



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-theses-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>

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement
Dans le cadre du troisième cycle de médecine spécialisée

par

Guillaume LUX

le lundi 18 octobre 2010

**Complexe articulaire sous-talien :
aspects normaux et pathologiques, intérêt de l'imagerie dynamique**

Examineurs de la thèse :

Monsieur le Professeur	A. BLUM		Président
Monsieur le Professeur	D. MAINARD	}	Juges
Monsieur le Professeur	D. LOEUILLE		
Monsieur le Docteur	A. PEUTOT		

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY 1

FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY

Président de l'Université : Professeur Jean-Pierre FINANCE

Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Henry COUDANE

Vice Doyen Mission « sillon lorrain » : Professeur Annick BARBAUD

Vice Doyen Mission « Campus » : Professeur Marie-Christine BÉNÉ

Vice Doyen Mission « Finances » : Professeur Marc BRAUN

Vice Doyen Mission « Recherche » : Professeur Jean-Louis GUÉANT

Assesseurs :

- Pédagogie :
- 1^{er} Cycle :
- « Première année commune aux études de santé (PACES) et
universitarisation études para-médicales »
- 2^{ème} Cycle :
- 3^{ème} Cycle :
 - « *DES Spécialités Médicales, Chirurgicales et Biologiques* »
 - « *DES Spécialité Médecine Générale* »
- Filières professionnalisées :
- Formation Continue :
- Commission de Prospective :
- Recherche :
- DPC :

Professeur Karine ANGIOÏ-DUPREZ

Professeur Bernard FOLIGUET

M. Christophe NÉMOS

Professeur Marc DEBOUVERIE

Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI

Professeur Francis RAPHAËL

M. Walter BLONDEL

Professeur Hervé VESPIGNANI

Professeur Pierre-Edouard BOLLAERT

Professeur Didier MAINARD

Professeur Jean-Dominique DE KORWIN

DOYENS HONORAIRES

Professeur Adrien DUPREZ – Professeur Jean-Bernard DUREUX

Professeur Jacques ROLAND – Professeur Patrick NETTER

=====

PROFESSEURS HONORAIRES

Pierre ALEXANDRE – Jean-Marie ANDRE - Daniel ANTHOINE - Alain BERTRAND - Pierre BEY - Jean BEUREY
Jacques BORRELLY - Michel BOULANGE - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel BURNEL - Claude CHARDOT
Jean-Pierre CRANCE - Gérard DEBRY - Jean-Pierre DELAGOUTTE - Emile de LAVERGNE - Jean-Pierre DESCHAMPS
Michel DUC - Jean DUHEILLE - Adrien DUPREZ - Jean-Bernard DUREUX - Gabriel FAIVRE – Gérard FIEVE - Jean FLOQUET
Robert FRISCH - Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER - Hubert GERARD - Jean-Marie GILGENKRANTZ
Simone GILGENKRANTZ - Oliéro GUERCI - Pierre HARTEMANN - Claude HURIET – Christian JANOT - Jacques LACOSTE
Henri LAMBERT - Pierre LANDES - Alain LARCAN - Marie-Claire LAXENAIRE - Michel LAXENAIRE - Jacques LECLERE
Pierre LEDERLIN - Bernard LEGRAS - Michel MANCIAUX - Jean-Pierre MALLIÉ - Pierre MATHIEU
Denise MONERET-VAUTRIN - Pierre NABET - Jean-Pierre NICOLAS - Pierre PAYSANT - Francis PENIN - Gilbert PERCEBOIS
Claude PERRIN - Guy PETIET - Luc PICARD - Michel PIERSON - Jean-Marie POLU – Jacques POUREL - Jean PREVOT
Antoine RASPILLER - Michel RENARD - Jacques ROLAND - René-Jean ROYER - Paul SADOUL - Daniel SCHMITT
Jean SOMMELET - Danièle SOMMELET - Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Augusta TREHEUX - Hubert UFFHOLTZ
Gérard VAILLANT – Paul VERT - Colette VIDAILHET - Michel VIDAILHET - Michel WAYOFF - Michel WEBER

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (Anatomie)

Professeur Gilles GROSDIDIER

Professeur Pierre LASCOMBES – Professeur Marc BRAUN

2^{ème} sous-section : (Cytologie et histologie)

Professeur Bernard FOLIGUET

3^{ème} sous-section : (Anatomie et cytologie pathologiques)

Professeur François PLENAT – Professeur Jean-Michel VIGNAUD

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{ère} sous-section : (*Biophysique et médecine nucléaire*)

Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER

2^{ème} sous-section : (*Radiologie et imagerie médicale*)

Professeur Denis REGENT – Professeur Michel CLAUDON

Professeur Serge BRACARD – Professeur Alain BLUM – Professeur Jacques FELBLINGER

Professeur René ANXIONNAT

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Professeur Jean-Louis GUÉANT – Professeur Jean-Luc OLIVIER – Professeur Bernard NAMOUR

2^{ème} sous-section : (*Physiologie*)

Professeur François MARCHAL – Professeur Bruno CHENUÉL – Professeur Christian BEYAERT

3^{ème} sous-section : (*Biologie Cellulaire*)

Professeur Ali DALLOUL

4^{ème} sous-section : (*Nutrition*)

Professeur Olivier ZIEGLER – Professeur Didier QUILLIOT

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (*Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière*)

Professeur Alain LE FAOU - Professeur Alain LOZNIÉWSKI

3^{ème} sous-section : (*Maladies infectieuses ; maladies tropicales*)

Professeur Thierry MAY – Professeur Christian RABAUD

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (*Épidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Professeur Philippe HARTEMANN – Professeur Serge BRIANÇON - Professeur Francis GUILLEMIN

Professeur Denis ZMIROU-NAVIER – Professeur François ALLA

2^{ème} sous-section : (*Médecine et santé au travail*)

Professeur Christophe PARIS

3^{ème} sous-section : (*Médecine légale et droit de la santé*)

Professeur Henry COUDANE

4^{ème} sous-section : (*Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication*)

Professeur François KOHLER – Professeur Éliane ALBUISSON

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Professeur Thomas LECOMPTE – Professeur Pierre BORDIGONI

Professeur Jean-François STOLTZ – Professeur Pierre FEUGIER

2^{ème} sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie*)

Professeur François GUILLEMIN – Professeur Thierry CONROY

Professeur Didier PEIFFERT – Professeur Frédéric MARCHAL

3^{ème} sous-section : (*Immunologie*)

Professeur Gilbert FAURE – Professeur Marie-Christine BENE

4^{ème} sous-section : (*Génétique*)

Professeur Philippe JONVEAUX – Professeur Bruno LEHEUP

**48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE,
PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

1^{ère} sous-section : (*Anesthésiologie et réanimation chirurgicale ; médecine d'urgence*)

Professeur Claude MEISTELMAN – Professeur Hervé BOUAZIZ

Professeur Paul-Michel MERTES – Professeur Gérard AUDIBERT

2^{ème} sous-section : (*Réanimation médicale ; médecine d'urgence*)

Professeur Alain GERARD - Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT

Professeur Bruno LÉVY – Professeur Sébastien GIBOT

3^{ème} sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie*)

Professeur Patrick NETTER – Professeur Pierre GILLET

4^{ème} sous-section : (*Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie*)

Professeur François PAILLE – Professeur Gérard GAY – Professeur Faiez ZANNAD

49^{ème} Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP et RÉÉDUCATION

1^{ère} sous-section : (Neurologie)

Professeur Gérard BARROCHE – Professeur Hervé VESPIGNANI

Professeur Xavier DUCROCQ – Professeur Marc DEBOUVERIE

2^{ème} sous-section : (Neurochirurgie)

Professeur Jean-Claude MARCHAL – Professeur Jean AUQUE

Professeur Thierry CIVIT

3^{ème} sous-section : (Psychiatrie d'adultes ; addictologie)

Professeur Jean-Pierre KAHN – Professeur Raymund SCHWAN

4^{ème} sous-section : (Pédopsychiatrie ; addictologie)

Professeur Daniel SIBERTIN-BLANC – Professeur Bernard KABUTH

5^{ème} sous-section : (Médecine physique et de réadaptation)

Professeur Jean PAYSANT

50^{ème} Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE et CHIRURGIE PLASTIQUE

1^{ère} sous-section : (Rhumatologie)

Professeur Isabelle CHARY-VALCKENAERE – Professeur Damien LOEUILLE

2^{ème} sous-section : (Chirurgie orthopédique et traumatologique)

Professeur Daniel MOLE - Professeur Didier MAINARD

Professeur François SIRVEAUX – Professeur Laurent GALOIS

3^{ème} sous-section : (Dermato-vénéréologie)

Professeur Jean-Luc SCHMUTZ – Professeur Annick BARBAUD

4^{ème} sous-section : (Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)

Professeur François DAP – Professeur Gilles DAUTEL

51^{ème} Section : PATHOLOGIE CARDIORESPIRATOIRE et VASCULAIRE

1^{ère} sous-section : (Pneumologie ; addictologie)

Professeur Yves MARTINET – Professeur Jean-François CHABOT – Professeur Ari CHAOUAT

2^{ème} sous-section : (Cardiologie)

Professeur Etienne ALIOT – Professeur Yves JUILLIERE – Professeur Nicolas SADOUL

Professeur Christian de CHILLOU

3^{ème} sous-section : (Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)

Professeur Jean-Pierre VILLEMOT - Professeur Jean-Pierre CARTEAUX – Professeur Loïc MACÉ

4^{ème} sous-section : (Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)

Professeur Denis WAHL – Professeur Sergueï MALIKOV

52^{ème} Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF et URINAIRE

1^{ère} sous-section : (Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)

Professeur Marc-André BIGARD - Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI – Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET

2^{ème} sous-section : (Chirurgie digestive)

3^{ème} sous-section : (Néphrologie)

Professeur Michèle KESSLER – Professeur Dominique HESTIN – Professeur Luc FRIMAT

4^{ème} sous-section : (Urologie)

Professeur Philippe MANGIN – Professeur Jacques HUBERT – Professeur Pascal ESCHWEGE

53^{ème} Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE et CHIRURGIE GÉNÉRALE

1^{ère} sous-section : (Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie)

Professeur Jean-Dominique DE KORWIN – Professeur Pierre KAMINSKY

Professeur Athanase BENETOS - Professeur Gisèle KANNY

2^{ème} sous-section : (Chirurgie générale)

Professeur Patrick BOISSEL – Professeur Laurent BRESLER

Professeur Laurent BRUNAUD – Professeur Ahmet AYAV

54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

1^{ère} sous-section : (Pédiatrie)

Professeur Pierre MONIN - Professeur Jean-Michel HASCOET - Professeur Pascal CHASTAGNER
Professeur François FEILLET - Professeur Cyril SCHWEITZER

2^{ème} sous-section : (Chirurgie infantile)

Professeur Michel SCHMITT – Professeur Pierre JOURNEAU – Professeur Jean-Louis LEMELLE

3^{ème} sous-section : (Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)

Professeur Michel SCHWEITZER – Professeur Jean-Louis BOUTROY

Professeur Philippe JUDLIN – Professeur Patricia BARBARINO

4^{ème} sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale)

Professeur Georges WERYHA – Professeur Marc KLEIN – Professeur Bruno GUERCI

55^{ème} Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{ère} sous-section : (Oto-rhino-laryngologie)

Professeur Claude SIMON – Professeur Roger JANKOWSKI

2^{ème} sous-section : (Ophtalmologie)

Professeur Jean-Luc GEORGE – Professeur Jean-Paul BERROD – Professeur Karine ANGIOI-DUPREZ

3^{ème} sous-section : (Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)

Professeur Jean-François CHASSAGNE – Professeur Etienne SIMON

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

64^{ème} Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeur Sandrine BOSCHI-MULLER

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (Anatomie)

Docteur Bruno GRIGNON – Docteur Thierry HAUMONT

2^{ème} sous-section : (Cytologie et histologie)

Docteur Edouard BARRAT - Docteur Françoise TOUATI – Docteur Chantal KOHLER

3^{ème} sous-section : (Anatomie et cytologie pathologiques)

Docteur Béatrice MARIE

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{ère} sous-section : (Biophysique et médecine nucléaire)

Docteur Marie-Hélène LAURENS – Docteur Jean-Claude MAYER

Docteur Pierre THOUVENOT – Docteur Jean-Marie ESCANYE – Docteur Amar NAOUN

2^{ème} sous-section : (Radiologie et imagerie médicale)

Docteur Damien MANDRY

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (Biochimie et biologie moléculaire)

Docteur Jean STRACZEK – Docteur Sophie FREMONT

Docteur Isabelle GASTIN – Docteur Marc MERTEN – Docteur Catherine MALAPLATE-ARMAND

Docteur Shyue-Fang BATTAGLIA

2^{ème} sous-section : (Physiologie)

Docteur Nicole LEMAU de TALANCE

3^{ème} sous-section : (Biologie Cellulaire)

Docteur Véronique DECOT-MAILLERET

4^{ème} sous-section : (Nutrition)

Docteur Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (*Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière*)

Docteur Francine MORY – Docteur Véronique VENARD

2^{ème} sous-section : (*Parasitologie et mycologie*)

Docteur Nelly CONTET-AUDONNEAU – Madame Marie MACHOUART

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (*Epidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE – Docteur Frédérique CLAUDOT

3^{ème} sous-section (*Médecine légale et droit de la santé*)

Docteur Laurent MARTRILLE

4^{ère} sous-section : (*Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication*)

Docteur Pierre GILLOIS – Docteur Nicolas JAY

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Docteur François SCHOONEMAN

2^{ème} sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie : cancérologie (type mixte : biologique)*)

Docteur Lina BOLOTINE

3^{ème} sous-section : (*Immunologie*)

Docteur Marcelo DE CARVALHO BITTENCOURT

4^{ème} sous-section : (*Génétique*)

Docteur Christophe PHILIPPE – Docteur Céline BONNET

**48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE,
PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

3^{ème} sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique*)

Docteur Françoise LAPICQUE – Docteur Marie-José ROYER-MORROT – Docteur Nicolas GAMBIER

4^{ème} sous-section : (*Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie*)

Docteur Patrick ROSSIGNOL

50^{ème} Section : RHUMATOLOGIE

1^{ère} sous-section : (*Rhumatologie*)

Docteur Anne-Christine RAT

**54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE,
ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION**

5^{ème} sous-section : (*Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale*)

Docteur Jean-Louis CORDONNIER

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5^{ème} section : SCIENCE ÉCONOMIE GÉNÉRALE

Monsieur Vincent LHUILLIER

40^{ème} section : SCIENCES DU MÉDICAMENT

Monsieur Jean-François COLLIN

60^{ème} section : MÉCANIQUE, GÉNIE MÉCANIQUE ET GÉNIE CIVILE

Monsieur Alain DURAND

61^{ème} section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Monsieur Jean REBSTOCK – Monsieur Walter BLONDEL

64^{ème} section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE
Mademoiselle Marie-Claire LANHERS

65^{ème} section : BIOLOGIE CELLULAIRE
Mademoiselle Françoise DREYFUSS – Monsieur Jean-Louis GELLY
Madame Ketsia HESS – Monsieur Hervé MEMBRE – Monsieur Christophe NEMOS
Madame Natalia DE ISLA – Monsieur Pierre TANKOSIC

