unguéales mais ne possèdent pas d'AMM pour cette indication.

Le traitement local utilise des solutions filmogènes (Locéryl®, Mycoster®), ce sont des vernis qui isolent l'ongle malade, et qui diffusent l'antifongique à travers la tablette unguéale avec une action prolongée dans le temps. La possibilité d'une monothérapie locale est restreinte aux dermatophytoses distolatérales qui se limitent au tiers distal d'un ongle et aux affections superficielles sans lésion proximale de l'ongle. Ces solutions filmogènes peuvent également accélérer un traitement per os.

Par ailleurs comme pour les autres mycoses du pied on pensera à traiter régulièrement les chaussures

L'avulsion unguéale chimique (urée) ou chirurgicale (partielle ou totale) peut également compléter le traitement antifongique notamment dans des formes sévères, récidivantes ou avec dystrophies unguéales majeures.

Dans tous les cas le traitement sera long et difficile (traitement s'étalant de quelques mois à un an avec de fréquents problèmes d'observance) mais nécessaire pour éviter la diffusion de l'infection et le risque de dystrophie unguéale.

La prévention des onychomycoses est similaire à celle des mycoses interdigitales : lutte contre l'humidité et la macération, éviction de la marche pieds nus, et nécessité d'une hygiène quotidienne.

2. Les dermatoses traumatiques

a. Les hyperkératoses mécaniques [37, 39, 45, 52]

Les hyperkératoses mécaniques sont des épaissements de l'épiderme qui sont induits par des microtraumatismes répétés au niveau de la peau. Ils sont causés par le frottement et la compression cutanée, principalement lors d'un conflit entre la chaussure et le pied.

Sous les contraintes microtraumatiques, le processus de renouvellement des kératinocytes va s'accélérer, et entraîner un déséquilibre entre création et élimination (par desquamation) des cellules épidermiques. Ces cellules qui se chargent en kératine lorsqu'elles migrent vers la surface vont donc être en surnombre et provoquer une hyperkératose.

On différencie plusieurs types d'hyperkératoses mécaniques en fonction de leur topographie sur le pied.

• Les cors

Un cor est une induration siégeant le plus souvent sur la face dorsale d'un orteil, au niveau de l'articulation inter-phalangienne mais qui peut apparaître au niveau de toute saillie osseuse physiologique ou pathologique. Il va apparaître suite au frottement entre la peau et la chaussure. Ce conflit sera favorisé par des déformations d'orteils (hallux valgus, orteils en griffes...) ou par un chaussant agressif (chaussure étroite, coutures proéminentes, repli d'une chaussette).

Un cor est une hyperkératose très localisée qui se développe en profondeur, il peut être défini comme un clou kératosique s'enfonçant vers l'os. Il est jaunâtre, dur, plus ou moins épais, et circulaire en surface (diamètre inférieur à 1 cm) avec un centre souvent plus pâle et plus dur appelé le nucleus du cor.

A la différence d'une verrue, un cor n'est pas douloureux lorsqu'il est pincé entre le pouce et l'index (c'est de la peau morte non innervée et non vascularisée) ; mais il le sera à la pression par irritation des terminaisons nerveuses du derme. C'est cette douleur qui conduit à la consultation. Il peut se compliquer par la constitution d'une bourse séreuse de friction à entre le kératome et la pièce osseuse adjacente. Cette bourse séreuse (hygroma) aura tendance à s'inflammer en cas de conflit persistant compliquant l'hyperkératose par une bursite. S'il n'est toujours pas pris en charge, il peut dans de rares cas, jusqu'à atteindre l'os provoquant une périostite puis une nécrose aseptique de celui-ci.

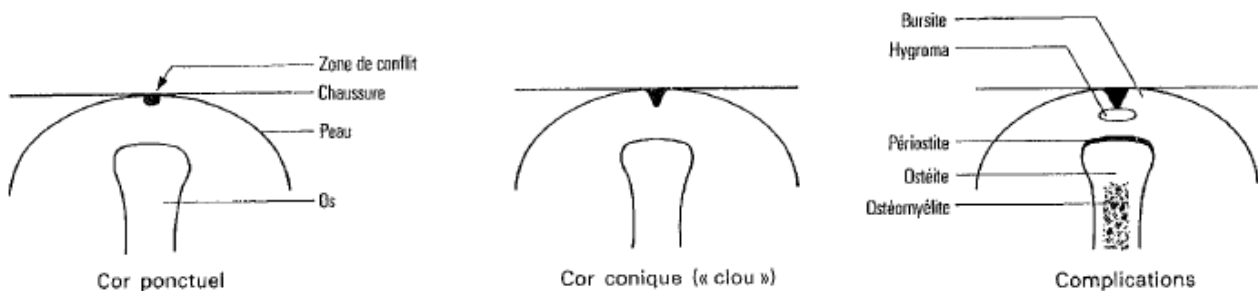


Figure 64 : Evolution d'un cor [39]

Un œil de perdrix est un cor mou entre deux orteils. Il est dû à un frottement entre deux saillies phalangiennes, le plus souvent entre le 4^{ème} et le 5^{ème} orteil. Dans cet espace fermé, la macération est importante et va rendre le cor mou, semblable à une lésion mycosique.

Ils vont par deux en se faisant face, se présentent sous la forme d'un point noir auréolé, sont souvent accompagnés d'une inflammation locale, et s'infectent facilement.

Ils sont favorisés par un chevauchement d'orteils ou une chaussure trop étroite.

- **Les durillons et les callosités**

Ce sont des hyperkératoses plus étendues mais moins profondes qu'un cor. Elles sont habituellement situées à la face plantaire du pied sous les têtes métatarsiennes (les durillons) ou au niveau du talon (les callosités). Les premières sont causées par des troubles statiques du pied provoquant des zones d'hyperpression sur les têtes métatarsiennes, et les secondes apparaissent par compression des parties molles du talon.

Les durillons et les callosités sont généralement moins douloureux que les cors mais des douleurs peuvent apparaître par le développement d'une ou plusieurs pointes cornées qui s'enfoncent dans la peau. Localisées à l'avant-pied, ces pointes sont généralement moins profondes mais plus larges que le clou kératosique et peuvent se compliquer comme un cor (bursite, atteinte osseuse).

Au niveau du talon, des douleurs peuvent aussi apparaître mais plutôt par fissuration des callosités, qui vont former des crevasses.



Figure 65: Durillons [52]

- **Traitements des hyperkératoses mécaniques**

En cas d'hyperkératose douloureuse, on va rechercher à retirer l'excédant de la couche cornée. Pour ce faire on peut faire appel à des soins de pédicurie, où l'ablation de l'hyperkératose sera mécanique. On peut utiliser différents outils : gouge (instrument tranchant concave en demi-canal), bistouri (petit couteau de chirurgie), turbine (mini-perceuse). Réalisée par un professionnel, c'est une méthode très efficace.

Les kératolytiques ou coricides sont également fréquemment utilisés. Ce sont des préparations à base d'acide salicylique ou d'acide lactique généralement sous forme de pommade. On obtient de bons résultats avec une application quotidienne en 5 à 8 jours.

Leur principal inconvénient est qu'ils risquent d'attaquer la peau saine environnante, celle-ci sera donc protégée par une rondelle de feutre adhésif (où le coricide est isolé au centre de la rondelle). On utilisera ces kératolytiques au repos pour éviter tout frottement qui déplaceraient le pansement, on conseillera donc une mise en place le soir jusqu'au lendemain matin. Ces agents chimiques ne doivent être utilisés que sur une peau non lésée.

En journée, pendant la durée du traitement, on pourra se servir de pièces de mousse ou de silicone pour protéger les zones de conflits. Pour un œil de perdrix, on utilisera par exemple un anneau de mousse entre les orteils lésés ; alors que pour un cor digital dorsal, on se servira plutôt d'un tube ou d'un manchon à enfiler sur l'orteil malade.

On traitera et préviendra des crevasses par l'usage de crèmes hydratantes pour lutter contre le dessèchement cutané. On notera d'ailleurs que la sécheresse de la peau favorise la kératinisation de l'épiderme.

Pour éviter une récurrence rapide de la pathologie et pour en accélérer la guérison, le traitement doit passer par l'identification et la prise en charge de la cause du conflit entre le pied et la chaussure.

Pour soulager des durillons une semelle orthopédique avec une barre rétrocapitale est souvent efficace, elle permet de réajuster les zones de pressions du pied. Pour les cors, dus à un conflit entre deux orteils, on limitera les frottements par le port d'une orthoplastie. On corrigera dans tous les cas les erreurs de chaussage.

On pourra aussi conseiller dans les cas d'hyperkératoses diffuses, un ponçage de la plante des pieds avec une lime à durillon ou une pierre ponce. Il pourra être précédé d'un bain de pied d'une vingtaine de minutes dans l'eau tiède, pour ramollir les peaux mortes et favoriser leur élimination.

b. Les phlyctènes [39, 45, 86]

Une phlyctène est la séparation des couches de l'épiderme et du derme par la formation d'une poche remplie de liquide interstitiel. L'apparition d'une phlyctène correspond au symptôme d'une brûlure par friction. Au niveau du pied, elles sont plus communément désignées sous le nom d'ampoules.



Figure 66 : Phlyctène [107]

C'est une pathologie particulièrement banale et fréquente en sport (course de fond notamment). Elles apparaissent suite à des frottements du pied contre la chaussure ou par conflit entre deux orteils. Elles sont le plus souvent localisées au niveau du talon ou des orteils.

Dans un premier temps, la friction va entraîner un échauffement local sans décollement de l'épiderme, la peau sera rouge et douloureuse (brûlure du 1^{er} degré).

Puis la vasodilatation des vaisseaux sanguins va provoquer une sortie de liquide, formant une bulle (la phlyctène) à l'interface entre le derme et l'épiderme qui est une zone de moindre cohésion des tissus. Cette bulle sera donc remplie de liquide séreux clair mais peut aussi être remplie de sang s'il y a rupture du capillaire.

Si le frottement continue, la cloque va se déchirer, laissant une zone douloureuse de derme à vif, propice aux infections.

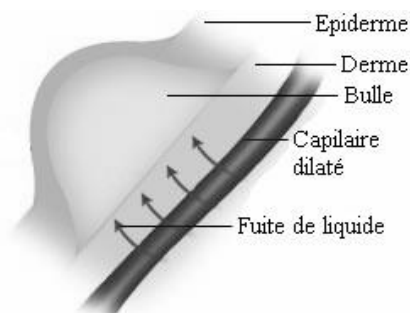


Figure 67 : Formation d'une phlyctène [86]

Le traitement diffère selon le stade évolutif de l'ampoule.

S'il n'y a pas encore de décollement de l'épiderme, la protection de la zone échauffée par une bande de ruban adhésif type élastoplast® suffira.

Lors d'une phlyctène non percée, la meilleure solution à adopter est un drainage du liquide de la bulle en utilisant une aiguille stérile. On peut y réinjecter ensuite de l'éosine pour l'assécher et durcir la peau mais cela reste délicat. Il faut dans tous les cas laisser la peau en place pour limiter le risque infection. La lésion sera protégée par une bande de ruban adhésif en cas de poursuite de l'activité.

Si la cloque est percée, il faut dans un premier temps découper les lambeaux de l'épiderme, nettoyer et désinfecter la plaie. On utilisera ensuite un pansement hydrocolloïde (pansement « seconde peau ») qui protégera la plaie, favorisera la cicatrisation et soulagera quelque peu la douleur locale. Ce type de pansement est à laisser en place 2 à 3 jours, jusqu'à son décollement spontané. Comme dans les cas précédant l'élastoplast® est utile si l'on poursuit l'activité, pour protéger la phlyctène et pour permettre un bon maintien du pansement hydrocolloïde.

De nombreux conseils sont à associer dans le but de prévenir la formation de ces lésions.

L'humidité tiède favorise l'apparition des phlyctènes car elle ramollit et fragilise la peau. La lutte contre l'humidité passe par l'utilisation de chaussures et de chaussettes qui évacuent bien la transpiration et qui ne sont pas trop chaudes en été (chaussettes fine en coton). Si des pauses sont permises, il faut en profiter pour aérer les pieds et éventuellement changer de chaussettes si elles sont humides.

Les frottements peuvent être limités par le port de semelles orthopédiques pour corriger les défauts de surcharge. La chaussure devra être adaptée au pied et à l'activité du sportif, on vérifiera l'absence de coutures mal placées au niveau du chaussant, et avec des chaussures neuves on veillera à respecter un temps d'adaptation des chaussures aux pieds.

Les coureurs longues distances ont aussi diverses techniques pour renforcer la peau des pieds et ainsi retarder la formation d'ampoules (jus de citron pendant un mois, pierre d'alun humide matin et soir pendant un mois, Bétadine non-diluée pendant deux semaines, marcher chez soi pieds nus, produit de tannage destiné classiquement aux coussinets des chiens de traîneau...). La crème Akiléine Nok® est aussi très populaire et appréciée pour renforcer la peau. Elle s'applique chaque jour avant de partir et en cours de marche sur les points de frottement.

c. Les ongles incarnés [3, 37, 39, 44, 45]

Un ongle incarné résulte d'un conflit entre la lame unguéale et les tissus péri-unguéaux. C'est l'ongle qui rentre et pousse dans la chair.

L'affection débute par une douleur modérée réveillée par la pression, lors des contraintes du chaussage ou de l'activité sportive. La zone de conflit a une tendance à l'hyperkératinisation. Puis la pénétration de l'ongle engendre une réaction inflammatoire. La zone est tuméfiée et rend la lésion très sensible, la douleur devient alors constante empêchant parfois la marche. L'effraction de la peau est alors possible et provoque une suppuration de la lésion.

La lésion peut se compliquer à tout moment par une infection révélée par un abcès local.

C'est l'hallux le plus souvent atteint mais cette affection peut toucher tous les orteils.

L'incarnation de l'ongle peut être distale l'ongle pénétrant la chair sur l'avant ; ou plus fréquemment latérale, le conflit siègeant alors au niveau du sillon de l'ongle.

L'observation de la lésion suffit au diagnostic.

- **Étiologie et facteurs de risques**

Le sport par des microtraumatismes répétés au niveau de l'avant-pied peut perturber la pousse de l'ongle et favoriser l'apparition d'un ongle incarné. Mais de multiples facteurs, le plus souvent associés entre eux, peuvent favoriser un conflit entre ongle et la peau.

On retrouve ainsi:

Des courbures transversales exagérées de l'ongle.

Ces hyper-courbures vont entraîner une verticalisation des bords latéraux de l'ongle et une augmentation de la pression sur les sillons latéraux. Elles peuvent avoir une origine congénitale ou acquise suite à des microtraumatismes notamment sportifs sur des troubles statiques d'orteils (griffes, hallux valgus ou autres malpositions) ou par conflit avec la chaussure ; particulièrement avec des chaussures étroites qui vont augmenter les pressions entre les orteils.

Une coupe trop généreuse ou incomplète de l'ongle.

La coupe trop généreuse de l'ongle est une coupe accidentelle trop oblique et trop courte de l'ongle. Une partie de l'orteil habituellement protégée par l'ongle est à l'air libre et le sillon latéral qui n'est plus préservé par la présence de l'ongle va se refermer. Et c'est, à la repousse de l'ongle que le conflit va apparaître. La douleur peut alors inciter le patient à couper l'ongle de plus en plus court, ce qui ne fera que mener le problème à la chronicité.

La coupe incomplète de l'ongle survient quand le bord de l'ongle est caché par un repli cutané notamment en cas d'hyper-courbure. La patient n'arrive pas à couper le bord latéral de l'ongle et laisse pousser un éperon unguéal qui va s'enfoncer dans la peau.

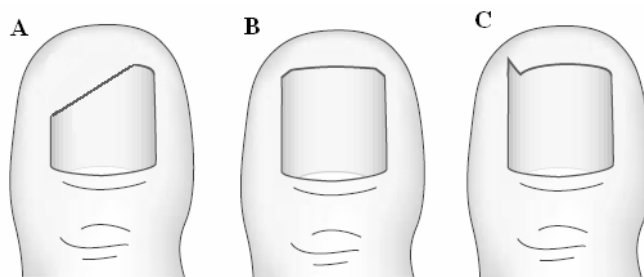


Figure 68 : A - coupe trop généreuse de l'ongle, B - bonne coupe, C - coupe incomplète de l'ongle [3]

Une fragilité des sillons qui va faciliter la pénétration de l'ongle dans la peau.

Cette fragilité est observée chez l'enfant et l'adolescent où la peau est plus fine, mais on la retrouve aussi associée à des problèmes d'hyperhydrose où la macération va ramollir la peau.

Une hypertrophie des bourrelets péri-unguéaux.

Ici c'est plutôt la peau qui vient chercher le conflit avec l'ongle. Elle peut se retrouver chez l'enfant où l'évolution à l'adolescence est toujours favorable ou dans des conflits entre deux orteils où l'un pousse le bourrelet de l'autre contre l'ongle. Cette hypertrophie peut également être acquise par hyperkératinisation dans les formes chroniques de l'ongle incarné.



Figure 69 : Ongle incarné avec hypertrophie du bourrelet péri-unguéal [3]

- **Traitement et prévention**

La prise en charge des ongles incarnés passe avant tout par l'éducation du patient. On conseillera une coupe des ongles bien droite dite « au carré », pas trop courte et sans entamer les côtés. Les classiques coupe-ongles arrondis devraient être remplacés par des pinces coupantes à bord droit. La coupe peut se faire après la toilette car la tablette unguéale est alors assouplie. Les bords de l'ongle pourront être légèrement arrondis notamment sur l'hallux pour éviter un conflit avec l'orteil voisin. Les chaussures utilisées devront être suffisamment larges pour éviter les pressions sur l'avant-pied, et l'hyperhydrose devra être maîtrisée (hygiène régulière, topiques asséchant, chaussures et chaussettes adaptées à la saison...).

Dès les premiers stades de l'incarnation, on préviendra de l'infection par une désinfection régulière de la lésion. Et on réalisera un brossage du contour de l'ongle pour éliminer l'hyperkératose. Le sillon agressé sera protégé par une mèche de gaze ou de coton placé entre la peau et l'ongle. Cette mèche sera à changer tous les jours.

Des bains de pieds associés à des massages de la lésion peuvent également être utiles pour assouplir l'ongle et l'aider à reprendre sa position initiale.

Le traitement de l'incarnation avec effraction fait appel au savoir-faire du pédicure.

Il consiste à soigner la plaie du sillon lésé, et nécessite une coupe large de l'ongle sur un orteil anesthésié.

La prévention de l'incarnation antérieure après une coupe très courte de l'ongle se fait à l'aide d'une onychoplastie. C'est une prothèse unguéale qui sera scellée sur l'ongle. Elle va permettre d'aplanir le bourrelet antérieur et de préserver la place de l'ongle au niveau des sillons latéraux. Dans le cadre du traitement de l'ongle incarné, on peut aussi citer, l'utilisation d'orthonyxie. C'est une orthèse collée sur la tablette unguéale. Elle est basée sur le principe du ressort, et est destinée à diminuer l'hyper-courbure de l'ongle. C'est un traitement au long cours (au moins un an) mais qui donne des bons résultats.

Dans le cas de lésions infectées récidivantes et après échec du traitement conventionnel, la chirurgie est possible. Il existe plusieurs techniques mais elles consistent généralement en une excision de l'ongle et de sa matrice de la partie qui s'incarne, empêchant ainsi la repousse de cette partie l'ongle.

d. Les hématomes sous-unguéaux [20, 37, 39, 44, 45, 49]

Les hématomes sous-unguéaux sont une affection courante qui par définition correspond à une accumulation de sang sous l'ongle.



Figure 70 : Hématome sous unguéal [99]

Ils font suite à un choc brutal ou à des microtraumatismes répétés sur les orteils qui viennent butter contre l'extrémité de la chaussure (frottements, chocs, pression excessive...). Les orteils les plus longs, le 1^{er} et le 2^{ème}, sont les plus touchés.

Le conflit avec la chaussure est accentué, par des ongles longs ou mal coupés, par des chaussures trop petites, et par des fortes pentes (randonneur en montagne, coureur de trail). On le retrouve dans de nombreuses disciplines : course à pied, tennis, basketball, football, danse sur pointe, ski de descente...

Dès son apparition, l'hématome sous-unguéal se révèle par une tache bleu foncé qui vire au noir avec le temps. Le sang s'écoule entre l'ongle et le lit unguéal mais ne peut pas s'évacuer, la pression augmente ainsi dans cet espace en provoquant une douleur intense. Cette lésion peut mener à la chute de l'ongle en quelques semaines.

Ces taches noires sous l'ongle peuvent faire penser à un mélanome sous-unguéal ou à un naevus naevo cellulaire. Constituant les principaux diagnostics différentiels, ces deux mélanomes sont généralement écartés par l'origine traumatique et l'évolution favorable de l'hématome sous-unguéal. En cas de doute, une consultation médicale pour une biopsie de la lésion sera nécessaire.

