

# Anatomie compréhensive de la cheville\*

## A comprehensive anatomy of the ankle

P. Rabischong

© Springer-Verlag France 2012

**Résumé** L'anatomie compréhensive est une démarche qui cherche à comprendre le pourquoi et le comment des systèmes anatomiques. L'homme n'a pas construit l'homme et de ce fait nous avons la solution et pas le problème. Il faut donc d'abord identifier les problèmes techniques qui sous-tendent les fonctions pour ensuite aller vers la solution anatomique et la valider. La cheville est un complexe articulaire reliant la jambe et le pied. Son intelligence de construction est liée à la nécessité de contrôler, pied au sol, des mouvements d'inclinaison du corps vers l'avant et l'arrière ainsi que de l'intérieur vers l'extérieur. Pour des raisons de sécurité articulaire, les deux systèmes articulaires correspondants sont séparés, mais réunis dans un cardan suropodal original avec une jonction talosurale à axe transversal et sous-talienne à axe oblique. Cela donne le profil biomécanique d'un système superposé en arrière, talus sur calcaneus, et étalé en avant avec l'atterrissage des cinq rayons métatarsiens. S'y ajoute dans un but de renforcer la résistance mécanique une structure tarsienne en mosaïque pré-morcelée avec une compliance mécanique variable par les tendons périarticulaires.

**Mots clés** Talus · Calcaneus · Cardan suropodal · Charnière courbe métatarsophalangienne

**Abstract** Comprehensive anatomy is an approach that aims to understand why and how anatomical systems work. Humans are not man-made so we have the solution, but not the problem. Consequently, we must initially identify the underlying functional technical problems which will then lead us to an anatomical solution and its validation. The ankle is a complex joint, connecting the leg and the foot. Its intelligent construction is linked to the need to control body movements, both in terms of the forwards and backwards as well as the internal and external position, while the

foot is on the ground. To protect the joint, the two corresponding joint systems are separated, but combined to form a true ankle-foot hinged joint, with a talocrural junction in the transverse direction and a subtalar junction in the oblique direction. This provides a biomechanical profile with a superimposed system to the rear, talus on calcaneus, and one that is spread out at the front, with the placement of the five metatarsal rays. So as to increase the mechanical resistance, there is also the fragmented mosaic tarsal structure, which provides variable mechanical compensation via the periarticular tendons.

**Keywords** Talus · Calcaneus · Ankle-foot hinged joint · Metatarsophalangeal hinge curve

## Introduction

L'homme n'a pas construit l'homme. Nous avons la solution et pas le problème. La démarche compréhensive consiste précisément d'abord à observer une fonction biologique, puis à identifier en termes de bio-ingénierie les problèmes techniques à résoudre pour la réaliser, et enfin à regarder la solution anatomique pour la valider, ce qui conduit inmanquablement à apprécier l'intelligence du constructeur. C'est un jeu sans risque, puisque nous avons la solution, mais c'est le seul moyen pour comprendre le pourquoi et le comment des systèmes biologiques sans se contenter de mémoriser des détails anatomiques d'une manière fastidieuse et volatile.

Le pied est un organe qui vit dans la contrainte des appuis et des poussées. Il a été conçu dans cet esprit avec une réalisation qui tient compte des impératifs mécaniques et un souci particulier de garantir l'efficacité dans la sécurité. Il n'est pas, comme certains le pensent encore, le résultat d'une évolution progressive à partir de modèles quadrupède, reptilien ou simien. C'est un programme original où, cependant, il n'est pas interdit de retrouver certaines astuces techniques présentes dans d'autres espèces. La cheville est une partie importante de sa structure qui caractérise la jonction fonctionnelle de la jambe et du pied.

---

P. Rabischong (✉)  
128 rue Eugène Ducretet, F-34000 Montpellier  
e-mail : rabischong@yahoo.fr

\* Cet article a fait l'objet d'une présentation au congrès de la SFMCP en 2011 à Paris.