66^{ème} section : PHYSIOLOGIE
Monsieur Nguyen TRAN

67^{ème} section : BIOLOGIE DES POPULATIONS ET ÉCOLOGIE
Madame Nadine MUSSE

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS

Médecine Générale

Professeur associé Alain AUBREGE
Professeur associé Francis RAPHAEL
Docteur Jean-Marc BOIVIN
Docteur Jean-Louis ADAM
Docteur Elisabeth STEYER

=====

PROFESSEURS ÉMÉRITES

Professeur Daniel ANTHOINE - Professeur Pierre BEY - Professeur Michel BOULANGE
Professeur Jean-Pierre CRANCE - Professeur Jean FLOQUET - Professeur Jean-Marie GILGENKRANTZ
Professeur Simone GILGENKRANTZ – Professeur Henri LAMBERT - Professeur Alain LARCAN
Professeur Denise MONERET-VAUTRIN - Professeur Jean-Pierre NICOLAS – - Professeur Guy PETIET
Professeur Luc PICARD - Professeur Michel PIERSON - Professeur Jacques POUREL
Professeur Jacques ROLAND - - Professeur Michel STRICKER - Professeur Gilbert THIBAUT
Professeur Hubert UFFHOLTZ - Professeur Paul VERT - Professeur Michel VIDAILHET

=====

DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Norman SHUMWAY (1972)
Université de Stanford, Californie (U.S.A)
Professeur Paul MICHIELSEN (1979)
Université Catholique, Louvain (Belgique)
Professeur Charles A. BERRY (1982)
Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)
Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)
Brown University, Providence (U.S.A)
Professeur Mamish Nisbet MUNRO (1982)
Massachusetts Institute of Technology (U.S.A)
Professeur Mildred T. STAHLMAN (1982)
Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)
Harry J. BUNCKE (1989)
Université de Californie, San Francisco (U.S.A)
Professeur Daniel G. BICHET (2001)
Université de Montréal (Canada)
Professeur Brian BURCHELL (2007)
Université de Dundee (Royaume Uni)

Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)
Institut d'Anatomie de Würzburg (R.F.A)
Professeur Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996)
Université de Pennsylvanie (U.S.A)
Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)
Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)
Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)
Université d'Helsinki (FINLANDE)
Professeur James STEICHEN (1997)
Université d'Indianapolis (U.S.A)
Professeur Duong Quang TRUNG (1997)
Centre Universitaire de Formation et de Perfectionnement des Professionnels de Santé d'Hô Chi Minh-Ville (VIÊTNAM)

Professeur Marc LEVENSTON (2005)
Institute of Technology, Atlanta (USA)

À notre Maître et Président de thèse,

Monsieur le Professeur Alain BLUM

Professeur de Radiologie et Imagerie Médicale

C'est un grand honneur pour nous que vous présidiez et jugiez cette thèse.

Nous avons eu le privilège et la satisfaction de travailler et d'apprendre à vos côtés pendant nos années d'internat.

La qualité de votre travail, votre rigueur, ainsi que l'étendue de vos connaissances sont pour nous autant de sources d'admiration.

Nous vous remercions de nous avoir permis de réaliser ce travail.

Nous vous prions de bien vouloir recevoir le témoignage de notre immense respect, ainsi que de notre gratitude pour la confiance que vous nous avez témoignée.

À notre Maître et Juge

Monsieur le Professeur Didier MAINARD

Professeur de Chirurgie orthopédique et traumatologique

Vous avez accepté avec enthousiasme de juger cette thèse, et avez remis en cause votre emploi du temps pour participer à ce jury, nous vous en sommes infiniment reconnaissant.

Nous avons eu l'honneur de bénéficier de votre enseignement dans votre service lors de notre externat, et gardons un agréable souvenir de l'apprentissage à vos côtés au bloc opératoire et en réunion de service.

Veillez trouver ici l'expression de notre immense gratitude, ainsi que de notre profond respect.

À notre Maître et Juge

Monsieur le Professeur Damien LOEUILLE

Professeur de Rhumatologie

Nous sommes très sensible à l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger notre travail.

Nous avons eu le plaisir de partager vos connaissances lors de réunions pluri-disciplinaires.

Soyez assuré de notre sincère reconnaissance et de notre infini respect.

À notre Maître et Juge

Monsieur le Docteur Alain PEUTOT

Docteur en Radiologie et Imagerie Médicale

Vous nous faites le plaisir et l'honneur d'accepter de juger notre thèse.

Nous avons eu la joie de travailler à vos côtés et garderons un agréable souvenir de votre attrait pour l'imagerie ostéo-articulaire ainsi que de votre bonne humeur.

Veuillez trouver dans ces lignes nos remerciements les plus vifs et l'assurance de notre profond respect.

À Martin

À Sophie, pour son indéfectible soutien. Merci d'illuminer mon quotidien.

À toute ma famille, particulièrement mes parents qui m'ont guidé et conforté dans mes choix, et à mes frères.

Merci à tous mes co-internes successifs et tous ceux que j'ai appris à connaître au travail et qui sont devenus plus que des collègues.

À mes co-détenus du Bip 221 Cristina, Alexandra, Ghislaine, Mirella et Mathilde.

À mes co-radiologues de promo Lora, Benoît, Guillaume et Nikias qui m'a supporté cette fin de semestre ("what's wrong with the thesis?").

Pensée spéciale à mes amis du rayon X, Franzu, Alexis, Nik, Caro, Gregouze, Vince et tous les autres; au trio infernal PAG Jul et Oliv'; aux cardiologues aussi Jean-Marc t'es parfait Jérém t'es géééniaaaaal, Céline et l'sau-
cisson, à Camille l'anapath du coin, aux médecins du sport, plus malades des articulations que leurs patients
Jeannot et Bat et leurs douces Caro et Emilie, aux dentistes aussi Ludopolo, Jérém, Neillou, Tof, Christelle, Raf,
Nooold.. Aux amis de la masse et de la prothèse Jérôme Thierry et Damien.

À mes co-internes qui ont grandi Domitille, Anne-Laure, Anne-Sophie, Assia, Sophie, Mathias, Aurélia, Clément, Hélène, Antoine. Pour les braaazzzzziuuuu aussi Marcio et Matheus.

À Abdel qui m'a donné le goût de la radiologie sur ses genoux à la console de Brabois.

Merci à tous les chefs qui ont eu la volonté et la patience de m'enseigner leur spécialité, spécialement Emmanuelle, Virginie, Sylvain, JPZ, David.

Merci à tous les manips et infirmières qui m'ont supporté, aidé, entraîné...

Spécial Grand Merci aux guilux 1 à 14 qui ont eu la gentillesse de subir quelques rayons X pour me permettre de finaliser ma thèse; dans l'ordre d'apparition : Mireille, Sandrine, Hugues, Muriel, Brigitte, Laurence, Florian, Pauline, Géraldine, Marie, Nikias, Fanny, Guy, Stéphane.

Au souvenir de nos soirées DU, dédicace au gentil organisateur de nos virées strasbourgeoises, Clém, avec souvenirs émus d'une certaine soirée dans un caveau.

À mes potes de promo. A Jojo, Toof, Antoine.

Pour tous les membres actifs du \$O\$ R 54.

Pour Tof, Serge, Constant, Rood, et au souvenir des coinches et sur coinches (et Tholy team, qui n'a pas vu mon...)

À mes potes para que je ne vois plus trop mais à qui je pense souvent, ross'(et aux rêves de chute libre qui me prennent souvent la nuit) Vince, Pitou, Alex, Fab, Manu, Julie, Stephanie. Et à Coocooz aussi!

À la Pietra, au figatellu et à la mitre. Et au picon aussi.

Et à tout ce qui est bon, vivant, loin de l'hôpital, dans la nature, la montagne, dans un canyon, sur une roche, une piste de ski, dans la peuf, dans les airs ou en terrasse sur un vélo dans les bois à 4000 m sur une montagne ou dans un avion en short en fut ou en combi,

Bref; à la vie la vraie et à tous ceux qui font qu'elle est belle.

SEERMENT

"Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque".

COMPLEXE ARTICULAIRE SOUS-TALIEN :

ASPECTS NORMAUX ET PATHOLOGIQUES, INTÉRÊT DE L'IMAGERIE DYNAMIQUE

INTRODUCTION

L'arrière pied est une région complexe du point de vue anatomique et biomécanique, non seulement du fait du nombre d'articulations et de structures musculo-tendineuses et ligamentaires, mais également du fait de sa position, qui le définit comme véritable clé de voûte de la cheville et du pied. Le complexe articulaire sous-talien, et notamment l'articulation sous-talienne, jouent un rôle majeur dans les mouvements d'inversion/éversion du pied, en particulier lors de la marche. La pathologie de cette région est ainsi souvent invalidante du point de vue fonctionnel, et un diagnostic précis est requis pour une prise en charge adaptée. L'imagerie permet le plus souvent d'appréhender cette région de façon très précise, surtout grâce au développement des techniques d'imagerie en coupe : elles sont particulièrement informatives dans le bilan osseux, notamment fracturaire ou malformatif pour la tomodensitométrie, et dans le bilan ligamentaire pour l'IRM. Cependant, certaines pathologies comme l'instabilité sous-talienne sont particulièrement difficiles à affirmer formellement, tant du point de vue clinique qu'iconographique, et les techniques d'imagerie morphologique standard peuvent ne pas suffire. Grâce au développement de scanners de dernière génération, une approche dynamique précise de l'articulation sous-talienne devient possible, après avoir défini des critères de normalité, et notamment une amplitude articulaire normale. Une exploration fonctionnelle de cette région devient ainsi possible, permettant une approche moins conventionnelle de certaines pathologies.

ANATOMIE

ARTICULATION SOUS-TALIENNE

L'articulation sous-talienne est composée de deux articulations, les articulations sous-taliennes postérieure et antérieure, séparées par un espace extra-articulaire appelé sinus du tarse. Celui-ci a un trajet oblique depuis l'arrière et le dedans vers l'avant et le dehors, et contient de la graisse, des éléments capsulaires, une anastomose artérielle, des terminaisons nerveuses et cinq structures ligamentaires : les ligaments en haie et cervical, et les trois attaches du rétinaculum inférieur des extenseurs.

L'interligne articulaire postérieur est de forme rectangulaire dans sa portion postéro-médiale, ovoïde dans sa portion antéro-latérale, et son grand axe se dirige en avant, en bas, et latéralement. La surface articulaire de la face supérieure du calcaneus, appelée le thalamus, est convexe vers le haut selon son grand axe, et répond à la surface articulaire de la face inférieure du talus, concave.

L'interligne antérieur est siège de nombreuses variations de forme et de taille, avec des aspects ovoïdes, rectangulaires, piriformes ou pentagonaux. Il est en réalité formé par deux interlignes normalement distincts, antérieur et moyen, qui sont le plus souvent fusionnés. Sur le versant calcanéen, le *sustentaculum tali* supporte deux petites facettes articulaires, souvent réunies, concaves vers le haut, répondant à la facette de la partie inféro-médiale de la tête du talus [1-3].

Les éléments capsulo-ligamentaires sont multiples [4-7]:

- le ligament interosseux talo-calcaneen, ou ligament en haie de Farabeuf, constitue un des éléments les plus importants dans la stabilité de la sous-talienne. Il est composé de deux faisceaux, antérieur et postérieur, et se dirige vers l'avant et le haut selon un axe de 45°.

- le ligament fibulo-calcaneen en dehors, faisceau moyen du ligament collatéral latéral, s'insère sur la malléole latérale, pontre les deux articulations talo-crurale et sous-talienne, et se termine sur le calcaneus. En plus de la stabilisation talo-crurale, il assure un rôle primordial dans la cohésion de la sous-talienne.

- le ligament talo-calcaneen antérieur ou ligament cervical est tendu entre la face inféro-latérale du col du talus, et la face dorsale du calcaneus, à la partie médiale de l'insertion du court extenseur des orteils.

- le rétinaculum inférieur des extenseurs est un élément stabilisateur également important; en forme de Y dans le sens transversal, il s'insère latéralement dans le creux calcaneen, sur la face supérieure de la grande apophyse du calcaneus, et dans le sinus du tarse : ses insertions médiale, intermédiaire, et latérale sont

ancrées sur les parois du sinus du tarse à proximité des ligaments interosseux et cervical. Ensuite, ses fibres se dirigent en dedans, jusqu'à la partie moyenne du cou de pied, et se divisent en deux lames, supérieure et inférieure. La lame supérieure s'insère sur le bord antérieur de la malléole médiale et se dédouble pour entourer le muscle tibial antérieur. La lame inférieure s'insère sur le bord médial des os naviculaire et cunéiforme médial. [8,9].

- le ligament talo-calcanéen postérieur, inconstant, souvent très fin.

- le ligament tibio-calcanéen en dedans, faisceau moyen de la partie superficielle du ligament collatéral médial de la cheville, s'insère sur la malléole médiale, pont les articulations talo-crurale et sous-talienne également, pour se terminer sur le sustentaculum tali.

- le ligament calcanéo-naviculaire plantaire, portion inférieure du complexe du « spring ligament ». Ce dernier est composé de trois éléments ligamentaires : les ligaments calcanéo-naviculaires plantaire, supéro-médial, et médio-plantair oblique. Ils jouent un rôle important dans la stabilisation de l'arche plantaire, de façon conjointe avec le tendon tibial postérieur, le fascia et les ligaments plantaires [10].

- les ligaments talo-calcanéens latéral et médial.

- la capsule.

Du point de vue musculo-tendineux, la stabilité est assurée [11] :

- dans le plan sagittal par le muscle tibial antérieur en avant, et par le système achilléo-suro-plantair en arrière.

- dans le plan transversal par le tibial postérieur en dedans et le long fibulaire en dehors.

ARTICULATION TALO-NAVICULAIRE

L'articulation sous-talienne antérieure fait partie de l'articulation talo-calcanéo-naviculaire, également appelée « coxa pedis », constituant la partie médiale de l'articulation médio-tarsienne : les articulations sous-talienne et talo-naviculaire ont un fonctionnement interdépendant et synergique.

La surface articulaire postérieure du naviculaire a une forme creuse, sphérique qui, associée à la face supérieure du ligament calcanéo-naviculaire plantaire et aux facettes articulaires antérieures du calcanéum, forme une cavité de réception sphérique pour la tête du talus.

Elle communique avec l'articulation sous-talienne antérieure.

La congruence articulaire est assurée par [12] :

- le ligament talo-naviculaire dorsal.

- le ligament calcanéo-naviculaire plantaire ou ligament glénoïdien.

- le plan médial du ligament calcanéo-cuboïdo-naviculaire, ou ligament en Y, de Chopart, ou encore bifurqué.

ARTICULATION CALCANÉO-CUBOÏDIENNE

Elle est le second élément de l'articulation médio-tarsienne.

La face antérieure du calcanéus est convexe vers l'avant dans sa partie inférieure et moyenne, concave dans sa partie supérieure, et la surface cuboïdienne postérieure lui répond de façon inverse.