Si l'hématome est petit ou indolore, l'ongle aura des chances d'être préservé et la prise en charge se réduira à la surveillance de la migration de l'hématome vers l'extrémité distale de l'ongle au fur et à mesure de la croissance de celui-ci.

Par contre il faudra évacuer le sang de l'hématome si la lésion est douloureuse, récente (inférieure à 24 heures), et si l'hématome couvre une surface importante de l'ongle (supérieur à 25 - 50%). Le drainage du sang est conseillé pour soulager la douleur et préserver l'ongle. Il se fera à l'aide d'une aiguille ou d'un trombone rougi à la flamme, en appuyant franchement sur l'ongle pour le percer. Le sang s'écoule alors de lui-même et la douleur est soulagée immédiatement (au besoin, on peut percer un 2^{ème} trou pour faire un appel d'air et faciliter l'écoulement du sang). On veillera à ce que cette opération soit réalisée dans des conditions optimales d'asepsie. Après le drainage, il faut protéger l'ongle par un pansement et désinfecter quotidiennement la lésion.

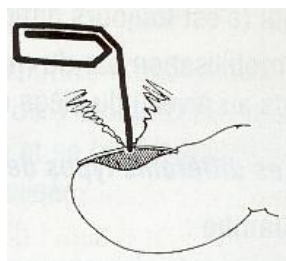


Figure 71 : Percage de l'ongle avec un trombone chauffé à la flamme [49]

L'ongle sera un peu décollé mais restera en place pour protéger la peau, pendant qu'un nouveau repoussera en dessous et fera tomber celui qui a souffert (« l'ongle est le meilleur des pansements pour l'ongle »). Si on ne draine pas l'hématome l'orteil restera sensible et douloureux, obligeant l'arrêt du sport.

La prévention des hématomes sous-unguéaux passe par l'usage de chaussures adaptées aux pieds et par des ongles soignés. On conseillera un laçage assez serré par éviter le glissement répété du pied vers l'avant. Les doigtiers en silicones peuvent venir renforcer la protection des orteils.

e. La pseudo-chromidrose [16, 20, 37, 39, 45]

La pseudo-chromidrose ou talon noir est une dermatose traumatique qui touche les talons, le plus souvent juste au-dessus de la partie hyperkératosique de la zone d'appui.

Elle est spécifique du milieu sportif et apparaît sous l'action de microtraumatismes de cisaillement ou de percussion directe du talon notamment lors des arrêts brusques ou des sauts. On peut ainsi retrouver cette dermatose dans diverses disciplines : rugby, football, athlétisme, marche prolongée...



Figure 72 : Pseudo-chromidrose [16]

La pseudo-chromidrose est la présence de petites taches brun-noires arrondies ou linéaires le long des lignes de la peau. Cette micro-ponctuation correspond en fait à des micro-hématomes. Au début ces microhémorragies sont rouges et passent inaperçues, puis elles deviennent plus foncées suite à la dégradation de l'hémoglobine. C'est une pathologie bénigne où les lésions seront indolores et impalpables sans aucun relief (on écarte ainsi le mélanome du diagnostic différentiel). Seule l'inquiétude du patient le mènera à consulter.

Aucun traitement n'est nécessaire car les taches disparaîtront spontanément avec le temps, la lésion remontant progressivement à la surface de la peau sous l'effet de renouvellement cutané. Seule la diminution des microtraumatismes avec l'utilisation de chaussures amortissantes ou de semelles avec un talon en mousse pourra enrayer le caractère cyclique de ces lésions.

f. Les engelures [15,20, 37, 39, 45, 59, 72]

L'engelure ou érythème pernio est une lésion cutanée des extrémités par réaction anormale au froid. Au niveau des pieds, les orteils sont les plus touchés.



Figure 73 : Engelure [72]

Lors d'une engelure, la peau devient rouge-violacée, œdémateuse, luisante et tendue. Le patient décrit un prurit et une sensation de brûlure au niveau des zones touchées. A la palpation, la peau apparaît froide et moite. Une engelure peut conduire à la formation de phlyctènes à cause de l'augmentation de volume plus ou moins important de la lésion et des frottements que cela induit. Les engelures sont bénignes et se résorbent en quelques semaines, mais elles peuvent récidiver au cours de l'hiver et ne guérissent souvent que l'été.

Elles apparaissent lors d'exposition fréquentes ou prolongées en milieu relativement froid (0 à 15°C) et humide, par exemple lors des sports extérieurs exposés aux intempéries où l'on garde ses chaussettes mouillées. Elles présentent souvent un contexte familial.

La physiopathologie des engelures semble ainsi s'apparenter à celle d'un acrosyndrome, c'est-à-dire d'un trouble vasculaire des extrémités. Le sujet prédisposé présente une hypersensibilité des capillaires au froid, avec une vasoconstriction exagérée de ceux-ci par temps froid.

La prise en charge d'une engelure est limitée. On pourra conseiller des pommades ayant une action vasomotrice d'une part, apaisante et antiprurigineuse d'autre part. Bien que d'efficacité restreinte elles peuvent soulager le patient et accélérer la guérison de la lésion. L'usage de topiques à base de corticoïde est controversé du fait de leur effet vasoconstricteur, mais semble soulager la symptomatologie inflammatoire de l'engelure.

Les inhibiteurs calciques, avec la nifédipine à 20mg 1 à 3 fois par jour pendant 21 jours (8 jours pour les mains), semblent avoir une action curative dans le cas d'engelures résistantes. Mais peu d'études appuient ces résultats.

La prévention est primordiale, elle passe par une lutte efficace contre le froid et l'humidité. Elle nécessite une protection vestimentaire suffisante et doit éviter toute transpiration excessive, on utilisera des chaussettes chaudes en laine ou en coton (plus absorbant que le synthétique) avec des chaussures adaptées (chaudes et respirantes).

L'efficacité de la prise d'une ampoule de vitamine D au début de l'hiver n'a jamais été démontrée.

g. Les gelures [9, 10, 20]

La gelure est une atteinte localisée causée par l'action directe du froid au cours d'une exposition plus ou moins longue à une température inférieure à 0°C. Les cellules des extrémités gèlent sous l'effet du froid intense.

La gelure touche en premier lieu les extrémités du corps notamment les pieds. C'est le sportif pratiquant sa discipline l'hiver et/ou à la montagne (alpinisme, ski...) qui est le plus à risque.



Figure 74 : Gelure en phase secondaire avec phlyctènes hémorragiques, nécrose et œdème [9]

La clinique peut se diviser en trois phases.

La phase primaire (J0) correspond à l'action du froid et du gel. La peau a un aspect livide et froid. Il y a une vasoconstriction, une hypoxie et un gel des tissus atteints.

La phase secondaire (J1 à J2) débute avec le réchauffement de la lésion. La lésion initiale se démarque alors sous forme d'une zone grise, cyanosée. On observe un œdème, et suivant la gravité de la gelure, des phlyctènes (transparentes ou hémorragiques) et une nécrose cellulaire suite au syndrome d'ischémie-reperfusion. Le degré de sévérité de la lésion et le pronostic d'évolution n'apparaît que lors de cette phase.

La phase tardive (J2 à J45) s'étale sur plusieurs semaines. C'est l'évolution de la lésion vers la cicatrisation pour les tissus revascularisés ou vers la gangrène sèche et l'amputation pour les tissus dévitalisés.

Nouvelle classification des gelures en fonction de l'extension des lésions et des résultats de la scintigraphie osseuse.

| | Stade I | Stade II | Stade III | Stade IV |
|--|----------------------------------|--|--|---|
| Extension de la lésion initiale après réchauffement rapide | absence de lésion initiale | lésion initiale sur la phalange distale | lésion initiale sur la phalange intermédiaire et proximale | lésion initiale sur le carpe/tarse et au-dessus |
| Scintigraphie osseuse à j2 | inutile | hypofixation | zones de non-fixation sur les doigts/orteils | zones de non-fixation sur le carpe/tarse |
| Phlyctènes à j2 | absence de phlyctènes | phlyctènes translucides | phlyctènes hémorragiques | phlyctènes hémorragiques |
| Pronostic à j2 | pas d'amputation pas de séquelle | amputation tissulaire, atteinte des phanères | amputation osseuse digitale, séquelles fonctionnelles | amputation des membres, séquelles importantes +/- sepsis, voire amputation en urgence |

Figure 75 : Classification de la gravité de la lésion suivant la clinique et l'imagerie [9]

Ce traumatisme de la peau est une urgence thérapeutique. Sa prise en charge débute par un réchauffement dans un bain d'eau à 38°C avec un antiseptique pendant 30 à 60 minutes, l'agitation améliore les échanges thermiques (il doit pouvoir être réalisé dans un refuge avant l'hospitalisation). Dès lors il faut à tout prix éviter un regel qui rendrait le pronostic très mauvais. A raison de 250mg par jour, l'aspirine permet de prévenir la thrombose (thrombolytiques puis héparines de bas poids moléculaires utilisés si besoin). L'utilisation du buflomédil (400mg par jour) pour son action vasodilatatrice de la microcirculation semble également bénéfique. Les parties gelées sont surélevées et les bains répétés deux fois par jour tant que persiste l'œdème,

Sur le terrain, il est conseillé des manœuvres actives non traumatiques dès la perte de sensibilité (massage, exercices musculaires). Il faut prendre garde à l'œdème qui suit le réchauffement, qui peut interdire le rechauffage, si celui-ci est nécessaire pour rejoindre le camp de base ou un refuge par exemple.

La prévention reste essentielle : connaître la météo, se couvrir les extrémités, vêtements et chaussures suffisamment chauds. En cas de gelures constituées, plus la prise en charge est précoce et meilleur sera le pronostic.

III. La chaussure de sport

Les pathologies microtraumatiques du pied du sportif sont donc multiples. Lors de l'étude de ces pathologies, on s'aperçoit que les traitements sont longs et difficiles. Et respectant le vieil adage « il vaut mieux prévenir que guérir », l'accent sur la prévention de ces microtraumatismes apparaît indispensable.

Cette prévention passe avant tout par une sensibilisation du sportif aux pathologies de surutilisation. Si l'importance de la charge d'entraînement et de l'âge du sujet sont les principales causes de ces microtraumatismes, la chaussure apparaît comme un élément impossible à écarter quand on étudie la pathologie du pied du sportif. On a vu qu'elle jouait en effet régulièrement un rôle dans l'apparition de ces pathologies. Naît alors la question de l'existence éventuelle d'une chaussure de sport qui réduirait la prévalence de ces pathologies. C'est l'objet cette partie de l'étude.

Par définition une chaussure est une partie de l'habillement qui maintient et protège le pied. La spécificité de la chaussure de sport est qu'elle est destinée à cet usage particulier qu'est la pratique sportive.

Une chaussure adaptée au sport se doit de répondre aux objectifs de maintien et de protection du pied de la chaussure classique ; objectifs que l'on peut spécifier, la chaussure de sport doit faciliter la gestuelle sportive pour optimiser la performance et protéger le pied contre les microtraumatismes exacerbés par la pratique sportive.

Nous allons essayer de comprendre comment la chaussure peut répondre à ces objectifs. Nous présenterons dans un premier temps la chaussure de sport en général, puis nous ferons une analyse approfondie de la chaussure de sport à travers l'étude de la chaussure de running, avant d'étendre cet exposé à d'autres sports

A. Présentation de la chaussure de sport [13, 40, 47]

L'étude de la calcéologie, ou science de la chaussure, nous montre que l'Homme a depuis longtemps cherché à couvrir ses pieds, à protéger ses précieuses extrémités des agressions physiques du sol et du froid. On a ainsi retrouvé des témoignages de chaussures par des peintures rupestres datant de 15000 ans, les premières reliques étant des sandales égyptiennes en roseau datant de 5500 ans.

Même si les modèles conçus acquièrent souvent une signification sociale et peuvent évoluer pour être plus fait pour les yeux que pour les pieds, les chaussures restent en premier lieu confectionnées dans un but utilitaire.

La chaussure naît de la nécessité de palier à une déficience du pied nu face à des situations ou des activités particulières (fourrures épaisses contre le froid, sandales des polynésiens contre les coupures par le corail, interface plus larges - raquettes - pour ne pas s'enfoncer dans la neige). La conception d'une chaussure doit donc tenir compte de la situation à laquelle elle est destinée. Répondre à des besoins précis exige, une spécificité de la chaussure ; c'est le cas dans le sport.

1. Historique de la chaussure de sport [11, 13, 27, 31, 39, 50, 91]

Le XIXème siècle, sous l'impulsion de la classe dominante anglaise, voit la naissance du sport moderne, les jeux populaires sont codifiés et les pratiquants regroupés par clubs. Ces sports vont rapidement se développer et se médiatiser sous l'influence de grandes rencontres internationales comme les jeux olympiques, et ainsi toucher toutes les classes sociales.

L'histoire de la spécificité de la chaussure de sport ne commence véritablement qu'avec l'arrivée et l'engouement pour le sport moderne, mais elle est également permise le développement des techniques industrielles, notamment avec la maîtrise de la vulcanisation du caoutchouc par Charles Goodyear en 1839. Ce procédé permet d'obtenir un caoutchouc stable sans perdre ses propriétés élastiques.

Commence alors le développement de la chaussure de sport, une chaussure qui doit aider le sportif à être le plus performant, cette chaussure va ainsi petit à petit se différencier de la chaussure de ville pour s'adapter aux contraintes liées à chaque discipline, son histoire est révélée par celle des équipementiers.

Les premières chaussures de sport sont fabriquées par la société américaine Candde Manufacturing en 1868. Ce sont des chaussures en toile dotées de semelles en caoutchouc pour améliorer la stabilité.

Dans les années 1890, l'anglais J.-W. Foster réalise, via sa société maintenant dénommé Reebok, les premières chaussures de sport à pointe pour l'accroche à la course.

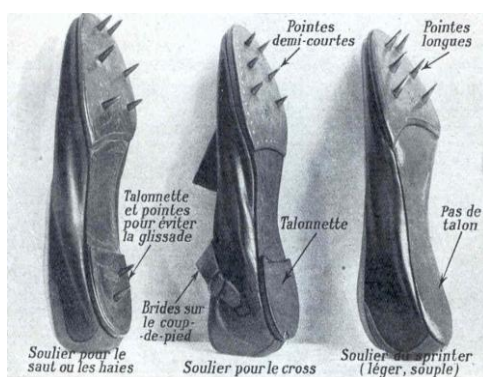


Figure 76 : Pointes utilisées en 1922 [11]

En 1906, Arthur Hall crée New balance à Boston, la première chaussure avec soutien de la voûte plantaire pour corriger les problèmes podologiques.

En 1917, la marque Converse développe une chaussure montante semelle de caoutchouc destinée à la pratique du basket-ball, la converse All Star.



Figure 77 : un des premiers modèles de la converse All Star [27]

En 1929, la marque Adidas sort la première chaussure spécifique au football, en cuir, montante et dotées de barrettes transversales cloutées pour l'accroche.

En 1936, la marque française Spring Court propose une chaussure en toile de coton à semelle en caoutchouc destinée au tennis.

En 1947, apparition des premiers chaussons d'escalade à semelle lisse et à gomme adhérente en caoutchouc qui remplacent les espadrilles (qui ont-elles même remplacée en 1910, les chaussures à clous empruntées à l'alpinisme). Ce sont les P.A., conçus par le grimpeur Pierre Allain et le cordonnier Emile Bourdonneau, ils marquent la naissance de la marque EB.



Figure 78 : Les P.A. de EB [91]

En 1954, Adi Dassler, co-fondateur d'Adidas, développe les premières chaussures de football à crampons vissés interchangeables pour pouvoir adapter la chaussure en fonction de terrain.

En 1961, la Trackster de New Balance est la première chaussure de course à pied disponible en plusieurs largeurs.

En 1964, Adidas produit la célèbre Stan Smith, première chaussure de tennis à tige en cuir, caractéristique par les trois rangées de trous pour l'aération du pied et son système de protection du tendon calcanéen à l'arrière.



Figure 79 : La Stan Smith d'Adidas [109]

En 1975, première utilisation de l'EVA (éthylvinylacétate) par l'équipementier Brooks, pour l'amorti au niveau de la semelle intermédiaire, aujourd'hui un standard de la chaussure de sport.

En 1987, Brooks prend en compte la mixité anatomique du pied et introduit la première ligne de chaussures qui répond à l'anatomie du pied féminin : talon plus étroit, arche plus prononcée et une base des orteils élargie.

2005, sortie de la Five Fingers de Vibram et développement de concept minimaliste de la chaussure de course à pied.



Figure 80 : La Five Fingers de Vibram [110]

Que la chaussure soit l'interface entre le pied et le sol ou une orthèse d'adaptation entre le pied et l'engin comme en cyclisme ou en ski, aujourd'hui chaque sports à son chaussant adapté. Mais plus encore que la seule spécificité à un sport donné, la chaussure de sport se décline également selon le type de sol et les spécificités du sportif.

2. Des chaussures de sport [39, 47, 50]

Si la chaussure est une partie de l'habillement, elle est aussi une orthèse de série que l'on veut adaptée à chaque situation.

La chaussure de sport est l'interface entre le sol et le pied, « entre le marteau et l'enclume », en pratique sportive.

La nature du sport, le terrain sur lequel il est pratiqué, et les caractéristiques du sportif sont donc les trois variables qui vont permettre la réalisation d'un chaussant adapté.

a. La nature du sport

Le sport est une activité qui requiert un effort le physique et/ou mental avec une notion de dépassement de soi, et qui est encadré par un certain nombre de règles et coutumes (règles généralement régies par une fédération).

Il est avant tout destiné au divertissement, au plaisir physique et mental du pratiquant. La devise olympique : *Citius, Altius, Fortius* qui signifie plus haut, plus loin, plus fort, explicite la notion de dépassement dans le sport. Le dépassement est souvent mis en avant par le cadre compétitif où on doit se mesurer aux autres.

Les disciplines sportives sont en constante évolution, chaque année de nouvelles sont développées.

En voici une liste non exhaustive :

- athlétisme (courses, marches, lancers, sauts)
- sports collectifs (football, rugby, basketball, volleyball, handball...)
- gymnastique (gymnastique artistique, gymnastique rythmique et sportive, trampoline...)
- sports de combat & arts martiaux (boxe, karaté, escrime...)
- sports de raquette (tennis, squash, badminton...)
- cyclisme (cyclisme sur route, vélo tout terrain, BMX (bicycle motocross)...))
- sports de cibles (tir à l'arc, golf, pétanque...)
- sports de plein air (alpinisme, escalade, spéléologie...)
- sports aériens (deltaplane, parapente, parachutisme ...)
- sports nautiques (natation, kayak, plongée sous-marine...)
- sports de glisse (ski, surf, skateboard...)
- sports de glace (hockey sur glace, curling, patinage artistique...)
- sports avec des animaux (équitation, polo, course de traîneaux...)
- sports mécaniques (formule 1, rallyes, motocross...)
- sports de force (musculature, haltérophilie, fitness...)

Chaque sport est caractérisé par une gestuelle spécifique.

La gestuelle sportive est composée de mouvements, de phases de jeu qui doivent répondre de manière optimale à l'objectif fixé par la discipline, c'est-à-dire avec un coût énergétique et moteur minimal tout en respectant les caractéristiques anatomo-physiologiques de l'individu pour le préserver des blessures et lui permettre la poursuite de sa pratique.

Au niveau du pied, les contraintes sur le sportif sont liées à la spécificité des appuis, dont l'analyse cinématographique et biomécanique, permet d'en expliciter les caractéristiques dans chaque sport.

b. La nature du sol

Bien que souvent lié à la nature du sport, le type de sol peut varier au sein d'une même discipline. Un match de tennis peut par exemple se jouer sur terre battue, sur gazon, asphalte, parquet... Suivant la nature de sol, ces caractéristiques mécaniques telles que la dureté, la souplesse, l'abrasivité, l'adhérence vont changer. Les contraintes sur le pied au contact du sol le seront également.

La chaussure doit donc être adaptée aux différentes surfaces du jeu pour réduire les risques dus au manque d'adaptation du pied à ces variations.

c. Le sportif

Chaque sportif est différent.

C'est l'anatomie du pied de l'individu qui fait varier en premier lieu les caractéristiques de la chaussure. On doit prendre en compte la taille, la morphologie du pied et ses éventuelles anomalies pour adapter le chaussant et éviter des conflits entre le pied et la chaussure.

La chaussure doit également prendre en compte le poids de l'individu qui augmente les contraintes sur le pied, et les éventuels antécédents pathologiques qui peuvent nécessiter une augmentation de protection.