Le pied est mécaniquement une structure viscoélastique à compliance variable, ce qui le rend hautement adaptatif aux conditions mécaniques de son utilisation statodynamique et cinématique. Sa résistance mécanique est grande, liée à sa conception [1]. Plusieurs points peuvent être considérés.

### Structure mosaïque prémorcelée

On peut augmenter la résistance mécanique d'une structure rigide en la fragmentant en plusieurs pièces séparées, reliées par des ligaments autorisant de petits mouvements pouvant absorber de l'énergie et retarder la rupture. C'est exactement le cas du pied formé de plusieurs pièces osseuses réunies par de nombreux ligaments et susceptibles de déformations contrôlées. On retrouve la même configuration au niveau du carpe. L'os naviculaire du côté médial est fixé en avant aux trois cunéiformes médial, intermédiaire et latéral articulés avec les trois premiers rayons métatarsiens, et il est relié du côté latéral au cuboïde articulé directement avec les deux derniers rayons métatarsiens. Ainsi sont définis deux interlignes articulaires dans ce massif morcelé : l'articulation transverse du tarse dite de Chopart en arrière, verrouillée par le ligament bifurqué ou en Y avec ses branches calcanéonaviculaire et calcanéocuboïdienne et en avant un interligne géométriquement complexe bien décrit par Lisfranc et au niveau duquel il faut retenir l'existence d'une mortaise intercunéiforme due au retrait du cunéiforme intermédiaire qui bloque le glissement latéral de l'avant-pied avec de puissants ligaments intercunéiformes interosseux, cunéonaviculaires et cunéocuboïdiens dorsaux.

### Triangles antérieur et postérieur du pied

Le pied n'est pas, comme on l'a dit et écrit, un tripode. En effet, un tripode est un appui en trois points, et il est dit orthostatique, c'est-à-dire stable et géométriquement calculable. Au-delà de trois points, l'appui est dit hyperstatique et non géométriquement calculable. C'est la différence entre une table à trois pieds qui est stable quel que soit le profil du sol sur lequel elle repose et une table à quatre pieds qui nécessite le plus souvent le calage d'un des pieds pour la rendre stable. La plante du pied présente un appui hyperstatique de deux triangles articulés par leur base commune : le triangle antérieur formé par la séquelle des orteils et le relief plantaire de leurs articulations métatarsophalangiennes et le triangle postérieur formé par la semelle cutanée plantaire allant de la zone d'appui du calcaneus à celle de la barre métatarsophalangienne (Fig. 1). Le triangle antérieur est essentiellement un triangle de poussée propulsive avec le rôle important de la face plantaire de l'hallux. Le triangle postérieur est une large zone d'appui qu'on doit considérer



**Fig. 1** Triangles plantaires antérieur et postérieur

comme responsable de la stabilisation statodynamique du corps qu'elle supporte. On ne peut pas parler de triangle statique, car le domaine de la statique en mécanique est celui de l'équilibre des forces et des moments. Or le corps humain est une structure viscoélastique polyarticulée et déformable. De ce fait, il ne peut pas en station verticale se trouver comme le soldat de plomb posé sur une table en parfait équilibre statique. Ceux qui font de la posturologie, très à la mode actuellement, doivent le savoir, car ils enregistrent les modifications temporelles du centre de gravité ou des centres de poussée qui incontestablement sont du domaine dynamique de l'action des forces sur une structure déformable. De cette façon, il est plus juste de parler de triangle statodynamique. L'articulation entre les deux triangles est la condition nécessaire de toutes les activités locomotrices du pied.