Les ligaments stabilisateurs sont [12] :

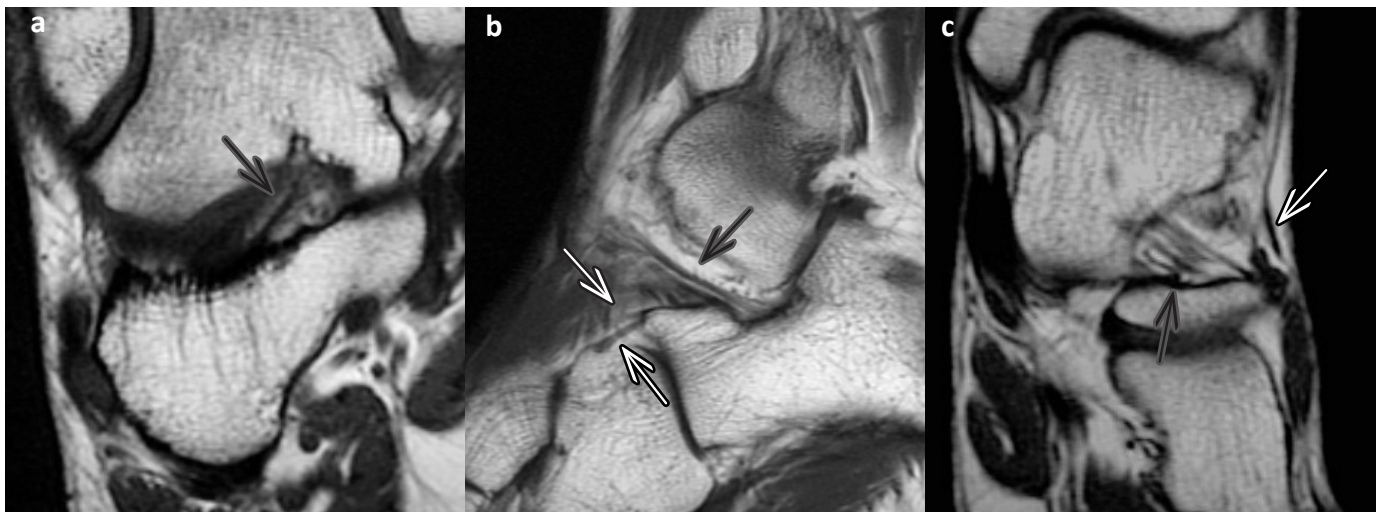
- le ligament calcanéo-cuboïdien dorso-latéral.

- le plan latéral du ligament de Chopart.

- le ligament calcanéo-cuboïdien plantaire, composé des ligaments court et long plantaire.

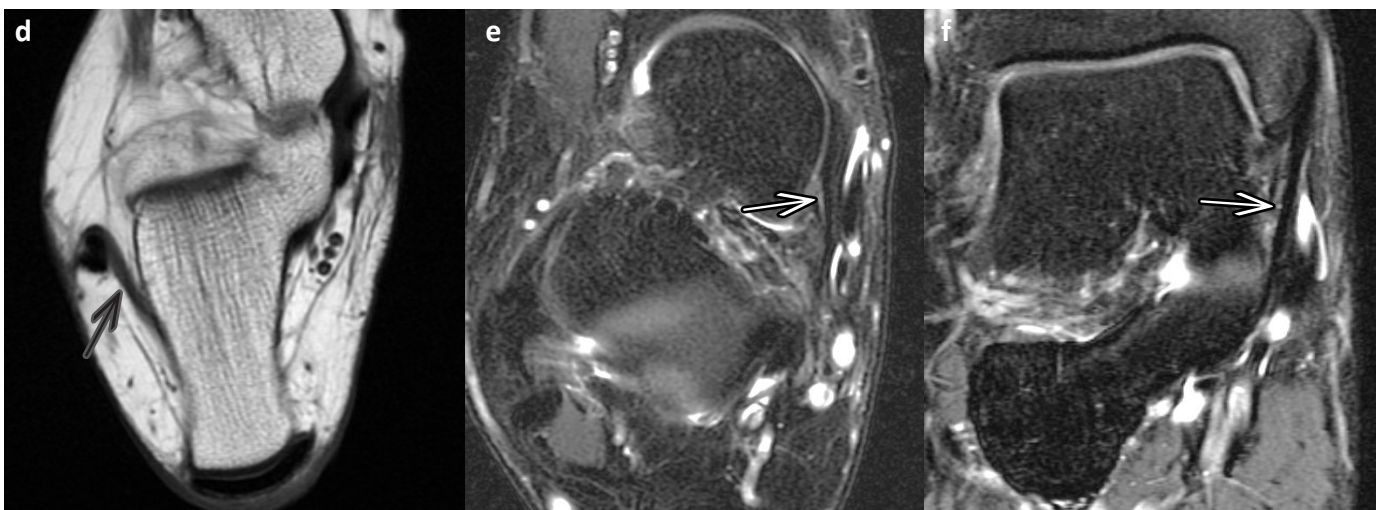
LIGAMENTS EN IRM

Les différents éléments ligamentaires sont bien explorés en IRM. Ils sont visibles sous la forme de structures longilignes en hyposignal T1 et T2, plus ou moins épaisses, bien limitées par les structures graisseuses voire liquidiennes environnantes.



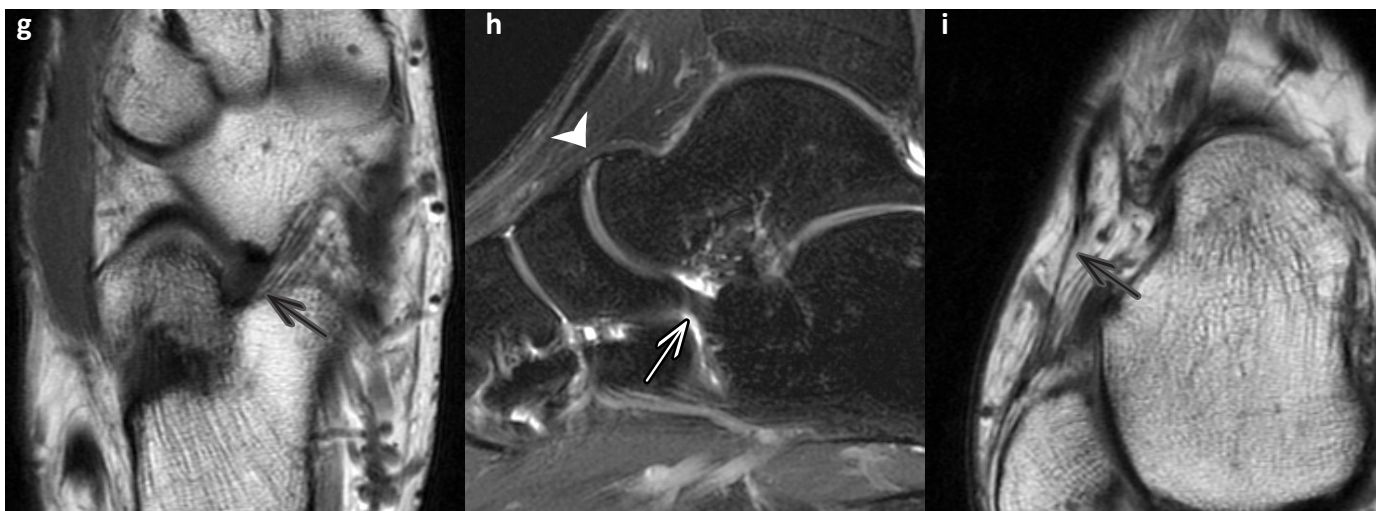
a et b : ligament interosseux talo-calcanéen (flèches noires) sur des séquences frontale et sagittale T1, bien limité par les structures graisseuses du sinus du tarse, avec ses deux faisceaux antérieur et postérieur bien visibles. Ligament bifurqué (Chopart), avec ses faisceaux calcanéo-cuboïdien et calcanéo-naviculaire (flèches blanches).

c : ligament cervical (flèche noire) et rétinaculum inférieur des extenseurs avec ses attaches vers le sinus du tarse (flèche blanche) en séquence frontale T1.



d : ligament fibulo-calcanéen, faisceau moyen du ligament collatéral latéral, à la face profonde des tendons fibulaires.

e et f : ligament tibio-calcanéen, faisceau moyen de la partie superficielle du ligament collatéral médial, tendu entre la malléole médiale et le sustentaculum tali, sur séquences axiale et frontale T2 avec saturation de la graisse.



g et h : ligament calcanéo-naviculaire plantaire (flèches), qui fait partie du complexe du «spring ligament», et ligament talo-naviculaire dorsal (tête de flèche), sur des séquences axiale T1 et sagittale T2 après saturation de la graisse.

i : rétinaculum inférieur des extenseurs dans sa partie latérale en coupe axiale T1

Figure 1 : ligaments en IRM

COMPLEXE ARTICULAIRE SOUS-TALIEN

De ces différentes données anatomiques ressort le concept de complexe articulaire sous-talien [13], formé par d'une part le bloc calcanéo-pédieux et d'autre part l'unité talo-tibio-fibulaire :

Le bloc calcanéo-pédieux est formé du calcaneus, du médio- et de l'avant-pied. Sa cohésion est assurée par le ligament en Y de Chopart, le ligament calcanéo-naviculaire plantaire, et les ligaments calcanéo-cuboïdiens.

L'unité talo-tibio-fibulaire dont la stabilité est assurée par les différentes structures ligamentaires collatérales de la cheville.

La biomécanique et l'interrelation de ces deux entités l'une par rapport à l'autre est complexe et a été largement étudiée.

BIOMÉCANIQUE

Le complexe sous-talien permet trois types de mouvements [11,13-15] :

- autour de l'axe longitudinal du pied, en varus et valgus.
- autour de l'axe transversal du pied, en flexion dorsal (ou talus) et flexion plantaire (ou équin).
- autour de l'axe vertical du pied, en abduction (ou rotation latérale) et adduction (ou rotation médiale).

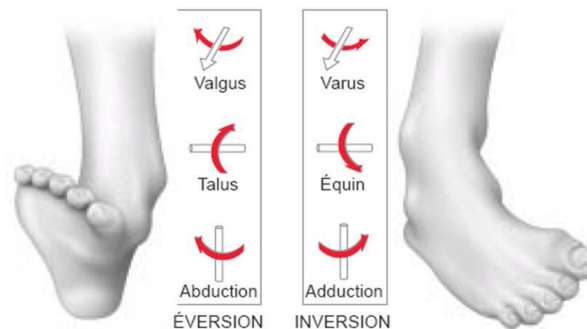
Le calcaneus, sous le talus supposé fixe, effectue des mouvements de rotation dans les 3 plans de l'espace et de translation. Ces différents mouvements ne surviennent pas isolément, et leur combinaison donne :

L'inversion, qui associe varus, équin et adduction (amplitude de 25 à 30°). La pointe du pied est portée en bas et en dedans, et la grosse tubérosité calcanéenne est portée en haut et en dehors. Les muscles inverseurs sont le tibial postérieur et le triceps sural. L'inversion est limitée en bout de course par la mise en tension du ligament interosseux, du ligament cervical, du ligament calcanéo-fibulaire, et du retinaculum inférieur des extenseurs.

L'éversion, qui associe valgus, talus et abduction (amplitude de 5 à 10°). La pointe du pied est alors portée en haut et en dehors, et vice versa pour la grosse tubérosité calcanéenne. Les muscles éverseurs sont le court et le long fibulaires et l'extenseur commun des orteils. L'éversion est quant à elle limitée par la mise en tension du ligament tibio-calcaneen, du ligament glénoïdien, du ligament en haie, du ligament talo-naviculaire supérieur puis du ligament de Chopart.

Figure 2 (d'après [10]) :

Mouvements simples et combinés de l'arrière pied



EN DÉCHARGE

La dynamique de l'articulation sous-talienne en décharge est relativement simple, avec, comme l'avait décrit Farabeuf, un calcaneus qui « vire, tangue, et roule sous le talus ».

Les mouvements des articulations sous-taliennes antérieure et postérieure se font autour d'un axe commun de rotation, passant par le sinus du tarse, et ainsi, tout mouvement de l'une d'entre elles génère automatiquement un mouvement proportionnel et opposé de l'autre, selon un double cône inversé. Le modèle classique décrit un axe de rotation unique, dit axe de Henke : celui-ci est oblique en haut et en avant de 42°, et médialement de 16° à 23° selon les auteurs, avec des variations interindividuelles importantes [16-18].

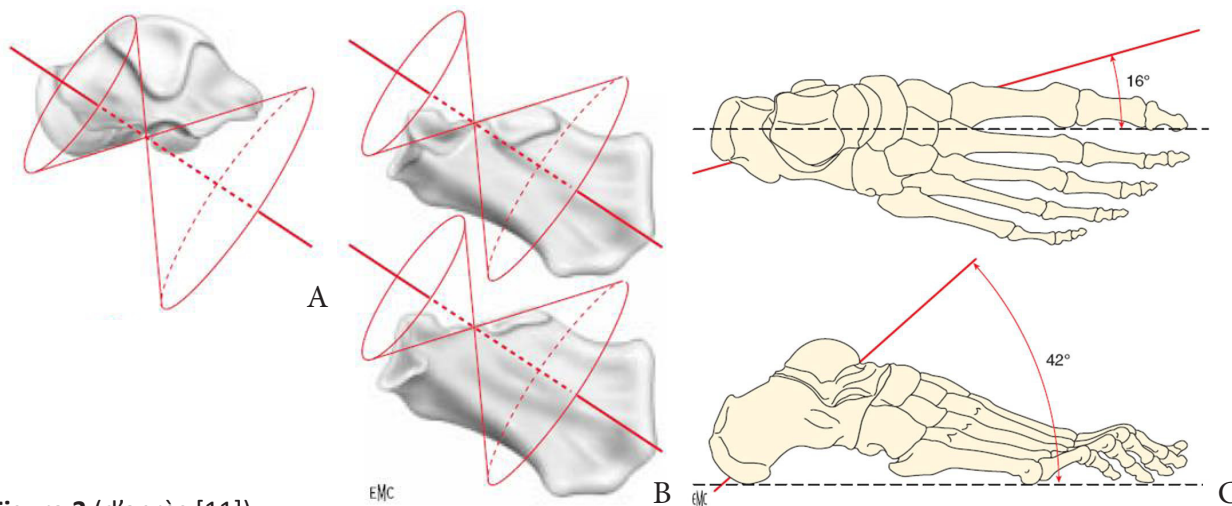


Figure 3 (d'après [11]) :

A : schématisation des 2 cônes de révolution joints par leurs sommets parfaitement adaptés à la morphologie du talus.

B : calcaneus en éversion puis inversion de façon adaptée au double cône talien.

C : schématisation de l'axe de rotation de la sous-talienne ou axe de Henke.

EN CHARGE

Lors de la marche, et notamment lors de la phase d'appui, la dynamique de l'articulation sous-talienne est différente et son analyse plus complexe.

Le modèle d'Inman [19] permet de comprendre les mouvements du complexe sous-talien chez un sujet en charge. Il s'agit de deux pièces de bois attachées l'une à l'autre à angle droit au moyen d'une charnière dont l'axe est incliné à 45° : la rotation axiale d'une des planchettes entraîne la rotation de l'autre (Figure 4). Si l'on assimile l'une des planchettes au pied et l'autre au squelette jambier on comprend ainsi comment le déplacement du pied en varus entraîne automatiquement un mouvement de rotation axiale de la jambe en rotation latérale, et en rotation médiale si le pied se positionne en valgus.