La gestuelle sportive peut varier aussi d'un individu à l'autre, modifiant les contraintes sur le pied et les besoins du chaussant.

Par ailleurs on doit interroger le sportif sur l'intensité et les objectifs de sa pratique, paramètres qui vont également entrer en compte dans les qualités recherchées de la chaussure

Ainsi pour répondre au cahier des charges de la chaussure dans le sport (favoriser la gestuelle sportive pour optimiser la performance et protéger le pied contre les microtraumatismes exacerbés par cette gestuelle spécifique de la pratique sportive), la chaussure de sport doit être conçue en fonction de la discipline, du terrain et de l'individualité du pratiquant. La prise en compte de ces trois critères est indispensable.

3. Rappel de la biomécanique du pied nu [21, 39]

La biomécanique est l'étude de l'application des lois de la mécanique sur les êtres vivants. L'étude du déroulement de la phase d'appui du pas à la marche a permis de découvrir les grandes fonctions du pied dans sa relation avec le sol, rappelons les ici.

- **La réception ou l'amortissement**

Lors de la locomotion le pied est en contact intermittent avec le sol, à chaque contact il doit gérer les contraintes qu'il subit.

Ce contact est plus ou moins violent, notamment en fonction de la vitesse de « chute » du pied au moment de l'impact et de la dureté du sol. Ce contact génère une onde de choc qui se disperse progressivement dans les segments sus-jacents (on la détecte à chaque pas jusqu'au niveau de la tête). L'onde de choc est essentielle à la minéralisation osseuse mais il existe aussi un seuil (non défini) au-delà duquel elle devient nocive (apparition de microtraumatismes).

A chaque réception, le pied utilise ses capacités d'amortissement pour absorber ces contraintes. Il fait principalement appel à trois structures déformables, que nous avons vu, le capiton plantaire, le système suro-calcanéo-plantaire et les arches du pied.

- **La stabilisation & l'adaptation**

Les pieds sont les seules parties du corps en contact avec le sol, ils sont déterminant dans le maintien de l'équilibre statique et dynamique du corps.

De par sa structure ostéo-musculaire qui allie souplesse et fermeté (arches plantaires, tonus musculaire, articulation de Lisfranc, ...), le pied est adaptatif. Cette souplesse relative permet une plasticité du pied en fonction des inégalités du sol pour une surface de contact plus grande et une stabilité maximisée.

Le pied joue aussi un rôle d'informateur essentiel au travers du système sensitif très dense qui le compose, c'est un rôle de proprioception. La proprioception du pied permet notamment un tonus musculaire adapté aux besoins de stabilité.

On retiendra également qu'un pied stable, bien équilibré, facilite la réception et la propulsion.

- **La propulsion**

Dans le cadre de la locomotion, les fonctions précédentes sont une préparation à la propulsion. Le pied doit décoller du sol en s'opposant à la loi de la gravitation universelle de Newton. Cette lutte contre la pesanteur nécessite une forte contribution du système musculaire (principalement par le système suro-calcanéo-plantaire), d'un coût énergétique important.

Pour minimiser ce coût, le pied utilise, tel un ressort, l'énergie accumulée passivement à la réception dans la mise en tension des structures élastiques du pied et de la jambe.

La biomécanique du pied nu nous permet de comprendre, les forces et les faiblesses physiologiques du pied, et de discerner les qualités demandées à la chaussure de sport pour aider à protéger le pied : amortissement de qualité, restitution d'énergie, contrôle des degrés de liberté du pied, préservation de la proprioception.

B. La chaussure de running

1. La course à pied

La course à pied est un des sports les plus populaires. C'est une discipline qui brille par sa simplicité. La course à pied est un sport individuel qui consiste à courir une distance donnée en un minimum de temps.

La distance à parcourir permet une catégorisation des courses : les courses de moins de 800m sont des courses de sprint, celles de 800m à 3000m inclus sont des courses de demi-fond, celles de plus de 3000m à 42.195km inclus (marathon) sont des courses de fond, et les courses plus longues sont des courses d'ultra ou de grand fond (100km, 100miles, 24H, ultra-trail, 6 jours...).

La course à pied est une des disciplines de l'athlétisme, elle se décline du 100m au marathon (42.195km), et se pratique principalement sur la piste d'un stade.

Les épreuves de course à pied sont aussi développées en dehors du cadre classique de l'athlétisme. Cette pratique dite hors stade, s'est initiée dans les années 1970, le coureur était alors à la recherche de nouveaux horizons, de plus de liberté dans sa pratique. Ces coureurs ont d'abord reconquis le bitume, puis peu à peu, tous les terrains.

Avec l'essor de cette course hors stade, se sont plus particulièrement les courses de fond et d'ultra qui se sont développées. Parmi elles, on peut distinguer aujourd'hui deux grands types de course : les courses sur route, et les trails ou courses nature qui peuvent se dérouler sur tout type de sols (chemins, sous-bois, sections sur rochers, sables...) (le bitume est évité autant que possible) et sur des terrains plus ou moins accidentés.

La course de fond est le type de course à pied le plus pratiqué. Sa pratique est fortement plébiscitée car elle permet notamment un travail d'endurance musculaire, cardiovasculaire et respiratoire très intéressant pour le maintien de sa santé ou pour la pratique d'autre sports. Dans ce cas on ne cherche pas à couvrir une distance donnée la plus rapidement possible, mais à maintenir la course un certain temps à allure modérée. Cette facette de la course de fond prend souvent le nom de footing ou jogging.

Le terme running souvent utilisé par les pratiquants de course à pied, signifie littéralement et simplement courir.

2. Analyse cinématique de la course à pied [21, 30, 39, 47, 111]

La course est le moyen de locomotion privilégié de l'Homme bipède voulant se déplacer à allure rapide.

La course à allure régulière est la répétition à l'identique d'un même geste, d'un même cycle. Ces cycles sont composés de deux foulées symétriques, une droite et une gauche.

A la différence de la marche, où il y a toujours au moins un des pieds en contact avec le sol, la course correspond à une suite d'appui unipodal et de suspension bipodal pendant laquelle le corps n'est plus en contact avec le sol (sustentation).

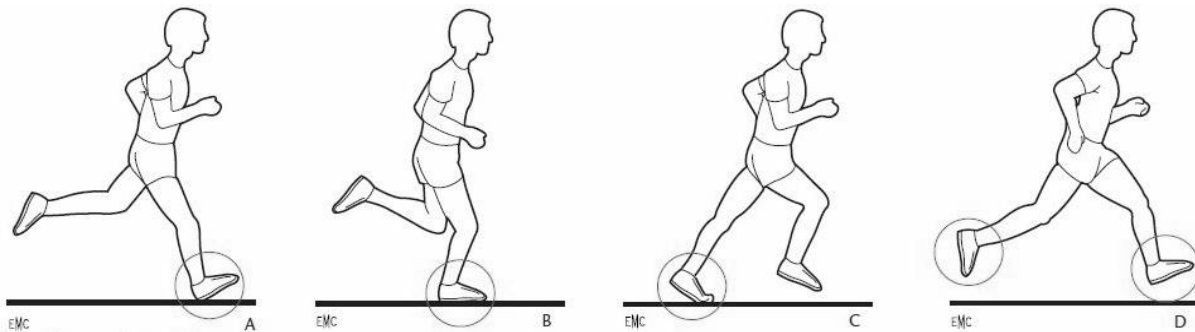


Figure 81 : Schématisation de la course à pied: A-amortissement, B-soutien, C-impulsion, D-suspension [21]

Nous avons vu que le déroulement du pied au sol lors de la marche se décomposait en trois phases : taligrade, plantigrade et digitigrade. A la course cela n'est pas universel, le contact avec le sol varie selon les sujets et la vitesse de course. Les sprinters réalisent leurs courses exclusivement sur l'avant-pied. Les coureurs de fond présentent une variabilité dans leur technique de course, selon les individus, ils attaquent le sol par le talon, par la plante du pied ou pied à plat.

Courir sur les talons exerce moins d'effort sur les mollets et les tendons calcanéens. Par contre, elle contribue à ralentir le coureur puisque le contact au sol se fait devant le centre de gravité du corps. Courir sur la plante des pieds exerce moins d'effort sur les genoux et les chevilles. Cette technique augmente la portée de la foulée et contribue à courir plus rapidement (foulée plus performante). Par contre, les mollets et tendons calcanéens sont fortement sollicités.

Courir sur le milieu du pied est une solution intermédiaire.

Selon la vitesse et la distance à parcourir, le coureur fera contact plus ou moins avec le talon ou la plante de pieds.

Si le déroulement du pied n'est pas identique à la marche, on retrouve par contre les notions biodynamiques de réception et de propulsion sur un pied stable.

La présence des phases de sustentation durant le cycle de la course, fait que le pied retombe de plus haut et donc avec plus de force sur le sol. L'absence de phases bipodales fait que le pied qui se pose sur le sol doit gérer seul les contraintes de l'impact (le membre voisin n'intervient pas).

Ainsi, en course, la contrainte verticale du pied sur le sol est élevée, on dit qu'elle correspond à 2 à 3 fois le poids du corps à chaque foulée (1 à 1.5 à la marche).

La course à pied est répétitive et exerce de fortes contraintes sur le pied. Les microtraumatismes du coureur sont ainsi divers et fréquents. Et la chaussure de running se doit de protéger correctement le pied.

3. Anatomie de la chaussure de running [13, 21, 26, 39, 47, 50]

La chaussure de running peut être décrite à travers les différents éléments qui la composent.

On distingue tout d'abord la tige, c'est la partie qui habille le pied, et le semelage, partie qui sépare le pied du sol.

Le semelage d'une chaussure de running présente trois parties. On distingue la semelle interne ou première de propreté, la semelle intermédiaire et la semelle externe ou semelle d'usure.

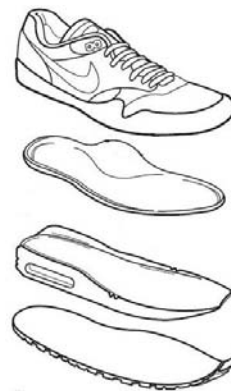


Figure 82 : Du haut en bas, la tige, la semelle interne, la semelle intermédiaire et la semelle externe de la chaussure [50]

a. La tige

La tige habille et accueille le pied, elle se doit donc d'être confortable, non agressive (éviter les coutures saillantes) et adaptée aux dimensions du pied (pointure, largeur, volume).

La tige peut être divisée en deux parties : l'empeigne ou claque est la partie antérieure de la tige, elle va du coup de pied jusqu'à la pointe de la chaussure ; le quartier est la partie postérieure de la chaussure.

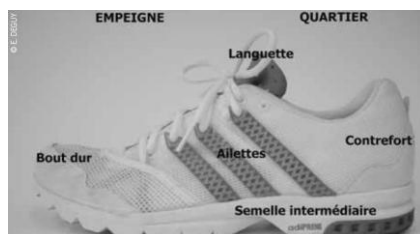


Figure 83 : La tige de la chaussure [26]

La tige est constituée de tissus légers (nylon Mesh), pour l'aération du pied, la légèreté et la souplesse de la tige.

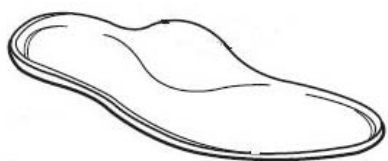
On y trouve des pièces de renforcement pour la protection et le maintien du pied.

Ces renforts, anciennement en cuir, sont aujourd'hui en synthétique, pour un gain de poids et une meilleure évacuation de la transpiration. On distingue le contrefort, les ailettes et le bout dur. Le contrefort ou emboitage est situé à l'extrémité postérieure, il enserré le talon pour le maintien de l'arrière-pied et pour éviter la déformation de la tige ; il est matelassé pour protéger le tendon calcanéen. Les ailettes sont placées de chaque côté de l'empeigne (souvent présentent sous la forme du logo de la marque), c'est un renfort souple qui préserve le pied de son étalement transversal. Le bout dur ou cornet antérieur est à l'extrémité antérieure de la tige, il a pour but de protéger les orteils.

La tige doit également toujours posséder un système de fermeture. Il doit permettre de maintenir le coup de pied en place et d'unir le pied à la chaussure. Il doit également être précis et parfois rapide (dans le cas d'épreuves combinées comme le triathlon).

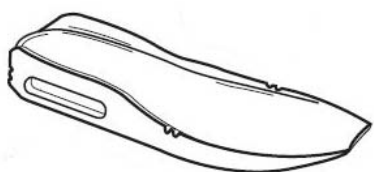
S'il en existe différents systèmes (scratch, fermeture éclair...), les lacets sont à privilégier car ils permettent une fermeture très précise en fonction du volume du pied. Les lacets passent dans des œillets, et le dos du pied est isolé des lacets par une languette matelassée. La languette participe également à « l'étanchéité » de la chaussure en évitant le passage de gravillons ou de poussières dans le chaussant (protection du dos du pied des agressions extérieures et de celles de la chaussure). La tige de la chaussure de running est basse, c'est-à-dire qu'elle s'arrête sous les malléoles (échancrure sous malléolaire) pour préserver les mouvements de la cheville et augmenter sa proprioception.

b. Le semelage



La semelle interne est en contact direct avec le pied, elle doit être confortable, ne provoquer aucun frottement, être absorbante pour limiter la macération et peut apporter une composante amortissante.

Elle est amovible pour améliorer le séchage et l'aération de la chaussure. C'est cette partie qui peut être remplacée par une semelle orthopédique sur mesure. Elle est épaisse de quelques millimètres (2 à 4mm), elle est généralement réalisée avec un matériau antichoc (PURs) et recouverte d'un tissu éponge pour limiter l'échauffement du pied. La présence d'une hémicoupole pour un soutien de voûte est à proscrire. En effet, elle induit sur les pieds creux, majoritaires, une incitation au varus (augmentation du risque d'entorse).



La semelle intermédiaire est l'élément principal qui assure l'amorti du contact entre le pied et le sol. Elle permet aussi la rigidité ou la souplesse de la semelle en fonction des besoins. C'est cette partie de la chaussure qui va renfermer les grandes technologies de stabilité (matériaux bidensité) et d'amorti (gel, air, mousse...) de la chaussure.

Elle est généralement épaisse et réalisée en polyuréthane (PUR) ou en éthylvinylacétate (EVA). Les composants les plus amortissants sont disposés sous la région talonnière et sous la région métatarsophalangienne qui sont les zones d'amortissements du pied nu.

La semelle intermédiaire est aussi plus épaisse en arrière qu'en avant afin de soulager le système suro-calcanéo-plantaire du pied et faciliter le déroulé du pied.



La semelle externe est en contact avec le sol, elle sera fonction du terrain, pour améliorer au mieux l'adhérence et la stabilité de la chaussure. Elle se doit également d'être résistante pour protéger au mieux la chaussure de l'usure. Les gommages utilisés vont être plus ou moins résistants. Tout comme pour un pneu, plus une gomme

sera résistante et moins elle sera adhérente.

Les parties les plus sollicitées de la semelle (partie postéro-externe et antéro-interne) peuvent être renforcées par un mélange carbone-caoutchouc.

Le relief de la semelle est important, il est adapté au terrain sur lequel le coureur évolue, la présence de picots permet d'augmenter l'accroche de la chaussure. A l'avant, elle remonte pour faciliter le déroulé du pied.

On note également la présence de plus en plus répandue, d'encoches de flexion, pour augmenter la souplesse de la semelle.

4. Les exigences d'une chaussure de sport à travers l'exemple du running

a. L'amorti de la chaussure [13, 26, 30, 39, 50]

L'amorti est une notion essentielle à la chaussure de course à pied et particulièrement de la course sur route. Busseuil (1994) estime que le manque d'amortissement est la cause de 24% des microtraumatismes. On note que la surcharge pondérale vient renforcer ce risque.

La question de l'amorti apparaît avec le développement des sols synthétiques. La piste en tartan du stade olympique des jeux de Mexico en 1968 marque le début de la pratique sportive sur sols synthétiques. Si ces jeux ont vu une augmentation des performances notamment grâce à l'excellent dynamisme de ces sols, on a parallèlement observé une augmentation des pathologies de surcharges. Sur ces sols durs (par rapport aux anciennes pistes cendrées), le pied semble être dépassé dans ses capacités amortissantes (interprétation suite à la découverte du pic de force talonnier sur plateau de force). La chaussure fut alors envisagée comme un filtre entre le talon et le sol, avec la présence d'une semelle amortissante pour réduire les chocs lors de l'impact, pour diminuer la fréquence des pathologies de surcharges articulaires et tendineuses. Les équipementiers ont ainsi fortement orientés leurs recherches vers la science des semelles amortissantes.

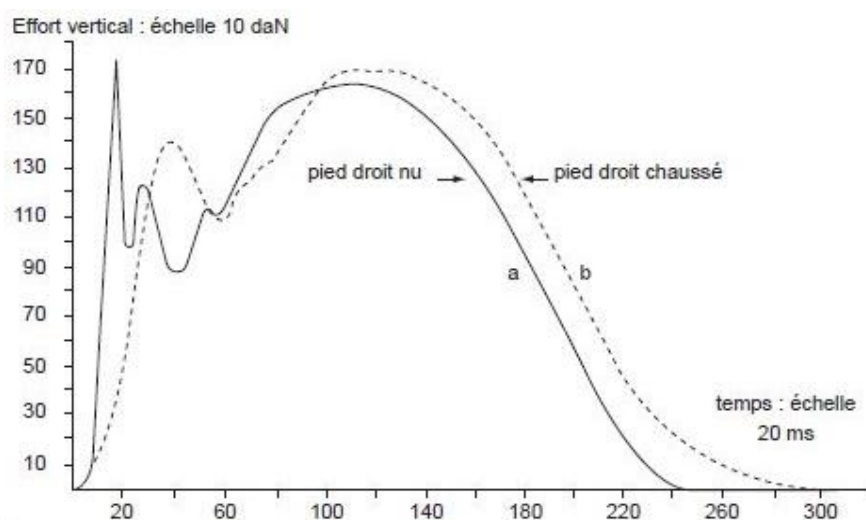


Figure 84 : Enregistrement des forces verticales sur plateau de force (d'après C.Got) [39]

- Les semelles amortissantes

En physique, un matériau est dit amortisseur s'il réduit l'amplitude des oscillations de l'onde de choc.

Il existe deux types de matériaux amortisseurs : l'amortisseur proprement dit qui se déforme peu et transforme une partie de l'énergie sous forme de chaleur (stabilité mais perte de l'énergie de l'impact), et l'amortisseur élastique qui se déforme lors d'un impact mais qui conserve une énergie de tension élastique (mollesse mais restitution d'énergie).

On note que ces amortisseurs dits élastiques sont plutôt à comparer à des ressorts alors que les amortisseurs musculo-tendineux du pied se comportent eux plutôt comme des élastiques.

Il existe des amortisseurs naturels dont le caoutchouc qui est l'amortisseur de référence (il y a aussi le bois, le cuir, le feutre, le liège...), et des produits synthétiques dérivés de la pétrochimie. On y retrouve les polyuréthanes (PURs) (Sorbothane®, Podiane®...) plutôt amortisseurs vrais, l'éthylvinylacétate (EVA) qui est élastique et des mélanges d'EVA et de PURs.

L'EVA est un matériau microcellulaire, une mousse remplie de bulles d'air, il est déclinable en diverses densités et possède de bonnes qualités élastiques. Son principal défaut est de se tasser avec le temps, la capacité de compression des cellules est alors diminuée, et cela en fait un matériau à durée de vie limitée. Mais l'EVA est le produit de référence, c'est un produit léger et bénéficiant d'un bon rapport qualité-prix, il convient particulièrement pour les coureurs légers (<80kg) et les longues distances.

Les PURs plus dense et plus durable seront à préférer pour des coureurs lourds (>80kg). Ils sont aussi souvent utilisés au niveau de la semelle de propreté, comme semelle antichoc.

Dans les procédés amortissants, on a également :

L'air confiné ou circulant (Nike air®...), les propriétés amortissantes sont bien là mais on observe des problèmes d'instabilité et d'échauffement.

Les gels, ce sont des macromolécules dispersées dans un solvant conférant des propriétés viscoélastiques. Les effets sont beaucoup plus nuancés qu'avec l'air, ils sont aujourd'hui peu utilisés.

Les structures déformables (nids d'abeille, tubes...) se sont beaucoup développées ces dernières années mais plutôt pour leur qualités visuelles (marketing) que réellement amortissantes.

L'essai in vitro réalisé au CTC (Centre Technique Cuir, Chaussure, Maroquinerie de Lyon) pour la mesure de l'amorti est le coefficient de transfert, c'est une chasse au pic d'impact. On applique sous la semelle un choc correspondant au pic d'impact talonnier lors de la course et on mesure le choc au-dessus de la semelle. Ce test est peu représentatif de ce qu'il se passe in vivo, mais il permet de comparer le pouvoir amortissant des différentes chaussures et d'avoir une indication de leur durée de vie (par une impactation répétée de la chaussure).

