



**HAL**  
open science

# Apport en recherche de l'IRM à ultra-haut champ 7 Tesla (IRM 7T UHC) dans la gonarthrose : analyse du cartilage et de l'os sous-chondral

Amir Bourara

► **To cite this version:**

Amir Bourara. Apport en recherche de l'IRM à ultra-haut champ 7 Tesla (IRM 7T UHC) dans la gonarthrose : analyse du cartilage et de l'os sous-chondral. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-03788884

**HAL Id: dumas-03788884**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03788884v1>**

Submitted on 27 Sep 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Faculté des sciences  
médicales et paramédicales  
Aix-Marseille Université

**Apport en recherche de l'IRM à ultra-haut champ 7 Tesla (IRM 7T UHC)  
dans la gonarthrose : analyse du cartilage et de l'os sous-chondral**

# **T H È S E   A R T I C L E**

**Présentée et publiquement soutenue devant**

**LA FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES ET PARAMÉDICALES**

**DE MARSEILLE**

**Le 21 Septembre 2022**

**Par Monsieur Amir BOURARA**

**Né le 15 août 1993 à Auxerre (89)**

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de RHUMATOLOGIE

**Membres du Jury de la Thèse :**

**Madame le Professeur GUIIS Sandrine**

**Président**

**Monsieur le Professeur LAFFORGUE Pierre**

**Assesseur**

**Monsieur le Docteur MATTEI Jean-Pierre**

**Directeur**

**Monsieur le Docteur BENDAHAN David**

**Assesseur**





Faculté des sciences  
médicales et paramédicales  
Aix-Marseille Université

**Apport en recherche de l'IRM à ultra-haut champ 7 Tesla (IRM 7T UHC)  
dans la gonarthrose : analyse du cartilage et de l'os sous-chondral**

# **T H È S E   A R T I C L E**

**Présentée et publiquement soutenue devant**

**LA FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES ET PARAMÉDICALES**

**DE MARSEILLE**

**Le 21 Septembre 2022**

**Par Monsieur Amir BOURARA**

**Né le 15 août 1993 à Auxerre (89)**

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de RHUMATOLOGIE

**Membres du Jury de la Thèse :**

**Madame le Professeur GUIIS Sandrine**

**Président**

**Monsieur le Professeur LAFFORGUE Pierre**

**Assesseur**

**Monsieur le Docteur MATTEI Jean-Pierre**

**Directeur**

**Monsieur le Docteur BENDAHAN David**

**Assesseur**

## FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES & PARAMÉDICALES

<b>Doyen</b>	:	<b>Pr. Georges LEONETTI</b>
Vice-Doyen aux affaires générales	:	Pr. Patrick DESSI
Vice-Doyen aux professions paramédicales	:	Pr. Philippe BERBIS
Conseiller	:	Pr. Patrick VILLANI
<b>Asseseurs :</b>		
➤ aux études	:	Pr. Kathia CHAUMOITRE
➤ à la recherche	:	Pr. Jean-Louis MEGE
➤ à l'unité mixte de formation continue en santé	:	Pr. Justin MICHEL
➤ pour le secteur NORD	:	Pr. Stéphane BERDAH
➤ Groupements Hospitaliers de territoire	:	Pr. Jean-Noël ARGENSON
➤ aux masters	:	Pr. Pascal ADALIAN

### **Chargés de mission :**

➤ sciences humaines et sociales	:	Pr. Pierre LE COZ
➤ relations internationales	:	Pr. Stéphane RANQUE
➤ DU/DIU	:	Pr. Véronique VITTON
➤ DPC, disciplines médicales & biologiques	:	Pr. Frédéric CASTINETTI
➤ DPC, disciplines chirurgicales	:	Dr. Thomas GRAILLON

## ÉCOLE DE MEDECINE

<b>Directeur</b>	:	<b>Pr. Jean-Michel VITON</b>
------------------	---	------------------------------

### **Chargés de mission**

▪ PACES – Post-PACES	:	Pr. Régis GUIEU
▪ DFGSM	:	Pr. Anne-Laure PELISSIER
▪ DFASM	:	Pr. Marie-Aleth RICHARD
▪ DFASM	:	Pr. Marc BARTHET
▪ Préparation aux ECN	:	Dr Aurélie DAUMAS
▪ DES spécialités	:	Pr. Pierre-Edouard FOURNIER
▪ DES stages hospitaliers	:	Pr. Benjamin BLONDEL
▪ DES MG	:	Pr. Christophe BARTOLI
▪ Démographie médicale	:	Dr. Noémie RESSEGUIER
▪ Etudiant	:	Elise DOMINJON

### ÉCOLE DE DE MAIEUTIQUE

**Directrice** : **Madame Carole ZAKARIAN**

**Chargés de mission**

- 1<sup>er</sup> cycle : Madame Estelle BOISSIER
- 2<sup>ème</sup> cycle : Madame Cécile NINA

### ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION

**Directeur** : **Monsieur Philippe SAUVAGEON**

**Chargés de mission**

- Masso-kinésithérapie 1<sup>er</sup> cycle : Madame Béatrice CAORS
- Masso-kinésithérapie 2<sup>ème</sup> cycle : Madame Joannie HENRY
- Mutualisation des enseignements : Madame Géraldine DEPRES

### ÉCOLE DES SCIENCES INFIRMIERES

**Directeur** : **Monsieur Sébastien COLSON**

**Chargés de mission**

- Chargée de mission : Madame Sandrine MAYEN RODRIGUES
- Chargé de mission : Monsieur Christophe ROMAN

## PROFESSEURS HONORAIRES

MM	AGOSTINI Serge	MM	DEVIN Robert
	ALDIGHERI René		DEVRED Philippe
	ALESSANDRINI Pierre		DJIANE Pierre
	ALLIEZ Bernard		DONNET Vincent
	AQUARON Robert		DUCASSOU Jacques
	ARGEME Maxime		DUFOUR Michel
	ASSADOURIAN Robert		DUMON Henri
	AUFFRAY Jean-Pierre		ENJALBERT Alain
	AUTILLO-TOUATI Amapola		FAUGERE Gérard
	AZORIN Jean-Michel		FAVRE Roger
	BAILLE Yves		FIECHI Marius
	BARROT Jacques		FARNARIER Georges
	BARROT André		FIGARELLA Jacques
	BERARD Pierre		FONTES Michel
	BERGOIN Maurice		FRANCES Yves
	BERLAND Yvon		FRANCOIS Georges
	BERNARD Dominique		FUENTES Pierre
	BERNARD Jean-Louis		GABRIEL Bernard
	BERNARD Jean-Paul		GALINIER Louis
	BERNARD Pierre-Marie		GALLAIS Hervé
	BERTRAND Edmond		GAMERRE Marc
	BISSET Jean-Pierre		GARCIN Michel
	BLANC Bernard		GARNIER Jean-Marc
	BLANC Jean-Louis		GAUTHIER André
	BOLLINI Gérard		GERARD Raymond
	BONGRAND Pierre		GEROLAMI-SANTANDREA André
	BONNEAU Henri		GIUDICELLI Sébastien
	BONNOIT Jean		GOUDARD Alain
	BORY Michel		GOUIN François
	BOTTA Alain		GRILLO Jean-Marie
	BOTTA-FRIDLUND Danielle		GRIMAUD Jean-Charles
	BOUBLI Léon		GRISOLI François
	BOURGEADE Augustin		GROULIER Pierre
	BOUVENOT Gilles		GUYS Jean-Michel
	BOUYALA Jean-Marie		HADIDA/SAYAG Jacqueline
	BREMOND Georges		HASSOUN Jacques
	BRICOT René		HEIM Marc
	BRUNET Christian		HOUEL Jean
	BUREAU Henri		HUGUET Jean-François
	CAMBOULIVES Jean		JAQUET Philippe
	CANNONI Maurice		JAMMES Yves
	CARTOUZOU Guy		JOUBE Paulette
	CAU Pierre		JUHAN Claude
	CHABOT Jean-Michel		JUIN Pierre
	CHAMLIAN Albert		KAPHAN Gérard
	CHARPIN Denis		KASBARIAN Michel
	CHARREL Michel		KLEISBAUER Jean-Pierre
	CHAUVEL Patrick		LACHARD Jean
	CHOUX Maurice		LAFFARGUE Pierre
	CIANFARANI François		LAUGIER René
	CLAVERIE Jean-Michel		LE TREUT Yves
	CLEMENT Robert		LEGRE Régis
	COMBALBERT André		LEVY Samuel
	CONTE-DEVOLX Bernard		LOUCHET Edmond
	CORRIOL Jacques		LOUIS René
	COULANGE Christian		LUCIANI Jean-Marie
	CURVALE Georges		MAGALON Guy
	DALMAS Henri		MAGNAN Jacques
	DE MICO Philippe		MALLAN- MANCINI Josette