Figure 4 : modèle d'Inman

Ces phénomènes sont essentiels dans la marche où les phénomènes rotationnels axiaux des membres inférieurs alternativement en rotation médiale et latérale sont constants, et l'adaptation du pied au sol n'est possible que grâce au complexe articulaire sous-talien permettant au bloc calcanéopédieux de transformer selon son axe longitudinal les mouvements de rotation axiale sus-jacente.

PENDANT LA MARCHÉ

Au moment du contact du talon avec le sol, le calcaneus est en légère inversion, puis subit une rapide éversion lors de la mise en charge de la sous-talienne. En proximal survient une rotation médiale de l'unité talo-tibio-fibulaire, et en distal, la divergence talo-calcaneenne permet un déverrouillage de la médio-tarsienne, laissant un avant-pied souple pour l'adaptation au sol.

Tout au long de la phase d'appui plantaire, une rotation latérale progressive de jambe se produit, générant une inversion progressive du calcaneus.

Pendant la phase oscillante, la sous-talienne est en éversion, puis cette phase se termine par l'appui talonnier en légère inversion [11,20].

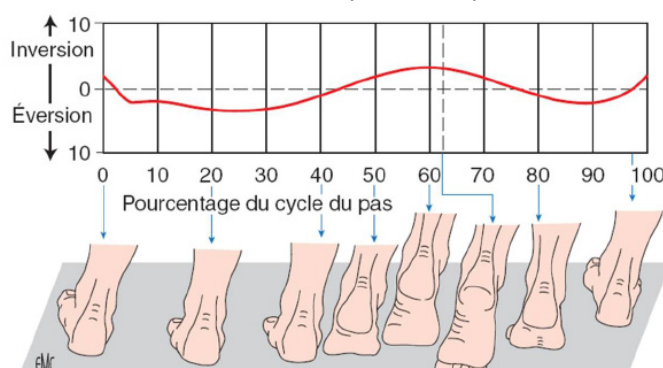


Figure 5 (d'après [15]) :

Inversion et éversion de l'articulation sous-talienne au cours de la marche

PATHOLOGIE DU COMPLEXE SOUS-TALIEN

Synostose

La synostose est une fusion anormale entre deux ou plus de deux structures osseuses, intéressant le plus souvent les os de l'arrière pied et du tarse. Le tissu anormal peut être osseux, cartilagineux, ou fibreux, et on parle alors respectivement de synostose, synchondrose ou synfibrose. Les anglo-saxons les dénomment « coalition », ce qui permet de ne pas faire la confusion entre la pathologie globale et le caractère ossifié ou non de la fusion.

C'est une pathologie relativement courante, puisque sa prévalence est estimée à 1% de la population [21, 22]. Ce chiffre tend à être sous-estimé, puisque les séries autopsiques l'estiment plutôt entre 6 et 9% [23,24]. Il semble exister une discrète prédominance masculine, et l'atteinte est bilatérale dans 50% des cas [25].

Cette anomalie peut être isolée, ou associée à d'autres malformations. Son étiologie est mal connue, mais les hypothèses vont vers une mauvaise segmentation et différenciation du mésenchyme primitif embryonnaire [26,27].

Les plus fréquemment rencontrées sont les synostoses talo-calcanéennes et calcanéo-naviculaires. Les synostoses talo-naviculaires, calcanéo-cuboïdes ou cubo-naviculaires sont plus rares, et souvent asymptomatiques.

La symptomatologie se révèle souvent chez l'adolescent ou l'adulte jeune, sous la forme de douleurs de l'arrière pied, lorsque l'ossification progressive de la synostose diminue d'autant les amplitudes articulaires. Souvent, un événement traumatique mineur ou une augmentation récente de l'activité physique est notée. L'examen physique observe une diminution des mouvements de l'arrière pied, notamment en inversion/éversion, avec parfois des troubles de la statique pouvant aller jusqu'à un authentique pied plat valgus contracturé. Chez certains patients, la malformation est totalement asymptomatique.

En imagerie, les radiographies standard peuvent être suffisantes pour établir le diagnostic, notamment dans le cadre des synostoses calcanéo ou talo-naviculaires. Cependant, le recours à l'imagerie en coupe, scanner ou IRM est souvent nécessaire, *a fortiori* pour les synostoses talo-calcanéennes [28].

RADIOGRAPHIES

La synostose calcanéo-naviculaire est aisément dépistée sur les radiographies de $\frac{3}{4}$ médial du pied. En effet, ces deux os, qui ne s'articulent normalement pas entre eux, sont fusionnés par un pont osseux pour la synostose, ou sont intimement rapprochés avec des berges sclérosées et irrégulières dans le cas de synfibrose ou synchondrose. L'apophyse antérieure calcanéenne apparaît franchement hypertrophique.

La synostose talo-calcanéenne est souvent plus difficile à diagnostiquer sur les clichés standards. Plusieurs signes radiographiques ont été décrits :

- un aspect saillant de la face dorsale de la tête du talus (« talar beak »), causé par la sursollicitation de l'articulation talo-naviculaire en rapport avec la moindre mobilité sous-talienne.
- un col du talus court.
- le signe de l'anneau (« C-sign ») sur le cliché de profil, correspondant à la mise en continuité par le pont du dôme talien et du sustentaculum tali, créant ainsi une ligne continue. Ce signe est cependant peu sensible [29], et serait plus spécifique de pied plat [30].
- une mauvaise visibilité de l'interligne sous-talien moyen.
- des remaniements du sustentaculum tali, d'aspect ovoïde et élargi sur le cliché de profil.
- un pincement de l'interligne sous-talien postérieur [31].

SCANNER

Le scanner, par son analyse détaillée des éléments osseux, est très utile dans l'exploration de cette pathologie, notamment pour les synostoses talo-calcanéennes, et dans le cadre du bilan pré-thérapeutique. Il explorera les deux pieds et chevilles dans la même acquisition afin de réaliser un bilan exhaustif.



Figure 6

Patiente de 25 ans, aux antécédents d'hémiplégie gauche spastique, qui présente des douleurs du pied gauche avec une marche en équin.

La radiographie de cheville de profil (a) suspecte une synostose, avec un signe de l'anneau, un col talien court, et une mauvaise visibilité de l'interligne sous-talien moyen.

L'IRM confirme la coalition talo-calcanéenne, avec l'aspect de pseudarthrose sur la facette moyenne de l'interligne sous-talien bien visible sur la séquence T1 (b), l'œdème médullaire osseux sur les deux versants en T2 avec saturation de la graisse (c et d) et après injection de gadolinium (e). Il s'agit ici d'une synfibrose, sans ossification et sans matrice cartilagineuse visible.

Le traitement a consisté en une arthrodèse talo-calcanéenne (f).



Figure 7

Jeune fille de 12 ans, victime d'une entorse, qui présente des douleurs persistantes du pied droit.

Le cliché de 3/4 médial du pied droit (a) montre une synostose calcanéo-naviculaire.

Le scanner du pied droit (b, c, d, e) montre une double synostose talo-calcaneenne et calcanéo-naviculaire, qui seront traitées par double arthrodèse avec autogreffe spongieuse.

Deux ans après, des douleurs des deux pieds réapparaissent, et une IRM des deux pieds est réalisée :

-l'IRM du pied droit (f) montre l'arthrodèse sans élément œdémateux résiduel ni complication en T1.

-l'IRM du pied gauche montre une synfibrose calcanéo-naviculaire, bien évaluable en T1 (g) avec œdème médullaire osseux et synovite de la néo-articulation sur les séquences T2 (h) et T1 après injection de gadolinium (i).

Dans le cas d'une synostose calcanéo-naviculaire, on individualise l'apophyse antérieure du calcaneus hypertrophique, qui vient au contact du naviculaire dans sa portion postéro-latérale, avec une fusion complète en cas de synostose, et un pincement de l'interligne, qui apparaît irrégulier et dense (aspect de pseudarthrose) en cas de synfibrose ou synchondrose.

Dans le cas d'une synostose talo-calcanéenne, les anomalies siègent le plus souvent sur la facette moyenne de l'articulation sous-talienne antérieure, mais peuvent également toucher les facettes antérieure et postérieure. Là encore, on visualise la fusion complète des pièces osseuses, ou des signes plus subtils selon le type de synostose. Le pincement, l'ostéosclérose, l'irrégularité ou les remaniements microgéodiques peuvent être très discrets, et une analyse minutieuse doit être réalisée, notamment dans le plan coronal qui dépiste plus facilement les anomalies de cet interligne [32].

IRM

L'IRM permet de mettre en évidence l'œdème osseux de part et d'autre de l'interligne concerné. Elle a l'avantage de suggérer que la symptomatologie douloureuse est bien en rapport avec la synostose, par la mise en évidence des phénomènes œdémateux et inflammatoires.

La sémiologie est par ailleurs la même qu'en scanner, avec identification du pont osseux, ou des remaniements sur les berges osseuses, réalisant un faux aspect de pseudarthrose.

L'IRM permet de plus parfois d'identifier directement la composante cartilagineuse dans le cas d'une synchondrose, sous la forme d'une structure linéaire interosseuse de signal liquidien (matrice cartilagineuse) [33].

TRAITEMENT

Le traitement est toujours conservateur dans un premier temps, avec mise au repos, médication anti-inflammatoire, infiltration locale, physiothérapie, port de semelles de soutien ou immobilisation.

Ce traitement aurait une efficacité dans environ 1/3 des cas [21].

Après échec du traitement conservateur, le traitement chirurgical est discuté : il existe deux grands types d'interventions [34-36] :

- l'excision du pont osseux si celui-ci n'est pas trop étendu, avec interposition graisseuse ou tendineuse pour prévenir la récurrence

- l'arthrodèse de l'interligne concerné plus ou moins étendue aux autres articulations de l'arrière pied (triple arthrodèse, intéressant les articulations sous-talienne, calcanéo-cuboïdienne, et talo-naviculaire). Cette technique sera utilisée en cas d'échec d'excision, de formes multiples ou sévères, ou de phénomènes dégénératifs loco-régionaux déjà évolués.

Arthrose sous-talienne

Cette pathologie est quasi-exclusivement post-traumatique, secondaire à une fracture du talus, du calcaneus, une luxation peri-talienne ou une instabilité chronique. Les autres causes sont les arthroses dites primitives, sans étiologie retrouvée (suite à des entorses? instabilité passée inaperçue?), et les arthroses secondaires à des anomalies de la statique (pied plat valgus notamment), une nécrose du talus, un syndrome d'hyperpression talo-naviculaire.

En imagerie, les radiographies font le diagnostic d'arthrose sous-talienne, avec les signes cardinaux classiques : pincement, ostéocondensation, géodes sous-chondrales et ostéophytose.

Le scanner permet d'effectuer un bilan anatomo-radiologique précis, et oriente vers la pathologie à l'origine des lésions dégénératives lorsqu'elle est méconnue. L'arthroscanner étudie de façon très précise les lésions cartilagineuses en elles-mêmes, ainsi que le décalage osseux en cas de séquelle fracturaire.

Le traitement de l'arthrose sous-talienne est conservateur lorsque la symptomatologie douloureuse est peu développée, avec des antalgiques, un chaussage immobilisant la sous-talienne, et d'éventuelles infiltrations. La chirurgie repose principalement sur l'arthrodèse, selon différentes techniques selon l'étiologie de l'arthrose, et selon que l'atteinte sous-talienne est isolée ou associée à une atteinte médio-tarsienne : les solutions vont de la simple arthrodèse

sous-talienne à la triple arthrodèse [37]. L'arthroplastie totale a des indications beaucoup plus limitées qu'au genou ou à la hanche, avec une complexité chirurgicale importante, et notamment nécessité de réaliser de nombreux gestes complémentaires autour du remplacement prothétique en lui-même. Les échecs et les complications sont fréquents. Cependant, le développement de la technique et des matériaux prothétiques donne des résultats encourageants depuis quelques années, et l'arthrodèse n'est plus la seule solution à pouvoir être évoquée raisonnablement.

LESIONS TRAUMATIQUES DU TALUS

Elles sont rares. Cependant, la conformation anatomique loco-régionale responsable de contraintes importantes sur le talus et la précarité de la vascularisation talienne en font des lésions potentiellement graves et surtout susceptibles de se compliquer d'ostéonécrose et d'arthrose [38].

FRACTURE DU TALUS

Les fractures du talus peuvent être classées en fractures parcellaires, intéressant un seul versant du talus, ou totales, transfixiant le talus complètement. Toutes ses zones anatomiques peuvent être touchées, et l'atteinte articulaire sous-talienne est fréquente, notamment en cas de fracture comminutive, souvent chez le polytraumatisé. Le déplacement du foyer fracturaire, responsable d'une irrégularité de l'interligne, conditionne le risque secondaire d'évolution vers une arthrose sous-talienne. Une authentique nécrose avasculaire du talus peut également compliquer une fracture, et une arthrose sous-talienne peut ainsi se développer même en l'absence initiale d'atteinte de cet interligne.

Le traitement des fractures du talus est orthopédique pour les fractures non déplacées, et chirurgical pour les fractures ouvertes et pour les fractures très déplacées, ou après échec de réduction.

Après un traumatisme grave du talus, une arthrose uni ou bi-polaire surviendrait dans la moitié des cas [39], et une fracture déplacée ou même articulaire n'est pas forcément nécessaire [40].

LUXATION PERI-TALIENNE

On distingue trois types de luxations péri-taliennes [38] :

- la luxation talo-crurale isolée qui ne concerne pas la sous-talienne et que nous n'aborderons donc pas (27% des luxations du talus, 5% des lésions traumatiques du talus).

- la luxation sous-talienne entre le talus d'une part, et le bloc calcanéo-pédieux d'autre part (c'est la double luxation des anglo-saxons, associant luxations sous-talienne et talo-naviculaire), qui est la luxation péri-talienne la plus fréquente (61% des luxations péri-taliennes, 10% des lésions du talus).

- l'énucléation du talus (ou triple luxation des anglo-saxons, qui associe les luxations tibio-talienne et sous-talienne à une luxation talo-naviculaire (12% des luxations péri-taliennes, 2% des lésions traumatiques taliennes).

Les deux derniers types sont susceptibles de donner des complications dégénératives sous-taliennes.

La prise en charge thérapeutique de la luxation sous-talienne, qu'elle soit latérale ou médiale, est basée sur la réduction en urgence puis l'immobilisation plâtrée, avec traitement spécifique des éventuelles fractures taliennes associées. Le pronostic de ces lésions est relativement bon, le risque de nécrose est évalué à 4 % et celui d'arthrose à 31 % [41].

L'énucléation est quant à elle une lésion rare mais gravissime: elle consiste donc en une triple luxation talo-crurale, sous-talienne et talo-naviculaire, avec rupture de tous les plans ligamentaires collatéraux latéraux et médiaux, rupture complète de tout apport vasculaire, traduisant une certitude théorique de l'évolution vers l'ostéonécrose. Le traitement impose une réduction en urgence qui est habituellement très difficile, voire impossible, du fait des interpositions de brides ligamentaires, tendineuses ou de fragments osseux. Les lésions osseuses associées sont fréquentes. Dans un second temps, en cas d'évolution péjorative, une triple arthrodèse est souvent réalisée (tibio-talo-naviculo-calcanéenne).