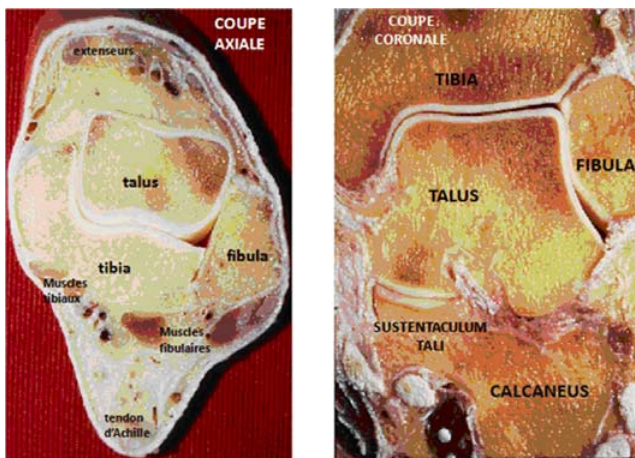
### Cardan suropodal

Un cardan est une articulation, comportant deux axes de rotation articulaire matérialisés orthogonaux, plus un supplémentaire par combinaison géométrique des deux précédents dits à axe instantané de rotation. Sa dénomination est due à Gerolamo Cardano (1501–1576) qui a inventé le mode de fixation des boussoles sur les bateaux ou, comme le disent certains, qui a réalisé la suspension à deux degrés de liberté (DL) du siège d'un notable italien. Un très bel exemple est la jonction craniocervicale dont les deux axes articulaires correspondent aux deux axes vertical et horizontal de l'exploration visuelle. La question se pose donc de savoir pourquoi utiliser un cardan au niveau du pied et pas un condyle (articulation à deux degrés de liberté en rapport avec ses deux rayons de courbure) pour relier la jambe et le pied. Il est intéressant de noter que dans le cas d'une malformation du pied caractérisée par une synostose talocalcanéenne, on observe une ovalisation des surfaces articulaires du talus et de la pince bimalléolaire qui crée une articulation à deux DL

de type condylien. En fait, la dissociation des deux DL obéit à un problème de sécurité. Chaque DL correspond à un axe de stabilisation corporelle : antéropostérieure avec axe de rotation transversal pour la jonction talocrurale (en réalité talofibulosurale) et latérale pour la jonction sous-talienne entre le talus et le calcaneus avec un axe de rotation oblique décrit par Henke.

### Jonction talosurale

C'est une articulation très intéressante qui représente une réponse intelligente à un problème biomécanique particulier qu'a bien étudié Le Cœur [2]. En effet, l'articulation du talus avec le tibia et la fibula est théoriquement une articulation à un DL avec un axe de rotation transversal. De ce fait, l'extrémité supérieure du talus jouant le rôle d'un tenon est enfermée dans une pince formée par les deux malléoles médiale du tibia et latérale de la fibula, réalisant ce qu'on a coutume d'appeler une mortaise, par analogie avec une pièce de menuiserie bien connue (Fig. 2). Mais le calcaneus, qui repose sur le sol et qui supporte la partie inférieure du talus, soumet celui-ci à des sollicitations mécaniques transversales qui s'expriment sur les deux mors de la pince. Or pour les mêmes raisons énoncées précédemment, une structure rigide est éminemment fragile. La seule façon de renforcer la résistance mécanique de la pince est donc d'en dissocier les deux mors et de les réunir par une articulation autorisant de légers mouvements normaux de diastasis évitant la rupture, évidemment dans des conditions normales d'utilisation. Or, si on trouve dans la nature un animal qui n'a pas durant la locomotion un appui du calcaneus au sol, on est en droit de trouver un mode d'articulation rigide sans diastasis. C'est le cas du cheval, qui marche sur les doigts et dont le calcaneus est « haut » placé. Son articulation talosurale est une mor-