## PROFESSEURS HONORAIRES

DELPERO Jean-Robert  
DESSEIN Alain  
DELARQUE Alain

MALMEJAC Claude  
MARANINCHI Dominique  
MARTIN Claude

## PROFESSEURS HONORAIRES

MM	MATTEI Jean François	UNAL Daniel
	MERCIER Claude	VAGUE Philippe
	MICHOTEY Georges	VAGUE/JUHAN Irène
	MIRANDA François	VANUXEM Paul
	MONFORT Gérard	VERVLOET Daniel
	MONGES André	VIALETTES Bernard
	MONGIN Maurice	WEILLER Pierre-Jean
	MUNDLER Olivier	
	NAZARIAN Serge	
	NICOLI René	
	NOIRCLERC Michel	
	OLMER Michel	
	OREHEK Jean	
	PAPY Jean-Jacques	
	PAULIN Raymond	
	PELOUX Yves	
	PENAUD Antony	
	PENE Pierre	
	PIANA Lucien	
	PICAUD Robert	
	PIGNOL Fernand	
	POGGI Louis	
	POITOUT Dominique	
	PONCET Michel	
	POUGET Jean	
	PRIVAT Yvan	
	QUILICHINI Francis	
	RANQUE Jacques	
	RANQUE Philippe	
	RAOULT Didier	
	RICHAUD Christian	
	RIDINGS Bernard	
	ROCHAT Hervé	
	ROHNER Jean-Jacques	
	ROUX Hubert	
	ROUX Michel	
	RUFO Marcel	
	SAHEL José	
	SALAMON Georges	
	SALDUCCI Jacques	
	SAMBUC Roland	
	SAN MARCO Jean-Louis	
	SANKALE Marc	
	SARACCO Jacques	
	SARLES Jacques	
	SARLES - PHILIP Nicole	
	SASTRE Bernard	
	SCHIANO Alain	
	SCOTTO Jean-Claude	
	SEBAHOUN Gérard	
	SEITZ Jean-François	
	SERMENT Gérard	
	SOULAYROL René	
	TAMALET Jacques	
	TARANGER-CHARPIN Colette	
	THIRION Xavier	
	THOMASSIN Jean-Marc	

## EMERITAT

### 2008

M. le Professeur	LEVY Samuel	31/08/2011
Mme le Professeur	JUHAN-VAGUE Irène	31/08/2011
M. le Professeur	PONCET Michel	31/08/2011
M. le Professeur	KASBARIAN Michel	31/08/2011
M. le Professeur	ROBERTOUX Pierre	31/08/2011

### 2009

M. le Professeur	DJIANE Pierre	31/08/2011
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2012

### 2010

M. le Professeur	MAGNAN Jacques	31/12/2014
------------------	----------------	------------

### 2011

M. le Professeur	DI MARINO Vincent	31/08/2015
M. le Professeur	MARTIN Pierre	31/08/2015
M. le Professeur	METRAS Dominique	31/08/2015

### 2012

M. le Professeur	AUBANIAC Jean-Manuel	31/08/2015
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2015
M. le Professeur	CAMBOULIVES Jean	31/08/2015
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2015
M. le Professeur	MATTEI Jean-François	31/08/2015
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2015
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2015

### 2013

M. le Professeur	BRANCHEREAU Alain	31/08/2016
M. le Professeur	CARAYON Pierre	31/08/2016
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2016
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2016
M. le Professeur	HENRY Jean-François	31/08/2016
M. le Professeur	LE GUICHAOUA Marie-Roberte	31/08/2016
M. le Professeur	RUFO Marcel	31/08/2016
M. le Professeur	SEBAHOUN Gérard	31/08/2016

### 2014

M. le Professeur	FUENTES Pierre	31/08/2017
M. le Professeur	GAMERRE Marc	31/08/2017
M. le Professeur	MAGALON Guy	31/08/2017
M. le Professeur	PERAGUT Jean-Claude	31/08/2017
M. le Professeur	WEILLER Pierre-Jean	31/08/2017

### 2015

M. le Professeur	COULANGE Christian	31/08/2018
M. le Professeur	COURAND François	31/08/2018
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2016
M. le Professeur	MATTEI Jean-François	31/08/2016
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2016
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2016

## EMERITAT

### 2016

M. le Professeur	BONGRAND Pierre	31/08/2019
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2017
M. le Professeur	BRUNET Christian	31/08/2019
M. le Professeur	CAU Pierre	31/08/2019
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2017
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2017
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2019
M. le Professeur	JAMMES Yves	31/08/2019
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2019
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2017
M. le Professeur	POITOUT Dominique	31/08/2019
M. le Professeur	SEBAHOUN Gérard	31/08/2017
M. le Professeur	VIALETTES Bernard	31/08/2019

### 2017

M. le Professeur	ALESSANDRINI Pierre	31/08/2020
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2018
M. le Professeur	CHAUVEL Patrick	31/08/2020
M. le Professeur	COZZONE Pierre	31/08/2018
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2018
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2018
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2018
M. le Professeur	SEBBAHOUN Gérard	31/08/2018

### 2018

M. le Professeur	MARANINCHI Dominique	31/08/2021
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2019
M. le Professeur	COZZONE Pierre	31/08/2019
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2019
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2019
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2019
M. le Professeur	RIDINGS Bernard	31/08/2021

### 2019

M. le Professeur	BERLAND Yvon	31/08/2022
M. le Professeur	CHARPIN Denis	31/08/2022
M. le Professeur	CLAVERIE Jean-Michel	31/08/2022
M. le Professeur	FRANCES Yves	31/08/2022
M. le Professeur	CAU Pierre	31/08/2020
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2020
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2020
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2020
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2020
M. le Professeur	MAGALON Guy	31/08/2020
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2020
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2020
M. le Professeur	WEILLER Pierre-Jean	31/08/2020

### 2020

M. le Professeur	DELPERO Jean-Robert	31/08/2023
M. le Professeur	GRIMAUD Jean-Charles	31/08/2023
M. le Professeur	SAMBUC Roland	31/08/2023
M. le Professeur	SEITZ Jean-François	31/08/2023
M. le Professeur	BERLAND Yvon	31/08/2022
M. le Professeur	CHARPIN Denis	31/08/2022
M. le Professeur	CLAVERIE Jean-Michel	31/08/2022
M. le Professeur	FRANCES Yves	31/08/2022
M. le Professeur	BONGRAND Pierre	31/08/2021
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2021

## EMERITAT

M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2021
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2021
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2021
M. le Professeur	WEILLER Pierre-Jean	31/08/2021

2021

M. le Professeur	BOUBLI Léon	31/08/2024
M. le Professeur	LEGRE Régis	31/08/2024
M. le Professeur	RAOULT Didier	31/08/2024
M. le Professeur	DELPERO Jean-Robert	31/08/2023
M. le Professeur	GRIMAUD Jean-Charles	31/08/2023
M. le Professeur	SAMBUC Roland	31/08/2023
M. le Professeur	SEITZ Jean-François	31/08/2023
M. le Professeur	BERLAND Yvon	31/08/2022
M. le Professeur	CHARPIN Denis	31/08/2022
M. le Professeur	CLAVERIE Jean-Michel	31/08/2022
M. le Professeur	FRANCES Yves	31/08/2022
M. le Professeur	BONGRAND Pierre	31/08/2022
M. le Professeur	BRUNET Christian	31/08/2022
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2022
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2022
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2022
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2022
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2022