Le pronostic fonctionnel est donc ici excessivement mauvais, avec 90% de nécrose du talus, et évolution fréquente vers l'arthrose [41].

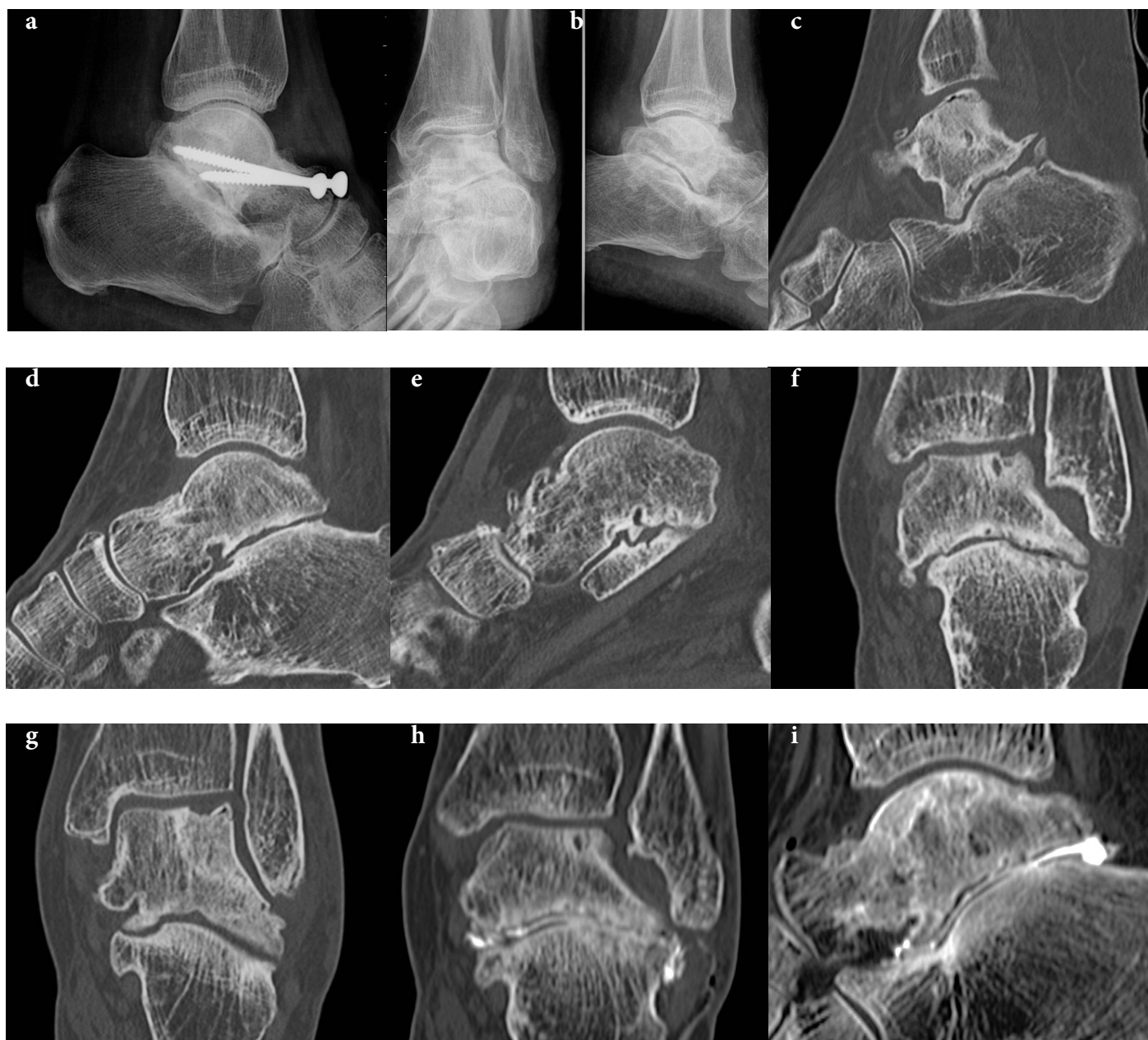


Figure 8

Patiente de 59 ans, victime d'une fracture totale du col du talus gauche, traitée par ostéosynthèse (a).

Devant des douleurs et une impotence fonctionnelle sévères dans les suites, un nouveau bilan est réalisé 2 ans après le traumatisme.

Les radiographies standard (b) montrent une arthrose talo-crurale et sous-talienne, ainsi qu'une ostéonécrose de la partie latérale du dôme talien, avec fracture et affaissement de l'os sous-chondral.

Le scanner (c, d, e, f) montre bien la zone nécrotique, qui reste à distance de la sous-talienne, et les remaniements dégénératifs talo-cruraux et sous-taliens, avec un pincement marqué et des remaniements sévères de l'os sous-chondral.

L'arthroscanner sous-talien (g, h, i) objective une chondropathie sévère, avec de multiples plages de mise à nu de l'os sous-chondral.

FRACTURES DU CALCANEUS

Elles représentent 1 à 2% de l'ensemble des fractures, et 60% des fractures du tarse. Elles touchent nettement préférentiellement l'homme jeune, bien souvent lors d'une chute sur les talons [42,43].

Le trait fracturaire intéresse l'articulation sous-talienne dans 75% des cas environ [44].

Le traitement est orthopédique par immobilisation plâtrée ou attelle, ou fonctionnel dans les fractures non déplacées, et chirurgical dans les fractures déplacées avec pour objectif une reconstruction la plus anatomique possible. Pour les fractures comminutives, une arthrodèse est parfois réalisée d'emblée. La rééducation fonctionnelle doit être précoce dans tous les cas.

L'arthrose sous-talienne complique plutôt les fractures non opérées, mais une prise en charge chirurgicale optimale avec réduction anatomique de l'interligne n'évite pas formellement sa survenue, en rapport avec une cicatrisation fibro-cartilagineuse qui présente des caractéristiques biomécaniques différentes du cartilage sain. Les séries donnent des résultats éminemment variables, entre 13 et 80% d'évolution vers l'arthrose en cas de traitement orthopédique ou fonctionnel, et 3 et 15% en cas de chirurgie [45-49].

Pour certains auteurs, 4 facteurs semblent être prédictifs d'évolution vers l'arthrose [50,51] : le degré de comminution de la fracture, la valeur de l'angle de Boehler initial, l'enfoncement partiel plus que global et l'existence de fragments ostéochondraux intra-articulaires. L'association à une arthrose calcanéo-cuboïdienne est souvent liée à une atteinte traumatique méconnue par les radiographies standards et que le scanner est capable de dépister.



Figure 9

Homme de 32 ans, aux antécédents de fracture calcanéenne traitée de façon orthopédique, qui présente des douleurs de l'arrière pied.

La radiographie de la cheville de profil (a) montre un pincement et une ostéophytose marginale de la partie postérieure de l'articulation sous-talienne.

Le scanner individualise une petite irrégularité du thalamus, séquellaire de la fracture calcanéenne, responsable de l'atteinte dégénérative (b et c). On note une ostéocondensation sous-chondrale thalamique, un pincement et une ostéophytose de topographie plus postérieure, bien visible sur la reconstruction volumique (d).

L'imagerie de ces différentes lésions traumatiques du talus et du calcanéus repose essentiellement sur l'analyse radiographique et au mieux scanographique des traits de fracture, de leur orientation, de l'atteinte articulaire, du déplacement, des fragments ostéo-chondraux libérés. L'analyse tridimensionnelle des fractures complexes est indispensable en scanner avant prise en charge chirurgicale, pour une bonne compréhension de la lésion qui est souvent difficile sur les clichés radiographiques simples. De plus, certaines lésions osseuses associées passent facilement inaperçues en radiographie standard [52].

L'IRM n'a que peu ou pas de place dans ce registre, si ce n'est pour l'exploration des lésions ostéo-chondrales du dôme du talus et des fractures trabéculaires ou de contrainte passant le plus souvent inaperçues en bilan radiographique standard.



Figure 10

Homme de 51 ans, polytraumatisé, victime d'une fracture comminutive du calcanéum.

Les radiographies (a, b) et le scanner initial (c, d, e) montrent une fracture comminutive du calcanéus gauche, avec effondrement du pied, et multiples refends vers l'articulation sous-talienne.

Décision de traitement orthopédique.

Le scanner de surveillance à onze mois du traumatisme (f, g, h, i) montre une arthrose sous-talienne évoluée, avec dégénérescence gazeuse, pincement, micro-géodes sous-chondrales, ostéophytose, et des irrégularités des surface articulaires.

OSTEONECROSE DU TALUS

Il s'agit d'une nécrose avasculaire du talus, par altération de sa vascularisation d'origine traumatique ou atraumatique.

Toute lésion traumatique du talus peut théoriquement se compliquer d'une nécrose, car sa vascularisation est particulièrement précaire. Cependant, les fractures du col et du corps et les luxations peri-taliennes sont les lésions les plus incriminées [53].

Plus le déplacement est important, plus grand est le risque d'évolution vers la nécrose et/ou l'arthrose. La classification de Hawkins permet d'établir le risque potentiel d'évolution vers la nécrose des fractures du col [54,55] :

- fractures non déplacées, type I : 0 – 15%
- fractures associées à une subluxation ou luxation sous-talienne : 20 – 50%
- fractures associées à une subluxation ou luxation sous-talienne et talo-crurale : proche de 100%
- fractures associées à une subluxation ou luxation sous-talienne, talo-crurale, et talo-naviculaire : 100%.

Les étiologies atraumatiques sont classiquement la consommation d'alcool, la corticothérapie, l'hyperlipidémie, l'hyperuricémie, le lupus érythémateux disséminé, les pathologies vasculaire.

Le tableau clinique associe des douleurs à la mobilisation de la cheville, une impotence fonctionnelle, et l'interrogatoire recherche un traumatisme ou un facteur favorisant. On retrouve parfois une atteinte multi-articulaire, pouvant intéresser les hanches, les genoux, les épaules le plus souvent, mais également le calcaneus, le naviculaire, le cuboïde, les métatarsiens, le tibia, la fibula...[56]

En radiographie, l'aspect initial est normal. Après quelques semaines, il existe une ostéocondensation de la zone nécrotique, qui peut évoluer vers la fragmentation et l'affaissement complet du talus.

Le scanner étudie avec plus de précision ces différentes anomalies et les rapports de la zone nécrotique (qui peut intéresser tout ou partie du talus) avec les interlignes talo-crural et sous-talien.

L'IRM a quant à elle l'avantage de dépister les anomalies de façon précoce, sous la forme d'une zone nécrotique bien délimitée par une ligne serpentineuse en hyposignal T1 et T2, et souvent un œdème médullaire osseux paralésionnel dans l'os sain. Elle permet également d'évaluer l'extension articulaire des anomalies et analyse très finement l'interligne, les lésions chondrales et sous-chondrales [57].

Du point de vue thérapeutique, les options sont assez limitées, avec un traitement symptomatique antalgique, le port d'attelle ou la mise en décharge pour les lésions peu évoluées en imagerie. Dès lors qu'il existe un collapsus ou un retentissement sur les interlignes articulaires, un traitement chirurgical est discuté, qui consiste là encore le plus souvent en une arthrodèse plus ou moins étendue. La perforation chirurgicale du talus, comme classiquement décrite sur les autres sites d'ostéonécrose est parfois proposée [53,56].

INSTABILITÉ SOUS-TALIENNE

L'instabilité sous-talienne est une pathologie dont l'existence a longtemps été controversée, puisqu'extrêmement difficile à affirmer formellement cliniquement et en imagerie. Elle a été décrite pour la première fois en 1962 comme entité clinique à part entière [58].

La fréquence de cette pathologie n'est pas connue, mais on estime que 10 % à 25 % des instabilités talocrurales s'associent à une instabilité sous-talienne [59]. Ainsi, l'instabilité sous-talienne peut être isolée, correspondant à un syndrome du sinus du tarse, ou être associée à une instabilité talo-crurale.

Elle est dans la grande majorité des cas secondaire à des lésions ligamentaires suite à des entorses du compartiment latéral de cheville (traumatisme en inversion).

Certains auteurs [60] insistent sur la différence entre deux concepts :

- instabilité, ou perte de la stabilité active par atteinte des différents mécanismes proprioceptifs responsables physiologiquement d'une contraction musculaire réflexe (pathologies neurologiques).

-laxité, ou perte de la stabilité passive par atteinte ligamentaire traumatique ou dégénérative.

Cependant, le plus souvent, on appelle instabilité la sensation subjective ressentie par le patient, et qui le pousse à consulter; et laxité la constatation objective par le clinicien d'une mobilité trop importante de l'articulation concernée. On doit différencier l'hyperlaxité congénitale, qui touche de façon diffuse les articulations, de l'hyperlaxité pathologique post-traumatique, qui est asymétrique par rapport au côté controlatéral.

La symptomatologie associe un tableau douloureux souvent chronique de l'arrière pied, à une sensation d'instabilité, généralement sur terrain irrégulier.

Cliniquement, l'exploration de l'articulation sous-talienne est ardue, et les données objectives sont souvent relativement pauvres : il est difficile de différencier une laxité sous-talienne d'une laxité talo-crurale. Il est toutefois important de dépister une hyperlaxité constitutionnelle par le score de Beighton [61] et une laxité pathologique de l'articulation talo-crurale. L'examen doit bien entendu être bilatéral et comparatif.

Le syndrome du sinus du tarse est un tableau clinique décrit pour la première fois par O'Connor [62]. Classiquement, le patient allègue une instabilité douloureuse de l'arrière pied, sans laxité individualisable cliniquement. Le plus souvent il fait suite à une entorse, avec un épisode qui peut être ancien, mais parfois, l'interrogatoire ne retrouve aucun événement traumatique. La douleur siège en général à l'ouverture du sinus du tarse à la face latérale du pied, mais elle peut être transfixiante. Elle survient lors des mouvements d'inversion du pied et lors de la marche sur terrain accidenté. L'infiltration de dérivés cortisonés dans le sinus du tarse soulage la douleur, et ce geste est ainsi un bon test diagnostique. La physiopathologie de ce syndrome est assez débattue, puisque certains auteurs le considèrent comme une instabilité isolée de la sous-talienne, d'autres comme secondaire à des lésions ligamentaires partielles, kystiques, dégénératives, ou encore des parties molles du sinus du tarse [63].



Figure 11

Patient de 50 ans présentant des douleurs de cheville droite post-traumatiques. Cliniquement : douleurs et craquements à la mobilisation de l'articulation sous-talienne.

La radiographie de cheville de profil est sans particularité (a).

L'IRM montre un œdème de la partie postérieure de la sous-talienne, sur le versant talien, associé à un discret épanchement articulaire sur les séquences T2 après saturation de la graisse (b, c).