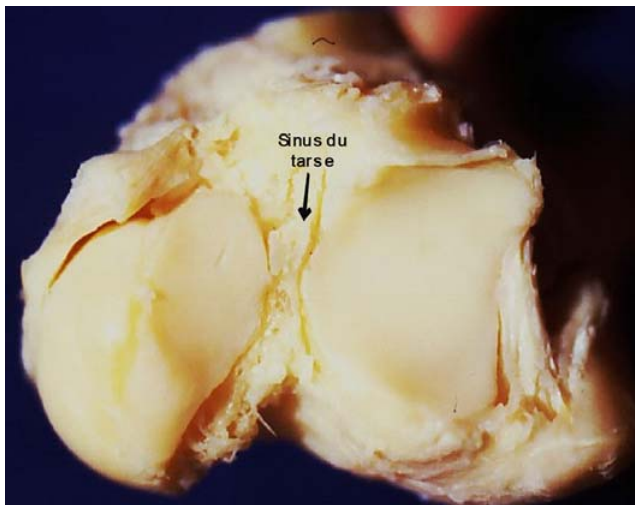
**Fig. 2** La mortaise dissociée de l'articulation talocrurale subit des sollicitations transversales à partir de l'appui au sol du calcaneus sous-jacent

taise rigide à trochlée très profonde avec synostose des extrémités inférieures du tibia et de la fibula sans jonction articulaire. Un autre exemple est le poulet qui a le même type d'articulation avec une fibula incomplète sans liaison inférieure avec le tibia. Quand on mange cet animal avec une préférence indiquée pour la cuisse, il faut se méfier de sa fibula en forme de pique qui est à l'origine d'embrochement traumatique du pharynx dans une déglutition mal contrôlée. Chez l'homme et tous les animaux à appui calcanéen durant la locomotion, on retrouve donc cette mortaise dissociée adaptative. La fibula est fixée à sa partie supérieure par une articulation à très faible déplacement, car le problème mécanique se trouve en fait à la partie inférieure. Il faut ajouter que la partie articulaire supérieure du talus encore appelée trochlée est plus large en avant qu'en arrière, ce qui a pour effet d'entraîner un diastasis physiologique dans les mouvements de flexion dorsale du pied. On peut logiquement se demander si ce diastasis n'est pas là précisément pour entretenir l'articulation tibiofibulaire inférieure en assurant sa maintenance.

De plus, les deux joues latérales du talus sont différentes. Du côté médial, elle a une forme en virgule à grosse extrémité antérieure permettant la rotation de la malléole tibiale solidement fixée par un ligament triangulaire (deltoïde) au talus, au *sustentaculum tali* calcanéen et à l'os naviculaire. Du côté latéral, elle se présente comme une surface triangulaire inclinée vers le bas avec une base supérieure pour le contact articulaire avec la malléole fibulaire amarrée au tibia, au calcaneus et au talus par des ligaments séparés fortement sollicités et fréquemment le siège d'entorses ou de ruptures principalement dans les mouvements d'inversion du pied.

### Jonction sous-talienne

Elle s'apparente à une double trochoïde inversée, c'est-à-dire à deux surfaces articulaires arrondies de courbure inversée qui donne un mouvement transversal à axe oblique. On retrouve en effet sur la partie inférieure du talus une surface articulaire postérieure à concavité dirigée vers le bas qui correspond à une surface postérieure du calcaneus convexe vers le haut et inclinée vers le bas. En avant existent, sur la partie inférieure du talus, deux surfaces articulaires légèrement convexes qui s'articulent avec deux surfaces calcanéennes concaves placées sur un plan oblique vers le bas surtout pour la surface postérieure (Fig. 3). Entre les deux parties articulaires se trouve une gouttière osseuse oblique appelée le sinus du tarse dans lequel se fixe un ligament très résistant ayant la forme d'une double « haie fibreuse » assurant la synthèse talocalcanéenne qu'ont bien décrite Viladot et al. [3]. Cela permet de comprendre que la stabilisation latérale de l'axe jambier se fait grâce à un mouvement de rotation complexe du talus sur le calcaneus ou, si on examine le pied hors de son appui au sol, du calcaneus sous le talus fixé dans sa pince. D'où on peut définir, d'une part,