<b>1967</b>	
MM. les Professeurs	DADI (Italie) CID DOS SANTOS (Portugal)
<b>1974</b>	
MM. les Professeurs	MAC ILWAIN (Grande-Bretagne) T.A. LAMBO (Suisse)
<b>1975</b>	
MM. les Professeurs	O. SWENSON (U.S.A.) Lord J.WALTON of DETCHANT (Grande-Bretagne)
<b>1976</b>	
MM. les Professeurs	P. FRANCHIMONT (Belgique) Z.J. BOWERS (U.S.A.)
<b>1977</b>	
MM. les Professeurs	C. GAJDUSEK-Prix Nobel (U.S.A.) C.GIBBS (U.S.A.) J. DACIE (Grande-Bretagne)
<b>1978</b>	
M. le Président	F. HOUPHOUET-BOIGNY (Côte d'Ivoire)
<b>1980</b>	
MM. les Professeurs	A. MARGULIS (U.S.A.) R.D. ADAMS (U.S.A.)
<b>1981</b>	
MM. les Professeurs	H. RAPPAPORT (U.S.A.) M. SCHOU (Danemark) M. AMENT (U.S.A.) Sir A. HUXLEY (Grande-Bretagne) S. REFSUM (Norvège)
<b>1982</b>	
M. le Professeur	W.H. HENDREN (U.S.A.)
<b>1985</b>	
MM. les Professeurs	S. MASSRY (U.S.A.) KLINSMANN (R.D.A.)
<b>1986</b>	
MM. les Professeurs	E. MIHICH (U.S.A.) T. MUNSAT (U.S.A.) LIANA BOLIS (Suisse) L.P. ROWLAND (U.S.A.)
<b>1987</b>	
M. le Professeur	P.J. DYCK (U.S.A.)
<b>1988</b>	
MM. les Professeurs	R. BERGUER (U.S.A.) W.K. ENGEL (U.S.A.) V. ASKANAS (U.S.A.) J. WEHSTER KIRKLIN (U.S.A.) A. DAVIGNON (Canada) A. BETTARELLO (Brésil)
<b>1989</b>	
M. le Professeur	P. MUSTACCHI (U.S.A.)

<b>1990</b>	
MM. les Professeurs	J.G. MC LEOD (Australie) J. PORTER (U.S.A.)
<b>1991</b>	
MM. les Professeurs	J. Edward MC DADE (U.S.A.) W. BURGENDORFER (U.S.A.)
<b>1992</b>	
MM. les Professeurs	H.G. SCHWARZACHER (Autriche) D. CARSON (U.S.A.) T. YAMAMURO (Japon)
<b>1994</b>	
MM. les Professeurs	G. KARPATI (Canada) W.J. KOLFF (U.S.A.)
<b>1995</b>	
MM. les Professeurs	D. WALKER (U.S.A.) M. MULLER (Suisse) V. BONOMINI (Italie)
<b>1997</b>	
MM. les Professeurs	C. DINARELLO (U.S.A.) D. STULBERG (U.S.A.) A. MEIKLE DAVISON (Grande-Bretagne) P.I. BRANEMARK (Suède)
<b>1998</b>	
MM. les Professeurs	O. JARDETSKY (U.S.A.)
<b>1999</b>	
MM. les Professeurs	J. BOTELLA LLUSIA (Espagne) D. COLLEN (Belgique) S. DIMAURO (U. S. A.)
<b>2000</b>	
MM. les Professeurs	D. SPIEGEL (U. S. A.) C. R. CONTI (U.S.A.)
<b>2001</b>	
MM. les Professeurs	P-B. BENNET (U. S. A.) G. HUGUES (Grande Bretagne) J-J. O'CONNOR (Grande Bretagne)
<b>2002</b>	
MM. les Professeurs	M. ABEDI (Canada) K. DAI (Chine)
<b>2003</b>	
M. le Professeur Sir	T. MARRIE (Canada) G.K. RADDI (Grande Bretagne)
<b>2004</b>	
M. le Professeur	M. DAKE (U.S.A.)
<b>2005</b>	
M. le Professeur	L. CAVALLI-SFORZA (U.S.A.)
<b>2006</b>	
M. le Professeur	A. R. CASTANEDA (U.S.A.)

**2007**

M. le Professeur

S. KAUFMANN (Allemagne)

## PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AGOSTINI FERRANDES Aubert	CHIARONI Jacques
ALBANESE Jacques Surnombre	CHINOT Olivier
ALIMI Yves	CHOSSEGROS Cyrille
AMABILE Philippe	COLLART Frédéric
AMBROSI Pierre	COSTELLO Régis
ANDRE Nicolas	COURBIERE Blandine
ARGENSON Jean-Noël	COWEN Didier
ASTOUL Philippe	CRAVELLO Ludovic
ATTARIAN Shahram	CUISSET Thomas
AUDOUIN Bertrand	DA FONSECA David
AUQUIER Pascal	DAHAN-ALCARAZ Laetitia
AVIERINOS Jean-François	DANIEL Laurent
AZULAY Jean-Philippe	DARMON Patrice
BAILLY Daniel	DAUMAS Aurélie
BARLESI Fabrice	DAVID Thierry
BARLIER-SETTI Anne	D'ERCOLE Claude
BARLOGIS Vincent	D'JOURNO Xavier
BARTHET Marc	DEHARO Jean-Claude
BARTOLI Christophe	DELAPORTE Emmanuel
BARTOLI Jean-Michel	DENIS Danièle
BARTOLI Michel	DISDIER Patrick
BARTOLOMEI Fabrice	DODDOLI Christophe
BASTIDE Cyrille	DRANCOURT Michel
BELIARD-LASSERRE Sophie	DUBUS Jean-Christophe
BENSOUSSAN Laurent	DUFFAUD Florence
BERBIS Philippe	DUFOUR Henry
BERBIS Julie	DURAND Jean-Marc
BERDAH Stéphane	DUSSOL Bertrand
BEROUD Christophe	EBBO Mikaël
BERTRAND Baptiste	EUSEBIO Alexandre
BERTUCCI François	FABRE Alexandre
BEYER-BERJOT Laura	FAKHRY Nicolas
BLAISE Didier	FAURE Alice
BLIN Olivier	FELICIAN Olivier
BLONDEL Benjamin	FENOLLAR Florence
BOISSIER Romain	FIGARELLA/BRANGER Dominique
BONIN/GUILLAUME Sylvie	FLECHER Xavier
BONELLO Laurent	FOUILLOUX Virginie
BONNET Jean-Louis	FOURNIER Pierre-Edouard
BOUFI Mourad	FRANCESCHI Frédéric
BOYER Laurent	FUENTES Stéphane
BREGEON Fabienne	GABERT Jean
BRETELLE Florence	GABORIT Bénédicte
BROUQUI Philippe	GAINNIER Marc
BRUDER Nicolas	GARCIA Stéphane
BRUE Thierry	GARIBOLDI Vlad
BRUNET Philippe	GAUDART Jean
BURTEY Stéphane	GAUDY-MARQUESTE Caroline
CARCOPINO-TUSOLI Xavier	GENTILE Stéphanie
CASANOVA Dominique	GERBEAUX Patrick
CASTINETTI Frédéric	GEROLAMI/SANTANDREA René
CECCALDI Mathieu	GILBERT/ALESSI Marie-Christine
CHAGNAUD Christophe	GIORGI Roch
CHAMBOST Hervé	GIOVANNI Antoine
CHAMPSAUR Pierre	GIRARD Nadine
CHANEZ Pascal	GIRAUD/CHABROL Brigitte
CHARAFFE-JAUFFRET Emmanuelle	GONCALVES Anthony
CHARREL Rémi	GRANEL/REY Brigitte
CHAUMOITRE Kathia	GRANDVAL Philippe
	GREILLIER Laurent