Les ligaments talo-fibulaire antérieur et calcanéo-fibulaire ne sont pas individualisables, le ligament talo-fibulaire postérieur est discrètement épaissi, siège d'un hypersignal T2 (flèche); les ligaments propres de la sous-talienne sont intègres (d, e, f).

L'atteinte sous-talienne est vraisemblablement secondaire à une instabilité par atteinte du ligament calcanéo-fibulaire.

RADIOGRAPHIES

Les radiographies standards sont le plus souvent normales. Elles peuvent montrer des séquelles d'entorses du système ligamentaire collatéral latéral à type d'avulsions osseuses ou des remaniements dégénératifs talo-cruraux ou sous-taliens en cas d'instabilité évoluant depuis longtemps.

De nombreuses techniques radiographiques ont été décrites pour affirmer l'instabilité. Certains auteurs ont utilisé le bâillement de l'interligne sous-talien lors des clichés en inversion forcée comme élément diagnostique [64-66], mais ce critère a été remis en cause par la suite.

D'autres ont recherché des critères de mobilité anormale, en mesurant la translation du calcaneus sous le talus lors des clichés en stress [67-69].

Aucune méthode radiographique reproductible n'est à ce jour utilisée en routine clinique dans le diagnostic formel de l'instabilité sous-talienne.

Les clichés de l'articulation talo-crurale en varus forcé et tiroir antérieur sont utilisés plus volontiers en routine dans l'exploration de l'instabilité talo-crurale. Un bâillement en varus et un tiroir antérieur significativement différents par rapport au côté sain sont des arguments qui peuvent orienter vers une atteinte concomitante de la sous-talienne, même si ce n'est vrai que dans moins d'un quart des cas [59].

ARTHROGRAPHIE SOUS-TALIENNE POSTERIEURE [70-72]

Différents signes de rupture ligamentaires ont été décrits :

- l'absence de visualisation des micro-récessus physiologiques en regard du ligament en haie.
- la mise en évidence d'un récessus latéral sous la malléole latérale.
- une communication avec le sinus du tarse, l'articulation talo-crurale (physiologique dans 20% des cas) [73], les tissus sous-cutanés, ou les tendons fibulaires.

Malgré son caractère invasif, cet examen permet souvent une meilleure compréhension de la pathologie de la sous-talienne. Il permet de plus dans un même temps de réaliser une infiltration intra-articulaire de dérivés cortisonés, à visée diagnostique et thérapeutique.

IRM

L'IRM peut montrer différentes anomalies [74-76] :

- un épanchement liquidien de la sous-talienne.
- une atteinte ligamentaire, avec un ligament invisible, ou d'aspect sinueux. Les ligaments les plus souvent incriminés sont le ligament interosseux talo-calcanéen, le ligament fibulo-calcanéen et le ligament cervical.
- une fibrose du sinus du tarse, ne permettant pas d'individualiser en son sein les différents éléments ligamentaires et vasculo-nerveux, ou une prise de contraste du sinus du tarse.
- un œdème osseux des berges articulaires.
- des remaniements dégénératifs plus marqués en cas d'instabilité évoluée.

Cet examen fait dans le même temps l'état des lieux sur le plan ligamentaire collatéral talo-crural et osseux, et permet de faire le bilan lésionnel complet, notamment d'éventuelles lésions osseuses du dôme talien, lésions dégénératives, ou encore d'un conflit.

L'IRM apparaît indispensable dans le bilan pré-thérapeutique de l'instabilité, au moins dans le cas d'une décision chirurgicale, afin d'obtenir des signes et arguments solides objectifs en faveur de cette pathologie, pour orienter le chirurgien vers une procédure stabilisant la sous-talienne spécifiquement.

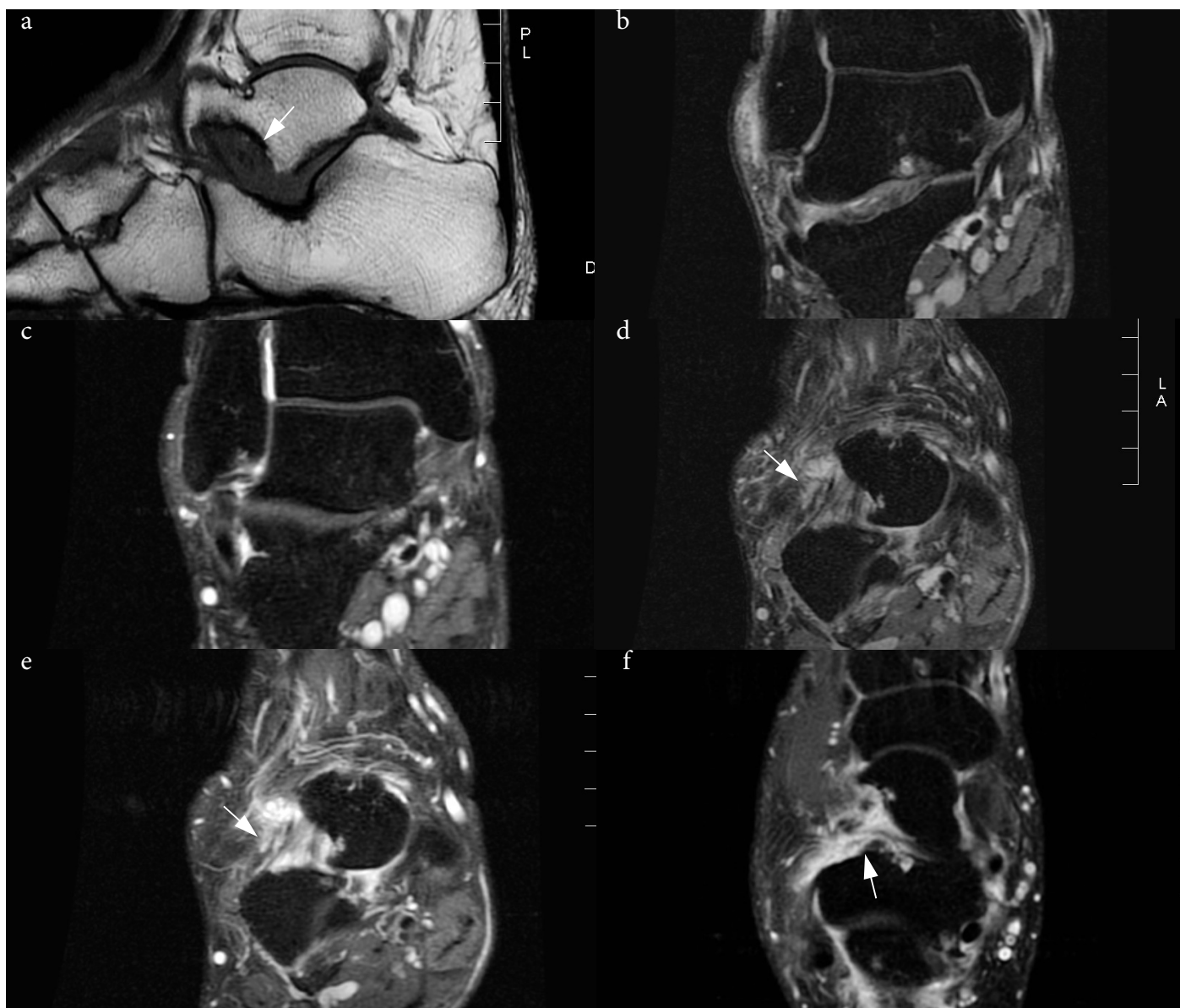


Figure 12

Patient de 69 ans, aux antécédents d'entorses de cheville itératives, qui présente des douleurs chroniques.

L'IRM retrouve un aspect infiltré du sinus du tarse bien visible en T1 (a), avec un ligament en haie qui reste continuel (flèche en d), et une prise de contraste importante du sinus du tarse après injection (e, f). Il existe également un œdème osseux sur le versant talien de l'articulation sous-talienne (b), en rapport avec l'instabilité sous-talienne.

Les autres éléments ligamentaires de la cheville et de la sous-talienne sont intègres.

Les phénomènes douloureux sont en rapport avec un syndrome du sinus du tarse.

TRAITEMENT

Le traitement est toujours conservateur en premier lieu, avec une prise en charge antalgique, immobilisation par orthèse à la phase aiguë et subaiguë, une infiltration cortisonnée du sinus du tarse, une kinésithérapie avec correction d'éventuels troubles de la statique et renforcement ligamentaire et musculaire.

A noter également l'importance du traitement préventif des entorses de cheville, afin d'éviter la récurrence et donc l'évolution vers l'instabilité chronique par une prise en charge kinésithérapeutique régulière et systématique.

Les indications chirurgicales varient selon les opérateurs, mais cette solution est plutôt proposée en cas d'échec du traitement médical chez des patients très symptomatiques, avec une instabilité le plus souvent chronique.

-l'arthroscopie sous-talienne postérieure est plutôt réalisée à visée diagnostique en cas d'incertitude quant à l'origine exacte de la symptomatologie : elle permet d'explorer au moins partiellement le ligament interosseux, le ligament fibulo-calcanéen, les surfaces articulaires et les recessus capsulo-synoviaux. Cette technique est difficile, et peu répandue [77,78].

De multiples techniques chirurgicales ont été rapportées dans le traitement de l'instabilité talo-crurale et sous-talienne, dont voici les principales [79] :

- la technique de Bröstrom modifiée par Gould consiste en la réparation anatomique des différents plans ligamentaires lésés par suture, avec renforcement par le retinaculum des extenseurs et éventuellement par le tendon du court fibulaire [80,81].

- la procédure de Chrismann-Snook utilise le court fibulaire qui est divisé longitudinalement, une partie étant tunnélisée à travers la malléole latérale puis le calcanéum pour renforcer le plan ligamentaire latéral [82].

- la technique de Castaing utilise le tendon court fibulaire également, mais qui est coupé à sa jonction myo-tendineuse, et tunnélisé à travers la malléole latérale puis suturé à sa portion distale, réalisant une reconstruction ligamentaire triangulaire [83]. Une variante, appelée hémi-Castaing, repose sur le même principe mais n'utilise que la moitié des fibres du court fibulaire.

- d'autres techniques utilisent le *peroneus tertius*.

- certains auteurs se sont enfin attachés à ne réparer que les structures ligamentaires de la sous-talienne (ligament cervical pour Pisani [84] à l'aide du court fibulaire ; ligament en haie pour Kato [67] à l'aide d'une bandelette prélevée sur le tendon d'Achille)

Les différentes séries chirurgicales obtiennent des bons et très bons résultats dans plus de 80% des cas; les séries portant sur la réparation isolée des ligaments du sinus du tarse d'excellents résultats à court terme, avec plus de 90% de bons et très bons résultats [67,84].

IMAGERIE DYNAMIQUE

De nombreux travaux ont été réalisés sur l'exploration de l'articulation sous-talienne, et différentes techniques ont été développées pour appréhender sa cinématique *in vitro* et *in vivo* [85]. Des systèmes opto-électroniques ont été utilisés, avec des marqueurs fixés à la peau [86-88] ou fichés dans la corticale osseuse [89,90], puis enregistrement des mouvements des structures osseuses les unes par rapport aux autres. En imagerie, des travaux ont été réalisés en radiographie [64-69], scanner [91-94] et IRM [95-97] avec analyse des éléments de la sous-talienne dans différentes positions. Ces données permettent de mieux appréhender la biomécanique loco-régionale et d'établir des valeurs de référence d'amplitude articulaire chez le sujet sain. Grâce à celles-ci, il devient possible de définir des critères objectifs pour le diagnostic des pathologies de la sous-talienne, et notamment pour l'instabilité.

L'amplitude articulaire maximale de l'articulation sous-talienne lors des mouvements en inversion/éversion a été évaluée entre 17° et 23° dans le plan frontal [6,85,91]. Les études fonctionnelles pendant la marche trouvent des valeurs moindres, de l'ordre de 10° dans le plan frontal [89], ceci s'expliquant par des études réalisées sur sol plat, ne nécessitant pas d'utiliser la totalité de l'amplitude sous-talienne pour l'adaptation du pied au sol.

Le développement récent de scanners à large système de détection permet d'explorer en un volume un segment articulaire donné, et, en reproduisant ce volume plusieurs fois pendant la réalisation d'un mouvement, d'obtenir une tomodensitométrie dynamique, permettant ainsi des reconstructions volumiques et multi-planaires cinétiques.

Nous avons réalisé un scanner dynamique de l'arrière pied chez 15 volontaires sains, afin de déterminer une amplitude articulaire normale, et d'évaluer la reproductibilité du protocole d'imagerie avant une éventuelle mise en place en routine clinique.

Les examens ont été réalisés sur un scanner Aquilion One® (Toshiba), avec des constantes basses (80 kV et 50 mAs), avec réalisation de 9 volumes successifs de façon intermittente, centrés sur l'arrière pied (100 mm de hauteur, champ de vue de 240 ou 320 mm), sur une durée totale de 12 secondes. Les doses délivrées étaient basses, avec des Produits Doses Longueur comprises entre 81 et 216,9 mGy.cm pour 14 patients, et de 667,2 mGy.cm pour le premier patient, avec une moyenne de 218,1 mGy.cm (les constantes ont été revues à la baisse après le premier patient compte tenu de la qualité d'image souhaitée). Les patients étaient installés en position assise, le pied droit placé dans la têtère crâne, et une large bande en caoutchouc élastique passée sous la plante du pied, et tenue dans chaque main par le patient lui-même, afin de coapter l'articulation et de guider le mouvement en évitant les saccades trop importantes. Un mouvement d'inversion/éversion en aller-retour sur 12 secondes, en partant de la position d'éversion maximale a été réalisé, en expliquant correctement au patient et lui faisant répéter la manoeuvre plusieurs fois en le chronométrant avant de débiter l'examen.

Les volontaires étaient représentés par 9 femmes et 6 hommes âgés de 19 à 56 ans (moyenne = 36,6 ans), et aucun n'alléguait de séquelle d'entorse ou de sensation d'instabilité sur le pied exploré.

Les images obtenues ont été analysées en reformations multi-planaires dans les trois plans, et en reconstruction tri-dimensionnelle, en mode statique puis dynamique.

Pour chaque patient, des mesures angulaires ont été réalisées pour tenter d'évaluer l'amplitude articulaire sous-talienne :

- le plan de mesure était le plan frontal, établi par rapport au plan bi-malléolaire, réajusté sur chaque séquence si le patient avait effectué une rotation de la cheville pendant le mouvement.

- la coupe choisie pour effectuer la mesure était la coupe la plus postérieure passant par le *sustentaculum tali*.

- sur chacune des 9 séquences de chaque patient, sur cette coupe, l'angle entre la surface horizontale du dôme du talus et le bord médial du calcaneus, de grand axe vertical, a été mesuré.

Cette méthode de mesure permet de s'affranchir des mouvements de l'articulation talo-crurale et de ne mesurer que la bascule du calcaneus par rapport au talus supposé fixe dans le plan frontal. Le *sustentaculum tali* était choisi comme repère anatomique afin d'être le plus reproductible possible chez un même patient et parmi les différents examens. Le tableau ci-dessous récapitule les différentes mesures effectuées.