Malgré la qualité de ces différentes structures déformables, c'est essentiellement sur leur épaisseur, source d'instabilité, qu'il a fallu jouer. Ainsi, on est passé d'une chaussure de sport avec 7mm de gomme dure qui se déformait de 30% dans les années 1970 (environ 2mm de débattement), à une chaussure avec 38mm de talon et une déformation de 50% depuis 1990 (environ 20mm de débattement).

- **Un concept à relativiser**

L'amortissement est né de la volonté de diminuer les forces d'impact et l'onde de choc associée, pour diminuer les blessures microtraumatiques du sportif. Les innovations technologiques des équipementiers, fortement orientés vers ce domaine, ont conduits à une importante augmentation des capacités amortissantes de la chaussure. Cette généralisation de l'hyper-amorti, soulève aujourd'hui des questions quand à son usage universel dans le running.

S'il semble logique que les charges d'impact répétées à la course, notamment sur sols durs, peuvent nuire à l'intégrité des tissus. Les effets négatifs de ces charges d'impacts sur le corps humain n'ont jamais été quantifiées (la publication de référence rapporte des lésions cartilagineuses sur les genoux de moutons après plusieurs mois de marche sur du macadam au lieu du pâturage habituel, Radin 1982).

L'absence d'onde de choc fragilise nos os, une onde de choc très intense détruit nos tissus mais les seuils restent à préciser.

L'amortissement améliore incontestablement le confort du coureur par un ralentissement de la pose du pied au sol (contact doux).

Mais cet amortissement s'accompagne aussi d'effets négatifs :

Augmentation du travail musculaire (donc un risque de surmenage des tendons et des enthèses) par accroissement du temps de contact du pied avec le sol, et par déperdition d'énergie sous forme de chaleur pour les amortisseurs proprement dits ou sous forme de restitution retardée pour les amortisseurs élastiques.

La hauteur sous le talon et le contact pied-sol par une interface molle sont source d'instabilités. Les tendons ont alors un travail de stabilisation supplémentaire. Et cette instabilité favorise l'hyperpronation de l'arrière-pied.

A long terme, l'utilisation quotidienne d'une semelle amortissante provoque une atrophie du capiton plantaire sous utilisé.

Plus on absorbe et plus on insensibilise les capteurs sensoriels et proprioceptifs de la plante du pied. Ainsi le ralentissement de la pose du pied au sol retarde la flexion du genou et explique de nombreuses lésions cartilagineuses et méniscales.

La chaussure amortissante possède donc des avantages et des inconvénients qu'il faut connaître pour pouvoir conseiller au mieux les sportifs dans le choix de leur chaussure.

La difficulté est de déterminer la quantité d'amorti permettant un meilleur rapport bénéfice-risque pour ne pas avoir d'amorti superflu qui augmenterait les risques de blessures au lieu de les prévenir (problème de l'hyper-amorti).

Dans ce choix de la « quantité » d'amorti, différents facteurs sont à prendre en compte : la dureté du sol, la quantité et la durée des entraînements, le type de foulée (attaque par talon ou avant-pied), l'objectif du coureur, les antécédents du coureur, mais aussi **l'adaptation PROGRESSIVE du pied aux contraintes qu'il subit** (l'entraînement).

En effet il ne faut pas oublier que le pied, comme le reste du corps, se renforce par l'entraînement et qu'il se fragilise s'il est sous-utilisé ou surprotégé.

• Quand utiliser des semelles amortissantes ?

L'emploi de semelles fortement amortissantes est intéressant lorsque les forces exercées sur le pied sont plus importantes que d'habitude et que l'adaptation progressive du pied n'a pu être réalisée : course ou activité avec sauts sur sols durs pendant plusieurs heures ; notamment chez les amateurs ou les sportifs occasionnels qui recherchent du confort et qui ne portent des chaussures amortissantes que lors de l'activité.

Elles sont également indiquées au cours du traitement d'une blessure ostéo-articulaire du membre inférieur, pendant l'arrêt thérapeutique et lors de la reprise de l'activité sportive.

Par contre le sportif de haut niveau ou bien entraîné doit limiter son utilisation pour préserver les propriétés du capiton plantaire et la robustesse des muscles du pied. Il ainsi devra réaliser au moins 20% de son entraînement sans amortisseur, course pied nus par exemple.

Pour développer ou entretenir l'endurance fondamentale, sorties de plus d'une heure, il vaut mieux éviter les sols durs tels que le bitume, il est préférable de les programmer sur sols plus souples comme en forêt. On peut alors réduire l'amortissement et ses défauts sans augmenter le stress sur le squelette.

On rappelle que les semelles amortissantes ont été créées par palier aux contraintes sur sols durs, les capacités amortissantes des semelles doivent être réduites sur sols souples, pour éviter les défauts de l'hyper-amorti. Le concepteur d'une chaussure de running doit étudier chaque situation, pour proposer le meilleur compromis entre amorti, stabilité et élasticité de la semelle intermédiaire.

b. Le dynamisme de la chaussure [13, 30, 39, 45, 50]

Le dynamisme d'une chaussure est sa capacité à restituer l'énergie obtenue par déformation des structures de la semelle lors de l'impact. Les matériaux déformés vont libérer de l'énergie « gratuite » en reprenant leur forme initiale « de repos », et ainsi aider le pied à la propulsion. Cette restitution d'énergie est donc liée aux matériaux déformables de la semelle, et donc aux matériaux amortisseurs élastiques essentiellement.

Le dynamisme de la chaussure peut aussi être augmenté par la présence d'une plaque semi-rigide (déformable par mise sous tension) au niveau de l'avant-pied. L'accumulation de l'énergie se fait quand l'appui passe sur l'avant-pied avec une flexion dorsale des articulations métatarso-phalangiennes, et la restitution de l'énergie se fait au moment où le pied décolle. Mais la mise en tension de cette plaque nécessite un effort musculaire supplémentaire, et ce système apparaît non rentable par rapport à l'énergie récupérée (c'est un type de semelle utilisé en sprint mais la protection du pied vis-à-vis des pointes entre alors en ligne de compte).

Le sens du dynamisme de la chaussure est parfois élargi à toutes les caractéristiques de la chaussure qui aident à la propulsion. On y associe notamment la forme de la semelle (talon surélevé et avant recourbé) qui facilite le déroulé du pied, et la légèreté de la chaussure qui permet de diminuer l'effort à fournir.

Dans la pratique les chaussures considérées comme très dynamiques, sont souvent les chaussures dites de compétition avec relativement peu d'amorti, souples et légères. Elles ont peu de protections contre les problèmes stato-dynamiques du pied ou contre une technique déficiente, mais laissent le champ libre aux qualités naturelles du pied.

Le terme de dynamisme utilisé pour décrire ces chaussures est alors un abus de langage, car celui-ci n'est pas conféré par la chaussure mais par le pied lui-même peu refreiné (et peu protégé) par la chaussure.

c. Le contrôle de la prono-supination [13, 30, 39, 45, 50, 93, 111]

La prono-supination désigne ici des mouvements physiologiques du déroulé du pied à la marche ou à la course.

Ces mouvements débutent par une supi-pronation : après avoir touché le sol avec le bord latéral du talon (pied en supination), le pied roule rapidement vers l'intérieur pour présenter une surface maximale au sol au moment du plein appui du pied (mouvement de pronation du pied). Ce passage de la supination à la pronation participe à l'amortissement des chocs talonniers par le pied. Ensuite le pied se redresse (mouvement de supination) pour rigidifier l'ensemble du pied avant la propulsion.

Il faut noter que les coureurs qui attaquent le pas par l'avant-pied échappent à la prono-supination stabilisatrice de l'arrière-pied.

Un excès de pronation ou une « sous-pronation » est un trouble dynamique du pied. Ce trouble dynamique devra être corrigé car il est source de microtraumatismes.

- **Les coureurs universels, pronateurs ou supinateurs**

A la course, le coureur qui attaque le sol par le talon, peut présenter trois types de déroulés du pied. On peut ainsi identifier le coureur comme universel, pronateur ou supinateur.

-Le coureur universel (ou « normal ») (environ 50% des coureurs)

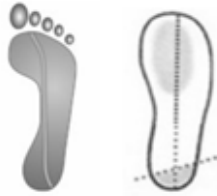


Figure 85 : Déroulé du pied et usure de la semelle de la chaussure avec un pied universel [93, 111]

Le coureur universel correspond à un coureur avec un déroulé « normal » du pied. Un œil averti peut définir le type de pied du sujet juste en le regardant courir, mais l'usure de la chaussure est également révélatrice. L'appui débute par la partie externe du talon, on retrouvera donc une usure de la semelle au niveau de la partie externe du talon, et la partie antérieure de la semelle s'use au niveau médian.

-Le coureur supinateur (environ 5% des coureurs)



Figure 86 : Déroulé du pied et usure de la semelle de la chaussure avec un pied supinateur [93, 111]

Dans ce cas le déroulé du pied est plus « extérieur », on a une sous-pronation. Comme pour le coureur universel, le déroulé débute sur la partie externe du talon. Mais ensuite, au lieu de revenir sur l'intérieur, il longe le bord externe du pied (mouvement de supination). La chaussure est marquée par une déformation vers l'extérieur du contrefort talonnier et une usure externe de la partie antérieure de la semelle.

-Le coureur pronateur (environ 45% des coureurs)



Figure 87 : Déroulé du pied et usure de la chaussure avec un pied pronateur [93, 111]

Ici le déroulé du pied est plus « intérieur », on a une sur-pronation. Le déroulé commence, là encore par l'extérieur, mais le mouvement de bascule sur l'intérieur s'enclenche plus rapidement et est plus prononcé, amenant le poids du corps au-dessus du bord interne du pied.

La chaussure est marquée par une déformation du contrefort talonnier vers l'intérieur et une usure interne de la partie antérieure de la semelle.

La pronation s'accroît pied chaussé, notamment avec un fort amorti talonnier. Les mêmes chaussures portées par des coureurs différents donnent des pronations différentes. Elle dépend donc de la chaussure et du coureur.

L'hyperpronation accentue la rotation interne du tibia, provoque une fatigue des structures de soutien du pied et un étirement de la plante des pieds avec des contraintes sur l'aponévrose plantaire et les muscles plantaires.

- **La prise en charge de la prono-supination**

Pour faire face aux défauts de prono-supination, les équipementiers proposent diverses solutions :

Contrefort rigide sur la tige emboitant l'arrière-pied, pour le stabiliser le pied et limiter le valgus et le varus excessif de l'arrière-pied.

Matériau plus ferme du côté où « penche » le pied : talonnette bidensité (mousse plus ferme du côté qui s'affaisse), poche de gaz à plus forte pression du côté où « penche » le pied (air bag tubulaire).

Support de voûte ou hémicoupole sur la première de propreté pour maintenir le pied en varus ou supprimer la pronation. Malgré la grande sensation de confort qu'elle apporte, elle est à proscrire car limite la liberté naturelle du pied et favorise fortement la survenue d'entorse.

Technologie Heel cleft de Nike®. C'est une fente longitudinale dans la semelle talonnière pour ralentir le passage de la supination à la pronation du talon.

Barre de torsion (ou cambrion). La liaison entre l'arrière et l'avant de la chaussure est rigidifiée par une barre de torsion en plastique ou en kevlar. Elle permettrait d'améliorer la réactivité et la stabilité du pied en réduisant la liberté entre l'avant et l'arrière-pied.

Semelle à axe droit (soutien de l'arche médial pour pied pronateur) ou axe courbe (pour pied supinateur). Une semelle à axe droit peut être considérée comme une semelle classique, la semelle à axe courbe semble présenter comme seul avantage, une meilleure adaptation au pied creux.

La solution la plus adaptée est la présence d'un contrefort rigide sur une tige proche du pied pour un bon maintien de l'arrière-pied. Ce contrefort peut éventuellement être associé à semelle bidensité si la hauteur sous le talon est importante, mais il faut préférer une chaussure à l'amorti réduit, pour gagner en stabilité.

Au besoin, une semelle orthopédique peut être réalisée pour corriger le trouble dynamique du pied. Le coureur hyperpronateur est corrigé par une semelle avec un élément sous-naviculaire, un élément rétrocapital postérieur à effet supinateur, en évitant le recueil de voûte qui a trop d'effet délétère chez le sportif. Le coureur supinateur est corrigé pour sa part par une semelle avec un élément rétrocapital postérieur à effet pronateur.

On peut noter qu'une chaussure qui limite les anomalies des mouvements de prono-supination, est une chaussure considérée comme stable. Pour obtenir une chaussure stable, on peut réduire l'amorti, mettre un contrefort talonnier et privilégier un bon maintien du pied (renforts, tige haute, une certaine rigidité de la tige, un bon ajustement au pied...).

Mais la stabilité de la chaussure ainsi obtenue va réduire la liberté du pied.

d. Le contrôle de la liberté du pied [13, 21, 39, 45, 50]

Pour limiter les conflits entre le pied et la chaussure (frottements notamment) et pour que la chaussure puisse jouer son rôle protecteur, le pied doit être correctement maintenu dans la chaussure.

Mais un maintien trop important risque d'immobiliser le pied, et d'entraver la gestuelle nécessaire à la course à pied (flexion dorsale et plantaire de la cheville, adaptation de l'avant-pied au terrain indépendamment des mouvements de l'arrière-pied, mobilité métatarso-phalangienne pour la propulsion).

Le contrôle de la liberté du pied consiste à trouver le meilleur rapport entre maintien (par la rigidité de la chaussure principalement) et liberté de mouvements du pied (par la souplesse de la chaussure notamment).

La chaussure de course à pied permet une grande liberté du pied, mais elle doit tout de même unir et maintenir le pied dans la chaussure. Le maintien passe par la présence de renforts rigides sur la tige (contrefort talonnier particulièrement), et par un ajustement du chaussant au pied de l'utilisateur (taille, volume) rendu précis par un système de fermeture efficace.

Pour conserver la mobilité du pied, la chaussure de running est une chaussure à tige basse, souple, et à semelle suffisamment flexible (matériaux souples, semelle fine, présence d'encoches de flexion).

Une semelle rigide, bien que stabilisant le pied et le protégeant des agressions extérieures, limite la mobilité. Elle demande un effort musculaire supplémentaire lors du déroulé du pied, augmentant les blessures par surmenage.

e. L'accroche ou l'adhérence de la chaussure [13, 26, 39, 45, 50]

Une accroche et une adhérence efficace de la semelle sur le sol sont indispensables pour garantir la sécurité du coureur et éviter toute déperdition inutile d'énergie par des phénomènes de glissements. Cette fonction est remplie par la semelle extérieure en caoutchouc.

Une semelle relativement lisse est suffisante pour les sols stables et secs (bitume, terre, gazon), les pertes d'adhérence peuvent poser problème sur sols détrempés ou instables (boue, terrain accidenté, bandes réfléchissantes des passages piétons). Dans ce cas, les crans équipant la semelle jouent un rôle primordial. Ils sont en relief (plus ou moins important selon la rudesse du terrain), présentent au sol une surface plane et sont pourvus d'arêtes vives afin de cisailer le film d'eau ou de boue.



Figure 88 : Différentes semelles en fonction de la dureté du terrain [101]

Dans le cadre de la course sur piste ou sur certaines courses uniquement sur sol souple (cross-country), des pointes vissées sous l'avant de la semelle permettent d'augmenter l'accroche au sol et ainsi la propulsion. Sur piste, elles mesurent généralement 6mm ; et en cross, leurs tailles vont varier en fonction du terrain (9mm à 12mm le plus souvent).

L'usage de pointes interdit des passages sur sols durs.

f. L'aération de la chaussure [13, 39, 45, 50]

Le pouvoir respirant de la chaussure est particulièrement important dans les courses longues. Ce n'est pas le défaut majeur des chaussures de running qui sont généralement construites à partir de textiles légers, mais il faut veiller à un renouvellement régulier de l'air à l'intérieur de la chaussure sous peine d'inconfort et de macération de la sueur (phlyctènes, mycoses...). Pour cela, la présence de mailles ouvertes très respirantes (nylon mesh) est nécessaire dans la région des orteils et de la voute plantaire, où les mouvements du pied joueront de plus un rôle de « soufflet », facilitant l'évacuation de l'air. L'absorption de la sueur passe aussi par les capacités d'absorption de la semelle intérieure.

g. Le poids de la chaussure [21, 50]

Des gains de poids peuvent être obtenus en affinant l'épaisseur de la semelle, en optimisant le relief de la semelle extérieure, en supprimant la matière superflue ou en remplaçant le caoutchouc par des mousses EVA ou PUR de densité inférieure. Cependant tous ces allègements se font au détriment de la protection du pied et de la résistance de la chaussure.

h. La résistance et la durée de vie de la chaussure [13, 45, 50]

La résistance et la durabilité d'une chaussure de running sont améliorées par la présence de renforts de sur la tige et par le choix des matériaux de la tige et de la semelle. Plus le modèle est léger et destiné à des usages compétitifs, plus sa durée de vie est brève. La fin de vie de la chaussure est surtout liée à son usure et à ses déformations qui augmentent le risque de blessures. Une tige délabrée (déchirures, trous...) et plus encore une semelle usée qui déséquilibre le pied sont des conditions de mise au rebut d'une paire de chaussure. L'usure des qualités de l'amorti est plus difficile à définir. Un jaunissement, une semelle qui se plisse à la pression, sont les signes que le matériau a perdu ses qualités amortissantes. Comme indication de cette usure on dit souvent que l'amorti de la chaussure a une durée de vie de 1000 à 1500km, mais cela varie avec le coureur et le modèle de chaussure. Généralement à plus de 50km par semaine, peu de chaussures résistent plus de six mois.

-Les principales qualités de la chaussure de running sont donc : un amorti adapté à l'usage du coureur, un dynamisme de la chaussure, un système de contrôle de la prono-supination en cas de besoin, un contrôle de la liberté du pied (liberté et maintien du pied), une adhérence au sol adéquate, une aération efficace, un poids réduit, et une bonne résistance à l'usure.

-Le dilemme de la conception d'une chaussure de running est que les exigences qui lui sont demandées tendent à se contredire :

Les éléments de contrôle de la prono-supination et de maintien du pied augmentent le poids de la chaussure.

L'amortissement augmente le poids de la chaussure et diminue la stabilité du pied (augmente l'hyperpronation).

Tous les allègements se font au détriment de la protection du pied, et de la résistance et donc de la durée de vie de la chaussure.

Favoriser la liberté du pied limite les possibilités d'amorti et de protection du pied.

Plus la gomme de la semelle est adhérente, plus son abrasion sera rapide.

-Des choix sont donc à faire qui vont privilégier certaines qualités de la chaussure au détriment des autres. Ce choix passe par une analyse poussée de l'individualité du sportif et de sa pratique.

5. Le choix d'une chaussure de course à pied [5, 13,21, 26, 39, 45, 50]

a. Ajustement à la forme du pied

Le chaussant doit être adapté à la forme du pied pour que le pied soit maintenu et stable dans la chaussure sous peine d'inconfort et de blessures par conflits pied-chaussure (phlyctèmes, ongles noirs, hyperkératoses, bursites...). Pour limiter les conflits pied-chaussure, il faut également veiller à l'absence de coutures en regard des orteils et des premières et cinquièmes têtes métatarsiennes.

Chaque individu a des pieds différents. La chaussure s'adaptera à la taille, à la largeur et au volume du pied du sportif. Si les variations de taille sont bien respectées par le choix de la pointure, les variations de volume du pied sont par contre un peu délaissées par les fabricants. Seuls certains équipementiers, New Balance® notamment, proposent des modèles à des largeurs différentes. Et si certaines marques ont la réputation d'avoir un chaussant étroit comme chez Adidas® ou plutôt large comme chez Mizuno®, il faudra dans tous cas essayer la paire de chaussure pour déterminer si la largeur et le volume du chaussant est adapté. Il faut pouvoir courir quelques minutes en les ayant aux pieds. Les premières sensations à l'essayage sont généralement de bonnes indicatrices.

Il ne faut tolérer aucune douleur reflétant un chaussant trop étroit car la tige s'assouplit mais ne se distend pas. L'avant-pied (toes box) se doit d'être large, les orteils doivent pouvoir être mobilisés. La semelle intérieure ne doit comporter aucun élément correctif, le support de voûte n'a en particulier aucune indication.

Aujourd'hui les équipementiers proposent généralement des modèles dédiés au pied féminin (talon plus étroit, arche plus prononcée et une base des orteils élargie). Suivant la morphologie du pied de la coureuse, elle peut s'orienter vers ces modèles ou vers des modèles mixtes.