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AMABILE Philippe	COLLART Frédéric	GUIS Sandrine
AMBROSI Pierre	COSTELLO Régis	GUYE Maxime
ANDRE Nicolas	COURBIERE Blandine	GUYOT Laurent
ARGENSON Jean-Noël	COWEN Didier	<i>GUY'S Jean-Michel Retraite le 24/09/2021</i>
ASTOUL Philippe	CRAVELLO Ludovic	HABIB Gilbert
ATTARIAN Shahram	CUISSET Thomas	HARDWIGSEN Jean
AUDOUIN Bertrand	DA FONSECA David	HARLE Jean-Robert
AUQUIER Pascal	DAHAN-ALCARAZ Laetitia	HOUVENAEGHEL Gilles
AVIERINOS Jean-François	DANIEL Laurent	JACQUIER Alexis
AZULAY Jean-Philippe	DARMON Patrice	JOURDE-CHICHE Noémie
BAILLY Daniel	DAUMAS Aurélie	JOUBE Jean-Luc
BARLESI Fabrice	DAVID Thierry	KAPLANSKI Gilles
BARLIER-SETTI Anne	D'ERCOLE Claude	KARSENTY Gilles
BARLOGIS Vincent	D'JOURNO Xavier	<i>KERBAUL François détachement</i>
BARTHET Marc	DEHARO Jean-Claude	KRAHN Martin
BARTOLI Christophe	DELAPORTE Emmanuel	LAFFORGUE Pierre
BARTOLI Jean-Michel	DENIS Danièle	LAGIER Jean-Christophe
BARTOLI Michel	DISDIER Patrick	LAMBAUDIE Eric
BARTOLOMEI Fabrice	DODDOLI Christophe	LANCON Christophe
BASTIDE Cyrille	DRANCOURT Michel	LA SCOLA Bernard
BELIARD-LASSERRE Sophie	DUBUS Jean-Christophe	LAUNAY Franck
BENSOUSSAN Laurent	DUFFAUD Florence	LAVIELLE Jean-Pierre
BERBIS Philippe	DUFOUR Henry	LE CORROLLER Thomas
BERBIS Julie	DURAND Jean-Marc	LECHEVALLIER Eric
BERDAH Stéphane	DUSSOL Bertrand	LEHUCHER-MICHEL Marie-Pascale
BEROUD Christophe	EBBO Mikael	LEONE Marc
BERTRAND Baptiste	EUSEBIO Alexandre	LEONETTI Georges
BERTUCCI François	FABRE Alexandre	LEPIDI Hubert
BEYER-BERJOT Laura	FAKHRY Nicolas	LEVY Nicolas
BLAISE Didier	FAURE Alice	MACE Loic
BLIN Olivier	FELICIAN Olivier	MAGNAN Pierre-Edouard
BLONDEL Benjamin	FENOLLAR Florence	MANCINI Julien
BOISSIER Romain	FIGARELLA/BRANGER Dominique	MEGE Jean-Louis
BONIN/GUILLAUME Sylvie	FLECHER Xavier	MERROT Thierry
BONELLO Laurent	FOUILLOUX Virginie	METZLER/GUILLEMAIN Catherine
BONNET Jean-Louis	FOURNIER Pierre-Edouard	MEYER/DUTOUR Anne
BOUFI Mourad	FRANCESCHI Frédéric	MICCALEF/ROLL Joëlle
BOYER Laurent	FUENTES Stéphane	MICHEL Fabrice
BREGEON Fabienne	GABERT Jean	MICHEL Gérard
BRETELLE Florence	GABORIT Bénédicte	MICHEL Justin
BROUQUI Philippe	GAINNIER Marc	MICHELET Pierre
BRUDER Nicolas	GARCIA Stéphane	MILH Mathieu
BRUE Thierry	GARIBOLDI Vlad	MILLION Matthieu
BRUNET Philippe	GAUDART Jean	MOAL Valérie
BURTEY Stéphane	GAUDY-MARQUESTE Caroline	MORANGE Pierre-Emmanuel
CARCOPINO-TUSOLI Xavier	GENTILE Stéphanie	MOULIN Guy
CASANOVA Dominique	GERBEAUX Patrick	MOUTARDIER Vincent
CASTINETTI Frédéric	GEROLAMI/SANTANDREA René	NAUDIN Jean
CECCALDI Mathieu	GILBERT/ALESSI Marie-Christine	NICOLAS DE LAMBALLERIE Xavier
CHAGNAUD Christophe	GIORGI Roch	NICOLLAS Richard
CHAMBOST Hervé	GIOVANNI Antoine	NGUYEN Karine
CHAMPSAUR Pierre	GIRARD Nadine	OLIVE Daniel
CHANEZ Pascal	GIRAUD/CHABROL Brigitte	OLLIVIER Matthieu
CHARAFFE-JAUFFRET Emmanuelle	GONCALVES Anthony	OUAFIK L'Houcine
CHARREL Rémi	GRANEL/REY Brigitte	OVAERT-REGGIO Caroline
CHAUMOITRE Kathia	GRANDVAL Philippe	PAGANELLI Franck
	GREILLIER Laurent	<i>PANUEL Michel Surnombre</i>

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

PAPAZIAN Laurent	ROLL Patrice	VALERO René
PAROLA Philippe	ROSSI Dominique	VAROQUAUX Arthur Damien
PELISSIER-ALICOT Anne-Laure	ROSSI Pascal	VELLY Lionel
PELLETIER Jean	ROUDIER Jean	VEY Norbert
PERRIN Jeanne	SALAS Sébastien	VIDAL Vincent
PESENTI Sébastien	SARLON-BARTOLI Gabrielle	VIENS Patrice
PETIT Philippe	SCAVARDA Didier	VILLANI Patrick
PHAM Thao	SCHLEINITZ Nicolas	VITON Jean-Michel
PIERCECCHI/MARTI Marie-Dominic	SEBAG Frédéric	VITTON Véronique
PIQUET Philippe	SIELEZNEFF Igor	<i>VIEHWEGER Heide Elke détachement</i>
PIRRO Nicolas	SIMON Nicolas	VIVIER Eric
POINSO François	STEIN Andréas	XERRI Luc
RACCAH Denis	SUISSA Laurent	ZIELEZKIEWICZ Laurent
RANQUE Stéphane	TAIEB David	
REGIS Jean	THOMAS Pascal	
REYNAUD/GAUBERT Martine	THUNY Franck	
REYNAUD Rachel	TOSELLO Barthélémy	
RICHARD/LALLEMAND Marie-Alet	TREBUCHON-DA FONSECA Agnès	
RICHIERI Raphaëlle	<i>TRIGLIA Jean-Michel Surnombre</i>	
ROCHE Pierre-Hugues	TROPIANO Patrick	
ROCH Antoine	TSIMARATOS Michel	
ROCHWERGER Richard	TURRINI Olivier	

**PROFESSEUR DES UNIVERSITES**

ADALIAN Pascal  
AGHABABIAN Valérie  
BELIN Pascal  
CHABANNON Christian  
CHABRIERE Eric  
FERON François  
LE COZ Pierre  
LEVASSEUR Anthony  
RANJEVA Jean-Philippe  
SOBOL Hagay