SERIES \ PATIENTS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	62°	68°	71° N	53°	61°	61° N	55°	65°	62°	62° N	63°	58°	57°	74° N	61° N
2	69° N	72° N	78°	54°	72° N	66°	55°	70° N	64°	73°	63°	58°	61° N	76°	70°
3	71°	78°	79°	59° N	78°	70°	57°	72°	70° N	79°	66° N	59°	77°	77°	76°
4	73°	79°	78°	70°	81°	75°	58°	73°	80°	80°	77°	60°	67°	81°	73°
5	75°	74°	70° N	66°	78°	69°	59° N	81°	85°	76°	78°	62° N	63°	85°	67°
6	71°	69° N	65°	56° N	68° N	58° N	65°	82°	74° N	69° N	74°	64°	61° N	76°	63° N
7	70°	66°	64°	49°	61°	58°	72°	73° N	63°	61°	65° N	73°	60°	72° N	57°
8	67° N	64°	65°	50°	60°	57°	78°	60°	62°	61°	63°	76°	57°	72°	57°
9	57°	-	65°	50°	60°	58°	71°	60°	63°	60°	64°	74°	58°	71°	-
AMPLITUDE	18°	15°	15°	21°	21°	17°	23°	22°	23°	20°	15°	18°	20°	14°	19°

Figure 13 : angles mesurés pour chaque patient pour estimer l'amplitude articulaire sous-talienne
N = position neutre

Les amplitudes articulaires sous-taliennes, évaluées dans le plan frontal, sont comprises entre 14° et 23°, avec une moyenne de 18,7°. Ces données sont concordantes avec les résultats obtenus par les différentes méthodes précédemment décrites.

Lorsqu'on regarde précisément les différentes mesures pour chaque patient, on remarque plusieurs choses :

- tous les patients ont compris et réalisé correctement le mouvement d'inversion/éversion.

- la vitesse de réalisation du mouvement est assez variable d'un patient à l'autre, soulignant ainsi l'importance d'expliquer précisément le mouvement et de le faire répéter plusieurs fois avant l'acquisition.

- certains patients (7 et 12) n'ont pas eu le temps de terminer l'aller-retour. Cependant, des amplitudes ont pu être évaluées pour tous, puisque l'éversion et l'inversion maximales sont présentes dans la première moitié du mouvement.

- l'éversion maximale était visible le plus souvent en fin de cycle plutôt qu'en début de cycle : ceci est dû au fait que l'acquisition était lancée en même temps que l'on demandait au patient d'effectuer le mouvement, et la première série était ainsi réalisée alors que l'inversion avait déjà commencé.

- il existe des variations inter-individuelles significatives, mais cette notion est également mise en avant par les autres méthodes d'évaluation [85].

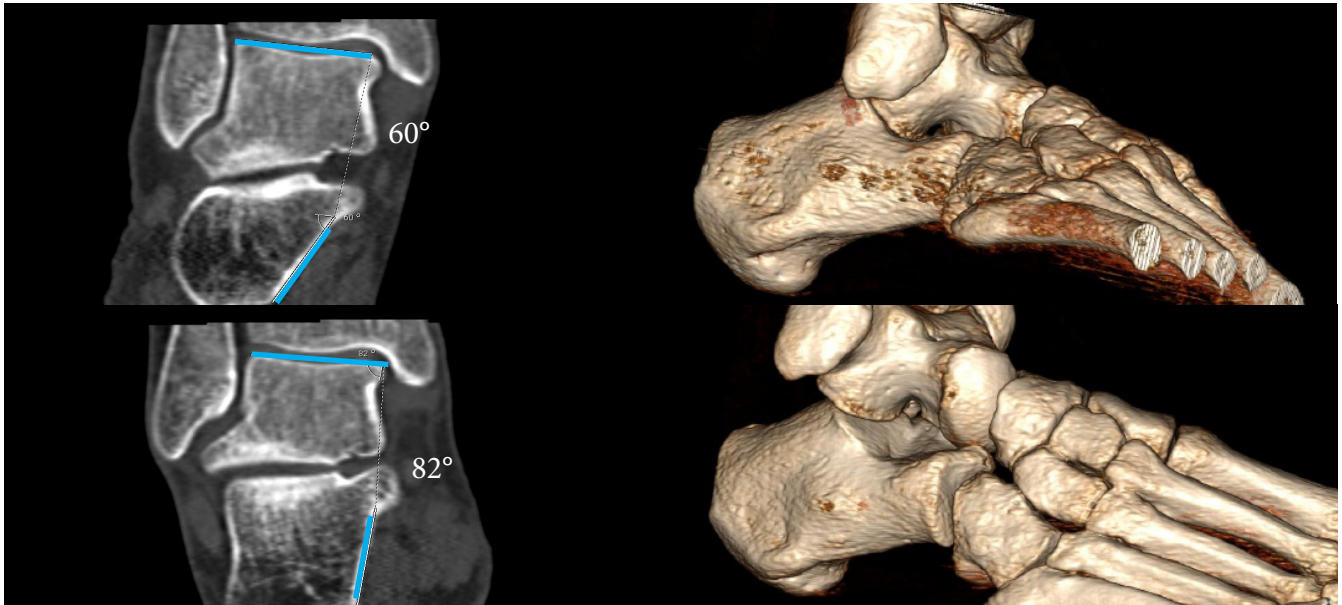


Figure 14 : illustration des mesures angulaires sur les coupes frontales, et des reconstructions volumiques, chez le même patient en éversion (en haut) puis inversion (en bas) maximales

Ce travail préliminaire permet de montrer que l'exploration dynamique de l'articulation sous-talienne en inversion/éversion est possible de façon reproductible. Une amplitude articulaire normale peut être établie à $18,7^{\circ}(+/-3)$ dans le plan frontal.

Le principale limite est que les examens ont été réalisés en décharge, alors que la pathologie sous-talienne s'exprime le plus souvent en charge, et la biomécanique de cette région est différente en situation de stress. De plus, la mesure d'angulations comme décrite plus haut peut sembler manquer de précision, et l'analyse est limitée au plan frontal : seule la bascule du calcanéus est évaluée, et sans notion de translation. Le développement d'un système de mise en charge des pieds comme cela a déjà été réalisé et l'utilisation de logiciels permettant de définir la position effective des os les uns par rapport aux autres permettraient d'obtenir des données plus fiables [90,92,97].

Par ailleurs, ce mode d'acquisition engendre des artefacts de mouvement, variables selon la phase choisie et selon les patients. Le choix de faibles doses engendre par lui-même une qualité d'image modérée. Ces deux éléments ont pour conséquence que cet examen dynamique ne permet pas une interprétation morphologique de qualité, et c'est bien essentiellement le caractère fonctionnel cinétique qui est exploré : si une étude morphologique plus précise est requise, une IRM ou un scanner conventionnel devront être réalisés.

Par rapport aux autres méthodes d'investigation en imagerie, l'avantage de ce protocole est le caractère dynamique, avec visualisation du mouvement d'inversion/éversion dans son ensemble, et non uniquement dans les positions extrêmes. L'analyse en mode volumique permet de juger de la mobilité des éléments osseux les uns par rapport aux autres, avec étude de la sous-talienne par transparence. Les reformations multi-planaires donnent accès à l'interligne articulaire sous-talien de façon plus précise et montrent particulièrement bien le mouvement des surfaces articulaires dans les trois plans. En situation pathologique, il sera possible de montrer directement les perturbations du jeu articulaire sous-talien, ainsi que les modifications de l'amplitude articulaire. De plus, si une plus grande précision dans l'étude du mouvement devient nécessaire, une acquisition en mode continu pourra être réalisée, autorisant ainsi l'acquisition de chaque phase du mouvement sans intermittence, au prix d'une augmentation de dose qui resterait acceptable en situation pathologique (de l'ordre de trois fois plus pour une acquisition continue avec les mêmes paramètres).

CONCLUSION

L'arrière-pied est une région complexe, et une bonne compréhension de l'anatomie et de la biomécanique du complexe articulaire sous-talien est indispensable pour aborder cette région. Conséquence directe de son rôle central au cours de la marche, la pathologie de l'articulation sous-talienne est responsable d'une symptomatologie et d'une dégradation fonctionnelle souvent considérables. L'imagerie est, conjointement avec les données cliniques, la clé du diagnostic, et si certaines anomalies sont clairement visibles en radiographie standard, le recours à l'imagerie en coupes est parfois indispensable et permet dans tous les cas de faire un bilan lésionnel exhaustif. La possibilité de réaliser une imagerie scanographique dynamique cinétique à faible dose permet d'obtenir des informations supplémentaires sur la fonction articulaire sous-talienne *in vivo*, et surtout d'établir un profil dynamique et une amplitude articulaire chez le patient sain. Ce type d'examen nécessite des améliorations pour sa mise en place en routine clinique, mais il permettra sans conteste d'apporter d'autres arguments que les anomalies morphologiques pour le diagnostic, notamment dans le cadre de l'instabilité sous-talienne.

- [1] Rouvières H. Anatomie humaine. Paris : Masson;1970.
- [2] Netter F. Atlas d'anatomie humaine. Paris : Masson;2009
- [3] Rockar PA Jr. The subtalar joint: anatomy and joint motion. J Orthop Sports Phys Ther. 1995 Jun;21(6):361-72.
- [4] L de Palma, A Santucci, A Ventura, M Marinelli. Anatomy and embryology of the talocalcaneal joint. Foot Ankle Surg 2003; 9:7-18.
- [5] Mabit C, Boncoeur-Martel MP, Chaudruc JM, Valleix D, Descottes B, Caix M. Anatomic and MRI study of the subtalar ligamentous support. Surg Radiol Anat. 1997;19(2):111-7.
- [6] Weindel S, Schmidt R, Rammelt S, Claes L, v Campe A, Rein S. Subtalar instability: a biomechanical cadaver study Arch Orthop Trauma Surg. 2010 Mar;130(3):313-9.
- [7] Stagni R, Leardini A, O'Connor JJ, Giannini S. Role of passive structures in the mobility and stability of the human subtalar joint: a literature review. Foot Ankle Int. 2003 May;24(5):402-9.
- [8] Stephens MM, Sammarco GJ. The stabilizing role of the lateral ligament complex around the ankle and subtalar joints. Foot Ankle. 1992 Mar-Apr;13(3):130-6
- [9] Miller ; Jotoku T, Kinoshita M, Okuda R, Abe M. Anatomy of ligamentous structures in the tarsal sinus and canal. Foot Ankle Int. 2006 Jul;27(7):533-8.
- [10] Mengiardi B, Zanetti M, Schöttle PB, Vienne P, Bode B, Hodler J, Pfirrmann CW. Spring ligament complex: MR imaging-anatomic correlation and findings in asymptomatic subjects. Radiology. 2005 Oct;237(1):242-9.
- [11] Garreau de Loubresse C. Biomécanique et physiologie articulaire de la sous-talienne. Encycl Méd Chir (Elsevier Masson SAS, Paris), Podologie, 27-010-A-30, 2000, 5p.
- [12] Melão L, Canella C, Weber M, Neirão P, Trudell D, Resnick D. Ligaments of the transverse tarsal joint complex: MRI-anatomic correlation in cadavers. Am J Roentgenol. 2009 Sep;193(3):662-71.
- [13] R. Seringe, Ph. Wicart. L'articulation sous-talienne revisitée ou le concept de bloc calcanéo-pédieux. [en ligne] <http://www.maitrise-orthop.com/viewPage.do?id=996>
- [14] Sarrafian SK. Biomechanics of the subtalar joint complex. Clin Orthop Relat Res. 1993 May;(290):17-26.
- [15] Abols Y. Biomécanique et physiologie articulaire de la sous-talienne. Encycl Méd Chir (Elsevier Masson SAS, Paris), Podologie, 27-010-A-30, 2008.
- [16] Manter, J.T., 1941. Movements of the subtalar and transverse tarsal joints. Anatomical Records 80, 397-410.
- [17] Root, M.L., Weed, J.H., Sgarlato, T.E., Bluth, D.R. Axis of motion of the subtalar joint. Journal of American Podology Medical Association 56. 1966 ;(4) :149-155.
- [18] Inman VT. Joints of the Ankle. Baltimore, MD: Williams & Wilkins; 1976:42.
- [19] Close JR, Inman VT, Poor PM, Todd FN. The function of the subtalar joint. Clin Orthop Relat Res. 1967 Jan-Feb;50:159-79.
- [20] Piazza SJ. Mechanics of the subtalar joint and its function during walking. Foot Ankle Clin. 2005 Sep;10(3):425-42.
- [21] Kumar SJ, Guille JT, Lee MS, Couto JC. Osseous and non-osseous coalition of the middle facet of the talocalcaneal joint. J. Bone Joint Surg. Am., 1992 Apr;74:529-535.
- [22] Stormont DM, Peterson HA. The relative incidence of tarsal coalition. Clin Orthop Relat Res. 1983 Dec;(181):28-36.
- [23] Solomon LB, Ruhli FJ, Taylor J, Ferris L, Pope R, Henneberg M. A dissection and computer tomograph study of tarsal coalitions in 100 cadaver feet. J Orthop Res. 2003 Mar;21(2):352-8.
- [24] Mosier KM, Asher M. Tarsal coalitions and peroneal spastic flat foot - a review. J Bone Joint Surg Am. 1984 Sep;66(7):976-84.
- [25] Perlman MD, Wertheimer SJ. Tarsal coalitions. J Foot Surg. 1986 Jan-Feb;25(1):58-67.
- [26] Jack FA. Bone anomalies of the tarsus in relation to peroneal spastic flat foot. J Bone Joint Surg Br. 1954 Nov;36-B(4):530-42.
- [27] Harris BJ. Anomalous structures in the developing human foot. Anat Rec. 1955;121: 399.
- [28] Newman JS, Newberg AH. Congenital tarsal coalition: multimodality evaluation with emphasis on CT and MR imaging. Radiographics. 2000 Mar-Apr;20(2):321-32
- [29] Taniguchi A, Tanaka Y, Kadono K, Takakura Y, Kurumatani N. C Sign for Diagnosis of Talocalcaneal Coalition Radiology. 2003 Aug;228(2):501-5.
- [30] Brown RR, Rosenberg ZS, Thornhill BA. The C-sign : more specific for flat-foot deformity than subtalar coalition. Skeletal Radiol. 2001 Feb;30(2):84-7
- [31] Crim JR, Kjeldsberg KM. Radiographic diagnosis of tarsal coalition. AJR Am J Roentgenol. 2004 Feb;182(2):323-8
- [32] Wechsler RJ, Schweitzer ME, Deely DM, Horn BD, Pizzutillo PD. Tarsal coalition: depiction and characterization with CT and MR imaging. Radiology. 1994 Nov;193(2):447-52.
- [33] Linklater J, Hayter CL, Vu D, Tse K. Anatomy of the subtalar joint and imaging of talo-calcaneal coalition. Skeletal Radiol. 2009 May;38(5):437-49.
- [34] Olney BW, Asher MA. Excision of symptomatic coalition of the middle facet of the talocalcaneal joint J Bone Joint Surg Am. 1987 Apr;69(4):539-44
- [35] Cohen BE, Davis WH, Anderson RB. Success of calcaneonavicular coalition resection in the adult population. Foot Ankle Int. 1996 Sep;17(9):569-72.
- [36] Scranton PE. Treatment of symptomatic talocalcaneal coalition. J Bone Joint Surg Am. 1987 Apr;69(4):533-9.
- [37] Biga N, Beccarri R, Simonet J. Arthrose de la cheville et de la sous-talienne. Encycl Med Chir (Elsevier Masson SAS, Paris), Podologie, 27-080-A-25, 2005.
- [38] Curvale G, Bataille JF, Rochwerger A. Fractures et luxations du talus. Encycl Méd Chir(Elsevier Masson SAS, Paris), Podologie, 27-100-A-40, 1999.