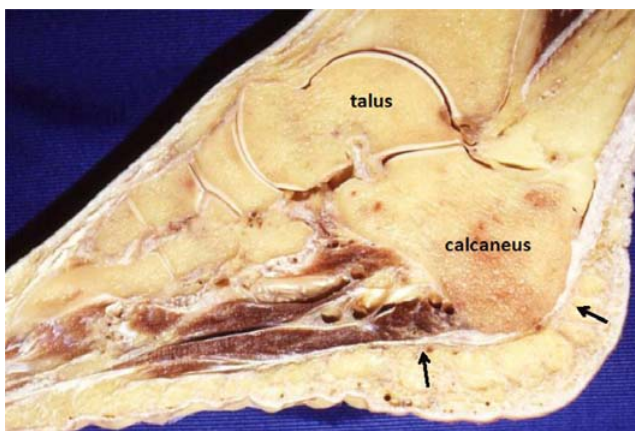


**Fig. 3** Double trochoïde et ligament « en haie » interosseux

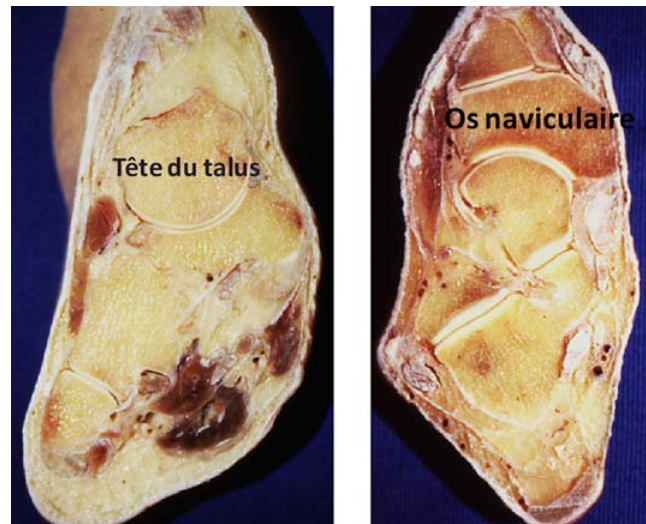
un mouvement antéropostérieur de flexion dorsale et plantaire du pied (Fig. 4) et, d'autre part, un mouvement latéral de pronation et de supination du pied (ou inversion et éversion) par une analogie discutable avec la main (Fig. 5). Les deux axes de stabilisation permettent de classer les muscles. En avant de l'axe transversal se placent les fléchisseurs dorsaux : tibial antérieur, long extenseur des orteils et de l'hallux, troisième fibulaire. En arrière les fléchisseurs plantaires : triceps sural, long et court fibulaires, tibial postérieur, longs fléchisseurs des orteils et de l'hallux. Sur le côté latéral de l'axe antéropostérieur oblique sont les pronateurs fibulaires et sur le côté médial les supinateurs tibiaux.

### Modèle superposé en arrière et étalé en avant

Cela est une des clés de la compréhension de l'architecture fonctionnelle du pied. En arrière, le cardan suropodal impose



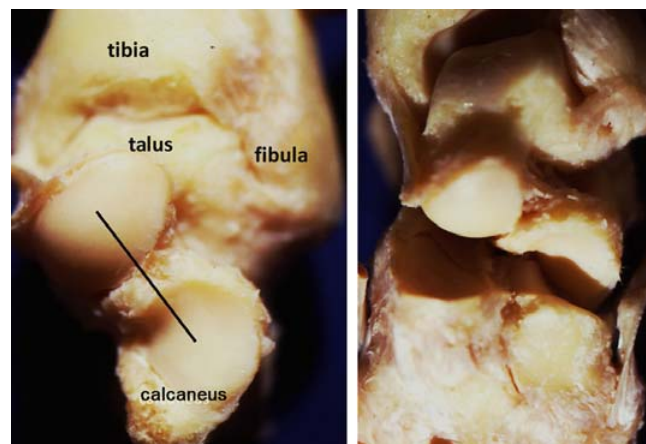
**Fig. 4** Coupe sagittale du pied : fixation de la peau du talon sur la lame tricépitoplantaire