**PROFESSEUR CERTIFIE**

FRAISSE-MANGIALOMINI Jeanne

**PROFESSEUR DES UNIVERSITES ASSOCIE à MI--TEMPS**

REVIS Joana

**PROFESSEUR DES UNIVERSITES MEDECINE GENERALE**

GENTILE Gaëtan

**PROFESSEUR DES UNIVERSITES ASSOCIE à TEMPS PLEIN DES DISCIPLINES MEDICALES**

BOUSSUGES Alain

**PROFESSEUR DES UNIVERSITES ASSOCIE à MI-TEMPS DES DISCIPLINES MEDICALES**

DUTAU Hervé

# MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AHERFI Sarah	GELSI/BOYER Véronique	ROBERT Thomas
ANGELAKIS Emmanouil ( <i>disponibilité</i> )	GIUSIANO Bernard	ROMANET Pauline
ATLAN Catherine ( <i>disponibilité</i> )	GIUSIANO COURCAMBECK Sophie	SABATIER Renaud
BEGE Thierry	GONZALEZ Jean-Michel	SARI-MINODIER Irène
BENYAMINE Audrey	GOURIET Frédérique	SAVEANU Alexandru
BIRNBAUM David	GRAILLON Thomas	SECQ Véronique
BONINI Francesca	GUERIN Carole	SOLER Raphael
BOUCRAUT Joseph	GUENOUN MEYSSIGNAC Daphné	STELLMANN Jan-Patrick
BOULAMERY Audrey	GUIDON Catherine	SUCHON Pierre
BOULLU/CIOCCA Sandrine	GUIVARCH Jokthan	TABOURET Emeline
BOUSSEN Salah Michel	HAUTIER Aurélie	TOGA Isabelle
BUFFAT Christophe	HRAIECH Sami	TOMASINI Pascale
CAMILLERI Serge	IBRAHIM KOSTA Manal	TROUDE Lucas
CARRON Romain	JALOUX Charlotte	TROUSSE Delphine
CASSAGNE Carole	JARROT Pierre-André	TUCHTAN-TORRENTS Lucile
CERMOLACCE Michel	KASPI-PEZZOLI Elise	VELY Frédéric
CHAUDET Hervé	L'OLLIVIER Coralie	VENTON Geoffroy
CHRETIEN Anne-Sophie	LABIT-BOUVIER Corinne	VION-DURY Jean
COZE Carole	LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina	ZATTARA/CANNONI Hélène
CUNY Thomas	LAGARDE Stanislas	
DADOUN Frédéric ( <i>disponibilité</i> )	LAGIER Aude ( <i>disponibilité</i> )	
DALES Jean-Philippe	LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude	
DARIEL Anne	LAMBERT Isabelle	
DEGEORGES/VITTE Joëlle ( <i>disponibilité</i> )	LENOIR Marien	
DEHARO Pierre	LEVY/MOZZICONACCI Annie	
DELLIAUX Stéphane	LOOSVELD Marie	
DELTEIL Clémence	MAAROUF Adil	
DESPLAT/JEGO Sophie	MACAGNO Nicolas	
DEVILLIER Raynier	MARLINGE Marion	
DUBOURG Grégory	MAUES DE PAULA André	
DUCONSEIL Pauline	MOTTOLA GHIGO Giovanna	
DUFOUR Jean-Charles	MEGE Diane	
ELDIN Carole	MOTTOLA GHIGO Giovanna	
FOLETTI Jean- Marc	NOUGAIREDE Antoine	
FRANKEL Diane	PAULMYER/LACROIX Odile	
FROMNOT Julien	RADULESCO Thomas	
GASTALDI Marguerite	RESSEGUIER Noémie	
GAUDRY Marine	ROBERT Philippe	

## MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

ABU ZAINEH Mohammad	DESNUES Benoît	RUEL Jérôme
BARBACARU/PERLES T. A.	MARANINCHI Marie	THOLLON Lionel
BERLAND Caroline	MERHEJ/CHAUVEAU Vicky	THIRION Sylvie
BOYER Sylvie	MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte	VERNA Emeline
COLSON Sébastien	POGGI Marjorie	
DEGIOANNI/SALLE Anna	POUGET Benoît	

## MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

CASANOVA Ludovic

**MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE  
MEDECINE GENERALE à MI-TEMPS**

BARGIER Jacques  
FIERLING Thomas  
FORTE Jenny  
JANCZEWSKI Aurélie  
NUSSLI Nicolas  
ROUSSEAU-DURAND Raphaëlle  
THERY Didier

**MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE à MI-TEMPS**

BOURRIQUEN Maryline  
EVANS-VIALLAT Catherine  
LAZZAROTTO Sébastien  
LUCAS Guillaume  
MATHIEU Marion  
MAYENS-RODRIGUES Sandrine  
MELLINAS Marie  
ROMAN Christophe  
TRINQUET Laure

**PROFESSEURS DES UNIVERSITES et MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES -  
PRATICIENS HOSPITALI PROFESSEURS ASSOCIES, MAITRES DE CONFERENCES DES  
UNIVERSITES mono-appartenants**

**ANATOMIE 4201**

CHAMPSAUR Pierre (PU-PH)  
LE CORROLLER Thomas (PU-PH)  
PIRRO Nicolas (PU-PH)

GUENOUN-MEYSSIGNAC Daphné (MCU-PH)  
LAGIER Aude (MCU-PH) *disponibilité*

THOLLON Lionel (MCF) (60ème section)

**ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES 4203**

CHARAFE/JAUFFRET Emmanuelle (PU-PH)  
DANIEL Laurent (PU-PH)  
FIGARELLA/BRANGER Dominique (PU-PH)  
GARCIA Stéphane (PU-PH)  
XERRI Luc (PU-PH)

DALES Jean-Philippe (MCU-PH)  
GIUSIANO COURCAMBECK Sophie (MCU PH)  
LABIT/BOUVIER Corinne (MCU-PH)  
MACAGNO Nicolas (MCU-PH)  
MAUES DE PAULA André (MCU-PH)  
SECQ Véronique (MCU-PH)

**ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION CHIRURGICALE ;  
MEDECINE URGENCE 4801**

ALBANESE Jacques (PU-PH) *Surnombre*  
BRUDER Nicolas (PU-PH)  
LEONE Marc (PU-PH)  
MICHEL Fabrice (PU-PH)  
VELLY Lionel (PU-PH)  
ZIELEZKIEWICZ Laurent (PU-PH)

BOUSSEN Salah Michel (MCU-PH)  
GUIDON Catherine (MCU-PH)

**ANTHROPOLOGIE 20**

ADALIAN Pascal (PR)  
DEGIOANNI/SALLE Anna (MCF)  
POUGET Benoît (MCF)  
VERNA Emeline (MCF)

**BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE ; HYGIENE HOSPITALIERE 4501**

CHARREL Rémi (PU PH)  
DRANCOURT Michel (PU-PH)  
FENOLLAR Florence (PU-PH)  
FOURNIER Pierre-Edouard (PU-PH)  
NICOLAS DE LAMBALLERIE Xavier (PU-PH)  
LA SCOLA Bernard (PU-PH)

AHERFI Sarah (MCU-PH)  
ANGELAKIS Emmanouil (MCU-PH) *disponibilité*  
DUBOURG Grégory (MCU-PH)  
GOURIET Frédérique (MCU-PH)  
NOUGAIREDE Antoine (MCU-PH)  
NINOVE Laetitia (MCU-PH)

CHABRIERE Eric (PR) (64ème section)

LEVASSEUR Anthony (PR) (64ème section)  
DESNUES Benoit (MCF) ( 65ème section )  
MERHEJ/CHAUVEAU Vicky (MCF) (87ème section)

**BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE 4401**

BARLIER/SETTI Anne (PU-PH)  
GABERT Jean (PU-PH)  
GUIEU Régis (PU-PH)  
OUAFIK L'Houcine (PU-PH)

BUFFAT Christophe (MCU-PH)  
FROMNOT Julien (MCU-PH)  
MARLINGE Marion (MCU-PH)  
MOTTOLA GHIGO Giovanna (MCU-PH)  
ROMANET Pauline (MCU-PH)  
SAVEANU Alexandru (MCU-PH)

**ANGLAIS 11**

FRAISSE-MANGIALOMINI Jeanne (PRCE)

**BIOLOGIE CELLULAIRE 4403**

ROLL Patrice (PU-PH)

FRANKEL Diane (MCU-PH)  
GASTALDI Marguerite (MCU-PH)  
KASPI-PEZZOLI Elise (MCU-PH)  
LEVY-MOZZICONNACCI Annie (MCU-PH)

**BIOLOGIE ET MEDECINE DU DEVELOPPEMENT  
ET DE LA REPRODUCTION ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5405**

METZLER/GUILLEMAIN Catherine (PU-PH)  
PERRIN Jeanne (PU-PH)

**BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE 4301**

GUEDJ Eric (PU-PH)  
 GUYE Maxime (PU-PH)  
 TAIEB David (PU-PH)

BELIN Pascal (PR) (69ème section)  
 RANJEVA Jean-Philippe (PR) (69ème section)

CAMMILLERI Serge (MCU-PH)  
 VION-DURY Jean (MCU-PH)

BARBACARU/PERLES Téodora Adriana (MCF) (69ème section)

**BIostatistiques, Informatique Médicale  
ET TECHNOLOGIES DE COMMUNICATION 4604**

GAUDART Jean (PU-PH)  
 GIORGI Roch (PU-PH)  
 MANCINI Julien (PU-PH)

CHAUDET Hervé (MCU-PH)  
 DUFOUR Jean-Charles (MCU-PH)  
 GIUSIANO Bernard (MCU-PH)