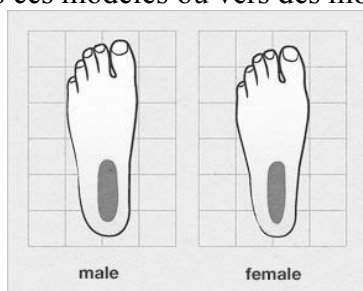


Figure 89 : Différence de morphologie entre un pied masculin et un pied féminin [84]

Par ailleurs il faut prendre en compte que le pied s'allonge lors des activités sportives de plus d'une heure. Ainsi il faut préférer choisir ses chaussures en fin de journée car les pieds sont plus volumineux que le matin (la pointure d'une chaussure de running est généralement choisie d'une unité supplémentaire par rapport celle de la chaussure de ville).

Si le coureur se destine à des courses longues, il faut prévoir une marge plus grande. Pendant un marathon, le pied s'accroît d'une à deux pointures, et plus encore sur des courses de grand fond (trois pointures pour le marathon des sables par exemple).

b. Type de foulée du pratiquant

Nous avons évoqué que différents types de foulée sont observés chez les coureurs de fond.

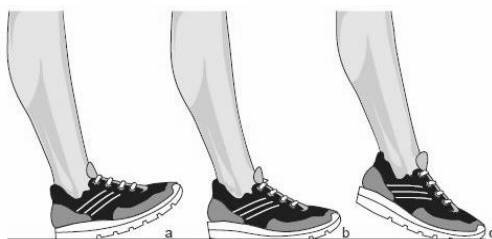


Figure 90 : Les différentes poses de pied : a-le talon, b-le pied à plat, c-la plante du pied [30]

Un coureur qui attaque par le talon aura tout intérêt à prendre une chaussure avec un certain amorti talonnier.

La nécessité de l'amorti talonnier est réduite pour celui qui attaque par le médio-pied, et supprimée pour celui qui attaque de l'avant-pied.

On rappelle ici que le poids du coureur augmente les contraintes à l'appui, la chaussure doit être plus robuste avec un coureur lourd, mais la prise en compte du poids doit plutôt faire partie de l'analyse de la foulée que d'un critère de choix définitif et arrêté (un coureur est généralement considéré comme lourd à partir de 80kg pour les hommes et de 60kg pour les femmes).

Un coureur au pied supinateur ou pronateur doit choisir une chaussure avec un contrôle de la pronosupination (contrefort, semelle bidensité), alors que le coureur au pied universel n'en a pas besoin.

La vitesse de course et l'expérience du coureur joue aussi sur la foulée et l'impact au sol (plus on court vite et plus l'appui a tendance à se déplacer sur l'avant-pied et le temps d'appui se réduire). Une analyse complète de la manière de courir est indispensable (par l'entraîneur, par un vendeur spécialisé, ou par un professionnel de santé spécialisé dans le sport).

c. Type de terrain envisagé

Il faut différencier les terrains durs (bitume, roches, sols gelés...) et les terrains plus souples (chemins, zones herbeuses, sous-bois...) qui nécessitent moins d'amorti.

Il faut aussi déterminer la glissance du terrain, pour choisir une accroche adéquate.

Sur route, il faut une chaussure avec un bon amorti. Le pied est peu exposé aux agressions extérieures, la protection au niveau de la tige pourra donc être minime. La régularité du terrain permet d'utiliser une semelle extérieure fine avec peu de reliefs.

Sur terrain accidenté (dénivelé, pierres, débris au sol...), il faut veiller à une bonne accroche de la semelle, à un bon maintien et à une bonne protection des agressions extérieures (bout dur au niveau des orteils notamment).

La piste d'athlétisme, nous l'avons vu est plutôt réservée aux courses courtes et rapides (jusqu'au 10000m tout de même). Une piste d'athlétisme est aujourd'hui un revêtement synthétique à base de polyuréthane et de caoutchouc, elle est donc souple et élastique permettant confort et dynamisme. L'amorti de la chaussure est donc réduit et des pointes sont utilisées pour l'accroche.

d. Les types de chaussures de course

- **La chaussure de running classique**

C'est le type de chaussure le plus courant. Elle est destinée à la course à pied sur routes et chemins en terrain facile. Elle se décline sous de multiples formes en fonction de l'expérience et des habitudes du pratiquant.

On différencie généralement la chaussure destinée à la compétition et celle pour l'entraînement. Pour l'entraînement, on va privilégier des modèles avec un certain confort, une bonne protection (amorti suffisant) et une bonne durabilité. Pour un usage en compétition, on insiste sur le dynamisme et la légèreté de la chaussure (pour une course sur route généralement entre 150g et 250g la paire, contre 300g à 400g pour une paire d'entraînement), ceci dans un but de performance au détriment de la protection du pied et du confort.

Une chaussure de compétition est en fait une chaussure destinée à une personne bien entraînée qui veut performer. Un individu entraîné est une personne dont l'appareil locomoteur pourra encaisser les contraintes de la course sans blessures avec une chaussure moins protectrice (moins d'amorti, moins de renfort sur la tige, moins de mousse de confort). Elle sera donc plus légère et plus souple laissant une grande liberté au pied.



Figure 91 : Chaussure de running classique [112]

Pour la compétition, il faut dans tous les cas utiliser des chaussures avec lesquelles on a déjà couru pour qu'elles soient rodées aux pieds.

- **La chaussure de sprint**

C'est une chaussure légère, à semelle fine et semi-rigide (semi-rigide pour protéger le pied vis-à-vis des pointes en apportant un certain dynamisme), sans talon (appui uniquement sur l'avant-pied). La partie avant de la semelle est particulièrement agressive pour une accroche et une propulsion optimale, elle comporte généralement 5 à 7 pointes métalliques vissées de 6mm et des petites pointes en plastique.



Figure 92 : Chaussures de sprint [108]

- **La chaussure de triathlon**

Pour l'épreuve de course à pied d'un triathlon, qui se déroule généralement sur route, on demande à la chaussure de répondre au cahier des charges d'une chaussure de running classique, mais elle doit aussi pouvoir s'enfiler et se serrer rapidement pour optimiser le passage du vélo à la course. Cela passe par un système à serrage rapide et/ou par un chaussant qui peut accueillir le pied nu (le bénéfice de l'absence du temps passé à enfiler une paire de chaussettes par rapport au risque augmenté de blessures et d'inconfort n'est rentable que pour de courtes distances).



Figure 93 : Chaussures de triathlon [112]

- **La chaussure de trail**

La trail est une course nature sur terrains variés avec souvent un dénivelé important, cela nécessite une bonne accroche (semelle crantée), un bon maintien, et une grande protection du pied (renforts, rigidité augmentée).



Figure 95 : Chaussures du trail [112]



Figure 94 : Chaussures Mafafate de Hoka OneOne, elles ont un fort amorti (compensé par une semelle large pour limiter l'instabilité) qui semble retarder la fatigue musculaire sur les longues distances [100]

- **La chaussure minimaliste**

Le minimaliste est un concept promu initialement par la marque Vibram avec le modèle Five Fingers et qui se développe aujourd'hui. La chaussure minimaliste se veut une chaussure qui modifie le moins possible la biomécanique du pied nu tout en protégeant le pied des agressions extérieures.

Dans ce but l'interface pied-sol est simplifiée et réduite. Une chaussure de ce type présente une semelle plate (« zéro drop »), souple et fine (pas ou peu d'amorti). La proprioception et la stabilité du pied sont ainsi augmentées, mais la protection vis-à-vis des forces d'impacts et des aspérités du sol est diminuée.

La différence de hauteur entre le talon et les orteils (le « drop ») est induit par l'amorti talonnier, il est communément plébiscité pour son aide au déroulé du pied à l'appui et pour la moindre sollicitation du triceps sural. Cette pente entre l'arrière et l'avant du pied est aujourd'hui critiquée. Elle favoriserait une foulée par le talon, sa réduction permettrait alors d'avoir une foulée plus dynamique par une attaque pied à plat ou par la plante du pied.

La tige est également particulière : suppression du maintien de la cheville (tige très basse), largeur augmentée de l'avant-pied pour que les orteils puissent se mouvoir librement et participer activement à la stabilisation et à la propulsion.

Ces chaussures permettent un travail proche de la course pied-nu, conseillé depuis longtemps aux coureurs de haut niveau pour préserver les propriétés du capiton plantaire et la robustesse des muscles du pied. L'onde de choc à l'impact n'étant plus absorbée par les semelles mais par les pieds, ceux-ci devront être entraînés progressivement à ce travail.

C'est une chaussure simplifiée, très légère, qui permet une grande liberté du pied. Elles peuvent être considérées comme un intermédiaire entre les chaussures de running classique typées compétition et la course pieds nus.



Figure 96 : Chaussure minimaliste pour le trail [112]

La chaussure de running se décline donc sous un vaste panel de modèles pour répondre à la diversité des exigences dues à l'individualité du sportif (morphologie, expérience, technique, objectif) et aux spécificités de sa pratique.

La chaussure de running doit prendre en compte l'aspect dynamique de cette activité, elle ne doit pas se mettre en opposition avec les qualités biomécaniques optimales du pied nu, mais elle devra les réduire (le minimum possible) pour protéger du pied.

La connaissance des exigences, des variabilités de la chaussure de running et des contraintes liées à la course, permet au professionnel de santé un conseil éclairé pour le choix des chaussures.

La démarche de ce choix est similaire dans les autres sports. Dans de nombreuses disciplines on peut prendre la chaussure de running comme base d'étude. Les caractéristiques de la gestuelle sportive et de la nature du terrain vont rendre spécifique la chaussure à son sport.

La chaussure de tennis, pour la prendre en exemple, est proche de la chaussure de running mais comporte certaines particularités :

Le relief de la semelle extérieure ne sera pas le même qu'en running, il sera variable selon que l'on joue sur terre battue, sur gazon, sur sols synthétiques...

La chaussure sera davantage renforcée sur les parties latérales de l'avant du pied pour maintenir le pied malgré les fortes contraintes liées aux déplacements latéraux et aux revers.

On y trouve aussi une zone de protection avec un amorti supplémentaire sous la 1^{ère} tête métatarsienne pour protéger des appuis intenses lors du service.

Pour une vision plus globale de la chaussure de sport, nous allons à présent étendre cette analyse de la chaussure à d'autres sports, caractéristiques par leur nombre de pratiquants et par la spécificité de la chaussure. Nous verrons la marche, le ski alpin, l'escalade, puis le football.

C. Autres sports, autres chaussures

1. La chaussure de marche [54, 67, 106]

a. Description de la marche à pied

La marche est le mode de locomotion le plus simple de l'Homme bipède. Qu'elle soit pratiquée pour se déplacer, comme loisir ou en compétition, elle fait partie intégrante de la vie de chacun.

La marche est une activité physique très variée, on peut en distinguer trois grandes catégories :

La marche quotidienne, marche que l'on fait dans la vie de tous les jours. Les chaussures utilisées dépendent de chacun (chaussures de ville, chaussures professionnelles spécifiques...)

La marche athlétique, discipline de l'athlétisme, où le marcheur, en compétition avec ses adversaires, doit parcourir une distance donnée le plus vite possible (presque 15km/h pour l'élite de la discipline sur 50km). Les épreuves se déroulent sur piste (souvent si <10km) ou sur route. Les chaussures utilisées sont semblables à des chaussures de running classiques.

La randonnée pédestre, que nous développerons ici, consiste à parcourir un itinéraire à son rythme, sur une distance supérieure à celle de la vie quotidienne. Le type de randonnée se caractérise en fonction de la distance parcourue (promenade, randonnée d'un jour, randonnée de plusieurs jours, trekking), et des conditions du terrain (relief et conditions climatiques notamment).

Comme en course à pied, la marche est la répétition à l'identique d'un même geste. La marche est organisée en cycles reproductibles et symétriques. Ils correspondent à une alternance d'appuis et d'oscillations. Les appuis, comme nous l'avons vu sont composés de trois phases : taligrade, plantigrade et digitigrade ; où au moins un des pieds est toujours en contact avec le sol. Les contraintes d'impacts sur le pied sont ainsi diminuées par rapport à la course.

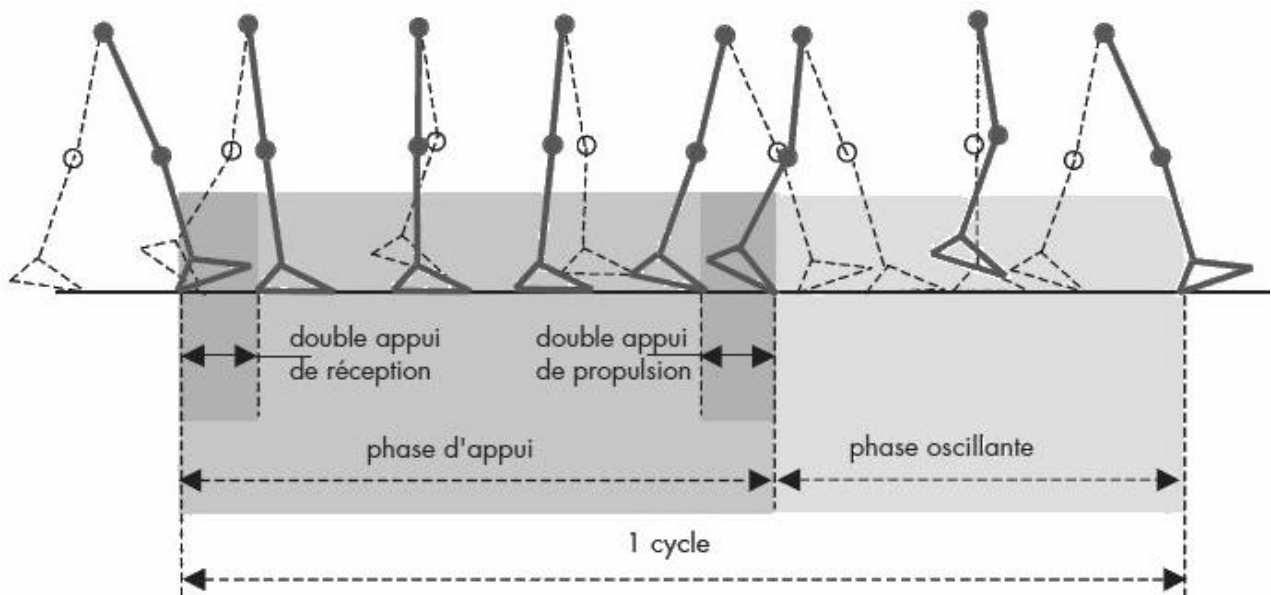


Figure 97 : Le cycle de la marche [67]

La gestuelle de la marche est relativement peu traumatisante par rapport à celle d'autres sports. Mais les contraintes sur le pied vont venir de la durée de l'effort.

b. Les exigences de la chaussure de marche

Les qualités de la chaussure de marche sont proches de celles d'une chaussure de running : un amorti adapté à l'usage du coureur, un dynamisme de la chaussure, un système de contrôle de la pronosupination en cas de besoin, un contrôle de la liberté du pied, une adhérence au sol adéquate, une aération efficace, un poids réduit, et une bonne résistance à l'usure.

Mais pour résoudre le dilemme de la conception de la chaussure, certaines de ces qualités sont à privilégier. Le choix est différent de celui retenu pour une chaussure de course à pied.

Ainsi pour la réalisation d'une chaussure de marche, on augmente les qualités de maintien, de stabilité, de protection et de résistance de la chaussure au détriment de l'amorti, de la liberté du pied et du poids.

• Contrôle de la liberté du pied

En randonnée, le marcheur s'aventure dans des terrains souvent plus difficiles que ceux fréquentés par le coureur : pierriers, forts dénivelés, terrains très glissants... De plus il marche pendant de longues heures, et la fatigue peut altérer ses facultés de concentration et sa vigilance musculaire. Le maintien est donc à privilégier pour protéger le pied des entorses, des agressions extérieures (pierres, branches...), et des divers microtraumatismes du pied.

Un solide maintien passe par la présence d'une tige haute et rigide, d'un chaussant ajusté au pied, d'un contrefort rigide englobant le talon, d'une tige en matériau suffisamment protecteur (tissu mesh à relativiser), et d'une semelle relativement rigide.

Mais le maintien et la protection du pied réduisent la liberté du pied et augmentent le poids de la chaussure, l'équilibre entre ses qualités est donc à réfléchir.

Un bon maintien et une bonne protection sont conseillés si :

Le marcheur a des chevilles fragiles (antécédents d'entorses).

Le marcheur porte un sac lourd qui augmente les contraintes sur la cheville et le pied.

La marche est longue ou avec un dénivelé important (un bon maintien réduit la fatigue et les blessures dues au manque de concentration).

Le terrain est difficile, avec un risque de se cogner ou de se coincer le pied (pierriers notamment), ou de se tordre la cheville (pentes raides).

Dans ces terrains difficiles, il convient également de choisir une chaussure avec des renforts pour protéger le pied et préserver la chaussure d'une usure trop rapide (enrobage pare-pierres en caoutchouc à l'avant et sur les côtés).

Une plus grande liberté du pied (tige basse, tige et semelle plus souple) est conseillée si :

Le marcheur est expérimenté et entraîné.

La marche est rapide, car une chaussure rigide demande un effort musculaire supplémentaire lors du déroulé du pied, augmentant le risque de blessures par surmenage.

La marche est courte, et comporte peu de dénivelé.

Le marcheur porte un sac léger, et évolue sur des terrains faciles (plats, réguliers, non glissants...).

- **Imperméabilité et la respirabilité de la chaussure**

L'imperméabilité et la respirabilité de la chaussure sont également deux critères importants, d'autant plus si la marche prévue se déroule sur plusieurs jours. En effet l'humidité du pied, causée par la sueur ou la pluie, engendre au niveau du pied de nombreuses blessures (phlyctènes, mycoses, engelures...), et augmente la sensibilité au froid (gelures). De plus la marche dégage beaucoup de chaleur, et il faut éviter tout échauffement des pieds qui favoriserait aussi l'apparition de phlyctènes.

Les qualités d'imperméabilité et de respirabilité sont difficiles à concilier, le choix sera fonction des conditions météorologiques. Des conditions chaudes et sèches nécessitent une chaussure respirante (évacuation de la chaleur et de la transpiration) alors que des conditions froides ou humides requièrent une chaussure imperméable.

L'imperméabilité et la respirabilité d'une chaussure vont dépendre du choix des matériaux de la tige.

- Le cuir

Le cuir est un matériau naturel, imperméable mais peu respirant.

Il est rigide quand il est neuf, mais s'adapte au pied avec le temps (se détend et prend la forme du pied). Cette adaptation du matériau permet de réduire les coutures et donc les points de faiblesse ou de friction de la chaussure, elle sera donc solide et résistante.

Les coutures sont également des lieux d'infiltration de l'eau, leur nombre réduit permet d'augmenter les qualités imperméables de la chaussure.

Un cuir de qualité est d'une seule pièce, il est nommé cuir pleine fleur, il permet d'exploiter toutes les qualités de ce matériau. Au contraire les croutes de cuir sont des petits morceaux de cuir, ils nécessitent de nombreuses coutures et la qualité de la chaussure en pâtira.

Le cuir demande un entretien régulier, il faut le nourrir par graissage pour préserver sa souplesse et ses qualités imperméables.

- Les synthétiques

- Les cuirs synthétiques ont des propriétés proches du cuir mais pour un coût beaucoup plus faible. Ils restent moins résistants que leur homologue naturel. Mais ils sont généralement plus souples, plus légers, ne se détendent pas à l'usage, et ne nécessitent pas d'entretien particulier.

- Les tissus synthétiques à mailles aérées, type nylon mesh, équipent certaines chaussures pour gagner en légèreté et en respirabilité. Mais ce maillage n'est pas du tout imperméable, il est très souple et peu résistant à l'abrasion.

- Les membranes Gore-tex®, Novadry®... sont des membranes imperméables et respirantes. Leur maillage particulier fait qu'elles laissent passer les molécules de vapeur d'eau (transpiration) et ne laissent pas passer les molécules d'eau liquide (pluie) qui sont plus grosses. Ces membranes très légères se trouvent entre les couches intérieure (à but d'isolation thermique, de confort) et extérieure (cuirs) de la tige car elles sont fragiles.

Ces membranes vont aider à tenir le pied au sec, mais il n'y aura pas d'effet miracle :

Si la surface extérieure est couverte d'eau, l'humidité ne s'évacue pas de la chaussure.

Même en conditions sèches, l'évacuation de la transpiration n'est pas totale, il reste une humidité résiduelle dans la chaussure.

L'imperméabilité du matériau s'amenuise avec le temps par usure de la membrane, les premiers signes de faiblesse apparaissent souvent dès la fin de la 1^{ère} année d'utilisation.

En dehors de la nature des matériaux, les principaux vecteurs d'infiltration de l'eau sont les coutures, les lacets et le haut de la tige (à protéger par des guêtres en cas de besoin).