### COUPE CORONALE COUPE AXIALE

**Fig. 5** Le deuxième axe de rotation en pronation–supination ou adduction–abduction

la superposition du talus sur le calcaneus avec un nécessaire décalage latéral de leurs extrémités antérieures justifiant un soutien osseux du calcaneus pour le talus fourni par le *sustentaculum tali* (Fig. 6). Cela permet une articulation avec les deux colonnes osseuses médiale et latérale du pied. Du côté médial, l'os naviculaire s'articule en arrière avec la tête arrondie du talus et en avant avec les trois cunéiformes se prolongeant par les trois premiers rayons métatarsiens. Du côté latéral, l'os cuboïde s'articule avec les deux derniers rayons métatarsiens. La colonne médiale est donc naturellement surélevée de par la position du talus. Elle forme une arche longitudinale dont le support actif est le muscle tibial antérieur fixé en sommet de voûte sur l'os naviculaire. La suppression de ce tirant actif dans la poliomyélite affaisse



**Fig. 6** Le double décalage horizontal et vertical du talus et du calcaneus/interligne en S de Chopart

le bord médial du pied entraînant la platitude podale. À l'inverse, le pied peut se creuser de façon anormale par l'hypertraction d'un tibial antérieur spastique. Il faut noter l'importance de deux ligaments puissants : d'une part, le ligament calcanéocuboïdien inférieur ou long ligament plantaire doublé d'un court qui n'est pas élastique et soutient fermement, en l'empêchant de fléchir, la partie postérieure de l'arche longitudinale — il faut se rappeler que le pied articulaire n'est pas un ressort — et, d'autre part, le ligament calcanéonaviculaire plantaire dit ligament à ressort (*spring ligament*) qui en réalité est le berceau de la tête du talus qui lui oppose une petite surface cartilagineuse. Ce modèle superposé/étalé correspond au concept de la *lamina pedis* imaginé par MacConnail et Basmajian [4].

De ce fait, l'empreinte plantaire a une forme particulière avec deux larges zones talonnière et métatarsophalangienne d'appui et un déroulé dans le pas qui se fait obligatoirement le long de la bande de roulement du bord latéral en contact sol. En avant, les cinq rayons métatarsiens s'étalent pour trouver, en « atterrissant » par leurs articulations métatarsophalangiennes, un appui au sol. Mais leur longueur est inégale décrivant ainsi une ligne de contact courbe que De Doncker et Kowalski [5] ont qualifiée très justement de charnière courbe. Celle-ci permet de façon originale des poussées propulsives du pied dans toutes les directions. Cette inégalité de longueur est également responsable d'une fausse image d'arche antérieure de l'avant-pied décrite par certains anatomistes sur des coupes transversales. Il faut mentionner aussi la structure particulière de l'articulation métatarsophalangienne de l'hallux reposant sur deux billes osseuses sésamoïdiennes entre lesquelles se place le tendon puissant du long fléchisseur de l'hallux, responsable de l'appui de la face plantaire de ce premier orteil dans le rôle propulsif du triangle antérieur.

### Compliance variable par les systèmes tendinomusculaires

La structure hautement déformable du pied peut acquérir une raideur variable grâce au jeu des nombreux tendons qui passent en pont sur la jonction suropodale justifiant pleinement tous les bracelets fibreux qui les maintiennent au contact des structures osseuses : rétinaculum supérieur et inférieur des muscles extenseurs, rétinaculum fibulaire supérieur et inférieur, rétinaculum des muscles fléchisseurs. Ces tendons assurent donc un amortissement viscoélastique des sollicitations mécaniques et un serrage variable des systèmes articulaires. Deux dispositifs méritent une attention particulière [6].