ABU ZINEH Mohammad (MCF) (5ème section)  
 BOYER Sylvie (MCF) (5ème section)

**CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE 5002**

ARGENSON Jean-Noël (PU-PH)  
 BLONDEL Benjamin (PU-PH)  
 FLECHER Xavier (PU PH)  
 OLLIVIER Matthieu (PU-PH)  
 ROCHWERGER Richard (PU-PH)  
 TROPIANO Patrick (PU-PH)

**CANCEROLOGIE ; RADIOTHERAPIE 4702**

BERTUCCI François (PU-PH)  
 CHINOT Olivier (PU-PH)  
 COWEN Didier (PU-PH)  
 DUFFAUD Florence (PU-PH)  
 GONCALVES Anthony (PU-PH)  
 HOUVENAEGHEL Gilles (PU-PH)  
 LAMBAUDIE Eric (PU-PH)  
 PADOVANI Laetitia (PH-PH)  
 SALAS Sébastien (PU-PH)  
 VIENS Patrice (PU-PH)

SABATIER Renaud (MCU-PH)  
 TABOURET Emeline (MCU-PH)

**CHIRURGIE MAXILLO****CARDIOLOGIE 5102**

AVIERINOS Jean-François (PU-PH)  
 BONELLO Laurent (PU PH) BONNET Jean-Louis (PU-PH)  
 CUISSET Thomas (PU-PH) DEHARO Jean-Claude (PU-PH)  
 FRANCESCHI Frédéric (PU-PH) HABIB Gilbert (PU-PH)  
 PAGANELLI Franck (PU-PH) THUNY Franck (PU-PH)

DEHARO Pierre (MCU PH)

**CHIRURGIE VISCERALE ET DIGESTIVE 5202**

BERDAH Stéphane (PU-PH)  
 BEYER-BERJOT Laura (PU-PH)  
 HARDWIGSEN Jean (PU-PH)  
 MOUTARDIER Vincent (PU-PH)  
 SEBAG Frédéric (PU-PH)  
 SIELEZNEFF Igor (PU-PH)  
 TURRINI Olivier (PU-PH)

BEGE Thierry (MCU-PH)  
 BIRNBAUM David (MCU-PH)  
 DUCONSEIL Pauline (MCU-PH)  
 GUERIN Carole (MCU PH)  
 MEGE Diane (MCU-PH)

**CHIRURGIE INFANTILE 5402**

GUYSS Jean-Michel (PU-PH) *Retraite le 24/09/2021*  
 FAURE Alice (PU PH)  
 JOUVE Jean-Luc (PU-PH)  
 LAUNAY Franck (PU-PH)  
 MERROT Thierry (PU-PH)  
 PESENTI Sébastien (PU-PH)  
 VIEHWEGER Heide Elke (PU-PH) *détachement*

DARIEL Anne (MCU-PH)

**CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE ET STOMATOLOGIE 5503**

CHOSSEGROS Cyrille (PU-PH)  
 GUYOT Laurent (PU-PH)

FOLETTI Jean-Marc (MCU-PH)

**CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIOVASCULAIRE 5103**

COLLART Frédéric (PU-PH)  
 D'JOURNO Xavier (PU-PH)  
 DODDOLI Christophe (PU-PH)  
 FOUILLOUX Virginie (PU-PH)  
 GARIBOLDI Vlad (PU-PH)  
 MACE Loïc (PU-PH)  
 THOMAS Pascal (PU-PH)

LENOIR Marien (MCU-PH)  
 TROUSSE Delphine (MCU-PH)

**CHIRURGIE PLASTIQUE,  
RECONSTRUCTRICE ET ESTHETIQUE ; BRÛLOGIE 5004**

BERTRAND Baptiste (PU-PH)  
 CASANOVA Dominique (PU-PH)

HAUTIER Aurélie (MCU-PH)  
 JALOUX Charlotte (MCU PH)

**CHIRURGIE VASCULAIRE ; MEDECINE VASCULAIRE 5104**

ALIMI Yves (PU-PH)  
 AMABILE Philippe (PU-PH)  
 BARTOLI Michel (PU-PH)  
 BOUFI Mourad (PU-PH)  
 MAGNAN Pierre-Edouard (PU-PH)  
 PIQUET Philippe (PU-PH)  
 SARLON-BARTOLI Gabrielle (PU PH)

GAUDRY Marine (MCU PH)  
 SOLER Raphael (MCU-PH)

**GASTROENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE ; ADDICTOLOGIE 5201**

BARTHET Marc (PU-PH)  
 DAHAN-ALCARAZ Laetitia (PU-PH)  
 GEROLAMI-SANTANDREA René (PU-PH)  
 GRANDVAL Philippe (PU-PH)  
 VITTON Véronique (PU-PH)

**HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE 4202**

LEPIDI Hubert (PU-PH)

PAULMYER/LACROIX Odile (MCU-PH)

GONZALEZ Jean-Michel (MCU-PH)

**GENETIQUE 4704****DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE 5003**

BERBIS Philippe (PU-PH)  
 DELAPORTE Emmanuel (PU-PH)  
 GAUDY/MARQUESTE Caroline (PU-PH)  
 GROB Jean-Jacques (PU-PH)  
 RICHARD/LALLEMAND Marie-Aleth (PU-PH)

BEROUD Christophe (PU-PH)  
 KRAHN Martin (PU-PH)  
 LEVY Nicolas (PU-PH)  
 NGYUEN Karine (PU-PH)  
  
 ZATTARA/CANNONI Hélène (MCU-PH)

**DUSI**

COLSON Sébastien (MCF)

BOURRIQUEN Maryline (MAST)  
 EVANS-VIALLAT Catherine (MAST)  
 LUCAS Guillaume (MAST)  
 MAYEN-RODRIGUES Sandrine (MAST)  
 MELLINAS Marie (MAST)  
 ROMAN Christophe (MAST)  
 TRINQUET Laure (MAST)

**GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5403**

AGOSTINI Aubert (PU-PH)  
 BRETTELLE Florence (PU-PH)  
 CARCOPINO-TUSOLI Xavier (PU-PH)  
 COURBIERE Blandine (PU-PH)  
 CRAVELLO Ludovic (PU-PH)  
 D'ERCOLE Claude (PU-PH)

**ENDOCRINOLOGIE ,DIABETE ET MALADIES METABOLIQUES ;  
GYNECOLOGIE MEDICALE 5404**

BRUE Thierry (PU-PH)  
 CASTINETTI Frédéric (PU-PH)

CUNY Thomas (MCU PH)

**EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE ET PREVENTION  
4601**

AUQUIER Pascal (PU-PH)  
BERBIS Julie (PU-PH)  
BOYER Laurent (PU-PH)  
GENTILE Stéphanie (PU-PH)

LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude (MCU-PH)  
RESSEGUIER Noémie (MCU-PH)

MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte (MCF)(06ème section)

**IMMUNOLOGIE 4703I**

KAPLANSKI Gilles (PU-PH)  
MEGE Jean-Louis (PU-PH)  
OLIVE Daniel (PU-PH)  
VIVIER Eric (PU-PH)

FERON François (PR) (69ème section)

BOUCRAUT Joseph (MCU-PH)  
CHRETIEN Anne-Sophie (MCU PH)  
DEGEORGES/VITTE Joëlle (MCU-PH)  
DESPLAT/JEGO Sophie (MCU-PH)  
JARROT Pierre-André (MCU PH)  
ROBERT Philippe (MCU-PH)  
VELY Frédéric (MCU-PH)

**MALADIES INFECTIEUSES ; MALADIES TROPICALES 4503**

BROUQUI Philippe (PU-PH)  
LAGIER Jean-Christophe (PU-PH)  
MILLION Matthieu (PU-PH)  
PAROLA Philippe (PU-PH)  
STEIN Andréas (PU-PH)

ELDIN Carole (MCU-PH)

**MEDECINE D'URGENCE 4805**

GERBEAUX Patrick (PU PH)  
KERBAUL François (PU-PH) *détachement*  
MICHELET Pierre (PU-PH)