- [39] Copin G, Bouayed S, Kempf I. Serious injuries of the astragalus. Fracture dislocations, comminuted fractures and total dislocations. *Acta Orthop Belg.* 1983;49(6):698-710.
- [40] Butel J, Witvoët J. Fractures and dislocations of the astragalus. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1967 Sep;53(6):493-624.
- [41] Schuind F, Andrianne Y, Burny F, Donkerwolcke M, Saric O. Fractures and dislocations of the astragalus. Review of 359 cases. *Acta Orthop Belg.* 1983;49(6):652-89.
- [42] Hélix-Giordanino M, Bertani A, Rochwerger A, Curvale G. Fractures du calcanéus. *Encycl Med Chir (Elsevier Masson SAS, Paris), Podologie*, 27-100-A-45, 2010.
- [43] Mitchell MJ, McKinley JC, Robinson CM. The epidemiology of calcaneal fractures. *Foot (Edinb).* 2009 Dec;19(4):197-200.
- [44] Paley D., Hall H. Intra-articular fractures of the calcaneus. A critical analysis of results and prognostic factors. *J Bone Joint Surg Am.* 1993 Mar;75(3):342-54.
- [45] Pozo JL, Kirwan EO, Jackson AM. The long-term results of conservative management of severely displaced fractures of the calcaneus. *J Bone Joint Surg Br.* 1984 May;66(3):386-90.
- [46] Tough S, McCormack R, Pate G, Leighton R, Petrie D, Galpin R. Operative compared with nonoperative treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures: a prospective, randomized, controlled multicenter trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2002 Oct;84-A(10):1733-44.
- [47] Slätis P, Kiviluoto O, Santavirta S, Laasonen EM. Fractures of the calcaneum. *J Trauma.* 1979 Dec;19(12):939-43.
- [48] Buckley R., Fitzgibbons T. Intra-articular calcaneal fractures. Results of closed treatment. *Clin Orthop Relat Res.* 1993 May;(290)
- [49] Sanders R. Displaced intra-articular fractures of the calcaneus. *J Bone Joint Surg Am.* 2000 Feb;82(2):225-50.
- [50] Curvale G, Kelberine F, Groulier P, Trifaud A. Fractures thalamiques du calcanéum de l'adulte en pratique civile. *SO.F.C.OT., Réunion annuelle*, nov. 1988. *Rev Chir Orthop*, 1989, 75 (suppl 1), 107-112.
- [51] Vigroux J, Goutallier D. Influence du résultat anatomique final sur le résultat fonctionnel des fractures du calcanéum. *Rev Chir Orthop*, 1989, 75 (suppl 1), 99-102.
- [52] Copin G, Dupuis M, Lemerle L : Intérêt de la tomodensitométrie. *Rev Chir Orthop*, 1989, 75 (suppl 1), 70-73.
- [53] Leduc S, Clare MP, Laflamme GY, Walling AK. Posttraumatic avascular necrosis of the talus. *Foot Ankle Clin.* 2008 Dec;13(4):753-65.
- [54] Canale ST, Kelly FB Jr. Fracture of the neck of the talus. *J Bone Joint Surg Am.* 1978 Mar;60(2):143-56.
- [55] Hawkins LG. Fractures of the neck of the talus. *J Bone Joint Surg Am.* 1970 Jul;52(5):991-1002.
- [56] Delanois RE, Mont MA, Yoon TR, Mizell M, Hungerford DS. Atraumatic osteonecrosis of the talus. *J Bone Joint Surg Am.* 1998 Apr;80(4):529-36.
- [57] Pearce DH, Mongiardi CN, Fornasier VL, Daniels TR. Avascular necrosis of the talus: a pictorial essay. *Radiographics.* 2005 Mar-Apr;25(2):399-410.
- [58] Rubin G, Witten M. The subtalar joint and the symptom of turning over on the ankle. A new method of evaluation utilizing tomography. *Am. J. Orthop.* 1962;4: 16-19.
- [59] Larsen E. Tendon transfer for lateral ankle and subtalar joint instability. *Acta Orthop Scand.* 1988 Apr;59(2):168-72.
- [60] Pisani G. Instabilité et laxité dans le syndrome d'insuffisance de l'arrière-pied. *Med Chir Pied.* 2006;22:193-197
- [61] Beighton P. Hypermobility scoring. *Br J Rheumatol.* 1988 Apr;27(2):163.
- [62] O'Connor D. Sinus tarsi syndrome. A clinical entity. *J Bone Joint. Surg Am* 1958;40:720
- [63] Abols Y. Instabilité sous-talienne et syndrome du sinus du tarse. *Encycl Med Chir (Elsevier Masson SAS, Paris), Podologie*, 27-080-A-53, 2009.
- [64] Laurin CA, Ouellet R, St-Jacques R. Talar and subtalar tilt: an experimental investigation. *Can J Surg.* 1968 Jul;11(3):270-9.
- [65] Karlsson J, Eriksson BI, Renström P. Subtalar instability of the foot. A review and results after surgical treatment. *Scand J Med Sci Sports.* 1998 Aug;8(4):191-7.
- [66] Brantigan JW, Pedegana LR, Lippert FG. Instability of the subtalar joint. Diagnosis by stress tomography in three cases. *J Bone Joint Surg Am.* 1977 Apr;59(3):321-4.
- [67] Kato T. The diagnosis and treatment of instability of the subtalar joint. *J Bone Joint Surg Br.* 1995 May;77(3):400-6.
- [68] Moyon B, Lerat JL, Brunet E, Besse JL. Diagnostic d'une laxité sous-astragalienne. *J. Traumatol. Sport.* 1994 ;11:16-9.
- [69] Ishii T, Miyagawa S, Fukubayashi T, Hayashi K. Subtalar stress radiography using forced dorsiflexion and supination. *J Bone Joint Surg Br.* 1996 Jan;78(1):56-60.
- [70] Goossens M, De Stoop N, Claessens H, Van der Straeten C. Posterior subtalar joint arthrography. A useful tool in the diagnosis of hindfoot disorders. *Clin Orthop Relat Res.* 1989 Dec;(249):248-55.
- [71] Meyer JM, Taillard W. Arthrography of the infra-astragalian joint in the post injury pain syndrome of the posterior tarsal bone. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1974 Jun;60(4):321-30.
- [72] Sugimoto K, Samoto N, Takaoka T, Takakura Y, Tamai S. Subtalar arthrography in acute injuries of the calcaneofibular ligament. *J Bone Joint Surg Br.* 1998 Sep;80(5):785-90.
- [73] Resnick D. Radiology of the talocalcaneal articulations: anatomic considerations and arthrography. *Radiology* 1974;111:581-6.
- [74] Breitenseher MJ, Trattng S, Kukla C, Gaebler C, Kaider A, Baldt MM, Haller J, Imhof H. MRI versus lateral stress radiography in acute lateral ankle ligament injuries. *J Comput Assist Tomogr.* 1997 Mar-Apr;21(2):280-5.

- [75] Jarde O, Duboille G, Abi-Raad G, Boulu G, Massy S. Ankle instability with involvement of the subtalar joint demonstrated by MRI. Results with the Castaing procedure in 45 cases. *Acta Orthop Belg*. 2002 Dec;68(5):515-28.
- [76] Lektrakul N, Chung CB, Lai Ym, Theodorou DJ, Yu J, Haghighi P, Trudell D, Resnick D. Tarsal sinus: arthrographic, MR imaging, MR arthrographic, and pathologic findings in cadavers and retrospective study data in patients with sinus tarsi syndrome. *Radiology*. 2001 Jun;219(3):802-10.
- [77] Frey C, Gasser S, Feder K. Arthroscopy of the subtalar joint. *Foot Ankle Int*. 1994 Aug;15(8):424-8.
- [78] Williams MM, Ferkel RD. Subtalar arthroscopy: indications, technique, and results. *Arthroscopy*. 1998 May-Jun;14(4):373-81.
- [79] Miller CA, Bosco JA. Lateral ankle and subtalar instability. *Bull Hosp Jt Dis*. 2001-2002;60(3-4):143-9.
- [80] Broström L. Sprained ankles. V. *Acta Chir Scand*. 1966 Nov;132(5):537-50.
- [81] Gould N, Seligson D, Gassman J. Early and late repair of lateral ligament of the ankle. *Foot Ankle*. 1980 Sep;1(2):84-9.
- [82] Chrisman OD, Snook GA. Reconstruction of lateral ligament tears of the ankle. An experimental study and clinical evaluation of seven patients treated by a new modification of the Elmslie procedure. *J Bone Joint Surg Am*. 1969 Jul;51(5):904-12.
- [83] Castaing J, Castellani L. Repeated sprain or recurrent subluxation of the tibio-tarsal. A simple technic of external ligamentoplasty. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1968 Dec;54(8):789-92.
- [84] Pisani G. Chronic laxity of the subtalar joint. *Orthopedics*. 1996 May;19(5):431-7.
- [85] Kleipool RP, Blankevoort L. The relation between geometry and function of the ankle joint complex: a biomechanical review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010 May;18(5):618-27.
- [86] Sugimoto K, Samoto N, Takakura Y, Tamai S. Varus tilt of the tibial plafond as a factor in chronic ligament instability of the ankle. *Foot Ankle Int*. 1997 Jul;18(7):402-5.
- [87] Cappozzo A, Catani F, Croce UD, Leardini A. Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1995 Jun;10(4):171-178.
- [88] Leardini A, Della Croce U, Chiari L, Cappozzo A. Human movement analysis using stereophotogrammetry. *Gait Posture*. 2005 Feb;21(2):226-37.
- [89] Lundgren P, Nester C, Liu A, Arndt A, Jones R, Stacoff A, Wolf P, Lundberg A. Invasive in vivo measurement of rear-, mid- and forefoot motion during walking. *Gait Posture*. 2008 Jul;28(1):93-100.
- [90] In vitro study of foot kinematics using a dynamic walking cadaver model. Nester CJ, Liu AM, Ward E, Howard D, Cocheba J, Derrick T, Patterson P. *J Biomech*. 2007;40(9):1927-37.
- [91] Beimers L, Tuijthof GJ, Blankevoort L, Jonges R, Maas M, van Dijk CN. In-vivo range of motion of the subtalar joint using computed tomography. *J Biomech*. 2008;41(7):1390-7.
- [92] Tuijthof GJ, Zengerink M, Beimers L, Jonges R, Maas M, van Dijk CN, Blankevoort L. Determination of consistent patterns of range of motion in the ankle joint with a computed tomography stress-test. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2009 Jul;24(6):517-23.
- [93] Imai K, Tokunaga D, Takatori R, Ikoma K, Maki M, Ohkawa H, Ogura A, Tsuji Y, Inoue N, Kubo T. In vivo three-dimensional analysis of hindfoot kinematics. *Foot Ankle Int*. 2009 Nov;30(11):1094-100.
- [94] Goto A, Moritomo H, Itohara T, Watanabe T, Sugamoto K. Three-dimensional in vivo kinematics of the subtalar joint during dorsi-plantarflexion and inversion-eversion. *Foot Ankle Int*. 2009 May;30(5):432-8.
- [95] Ringleb SI, Udupa JK, Siegler S, Imhauser CW, Hirsch BE, Liu J, Odhner D, Okereke E, Roach N. The effect of ankle ligament damage and surgical reconstructions on the mechanics of the ankle and subtalar joints revealed by three-dimensional stress MRI. *J Orthop Res*. 2005 Jul;23(4):743-9.
- [96] Sheehan FT, Seisler AR, Siegel KL. In vivo talocrural and subtalar kinematics: a non-invasive 3D dynamic MRI study. *Foot Ankle Int*. 2007 Mar;28(3):323-35.
- [97] Siegler S, Udupa JK, Ringleb SI, Imhauser CW, Hirsch BE, Odhner D, Saha PK, Okereke E, Roach N. Mechanics of the ankle and subtalar joints revealed through a 3D quasi-static stress MRI technique. *J Biomech*. 2005 Mar;38(3):567-78.

VU

NANCY, le **29 septembre 2010**
Le Président de Thèse

Professeur A. BLUM

NANCY, le **1er octobre 2010**
Le Doyen de la Faculté de Médecine
Par délégation,

Mme le Professeur K. ANGIOI

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE

NANCY, le **5 octobre 2010**

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY 1
Par délégation

Madame C. CAPDEVILLE-ATKINSON

RÉSUMÉ :

Le complexe articulaire sous-talien est une région anatomique importante du point de vue fonctionnel et biomécanique pour le membre inférieur, notamment au cours de la marche. Il est composé de l'unité tibio-talo-fibulaire d'une part et du bloc calcanéo-pédieux d'autre part, dont les mouvements relatifs l'un par rapport à l'autre sont assurés par l'articulation sous-talienne essentiellement.

Les éléments ligamentaires sont nombreux et bien visibles en IRM; les plus importants du point de vue fonctionnel et dans la congruence articulaire sous-talienne sont les ligaments en haie, cervical, et calcanéo-fibulaire. La biomécanique de l'arrière-pied est relativement simple en décharge, mais plus complexe en charge, et a été largement étudiée.

La pathologie spécifique de cette région est représentée par les synostoses, l'arthrose, qui est dans la grande majorité post-traumatique, et l'instabilité sous-talienne. L'imagerie joue un rôle majeur dans le diagnostic précis et exhaustif de ces différentes pathologies ainsi que dans la décision thérapeutique et le suivi. L'instabilité sous-talienne est une entité difficile à affirmer formellement cliniquement et en imagerie, et aucun protocole d'imagerie de routine n'a été adopté pour son diagnostic.

Grâce au développement de scanners à large système de détection, une exploration dynamique articulaire devient possible. Ainsi, 15 volontaires sains ont bénéficié d'un scanner dynamique centré sur l'arrière pied pendant la réalisation de mouvements d'inversion/éversion. Une amplitude articulaire de la sous-talienne dans le plan frontal a pu être établie sur ces différents examens, et le mouvement complexe de la sous-talienne peut être appréhendé de façon précise grâce aux reconstructions volumiques et multi-planaires dynamiques. Ces données pourront servir pour mettre en place un protocole d'exploration de la pathologie de l'arrière pied en routine, et pour établir des critères objectifs dans le diagnostic d'instabilité.

TITRE EN ANGLAIS :

Subtalar joint complex : normal and pathologic features, interest of dynamic imaging.

THÈSE : MÉDECINE SPÉCIALISÉE ANNÉE 2010

MOTS-CLEFS :

Articulation sous-talienne - Synostose - Instabilité sous-talienne - Imagerie dynamique

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR :

Faculté de médecine de Nancy
9, avenue de la Forêt de Haye
54505 VANDOEUVRE LES NANCY Cedex