#### Lame tendineuse tricipitoplantaire

Le muscle triceps sural est le muscle de la montée d'une rampe ou d'un escalier grâce à une action de flexion plan-

taire puissante. Il se fixe sur la partie postérieure du calcaneus, mais une dissection attentive montre la continuité de son tendon avec une structure plantaire improprement dénommée aponévrose plantaire (Fig. 7). Il s'agit en réalité d'une lame tendineuse très résistante qui fait suite au tendon tricipital et se prolonge vers la face plantaire des orteils en recouvrant le muscle court fléchisseur des orteils. Cette lame exerce une protection mécanique de la plante et elle permet la fixation solide de la peau plantaire. En effet, la peau plantaire comme la peau palmaire a besoin de se fixer solidement au sous-sol pour éviter de glisser dangereusement vers l'avant ou vers l'arrière.

#### Raidisseurs musculaires des bords médial et latéral du pied

Vus sur des coupes coronale et sagittale, les muscles intrinsèques de la plante du pied se présentent comme des corps musculaires disposés en trois colonnes dont l'importance fonctionnelle dépasse leur action présumée sur les orteils correspondants. Sans entrer dans la perspective délirante de la disparition future du cinquième orteil eu égard à sa petitesse, on doit être frappé par la discordance de corps charnus volumineux pour de faibles mouvements des orteils correspondants. Les muscles abducteurs de l'hallux et du cinquième orteil (par rapport à l'axe physiologique du pied représenté par le deuxième orteil sur lequel se fixent deux muscles interosseux dorsaux) n'ont qu'une action limitée sur le mouvement latéral de ces orteils. En revanche, ils sont placés le long des bords médial et latéral du pied et ils jouent le rôle important de raidisseurs mécaniques. Cela est surtout valable pour le muscle abducteur du cinquième orteil qui raidit la partie latérale de la bande de roulement plantaire en contact avec le sol.

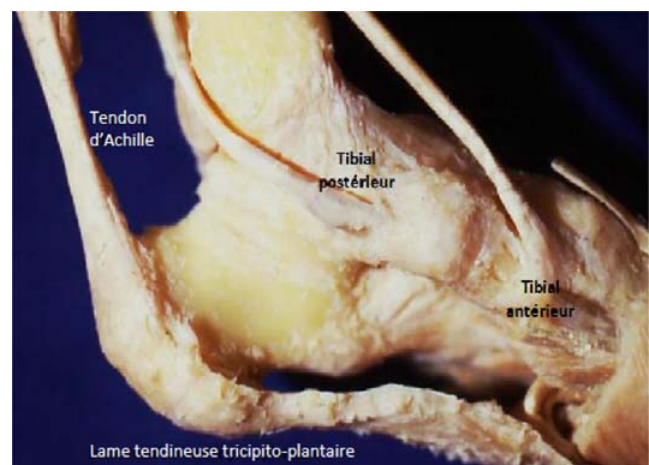


Fig. 7 Les muscles tibiaux et la lame tendineuse tricipitoplantaire

## Conclusion

Le pied est incontestablement un organe original au mode de construction particulièrement bien adapté aux problèmes mécaniques de son utilisation, et la cheville est un complexe articulaire, dont on comprend désormais l'intelligence fonctionnelle grâce aux nombreux travaux de biomécanique qui lui sont consacrés et à son imagerie de plus en plus performante. Sa riche pathologie explique la validité d'une réelle spécialisation médicale pluridisciplinaire, qui donne à cet organe qui vit le plus souvent au ras du sol ses lettres de noblesse.

## Références

1. Inman VT (1976) *The Joints of the Ankle*. Williams and Wilkins, Baltimore
2. Le Coeur P (1938) *La pince malléolaire. Physiologie normale et pathologique du péroné*. Librairie Louis-Arnette, Paris
3. Viladot A, Lorenzo JC, Salazar J, Rodriguez A (1984) The subtalar joint: embryology and morphology. *Foot Ankle* 5:54–66
4. MacConnail M, Basmajian J (1969) *Muscles and movements. A basis for human kinesiology*. Williams and Wilkins
5. De Doncker E, Kowalski C (1979) *Cinésiologie et rééducation du pied*. Masson, Paris
6. Rabischong P (2011) *Anatomie compréhensive du pied dans la locomotion. Le Pied*. Sauramps médical, Montpellier/Paris