**MEDECINE INTERNE ; GERIATRIE ET BIOLOGIE DU  
VIEILLISSEMENT ; ADDICTOLOGIE 5301**

BONIN/GUILLAUME Sylvie (PU-PH)      BENYAMINE Audrey (MCU-PH)  
DISDIER Patrick (PU-PH)  
DURAND Jean-Marc (PU-PH)  
EBBO Mikael (PU-PH)  
GRANEL/REY Brigitte (PU-PH)  
HARLE Jean-Robert (PU-PH)  
ROSSI Pascal (PU-PH)  
SCHLEINITZ Nicolas (PU-PH)

**HÉMATOLOGIE ; TRANSFUSION 4701**

BLAISE Didier (PU-PH)  
COSTELLO Régis (PU-PH)  
CHIARONI Jacques (PU-PH)  
GILBERT/ALESSI Marie-Christine (PU-PH)  
MORANGE Pierre-Emmanuel (PU-PH)  
VEY Norbert (PU-PH)

DEVILLIER Raynier (MCU PH)  
GELSI/BOYER Véronique (MCU-PH)  
IBRAHIM KOSTA Manal (MCU PH)  
LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina (MCU-PH)  
LOOSVELD Marie (MCU-PH)  
SUCHON Pierre (MCU-PH)  
VENTON (MCU-PH)

POGGI Marjorie (MCF) (64ème section)

**MEDECINE LEGALE ET DROIT DE LA SANTE 4603**

BARTOLI Christophe (PU-PH)  
LEONETTI Georges (PU-PH)  
PELLISSIER-ALICOT Anne-Laure (PU-PH)  
PIERCECCHI-MARTI Marie-Dominique (PU-PH)

DELTEIL Clémence (MCU PH)  
TUCHTAN-TORRENTS Lucile (MCU-PH)

BERLAND Caroline (MCF) (1ère section)

**MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION 4905**

BENSOUSSAN Laurent (PU-PH)  
VITON Jean-Michel (PU-PH)

**MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL 4602**

LEHUCHER/MICHEL Marie-Pascale (PU-PH)  
SARI/MINODIER Irène (MCU-PH)

**MEDECINE GENERALE 5303**

GENTILE Gaëtan (PR Méd. Gén. Temps plein)

CASANOVA Ludovic (MCF Méd. Gén. Temps plein)

BARGIER Jacques (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

FIERLING Thomas (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

FORTE Jenny (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

JANCZEWSKI Aurélie (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

NUSSLI Nicolas (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

ROUSSEAU-DURAND Raphaëlle

(MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

THERY Didier (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

(nomination au 1/10/2019)

**NUTRITION 4404**

BELIARD Sophie (PU-PH)

DARMON Patrice (PU-PH)

RACCAH Denis (PU-PH)

VALERO René (PU-PH)

*ATLAN Catherine (MCU-PH) disponibilité*

MARANINCHI Marie (MCF) (66ème section)

**ONCOLOGIE 65 (BIOLOGIE CELLULAIRE)**

CHABANNON Christian (PR) (66ème section)

SOBOL Hagay (PR) (65ème section)

**OPHTALMOLOGIE 5502**

DAVID Thierry (PU-PH)

DENIS Danièle (PU-PH)

**OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE 5501**

DESSI Patrick (PU-PH)

FAKHRY Nicolas (PU-PH)

GIOVANNI Antoine (PU-PH)

LAVIEILLE Jean-Pierre (PU-PH)

MICHEL Justin (PU-PH)

NICOLLAS Richard (PU-PH)

*TRIGLIA Jean-Michel (PU-PH) Surnombre*

RADULESCO Thomas (MCU-PH)

REVIS Joana (PAST) (Orthophonie) (7ème Section)

**NEPHROLOGIE 5203**

BRUNET Philippe (PU-PH)

BURTEY Stéphanne (PU-PH)

DUSSOL Bertrand (PU-PH)

JOURDE CHICHE Noémie (PU PH)

MOAL Valérie (PU-PH)

ROBERT Thomas (MCU-PH)

**NEUROCHIRURGIE 4902**

DUFOR Henry (PU-PH)

FUENTES Stéphane (PU-PH)

REGIS Jean (PU-PH)

ROCHE Pierre-Hugues (PU-PH)

SCAVARDA Didier (PU-PH)

CARRON Romain (MCU PH)

GRAILLON Thomas (MCU PH)

TROUDE Lucas (MCU-PH)

**NEUROLOGIE 4901**

ATTARIAN Sharham (PU PH)

AUDOIN Bertrand (PU-PH)

AZULAY Jean-Philippe (PU-PH)

CECCALDI Mathieu (PU-PH)

EUSEBIO Alexandre (PU-PH)

FELICIAN Olivier (PU-PH)

PELLETIER Jean (PU-PH)

SUISSA Laurent (PU-PH)

MAAROUF Adil (MCU-PH)

**PEDOPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE 4904**

DA FONSECA David (PU-PH)

POINSO François (PU-PH)

GUIVARCH Jokthan (MCU-PH)

**PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE -  
PHARMACOLOGIE CLINIQUE; ADDICTOLOGIE 4803**

BLIN Olivier (PU-PH)

MICALLEF/ROLL Joëlle (PU-PH)

SIMON Nicolas (PU-PH)

BOULAMERY Audrey (MCU-PH)

RANQUE Stéphane (PU-PH)

LE COZ Pierre (PR) (17ème section)

CASSAGNE Carole (MCU-PH)

MATHIEU Marion (MAST)

L'OLLIVIER Coralie (MCU-PH)

TOGA Isabelle (MCU-PH)

**PEDIATRIE 5401****PHYSIOLOGIE 4402**

ANDRE Nicolas (PU-PH)

BARTOLOMEI Fabrice (PU-PH)

BARLOGIS Vincent (PU-PH)

BREGEON Fabienne (PU-PH)

CHAMBOST Hervé (PU-PH)

GABORIT Bénédicte (PU-PH)

DUBUS Jean-Christophe (PU-PH)

MEYER/DUTOUR Anne (PU-PH)

FABRE Alexandre (PU-PH)

TREBUCHON/DA FONSECA Agnès (PU-PH)

GIRAUD/CHABROL Brigitte (PU-PH)

BOUSSUGES Alain (PR associé à temps plein)

MICHEL Gérard (PU-PH)

BONINI Francesca (MCU-PH)

MILH Mathieu (PU-PH)

BOULLU/CIOCCA Sandrine (MCU-PH)

OVAERT-REGGIO Caroline (PU-PH)

*DADOUN Frédéric (MCU-PH) (disponibilité)*

REYNAUD Rachel (PU-PH)

DELLIAUX Stéphane (MCU-PH)

TOSELLO Barthélémy (PU-PH)

LAGARDE Stanislas (MCU-PH)

TSIMARATOS Michel (PU-PH)

LAMBERT Isabelle (MCU-PH)

COZE Carole (MCU-PH)

RUEL Jérôme (MCF) (69ème section)

THIRION Sylvie (MCF) (66ème section)

**PSYCHIATRIE D'ADULTES ; ADDICTOLOGIE 4903****PNEUMOLOGIE; ADDICTOLOGIE 5101**

BAILLY Daniel (PU-PH)

ASTOUL Philippe (PU-PH)

LANCON Christophe (PU-PH)

BARLESI Fabrice (PU-PH)

NAUDIN Jean (PU-PH)

CHANEZ Pascal (PU-PH)

RICHIERI Raphaëlle (PU-PH)

GREILLIER Laurent (PU PH)

CERMOLACCE Michel (MCU-PH)

REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

**PSYCHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE,  
PCYCHOLOGIE SOCIALE**

TOMASINI Pascale (MCU-PH)

AGHABABIAN Valérie (PR)

DUTAU Hervé ( Pr Associé des universités à 1/2 temps)

LAZZAROTTO Sébastien (MAST)

**RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE 4302****RHUMATOLOGIE 5001**

BARTOLI Jean-Michel (PU-PH)

GUIS Sandrine (PU-PH)

CHAGNAUD Christophe (PU-PH)

LAFFORGUE Pierre (PU-PH)

CHAUMOITRE Kathia (PU-PH)

PHAM Thao (PU-PH)

GIRARD Nadine (PU-PH)