On note aussi que les chaussures imperméables sont généralement moins respirantes et plus chaudes que des chaussures non imperméables.

L'évolution actuelle des chaussures de marche va dans l'utilisation de tissus synthétiques à mailles aérées associés aux membranes imperméables. Cela permet des chaussures plus souples et plus légères, mais moins résistantes.

c. Les différents types de chaussures de marche

Les compromis entre les qualités de maintien, de protection, de poids, de respirabilité et d'imperméabilité de la chaussure de marche ont fait naître plusieurs types de chaussures. Elles diffèrent en fonction de la distance à parcourir et des conditions du terrain.

- **La chaussure de promenade**

Les chaussures de promenade ou chaussures de balade sont des chaussures sensiblement plus rigides et plus lourdes que des running. Elles présentent une semelle semi-rigide avec de nombreux reliefs, pour faire face à différents types de terrains.

Elles sont à tige basse, et restent relativement souples pour un bon déroulé du pied. Elles privilégient la respirabilité à l'imperméabilité (composées tout de même de cuir synthétique et de mesh doublé d'une membrane respirante le plus souvent).

Elles sont proches des chaussures de trail avec un peu moins d'amorti et de souplesse.

Ce sont des chaussures destinées à une randonnée de quelques heures, sur terrain facile (plat, peu d'obstacles...) comme en forêt ou en bord de mer.



Figure 98 : Chaussure de promenade [85]

- **La chaussure de randonnée**

La chaussure de randonnée se veut plus protectrice que la chaussure de promenade. Elle est à privilégier quand le parcours devient accidenté, difficile, que la randonnée s'étend sur plusieurs jours ou que le randonneur manque d'entraînement (cheville fragile).

Elle est en général en tissu synthétique, éventuellement doublée d'une membrane respirante, car son usage habituel ne requiert pas qu'elle soit très imperméable (comme précédemment la respirabilité est privilégiée). En effet, on a souvent une bonne connaissance météorologique lorsqu'on part pour 3 jours et la randonnée sera probablement annulée si le temps s'annonce mauvais.

La chaussure de randonnée présente une tige haute pour la protection de la cheville. On trouve parfois un pare-pierre pour augmenter la durabilité de la chaussure.

La semelle est semi-rigide, comme pour les chaussures de promenade car on demande à ces modèles qu'ils restent assez souples et légers.

La gomme est choisie semi-dure pour un bon compromis entre adhérence, robustesse et durabilité de la semelle. Une gomme dure s'use plus lentement mais est moins adhérente et moins amortissante.

C'est le type de chaussure de marche le plus vendu, elle se situe entre la chaussure de promenade et la chaussure de trek. Mais bien qu'elle soit très polyvalente, elle est souvent inadaptée pour des treks (trop fragile et trop peu imperméables), et peut être inconfortable pour des promenades car elle empêche un bon déroulé du pied et est un peu lourde.



Figure 99 : Chaussure de randonnée [85]

- **La chaussure de trek**

La chaussure de trek ou chaussure de grande randonnée est destinée à accompagner le pied du marcheur pendant plusieurs semaines. La résistance est alors capitale car une usure prématurée de la chaussure pourrait compromettre la suite du parcours.

Elle est tout en cuir pour une résistance et une imperméabilité optimums (au détriment de la respirabilité).

La tige est haute et assez rigide pour bien protéger la cheville et le pied sollicités par le poids conséquent du sac à dos du marcheur souvent autonome (porte sa tente, sa nourriture...).

Elle ne doit cependant pas être trop rigide pour permettre une marche confortable tout au long des journées du voyage.

Elle est plus lourde que la chaussure de randonnée car les matériaux sont plus épais. Cette chaussure est donc plus résistante, elle est faite pour durer dans le temps.



Figure 100 : Chaussures de trek [106]

- **Les chaussures de haute montagne et d'alpinisme**

Les chaussures de haute montagne sont destinées à des marches en altitude sur des terrains très difficiles. On trouve une grande variété de modèles en fonction de leur usage qui se décline de la marche en montagne en été avec quelques passages sur glaciers jusqu'aux grandes expéditions himalayennes.

Ce sont des chaussures à semelles très rigides pour pouvoir y fixer des crampons métalliques lors des passages de glaciers. La rigidité de la semelle permet aussi d'utiliser les bords de la semelle comme des « carres de ski » lors des fortes pentes ou des névés. Mais la rigidité limite leur utilisation sur de longues périodes.

Elle est faite en cuir épais et/ou en plastique pour une solidité à toute épreuve. Elles sont imperméables et bien protectrices du froid.

Les chaussures de haute montagne sont plus solides, plus rigides et plus lourdes que les chaussures de trek mais ce ne sont pas de chaussures qui permettent de marcher sur de longues distances. Elles sont réservées à une utilisation dans un environnement froid et accidenté.



Figure 101 : Chaussure d'alpinisme [85]

Les chaussures de marche sont donc des chaussures destinées à être portées de longues heures. Le confort du marcheur dans sa chaussure est primordial. En effet tout inconfort est synonyme d'un conflit entre le pied et la chaussure, et il se traduira à plus ou moins long terme par des microtraumatismes du pied.

2. La chaussure de ski alpin [5, 6, 13, 39, 45, 71, 97]

Le ski est à l'origine un mode de déplacement où les skis permettent de glisser sur la neige. Le ski alpin s'est particulièrement développé avec les investissements dans l'infrastructure des stations de ski. On a contrôlé un milieu hostile par la création et l'entretien de pistes, et on a permis aux skieurs de ne faire que de la descente par l'installation de remontés mécaniques. Le ski alpin est une forme de ski réservée à la descente. C'est aujourd'hui le type de ski le plus pratiqué.

La chaussure de ski est l'interface entre le pied et le ski, elle n'est pas faite pour marcher ou glisser sur la neige, mais elle est le lien d'union entre le corps du skieur et ses skis.

Ce lien d'union doit permettre une transmission précise des appuis aux skis et une protection efficace vis-à-vis du froid et des contraintes de la pratique de ce sport.

- Anatomie de la chaussure de ski alpin

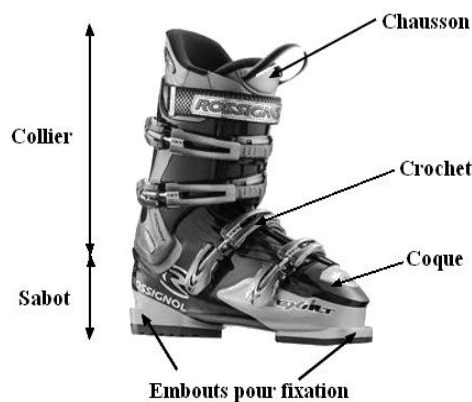


Figure 102 : Anatomie de la chaussure de ski alpin [97]

- Une coque haute et rigide

Dans la chaussure de ski, on distingue la partie extérieure, la coque, et la partie intérieure, le chausson.

La coque d'une chaussure de ski est très haute, elle englobe tout le pied et monte jusque mi-mollet. Elle est faite en plastiques semi-rigides, polyuréthane ou polyéther, qui gardent une certaine souplesse malgré le froid et qui sont imperméables.

La rigidité de la coque sera choisie en fonction du style de ski, du niveau du skieur et de son poids (compromis entre précision et performance d'un côté, et confort et « liberté du pied » de l'autre). Le degré de rigidité de la coque est caractérisé par un indice de flex (de 40 à 150). Plus sa valeur est importante et plus la coque sera rigide.

On conseille souvent un indice de flex de :

- 40-50 pour un skieur junior,
- 60-80 pour un skieur adulte débutant,
- 80-90 pour un skieur sportif, freeride ou freestyle (gamme assez polyvalente),
- 100-130 pour les courses sur pistes (slaloms, descentes...),
- 140-150 dans des cas extrêmes réservés à la compétition de slalom spécial.

La conduite des courbes en ski alpin nécessite des appuis puissants et précis sur le bord du ski (« prise de carre »). On interdit les mouvements latéraux de la cheville par la rigidité et la hauteur de la coque, qui associées à un chaussant ajusté permettent une transmission optimale de tout le poids du corps vers les « carres », sans déformer la chaussure.

Lors des changements de directions ou de vitesse, la pratique du ski nécessite de plier plus ou moins les jambes. Pour une gestuelle efficace, la flexion des genoux doit être accompagnée d'une légère flexion des chevilles. La coque permet donc une certaine liberté des mouvements de flexion-extension de la cheville, où tous les dangereux excès d'amplitudes sont freinés et progressivement arrêtés par la rigidité relative de la coque.

On note que le skieur n'est jamais totalement jambes tendues, la coque présente un angle de dorsiflexion de base. Cet angle de flexion est généralement compris entre 12 à 16 degré, mais il peut aller jusqu'à 21-23 degré pour des chaussures de compétition.

La chaussure est maintenue dans la fixation par une protubérance plastique à l'avant et au niveau du talon de la coque, moulée avec le reste du sabot. Les fixations actuelles sont un système universel qui permet cohésion du ski à la chaussure et sécurité par un « déchaussage » automatique en cas de chocs importants (chutes, collisions...).

- Un système d'entrée et de fermeture pour un chaussage précis

Au cours des années 1980, la tendance était aux chaussures à entrée arrière pour les skieurs de loisir. La coque se séparait en deux parties, une postérieure et une antérieure. La première s'écartait vers l'arrière pour laisser pénétrer le pied, et faciliter l'entrée du pied. La chaussure se fermait à l'aide d'un crochet au niveau du haut de la tige. La partie englobant le pied étant faite d'une seule pièce, ne comportait pas de système de serrage. Ce type de chaussure permettait une bonne rigidité de la chaussure et une grande facilité de chaussage, mais cette chaussure manquait de précision de serrage au niveau de l'avant-pied et de liberté de flexion de la cheville. Ces chaussures sont aujourd'hui totalement abandonnées, on est revenu aux modèles traditionnels de chaussures à entrée centrale, moins faciles à chausser mais plus précises.

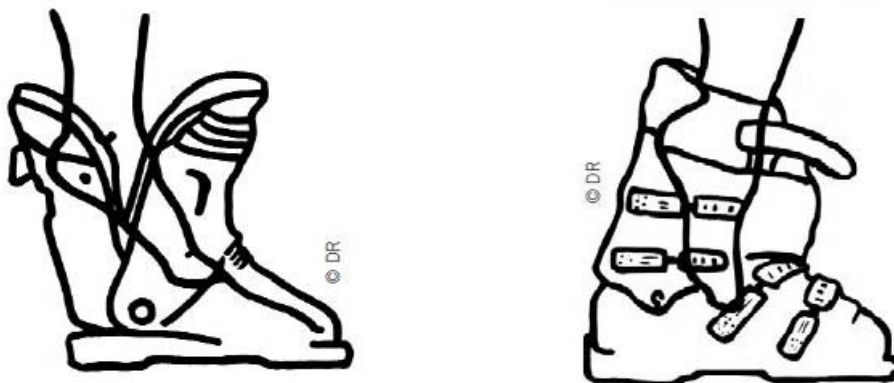


Figure 103 : Chaussure à entrée arrière et chaussure à entrée centrale [6]

Dans la chaussure à entrée centrale, la coque est également composée de deux parties. On distingue le sabot qui est la partie basse contenant le pied, et le collier qui enveloppe la cheville et le bas de la jambe. Ces deux pièces sont articulées au niveau de la malléole pour permettre la flexion de la cheville.

Le sabot et le collier sont composés de rabats en plastique souple qui peuvent s'écarter pour laisser entrer le pied. Ce système d'ouverture dit en portefeuille permet un meilleur ajustement de la coque sans la déformer. Mais les crochets de fermeture doivent être multipliés. On en trouve généralement deux au niveau du collier et deux au niveau du sabot. Leur nombre peut varier (2 à 5) en fonction du choix du concepteur et des exigences de rigidité du skieur.

Ces crochets sont fixés sur l'un des rabats. Ils sont composés d'un levier et d'une boucle, reliés entre eux par un pas de vis qui permet d'augmenter la longueur du crochet, c'est un réglage très fin dit micrométrique. Sur l'autre rabat est fixé une crémaillère où vient se crocheter la boucle. La fixation du crochet sur les différents crans de la crémaillère permet un réglage macrométrique. Les réglages macro et micrométriques permettent ainsi un ajustement précis de la chaussure au pied.

En dehors du système de fermeture de la chaussure, on trouve une vis de réglage, le « canting ». Le « canting » est un système d'inclinaison latérale du collier par rapport au sabot. La chaussure de ski alpin, nous l'avons dit, doit caler l'axe jambier, ce réglage permet de prendre en compte la variabilité individuelle du valgus talonnier. Ce réglage permet d'améliorer l'ajustement de la chaussure au pied. En cas de modification du « canting », l'appel à un professionnel du pied et du ski est nécessaire pour éviter toute erreur de réglage qui risquerait de provoquer de nouvelles déformations du dos et des genoux.

- Un chausson confortable, isolant et précis

Le chausson est l'élément intérieur de la chaussure de ski, il a pour but de palier à l'inconfort de la rigidité de la coque et d'assurer l'isolation thermique du pied tout en étant ajusté au pied du skieur.

L'isolation thermique est permise par l'épaisseur et le choix des matériaux du chausson (laine polaire, mousse respirante...).

Cela requiert l'utilisation de chaussons d'une certaine épaisseur, qui ont l'inconvénient de réduire la précision de la coque. Le choix de l'épaisseur est un compromis entre isolation thermique (confort) et précision (performance).

Pour un chausson mieux ajusté au pied et donc plus confortable (moins de conflits entre le pied et la chaussure) et plus précis, il existe des chaussons thermoformables, ou des chaussons injectés.

La plupart des chaussons haut de gamme sont aujourd'hui thermoformables. Ils sont moulés à chaud (partie extérieure du chausson en polyuréthane) directement sur le pied du skieur, pour s'adapter définitivement au pied du skieur.

Les chaussons injectés sont moulés au pied par l'injection d'une mousse de polyuréthane à l'intérieur même du chausson. Ce type de chausson permet de gagner encore en précision mais le pied est quelque peu compressé car le chausson est alors très ajusté et de plus la mousse injectée a tendance à se rigidifier avec le temps. Il faut aussi noter que cette mousse est moins isolante du froid que d'autres matériaux. Ils sont ainsi réservés aux skieurs de très haut niveau, en recherche de performance.

Comme c'est souvent le cas, on peut également ajouter dans tous les types de chaussons (classiques, thermoformés ou injectés), une semelle orthopédique pour répartir au mieux les appuis.

La chaussure de ski alpin est donc un équilibre entre les exigences de précision, de protection et de confort du pied du skieur. C'est une chaussure très technique, qui est à la pointe des technologies modernes et de la science des matériaux.

De part la hauteur et la rigidité de la chaussure, les microtraumatismes du pied du skieur alpin se limitent à des pathologies liées à un conflit entre le pied et la chaussure :

Un défaut d'ajustement au pied (une chaussure trop grande, une chaussure trop ou pas assez serrée) peut causer phlyctènes, bursites, ou hématomes sous-unguéaux. Le choix d'une chaussure adaptée (taille, volume) est indispensable et l'ajustement au pied pourra être amélioré par adaptation du chausson (thermoformage ou injection).

Le port prolongé des chaussures peut engendrer des mycoses par macération et des gelures par action du froid et compression du pied dans la chaussure (diminution de la circulation sanguine).

Autrefois la chaussure de ski alpin était plus basse et plus souple, elle est aujourd'hui haute et rigide pour une exigence de performance. Si elle protège totalement l'articulation talo-crurale et que les entorses de la cheville ont ainsi pratiquement disparues de ce sport, les traumatismes se sont reportés au niveau des genoux.

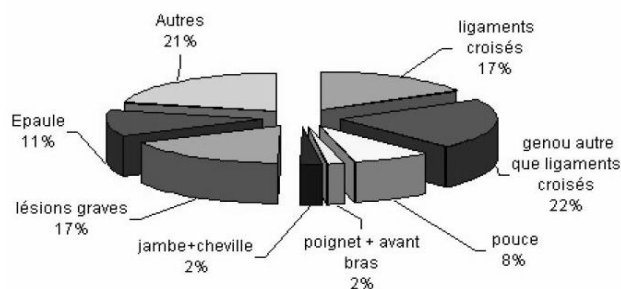


Figure 104 : Répartition des lésions en ski alpin [71]

Pour protéger ses genoux, le skieur de loisir aux genoux non entraînés (pas assez puissants) doit éviter les modèles de chaussures réservés à la compétition (trop rigides). Il faut préférer des chaussures plus souples qui limiteront les brusques mises en tension des ligaments des genoux. Il faut par ailleurs noter que les chaussures de ski agissent comme une orthèse de contention de la cheville. Leur port prolongé (moniteurs, skieurs professionnels...) va donc entraîner une atrophie musculaire de cette articulation par défaut de sollicitation. Et il y a un risque important d'entorses pendant les activités autres que le ski où l'on ne porte pas ces chaussures. Pour protéger l'articulation talo-crurale, le skieur se doit de renforcer ses chevilles tout au long de la saison (exercices d'équilibre sur un pied, sur sol instable...).

Cette analyse de la chaussure de ski alpin permet de connaître les contraintes imposées au skieur par sa discipline et sa chaussure.

Il faut retenir que le choix de la chaussure de ski va différer en fonction de la puissance du skieur, de son expérience et de son type de pratique.

Il faut d'ailleurs rappeler que le ski ne se limite pas au ski alpin, il existe notamment le ski de fond (alternatif et skating), le ski de randonnée, le télémark, le ski de randonnée nordique... Et pour chaque discipline on trouve une chaussure qui lui est propre.

3. Le chausson d'escalade [24, 88, 91]

a. Le pied en escalade

L'escalade est classiquement décrite comme un sport où le but est d'atteindre le haut d'une structure naturelle (rocher, falaise...) ou artificielle. Mais il convient d'élargir cette définition à un mode de déplacement particulier, la grimpe, où l'on évolue sur un terrain vertical (une paroi), et où les mains doivent venir aider les pieds comme interface d'appui pour permettre les déplacements et le maintien de l'équilibre. Le grimpeur doit savoir s'adapter au mieux au support qui lui est proposé pour progresser.

L'erreur du néophyte est de croire que la majorité de cette progression repose sur la traction des bras. La musculature des membres inférieurs, par la bipédie, est naturellement plus développée que celle des membres supérieurs. Et il convient ainsi de mettre le plus de poids sur les jambes (« charger les pieds ») pour soulager les bras et pouvoir grimper plus longtemps.

Le grimpeur doit savoir tirer sur ses bras pour résoudre certains problèmes mais il doit privilégier la poussée des jambes pour économiser son énergie.

Le grimpeur est généralement en appui sur une très faible surface de la plante des pieds. Les appuis sur l'avant-pied sont les plus fréquents, ils peuvent être frontaux (bout du pied), antéro-internes (carre interne) ou antéro-externes (carre externe).

On trouve aussi le crochet du talon, le crochet de la pointe et la contre-pointe. Ce type d'appui moins fréquent permet de tirer sur les jambes alors que classiquement on pousse avec.

La chaussure d'escalade ou chausson, a ainsi pour principal objectif de faciliter ces appuis sur de petites surfaces pour que le grimpeur puisse maintenir son équilibre et atteindre la prise suivante sans que le pied ne glisse et ne provoque la chute.

L'escalade en elle-même ne cause que peu de microtraumatismes au niveau du pied. Tous les maux du pied du grimpeur viennent d'un conflit entre son pied et son chausson.

b. La tige du chausson d'escalade

Le chausson d'escalade, longtemps à tige haute est aujourd'hui quasi-exclusivement à tige basse pour une plus grande liberté de la cheville.

La tige d'un chausson est classiquement réalisée en cuir, matériau souple et respirant mais qui se détend à l'usage. On en trouve aussi en microfibres synthétiques qui se détendent moins, qui sont plus résistantes et qui se rapprochent aujourd'hui de la souplesse des matériaux naturels.

Certains chaussons présentent une doublure en coton ou en fibres synthétiques pour limiter l'allongement du cuir.

Les chaussons possèdent une languette entre le coup de pied et le système de serrage. Elle peut être matelassée pour un meilleur confort.

- **Le système de fermeture**

En fonction du système de serrage, on distingue trois catégories de chaussons. Le système choisi est un compromis entre rapidité de serrage et précision une fois au pied.

La rapidité à l'enfilage (et au retrait) est particulièrement appréciée du fait que le grimpeur retire généralement ses chaussons en bas de la voie. Les chaussons sont en effet assez inconfortables et pas du tout faits pour la marche.

Les chaussons à élastique ou ballerines sont des chaussons où le système de fermeture est réduit à une languette élastique. Elles permettent un enfilage très rapide et facile. Mais c'est un système de serrage qui peut perdre en précision à l'usage.



Figure 105 : Ballerine [103]



Figure 106 : Chausson à lacet [103]

Les chaussons à lacets permettent une fermeture plus précise qui épouse au mieux la forme du pied. Le laçage descend très bas pour un serrage précis de l'avant-pied. Le pied est mieux maintenu. Le serrage est par contre plus fastidieux.

Les chaussons à velcros sont les plus courants, ils possèdent un système de fermeture moins précis que le laçage mais beaucoup plus rapide. Ils offrent un bon compromis entre rapidité de serrage et précision.



Figure 107 : Chausson à velcros [95]

- **La forme et la taille des chaussons**

Pour faciliter l'appui antérieur sur de petites surfaces, le chausson d'escalade doit être très proche du pied pour la précision de l'appui, il peut jusqu'à comprimer le pied pour augmenter la puissance de tenue et de poussée du pied.

Le chausson doit donc être serré et ne présenter aucun vide important en longueur et en volume. Le talon et les orteils doivent toucher les extrémités du chausson et être bien englobés pour ne pas bouger lors des appuis.

Un chausson d'escalade se choisit ainsi une ou plusieurs demi-pointures en dessous de celle prise pour des chaussures de ville. Ce choix doit prendre en compte que les modèles se détendent plus ou moins à l'usage. En général plus son niveau augmente, et plus le grimpeur choisit son chausson petit (jusqu'à trois pointures en moins).

Dans un souci de sensibilité, le grimpeur est le plus souvent pied nus dans ses chaussons

Pour recevoir plus de charge, les orteils peuvent être recroquevillés (chausson très court), et le chausson peut prendre une forme asymétrique. Les chaussons asymétriques sont incurvés vers l'intérieur, du côté de l'hallux, les quatre orteils latéraux viennent s'appuyer sur le premier rayon et le rigidifier. Ces chaussons permettent de privilégier le travail de l'hallux, le plus fort des orteils. Plus le chausson est asymétrique et plus la zone forte du chausson sera réduite et donc puissante. L'asymétrie est souvent associée à une cambrure du chausson pour coller au mieux à la voute plantaire qui est creusée par le repli des orteils, et augmenter ainsi les sensations et la précision du chausson.

On a donc des chaussons dits droits ou plutôt peu asymétriques, avec une incurvation interne à peine marquée, une semelle plate (non cambrée), et une pointe parfois arrondie ; des chaussons hyper-asymétriques, très cambrés avec une pointe fine au niveau de l'extrémité du premier rayon ; et une palette d'intermédiaire entre ces deux extrêmes. Certains chaussons présentent une pointe orientée vers le bas, dite griffée, pour les crochets de pointes utilisés dans les parties déversantes.

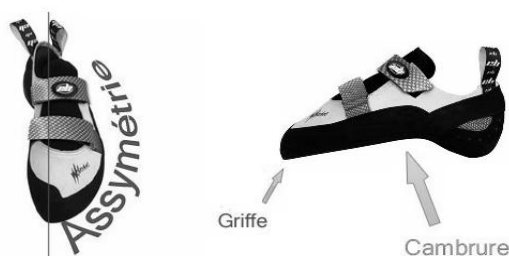


Figure 108 : Forme d'un chausson asymétrique et légèrement griffé [91]

Mais la précision et la puissance d'un chausson (serrage, asymétrie, cambrure, griffe) se font au détriment du confort. Un chausson trop serré, sera trop douloureux pour que le pied puisse agir correctement. Ce rapport précision-puissance/confort est à adapter en fonction du grimpeur et du type d'escalade envisagé.

En grande voie (escalade de plusieurs longueurs), les conditions ne permettent pas de retirer régulièrement ses chaussons, il faut donc pouvoir les supporter plusieurs heures, d'autant plus qu'avec la durée de l'effort les pieds vont prendre du volume.

En escalade sportive (escalade d'une longueur), on peut favoriser la puissance et la précision, en bloc également (escalade de quelques mètres).

c. La semelle du chausson d'escalade

La semelle d'un chausson d'escalade en plus de protéger des aspérités de la paroi, doit être adhérente. Elle est faite d'une gomme lisse spécifique dérivée du caoutchouc.

Cette gomme est présente sur tous les endroits du chausson susceptibles d'être en contact avec la paroi. Elle constitue la semelle, mais on la trouve aussi en épaisseur variable (2 à 5mm) sur l'enrobage du talon, sur l'enrobage latéral antérieur (les carres) et parfois sur la face dorsale de la pointe du pied (pour les contre-pointes).

Les caractéristiques propres de la gomme sont variables, on peut jouer sur l'adhérence, la souplesse ou la durabilité.

On note que plus une gomme est adhérente et plus elle va s'user rapidement. Et en général une gomme souple, est plus adhérente, et donc moins durable.

- **La souplesse et la rigidité d'un chausson**

Un chausson souple permet de préserver la proprioception du pied, d'augmenter la surface de contact du pied lors des adhérences pures sur la paroi (appui sans l'aide d'un relief particulier, en dalle notamment). Mais la souplesse du chausson sollicite et fatigue davantage le bras de levier qu'est le triceps sural en escalade, et limite la précision sur les gratons.

Un chausson rigide présente des caractéristiques opposées, les sensations et les possibilités d'adhérences pures sont réduites. Mais il fatigue moins le pied (utile en grande voie), il permet d'être précis sur de très petites prises (gratons) et de coincer le pied dans des fissures avec une moindre douleur. Avec un chausson rigide, on peut aussi se permettre une taille un peu moins serrée pour augmenter le confort, sans perdre trop en précision.

La souplesse du chausson dépend du type et de l'épaisseur de la gomme.

L'épaisseur de la gomme augmente la rigidité et la longévité du chausson, mais diminue sa souplesse et sa précision.

La rigidité du chausson peut être augmentée par la présence d'une plaque de rigidité entre la tige et la semelle. Cet intercalaire de rigidité peut aussi servir à maintenir la cambrure du chausson à l'usage.

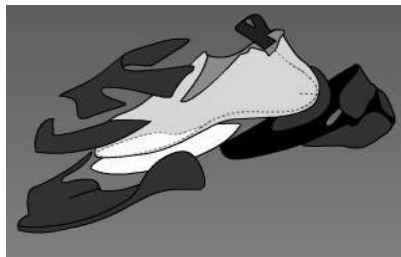


Figure 109 : L'anatomie d'un chausson d'escalade : tige, intercalaire de rigidité, renfort talonnier, et gomme sous l'avant-pied, sur les carres, sur la face dorsal du pied et sous le talon [83]

Le choix d'un chausson d'escalade doit donc porter sur différents critères.

Le choix de la gomme du chausson (nature, épaisseur, répartition) se fait en fonction de la nature de la paroi (type de prise, nature du rocher), du type de voies envisagées et des exigences du grimpeur en terme de performance/durabilité.

Et le choix de la forme et de la taille d'un chausson se fait en fonction du type d'escalade envisagé et du rapport performance/confort recherché par le grimpeur.

Un grimpeur confirmé peut ainsi disposer de plusieurs paires de chausson spécifiques à chaque utilisation.

Dans ce choix il ne faut pas oublier que le chausson doit être en adéquation avec la forme du pied, c'est le chausson qui doit être adapté au pied et non l'inverse. Il est donc recommandé d'essayer plusieurs modèles et marques afin de trouver le chausson adéquat.

La pathologie du pied en escalade est due au port de ces chaussures très serrées. La compression du pied et notamment des orteils engendrée par le port de ces chaussures fait naître de nombreux microtraumatismes. A cause de ce conflit pied-chaussure, on trouve fréquemment des hématomes sous-unguéaux, des ongles incarnés mais également des bursites calcanéennes et des hallux valgus. Il convient donc d'en informer le grimpeur, la prévention passe par le choix de chaussons adaptés au pied et au type d'escalade envisagé, par le retrait des chaussons en bas de chaque voie et par une coupe des ongles bien faite.

4. La chaussure de football [5, 13, 25, 34, 39, 65]

a. Le football : description et approche cinématique

Le football est un sport collectif opposant deux équipes de onze joueurs où l'objectif est de placer un ballon dans le but adverse sans utiliser ses membres supérieurs pour maîtriser le ballon. Les membres inférieurs et en particulier les pieds sont ainsi mis à forte contribution, tant pour parcourir le terrain (d'une longueur de 90 à 120m) que pour contrôler la balle.

L'étude de Withers et al. de 1982, sur des joueurs de haut niveau, explicite les différents types de déplacements et leur distance moyenne lors d'un match (deux périodes de 45min) : 3km de marche, 5km de jogging, 1.5km de course rapide, 0.7km de sprint, 0.8km de course à reculons, 0.2km de déplacements latéraux et 0.2km de déplacements avec le ballon ; soit environ 11km parcourus. Les déplacements d'un joueur sont donc variés (changements de rythme et de direction) et conséquents au vu de la distance parcourue.

La maîtrise du ballon passe par des techniques spécifiques au football, on peut les regrouper en deux catégories : les frappes de balle et la conduite de balle (passe & réception, dribble, tacle...). Cette gestuelle particulière soumet le pied à de nombreux microtraumatismes par chocs, compressions, cisaillements ou torsion du pied. Le joueur nécessite ainsi une chaussure qui aide au contrôle du ballon tout en protégeant le pied des impacts avec la balle et de ceux avec le sol.

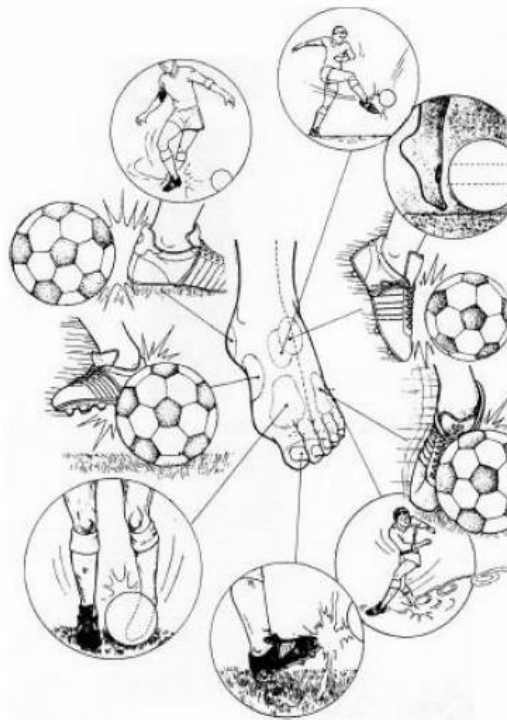


Figure 110 : Les différentes surfaces de contact du pied pour les frappes de balle [34]

b. La tige de la chaussure de football

La tige est la partie qui accueille le pied. En football, elle aura pour spécificité d'optimiser le toucher de balle.

La tige peut être confectionnée en cuir ou en synthétique. Les tiges en cuir, très souple épousent parfaitement la forme du pied et permettent d'excellentes sensations au niveau du toucher de balle, mais nécessitent un entretien régulier.

Le synthétique est traditionnellement utilisé pour sa facilité d'entretien et sa plus grande résistance par rapport au cuir, par contre il a tendance à offrir une moindre sensation de la balle et à être moins respirant.

Le travail des équipementiers permet aujourd'hui la réalisation de matériaux synthétiques qui tendent à se rapprocher du cuir en termes de souplesse et de légèreté. Beaucoup de chaussures récentes et utilisées dans le haut niveau sont ainsi en synthétique.

Le cuir de kangourou, très fin, très souple et résistant reste tout de même pour beaucoup le nec plus ultra.

Le système de fermeture doit être précis, le laçage convient parfaitement. Il est excentré sur le côté et/ou recouvert par une languette de rabat pour préserver une surface homogène sur le coup de pied. Cette précaution permet un jeu de balle plus sûr. La languette sera préférée longue et matelassée pour protéger le coup de pied lors des frappes.

La tige est basse et préserve ainsi une grande liberté du pied pour les déplacements multidirectionnels, le contrôle du ballon et la réactivité nécessaire à la rapidité du jeu.

Mais le pied, très sollicité, nécessite également un très bon maintien. La tige est donc renforcée à l'arrière par un contrefort rigide pour protéger la cheville (entorses) et le tendon calcanéen (notamment lors des tacles glissés). Ce contrefort reste plus bas que sur d'autres chaussures de sport, donc moins protecteur, pour garder une totale liberté de la cheville.

La tige sera ajustée à la forme du pied au plus juste. La chaussure de football est assez étroite, pour que le pied soit « gainé » par la tige (pour le maintien du pied et le toucher de balle). On peut signaler ici que les chaussures de football Adidas® ont la réputation d'être plus étroites que celles de leur concurrent principal, Nike®. Dans tous les cas, il faudra prendre le temps d'essayer les chaussures.

Avec la légère détention du cuir à l'usage, le footballeur choisit généralement sa chaussure une demi-pointure inférieure à sa taille réelle.

L'extrémité antérieure était auparavant dure pour protéger correctement les orteils des chocs avec la balle, mais elle est aujourd'hui souple pour privilégier le contrôle du ballon.

Malgré les éléments protecteurs (contrefort, languette), on voit que la conception de la tige privilégie le toucher de balle (chaussage souple et étroit, tige basse) à la protection du pied. Le pied reste ainsi fortement exposé aux microtraumatismes lors des frappes de balle ou par conflit pied-chaussure.

c. Les semelles de la chaussure de football

Les semelles de la chaussure de football sont très variables. Elles diffèrent avec la nature du terrain.

Le football se pratique traditionnellement sur une pelouse de gazon naturel, où les caractéristiques du terrain varient en fonction de la météo. Le terrain peut être dur (si le sol est gelé ou très sec) et il s'assouplira avec l'humidité jusqu'à devenir gras en cas de fortes pluies.

On trouve aussi de plus en plus de terrains avec des pelouses synthétiques (en plastique) ou des sols stabilisés (terre battue, sable...), pour réduire les coûts d'entretien et permettre de plus grandes fréquences d'utilisation, à l'abri des caprices des intempéries.

Il faut noter que les terrains synthétiques sont en constante évolution et leurs caractéristiques, notamment de souplesse peuvent différer.

Le football peut aussi se pratiquer en salle ou sur macadam.

La chaussure de football comporte généralement des crampons sous la semelle extérieure. On désigne d'ailleurs communément une paire de chaussure de football sous le terme de « crampons ». Le cramponnage des semelles a pour but d'améliorer l'accroche sur le terrain et d'éviter de glisser lors des changements brusques de vitesse ou de direction.

Leur position est adaptée à leur fonction : sous le talon ils servent au freinage, sous l'avant-pied ils permettent des démarrages rapides, et sous le tarse ils participent à la stabilisation et au bon déroulement du pied.

Les crampons sont à choisir pour un équilibre optimal entre glissance, accroche et stabilité sur le terrain, leur taille sera inversement proportionnelle à la dureté du terrain.

• Le choix des semelles

Nous allons à présent décrire les différents types de semelles à utiliser en fonction de la nature du sol.

- Terrain intérieur : parquet, ciment

Pour le football en salle (futsal), on utilise des semelles lisses striées, dépourvues de tout crampon. La semelle est souple, en caoutchouc. Pour améliorer le confort et l'amorti des chocs, on utilise des modèles équipés d'une légère semelle intermédiaire amortissante (en EVA généralement).



Figure 111 : Chaussures de futsal [94]

- Terrain très dur : bitume, sols stabilisés (terre battue...), herbe gelée

La semelle intermédiaire est choisie amortissante (EVA). La semelle externe est souple, en caoutchouc. Elle comporte des reliefs pour améliorer l'accroche, elle est appelée semelle stabilisée, semelle à picot ou semelle turf multicrampons.



Figure 112 : Chaussures à semelle stabilisée [96]

- Terrain dur : pelouse synthétique, pelouse naturelle très sèche

Sur sols durs ou plus souvent appelés sols secs, la semelle externe est semi-rigide et plate pour recevoir les crampons. Elle est réalisée en plastiques composites légers et rigides (polyuréthane thermoformé le plus souvent). Elle doit toujours comporter une zone de flexion sous l'avant-pied pour le déroulé du pied.

Le terrain est suffisamment souple pour s'abstenir d'amorti au niveau de la semelle intermédiaire. Mais la présence d'une semelle interne antichoc permet de limiter les contraintes liées à la rigidité de la semelle, on utilise le plus souvent 2mm de polyuréthane (souple et amortissant).

Sur ces sols durs, on peut utiliser des semelles moulées classiques ou des semelles moulées multicrampons.

Les semelles moulées multicrampons sont faites de petits crampons ronds, homogènes, en caoutchouc, résistants à l'abrasion. Il y en a généralement 24 à 28 répartis sous la semelle. Ils sont aujourd'hui assez peu utilisés. Une chaussure stabilisée est souvent préférée pour les sols synthétiques à « herbe » rase (assez dur) et des crampons moulés classiques sur une pelouse sèche.



Figure 113 : Semelle moulée multicrampons [102]

Les crampons moulés classiques sont ronds, ont tous la même taille, et sont au nombre de 12 à 18. Il y en a généralement 4 sous le talon et 8 sous l'avant pied (7 sur les bords et 1 au centre). Ils sont destinés à des terrains un peu plus souples que les multicrampons mais sont polyvalents.

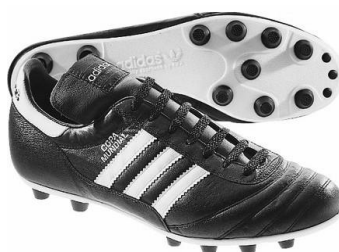


Figure 114 : Chaussures à crampons moulés classiques [98]

- Terrain souple : pelouse naturelle légèrement humidifiée

Un terrain souple est un terrain optimal pour le football. Comme précédemment, la semelle externe est plate et rigide (dynamique), la semelle intermédiaire absente et la semelle interne antichoc. On peut utiliser ici des chaussures à crampons moulés classiques ou à crampons moulés à lamelles.

Les crampons moulés à lamelles sont parfois appelés crampons elliptiques. Ils ont chacun une forme et une taille différente en fonction de leur position sous la semelle, pour avoir une meilleure répartition des appuis. Ils sont en matériaux plastiques rigides (thermo-polyuréthane). Ils sont plus longs et plus larges que les crampons classiques, et biseautés pour augmenter l'accroche sur le terrain. Ils sont par contre moins confortables, plus tranchants et plus dangereux pour l'adversaire lors des tacles. Ils sont souvent au nombre de 14, 4 au niveau du talon et 10 à l'avant de la chaussure.

Ces crampons à lamelles sont les crampons dernière génération, ils sont apparus au milieu des années 90 et ont depuis conquis une grande part du marché de la chaussure de football (80 à 90% des ventes actuelles). Ils sont plébiscités par les joueurs pour leur accroche, par les jeunes pour leur look moderne, ils constituent la majorité des chaussures mises sur le marché par les marques. Le développement en parallèle des pelouses synthétiques a conduit à une surutilisation de ces crampons sur des sols auxquels ils ne sont pas adaptés.

Comme ils accrochent plus que les crampons classiques, ils augmentent les contraintes sur le joueur lors des changements brusques de direction. Ces contraintes sont un facteur de risque de blessures (entorses notamment). Ils sont ainsi montrés du doigt par les professionnels de santé du sport. Ils ont tendance à être conseillés sur les pelouses synthétiques dites de dernière génération (plus souple) mais sont à proscrire des pelouses naturelles sèches.



Figure 115 : Chaussure à crampons moulés à lamelles [89]

- Terrain très souple : pelouse naturelle grasse (pluie, boue)

Pour les terrains très souples, les semelles sont identiques (rigides et dynamiques) et on utilise des crampons vissés.

Les crampons vissés sont des crampons qui se vissent sous la semelle et qui sont donc interchangeables. Ils sont longs et fins pour s'enfoncer dans le sol et apporter une meilleure traction. Ils sont réduits au nombre de 6, 2 sous le talon et 4 sous l'avant-pied, pour éviter que le terre se colle entre les reliefs de la chaussure.

Si le terrain est très gras (boue), il faut utiliser de longs crampons en aluminium de 18mm. Si le terrain est un peu plus sec, il faut préférer des crampons en nylon de 13mm.

Les crampons vissés sont très durs et le plus souvent interdits aux enfants (moins de 13ans), pour limiter les blessures.



Figure 116 : Chaussure à crampons vissés [87]

La chaussure de football doit donc répondre à deux objectifs spécifiques au jeu : améliorer le contrôle du ballon, et conférer au joueur une accroche adéquate en fonction du terrain. Les innovations des équipementiers vont dans ce sens, mais cela se fait au détriment de la fonction protectrice de la chaussure. Ainsi la protection réduite du pied et l'accélération du jeu ces dernières années, font du footballeur un sportif qui reste très exposé aux blessures notamment au niveau de la cheville (entorses, syndrome du carrefour postérieur de la cheville, syndrome exostosant antérieur...).

Pour limiter les microtraumatismes du pied le footballeur devra impérativement utiliser une chaussure adaptée à son pied et au terrain sur lequel il joue. Le footballeur aura ainsi au moins deux paires de chaussures, pour faire face aux différentes conditions de jeu.

CONCLUSION

Si l'activité physique est indispensable à tout individu, une mauvaise pratique peut conduire à diverses blessures. Le sport augmente les contraintes mécaniques sur l'individu et en particulier sur le pied.

Si ces blessures restent le plus souvent bénignes elles obligent le sportif à réduire voir à stopper son activité. De par sa fonction de professionnel de santé de proximité, le pharmacien doit pouvoir détecter les microtraumatismes du pied pour orienter le patient vers une prise en charge adaptée. Il a également un rôle d'éducateur de santé, et doit pouvoir conseiller le sportif pour prévenir de ces pathologies.

La chaussure tient un rôle important dans la microtraumatologie du pied du sportif. De nombreux microtraumatismes naissent d'un conflit pied-chaussure qu'une chaussure mieux adaptée aurait pu éviter.

La chaussure de sport doit faciliter la gestuelle du sportif et protéger le pied mais ces deux exigences de la chaussure mettent en jeu des qualités qui sont difficiles à concilier. On retrouve souvent des compromis entre les exigences de performance et celles de protection. Dans tous les cas, le choix de la chaussure doit être réfléchi au cas par cas selon la nature du sport, du sol et des spécificités de chaque pratiquant.

La difficulté dans l'étude de la chaussure est l'absence de standardisation des publications scientifiques, qui sont donc difficiles à interpréter. Le développement et l'amélioration de la chaussure est comme celui des orthèses plantaires, très intuitif. Dans ces disciplines, les résultats obtenus permettent de valider au cas par cas le choix retenu.

Le futur de la chaussure doit passer par le développement des sciences du mouvement, qui n'en sont encore qu'à leurs balbutiements. Et à l'image de la chaussure de ski, cette orthèse de série qu'est la chaussure deviendra sans doute de plus en plus adaptable à chaque individu.

Bibliographie

1. BARAN R. et PIERARD G.E., Onychomycoses, Masson, 2004, 179p.
2. BERGERON Y., FORTIN L. et LECLAIRE R., Pathologie médicale de l'appareil locomoteur 2^{ème} édition, Maloine, 2008, p.931-970
3. BLATIERE V. et NABERES A., Ongles incarnés, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-07-A-50, 11p.
4. BOULIER P., Anatomie et biomécanique du pied, site personnel, www.philippeboulhier.com/biomecanique-anatomie+et+biomecanique-1.html, consulté le 01-12-2011
5. BOUYSSSET M., Pathologie ostéo-articulaire du pied et de la cheville 3^{ème} éd., Springer, 2004, 552p.
6. BOYET B. et DEGUY E., La chaussure de ski, revue du podologue n°1, 01&02 2005, p.30-31
7. CALLANQUIN J., LABRUDE P., Traité de podologie à l'usage des praticiens, Pharmathèmes, 2007, 328p.
8. CAPELLE P., Examen clinique élémentaire en podologie, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-030-A-05, 5p.
9. CAUCHY E. et FORAY J., Gelures, Enc. Med. Chir de l'appareil locomoteur, 14-033-F-10, 2005, 7p.
10. CAUCHY E. et MARSIGNY B., Gelures des extrémités mise à jour et prise en charge, Revue médicale suisse n°153, 05-2003, titan.medhyg.ch/mh/formation/article.php3?sid=23001, consulté le 01-03-2012
11. CHARLET S., Evolution des techniques, du matériel, du chronométrage..., home.nordnet.fr/scharlet/histoire/modifica.htm, consulté le 01-03-2012
12. CLAUSTRE J., BENEZIS C. et SIMON C., Le pied en pratique sportive, Masson, Collection monographie de podologie, 1984, 264p.
13. CLAUSTRE J. et SIMON L., Le chaussage, Masson, Collection monographie de podologie, 1988, 246p.
14. COSTE J., Pathologie de l'aponévrose plantaire, Association pour le développement de la podologie, www.adpodologie.com/m_pages.asp?page=162, consulté le 1-12-2011
15. CRIBIER B., Engelures, Annales de dermatologie et de vénéréologie vol. 128 n°4, 2001, p.557-560
16. CUNLIFFE T., Talon noir, Primary Care Dermatology Society, www.pcids.org.uk/image-atlas/a-z-of-diagnosis/124-talon-noir, consulté le 15-01-2012
17. CURVALE G., GROULIER P., ROCHWERGER A. et PICLET-LEGRE B., Hallux valgus, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-080-A-30, 6p.
18. DANOWSKI R-G. et CHANUSSOT J-C., Traumatologie du sport 7^{ème} éd., Masson, 2005
19. DAPOGNY C., L'examen Clinique du pied, Esculape site de médecine générale, www.esculape.com/fmc2/piedexamencliniq.html, consulté le 01-12-2011
20. DAUM B., BARBAUD A. et SCHMUTZ J.L., Les lésions dermatologiques et traumatiques du pied du sportif, Entretiens de Bichat, Podologie 1999, p.80-91
21. DAUM B., Pied et chaussure de sport, Enc. Méd. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-140-A-65, 9p.
22. DAUM B. et DIEBOLD P.F., Pathologie sésamoïdienne, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-080-A-50, 7p.
23. DE BEER P., CREUSY C., MODIANO P., GOSSET P. et VENNIN D., Verrues du pied, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-120-A-65, 6p.
24. DEDIEU, Approche biodynamique du pied dans la pratique de l'escalade, site de l'association pour le développement de la podologie, www.adpodologie.com, consulté le 01-04-2012
25. DEGUY E., La chaussure de football, revue du podologue n°5, 09&10 2005, p.30-31
26. DEGUY E., La chaussure de marathon, revue du podologue n°2, 03&04 2005, p.30-31

27. DELUZARCHE C., Converse : histoire d'une chaussure de légende, le journal du net, www.journaldunet.com/economie/magazine/enquete/les-entreprises-centenaires-en-2008/converse-histoire-d-une-chaussure-de-legende.shtml, consulté le 01-03-2012
28. DIEBOLD PF., Métatarsalgies statiques, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-060-A-35, 10p.
29. DRAKE R., VOLG W. et MITCHELL A., Gray's anatomie pour les étudiants, Masson, 2009, 999p.
30. DUBOY J., JUNQUA A., LACOUTURE P. et LEPLANQUAIS F., Etude biomécanique de la course à pied, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-020-A-20, 14p.
31. EULRY F., Diagnostic d'une douleur du pied, Encyclopédie Médico-chirurgicale de l'appareil locomoteur mise à jour 2001, 14-134-A-10, 7p.
32. EULRY F., Examen clinique du pied et de la cheville, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-030-A-10, 6p.
33. FICHEZ O., Métatarsalgies médianes, Médecins du sport n°90, 07-08 2008, p. 11-20
34. GAUGE C., Le tir au football, 2004, site de l'UFR-STAPS de Nancy, www.staps.uhp-nancy.fr/es.htm, consulté le 01-04-2012
35. GHEERAERT P., Les infections fongiques communes des pieds, Revue médicale de Bruxelles 09-2006, <http://www.amub.be/rmb/article.php?id=264>, consulté le 15-01-2012
36. GOETTMANN S., Pathologie unguéale (I), Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-070-A-45, 19p.
37. GOFFIN V., BOURGUIGNON R., FRAITURE A.L. et PIERARD G.E., Comment je traite... Le pied du sportif et sa pathologie cutanée, Revue Médical de Liège n°57, 2002, 7p.
38. GOLDCHER A., Podologie 5^{ème} ed., Masson, 2007, 302p.
39. GOLDCHER A. et NATAF E., Podologie du sport, Masson, 2002, 195p.
40. GRIBET L., Historique et symbolique de la chaussure, site de l'association pour le développement de la podologie, www.adpodologie.com, consulté le 01-03-2012
41. GUAYDIER-SOUQUIERES G., Syndromes canalaire (à l'exclusion du syndrome de Morton), Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-10-A-45, 9p.
42. GUILTARD J. et LEFEBVRE D., Site du laboratoire d'anatomie de la faculté de médecine de Toulouse, www.anat-jg.com/Membre_pelvien/MP.htm, consulté le 01-12-2011
43. HERISSON C., ABOUKRAT P. et RODINEAU J., Le pied du marcheur de la randonnée à la marche athlétique, Sauramps médical, 2008, 192p.
44. HERISSON C., ABOUKRAT P. et SIMON L., La pathologie unguéale, Masson, Collection monographie de podologie, 1984, 107p.
45. HERISSON C., ABOUKRAT P. et SIMON L., Les traitements locaux du pied, Sauramps médical, 1998, 256p.
46. HERISSON C., RODINEAU J. et ABOUKRAT P., Le tendon d'Achille et sa pathologie, Sauramps médical, 1999, 204p.
47. HERISSON C., RODINEAU J., SIMON L., Pied et sport de loisirs, Sauramps médical, 1997, 224p.
48. HERISSON C., SIMON L. et ABOUKRAT P., Les orthèses plantaires : les semelles orthopédiques, Sauramps médical, 1996, 117p.
49. HERRY J.P. et RAVARY J., Reconnaître et traiter les petits traumatismes en montagne, site personnel de Simeoni D., didier.simeoni.perso.sfr.fr/page49.html, consulté le 15-01-2012
50. HINTERMANN B., Evolution de la chaussure de sport, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-140-A-61, 4p.
51. HUBER-LEVERNIEUX C., Talalgies, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-090-A-25, 7p.
52. HUERTAS C. et MANSAT C., Le pied 3^{ème} partie, L'observatoire du mouvement hors série n°4, 12-2002, 8p.
53. JARDE O. et TRINQUIER LAUTARD J.L., Hallux rigidus, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-080-A-32, 3p.

54. JOURJON F., Comment bien choisir ses chaussures de randonnées, www.randonnee-malin.com, consulté le 01-04-2012
55. KAH N., Dermatophyties, candidoses et autres mycoses superficielles rôle du pharmacien d'officine, Thèse de doctorat en Pharmacie, 2011, Faculté de Nancy, 134p.
56. KOUVALCHOUK JF. Et HASSAN E., Pathologie du tendon d'Achille : tendinopathies - ruptures - plaies, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-090-A-10, 14p.
57. KOWALSKI C., Médecine et chirurgie du pied, site personnel, www.podo3000.eu/francais/chirurgie%20du%20pied.html, consulté le 01-12-2011
58. LAFFENETRE O., VILLET L., CHAUVEAUX D., DARCEL V. et ANDRAULT G., Document d'information pour le patient, C.H.U. de Bordeaux, www.chu-bordeaux.fr/chub/fiche/description-des-services/service-d-orthopedie-traumatologie-c/chirurgie-du-pied/autres-documents/, consulté le 30-11-2011
59. LAZARETH I., Engélure, Traité de médecine AKOS, 2009
60. LAZENNEC JY. et TRABELSI R., Anatomie topographique du pied, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-000-A-10, 10p.
61. LE CRAZ S. et BONTEMPS F., Le pied à l'étrier, cahier conseil du n°2779 de Le Moniteur des pharmacies, 05-2009, 14p.
62. LE CRAZ S. et BONTEMPS F., Les mycoses au comptoir, cahier conseil n°2728 de Le Moniteur des pharmacies, 05-2008, 14p.
63. LEDOUX M., Syndrome du carrefour postérieur, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-080-A-52, 17p.
64. LONCHAMP D., Les pathologies du pied et de la cheville chez la danseuse, Thèse de doctorat en Pharmacie, 2005, Faculté de Nancy, 178p.
65. LUTHANEN P., Analyse biomécanique du football, site d'entraîneur de foot, www.entraineurdefoot.com/pekka.html, consulté le 01-04-2012
66. MAESTRO M., La pathologie sésamoïdienne, site de l'association française de chirurgie du pied, www.afcp.com/fr/lyon_99_sesamoide.htm, consulté le 05-12-2011
67. MANSAT C. et al, La marche, lettre d'information de l'observatoire du mouvement n°11, 04-2004, 12p.
68. MASQUELET AC., Névralgie de Morton, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-120-A-40, 7p.
69. NOMINE V., site personnel, v.nomine.free.fr/perso/doc/maladie_de_sever.pdf, consulté le 6-12-2011
70. PELISSIER J. et BRUN V., La marche humaine et sa pathologie, Masson, Collection de pathologie motrice, 1994
71. PICOT B., Le port prolongé d'une chaussure de ski modifie-t-il le sens de la position de la cheville et la force des muscles fibulaires, mémoire de kinésithérapie, 2009, 61p.
72. PIERARD E., Engélures, Site de cas clinique de dermatologie pour la formation médicale continue, dermatologie.free.fr/cas57rep.htm, consulté le 15-01-2012
73. POTVIN C., Les agents de premier recours pour le traitement du pied d'athlète, Revue Le Médecin du Québec 09-2002, <http://www.fmoq.org/fr/mdq/archives/00/2002/numero.aspx?num=9>, consulté le 15-01-2012
74. ROCHCONGAR P., Lésions chroniques de l'appareil locomoteur chez le sportif, Enc. Med. Chir. De l'appareil locomoteur, 15-902-A-10, 1999, 8p.
75. RODINEAU J. et Le comité médical consultatif pour les AUT, Demande d'autorisation à des fins thérapeutiques : tendinopathie – guide de bonnes conduites, Agence française de lutte contre le dopage, www.afld.fr/docs/page19_128_Tendinoguidedebonnesconduites.pdf, consulté le 30-11-2011
76. RODINEAU J. et SAILLANT G., Actualités sur les tendinopathies et les bursitopathies des membres inférieurs, Masson, 2001, 239p.
77. ROLLAND E., LORTON G. ET SAILLANT G., Chirurgie des tendinopathies d'Achille du sportif, Société française de recherche orthopédique, www.sofrot.fr/viewPage.do?id=871, consulté le 30-11-2011
78. STREIT M., BRAATHEN L.R. et PERROUD H.M., Traitement des verrues, Revue du Forum Médical Suisse n°34 08-2001, www.medicalforum.ch, consulté le 15-01-2012

79. TOURNE Y., CHAUSSARD C, HUBOUD-PERON A. et SARAGAGLIA D., Pathologie de l'aponévrose plantaire superficielle et maladie de Ledderhose, Enc. Med. Chir. De podologie mise à jour 2001, 27-090-A-20, 10p.
80. TRIVIAUX D., Les verrues, Société française de dermatologie, dermato-info.fr/article/Les_verrues, consulté le 15-01-2012
81. VOGEELEER M.N. et LACHAPELLE J.M., Les onychomycoses de pieds : un sujet d'actualité, Revue Louvain médical 06-2005, www.md.ucl.ac.be/loumed/, consulté le 15-01-2012
82. ZILTENER J.L., LEAL S. et GROSCLAUDE M., Lésions du tendon d'Achille chez le « sportif » : étiologie et prise charge, Revue médicale suisse n°286, 03-2011, p. 595-603

Références internet diverses :

83. Andrea Boldrini, www.andrea-boldrini.com, consulté le 01-04-2012
84. Asics, www.asics.fr, consulté le 01-04-2012
85. Au vieux campeur, www.auvieuxcampeur.fr, consulté le 01-03-2012
86. Brulure, www.brulure.fr/generalites/degres/deux_mecanismes.htm, consulté le 15-01-2012
87. C discount, www.cddiscount.com/Product/Zoom/G00789/1.html, consulté le 01-04-2012
88. Camp to camp, Les chaussons d'escalade, www.camptocamp.org/articles/269119/fr/les-chaussons-d-escalade, consulté le 01-04-2012
89. Chaussures de foot, www.chaussuresdefoot.fr/nike-t90-laser-iv-chaussure-de-football-homme-jaunenoir-p-6147.html,
90. Clear Ups, Athlete's Foot, www.clearups.com/af.html, consulté le 15-01-2012
91. EB, www.eb-escalade.com, consulté le 01-03-2012
92. Easy-look, easy-look.fr, consulté le 01-12-2011
93. Essentiel marathon, essmarathon.free.fr/PagesWeb/Appuis.htm, consulté le 04-03-2012
94. F&J sports collectifs, <http://www.fjsportsco.com/41-chaussures-football-indoor-futsal>, consulté le 01-04-2012
95. Five ten, fiveten.com, consulté le 01-04-2012
96. Foot chaussures, www.foot-chaussures.com, consulté le 01-04-2012
97. Geo-ski, Comment choisir ses chaussures de ski, www.geo-ski.eu, consulté le 01-04-2012
98. Go-sport, www.go-sport.com, consulté le 01-04-2012
99. Hardware, forum.hardware.fr/hfr/Discussions/Sante/bleu-sous-ongle-sujet_35532_1.htm, consulté le 01-04-2012
100. Hoka one one, www.hokaoneone.com, consulté le 01-04-2012
101. Innov8, www.inov-8.com, consulté le 01-04-2012
102. Kipsta, www.kipsta.com/FR/files/assets/18986453-4-kipsta-choisir-ses-chaussures-de-football/4-kipsta-choisir-ses-chaussures-de-football.htm, consulté le 01-04-2012
103. La sportiva, www.sportiva.com, consulté le 01-04-2012
104. Medicalook, Onychomycosis, www.medicalook.com/Skin_diseases/Onychomycosis.html, consulté le 15-01-2012
105. Medicalorama, www.medicalorama.com/encyclopedie/17172, consulté le 01-02-2012
106. Névé-trek, www.neve-trek.be/reportage/chausures.html, consulté le 01-04-2012
107. Podologue du sport, site de Lapègue P., www.podologue-sport.com, consulté le 01-02-2012
108. Running & tri, www.runningandtri.com, consulté le 01-04-2012
109. Tennis addict, www.tennisaddict.fr, consulté le 01-04-2012
110. Vibram five fingers, www.vibramfivefingers.com, consulté le 01-04-2012
111. Volodalen, www.Volodalen.com, consulté le 01-03-2012
112. Wanarun, www.wanarun.net, consulté le 01-04-2012

DEMANDE D'IMPRIMATUR

Date de soutenance : 25/06/2012

**DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR
EN PHARMACIE**

présenté par : CLEMENÇON Baptiste

Sujet : Le rôle de la chaussure dans la prévention des
microtraumatismes du pied du sportif

Jury :

Président : LABRUDE Pierre
Directeur : DAUM Bernard

Juges : CUNY Jean-François
JOSSET Martine

Vu,

Nancy, le 25/05/2012

Le Président du Jury

Le Directeur de Thèse

Bernard DAUM

[Signature]

Vu et approuvé,

Nancy, le 01 JUIN 2012

Doyen de la Faculté de Pharmacie
de l'Université de Lorraine,

[Signature]

Francine PAULUS

[Signature]
Francine KEDZIEREWICZ
Vice-doyen

Vu,

Nancy, le 11. 06. 2012

*Le Président de l'Université
de Lorraine*

[Signature]

Pierre MUTZENHARDT

N° d'enregistrement : 4013

N° d'identification :

TITRE

Le rôle de la chaussure dans la prévention des microtraumatismes du pied du sportif

Thèse soutenue le 25/06/2012

Par M. Baptiste CLEMENÇON

RESUME :

Le sport, activité notamment plébiscitée par les instances de santé, est aujourd'hui très développé. Toutefois une pratique mal conduite peut mener à diverses blessures.

Le pied du sportif, par son rôle de soutien du poids du corps et par sa relation étroite avec le sol, est une partie du corps particulièrement exposée aux microtraumatismes rhumatologiques ou dermatologiques. L'étude de ces pathologies permet au pharmacien d'officine d'orienter le patient vers une prise en charge adaptée et de le conseiller dans leur prévention.

La chaussure est l'interface entre le pied et le sol, elle a pour but de faciliter la gestuelle sportive pour optimiser la performance et de protéger le pied des contraintes liées à la pratique sportive. Son choix est un élément clé de la prévention des microtraumatismes du pied que le pharmacien se doit de connaître. Les qualités de la chaussure, notamment d'amorti, de stabilité, de maintien ou de légèreté ont tendance à s'exclure les unes des autres.

La chaussure de sport est en fait un compromis entre ces différentes qualités. Et pour répondre au mieux aux exigences demandées à la chaussure de sport, celle-ci doit être réfléchie en fonction de chaque sport, de chaque sol et de chaque individu.

MOTS CLES : Pied, microtraumatismes, sport, chaussures

| Directeur de thèse | Intitulé du laboratoire | Nature |
|--------------------|-------------------------|---|
| DAUM bernard | | Expérimentale <input type="checkbox"/> |
| | | Bibliographique <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | Thème <input type="checkbox"/> 6 |

Thèmes

1 – Sciences fondamentales
3 – Médicament
5 - Biologie

2 – Hygiène/Environnement
4 – Alimentation – Nutrition
6 – Pratique professionnelle