ROUDIER Jean (PU-PH)

JACQUIER Alexis (PU-PH)

MOULIN Guy (PU-PH)

*PANUEL Michel (PU-PH) surnombre*

PETIT Philippe (PU-PH)

VAROQUAUX Arthur Damien (PU-PH)

VIDAL Vincent (PU-PH)

**THERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE;  
ADDICTOLOGIE 4804**

STELLMANN Jan-Patrick (MCU-PH)

AMBROSI Pierre (PU-PH)

DAUMAS Aurélie (PU-PH)

VILLANI Patrick (PU-PH)

GAINNIER Marc (PU-PH)  
PAPAZIAN Laurent (PU-PH)  
ROCH Antoine (PU-PH)

HRAIECH Sami (MCU-PH)

BASTIDE Cyrille (PU-PH)  
BOISSIER Romain (PU-PH)  
KARSENTY Gilles (PU-PH)  
LECHEVALLIER Eric (PU-PH)  
ROSSI Dominique (PU-PH)

## Remerciements

### Aux membres du jury

Madame La Professeur Sandrine Guis,

C'est un grand honneur pour moi que vous présidiez ce jury. Merci pour votre encadrement ainsi que les conseils que vous m'avez donnés durant mon travail de thèse.

Monsieur Le Professeur Pierre Lafforgue,

Merci pour votre participation à mon jury de thèse, ce qui valorise ce travail. Merci pour votre investissement dans notre formation d'interne, ainsi que dans le partage de vos connaissances et expériences.

Monsieur le Docteur David Bendahan,

Merci pour votre présence dans ce jury.

Merci pour votre accompagnement et pour tous les conseils donnés durant ce travail de thèse.

Monsieur le Docteur Jean-Pierre Mattei

Merci pour votre présence dans ce jury, vos conseils et votre disponibilité durant ce travail de thèse.

A Enrico, à François et à Marc-Adrien, un plaisir de vous avoir rencontré et d'avoir travaillé avec vous sur ce projet. Merci pour votre aide.

A tous les Professeurs, médecins et assistants à Marseille, Lyon, Aix-en-Provence, avec qui j'ai pu travailler durant mon internat : Merci pour le temps que vous m'avez accordé pour parfaire ma formation d'interne et de médecin, merci pour le partage de vos connaissances et expériences.

## **A ma famille.**

A Papa et Maman, difficile de tout résumer en quelques lignes, ces mots ne pourraient résumer le fond de ma pensée. Merci de votre éducation, de m'avoir toujours mis dans les bonnes conditions de réussite, de votre soutien sans faille. Merci de m'avoir accompagné durant ce long périple que sont les études de médecine, de m'avoir motivé dans les moments difficiles.

Ce jour représente ma réussite, mais surtout la vôtre, je ne serai pas là sans vous. Je vous aime.

A Sara, merci d'avoir toujours été à mes côtés, de ton amour, et de ton soutien sans faille. Je pense que tu t'en doutes, mais je serai toujours là pour toi. Tu es une super petite sœur. Je t'aime.

A l'ensemble de mes cousins, cousines, oncle et tante côté paternel et maternel : merci pour votre soutien indéfectible, j'espère que ce jour vous rend fier de moi.

A Bassidi et mima côté paternel, le jour où vous pouvez enfin m'appeler Docteur est arrivé. J'espère vous rendre fier. Je vous aime.

A bassidi côté maternel, j'aurai aimé que tu sois à mes côtés en ce jour. Je sais que tu veilles sur moi d'en haut. J'espère te rendre fier de moi.

Amélie et sa poupou, merci d'avoir été là dans les bons et surtout les mauvais moments. Merci de me rendre heureux. Merci pour tout la drama. Love

## **Aux hermanos de la pampa**

A Didi et Sysy, ma meute. Mes frérots. Je ne saurai par où commencer tellement j'ai de choses à vous dire. Merci pour tout. Merci pour ces tous ces moments qu'on a vécu ensemble, ça m'a personnellement beaucoup fait grandir de vous fréquenter. Longue vie à notre amitié.

A Bibi : Même si tu t'es exilé à Bordeaux, AFTERRRRR.

A Clab et Rob : Le congrès de métaphysique philippin et argentin aura été un moment fort en votre compagnie. Merci à vous pour ces moments, et à très vite pour de nouvelles aventures.

A Alex : Un de mes piliers lyonnais. Merci pour tous les moments forts en émotion qu'on aura vécus ensemble. Mention spéciale pour ta grotte. Je regrette un peu qu'on ne se soit pas trop vu durant mon interCHU. J'espère qu'on remédiera à ça à compter de novembre vu qu'on a plus de problème de thèse maintenant.

A Paulo : On se sera bien marré durant notre externat, notamment avec les souris du 15 rue lanterne.

### **Amis de l'internat**

Merci à Rémy de m'avoir transformé en futur espoir du cyclisme marocain. Quand tu veux pour monter des tentes.

Merci à Polo également de m'avoir initié au vélo et pour tous ces moments passés en ta compagnie. Rdv devant les platines.

Merci à Rob, le folamour de wish, pour tes sets endiablés au weekend dromois, et merci pour les moments de rigolade (et de victoire à la coinche) vécus ensemble.

Valou, grand plaisir de t'avoir rencontré et d'avoir survécu avec toi à l'IHU. Merci pour tous ces moments passés en ta compagnie. A très vite pour parler aux arbres.

Une grosse bise au sanglier de la drome, le sang de la veine. Encore merci pour ce super week end d'anniversaire que tu nous as organisé, c'était la folie. Et quand tu veux pour une leçon de foot sur fifa, tout droit mbappé.

Salome, ma belle rencontre de cet internat. Merci pour tous ces moments de joie et de sheitanisme passé en ta compagnie. Et surtout, ne change pas, 80 COINCHE !

Jul, merci pour ces moments de franche rigolade avec toi, ces moments inoubliables de chanson sur palmito, hâte de la prochaine chanson.

Ion Ion, un grand merci également pour tous les moments de rigolade et innombrables discussions qu'on a eu ensemble.

Ola, ma drama queen, merci pour ce semestre dans la coloc aixoise, un régal.

Lilas, Camille, Emma, Alix merci pour tous les moments passé en votre compagnie

Claron, très heureux d'avoir passé ce deuxième semestre avec toi, j'ai rencontré une bistou en or. Merci pour tous ces moments fort agréable passé en ta compagnie.

Mention spéciale à TOUTE la fafa : Difficile d'en détacher un du lot, mais sachez que j'ai vraiment passé un super semestre avec vous, un plaisir de vous avoir rencontré. Hâte de vous revoir dans un mois avec ce fameux week-end surprise.

Pierre, depuis notre rencontre à Berlin, que du bonheur. Merci pour tous ces moments de teuf, les discussions houleuses qu'on a pu avoir, ainsi que ces sessions sportives de grimpe et vélo en ta compagnie. La Géorgie était la cerise sur le gâteau. Rdv cet hiver pour poncer un peu le ski et l'été prochain pour le tour d'un pays en vélo.

Luc, très agréable voyage géorgien en ta compagnie. Ce n'était pas de tout repos. Quand tu veux pour la partie 2.

Martin, le collègue rhumato et maître de soupe, j'ai passé un super semestre en ta compagnie. On est enfin débarrassé de la thèse à quelques jours d'intervalle, rdv petit run dans le tunnel de Xr pour fêter ça, Pr K.

Merci à Dave Dave pour tous les bons plats que tu nous as fait ce semestre et pour ces moments qu'on a passé ensemble dans la coloc.

Merci à Célia et Laura de m'avoir soutenu ce semestre et d'avoir été si chou avec moi dans ces moments de galère (je n'oublie pas les cookies).

Merci à Marie pour ce semestre. Toutes les discussions qu'on a eues ensemble, ces petites sorties également. Et arrête de te torturer, t'es une fille bien. J'espère que tu as bien kiffé Marseille.

Merci à Camille de m'avoir accepté dans votre coloc ce précédent semestre, d'avoir été si bienveillante, et pour tous les supers moments passé en ta compagnie. J'ai vraiment rencontré une personne en or, on se revoit très vite.

Merci également à Riri, DJ, Evan et Amandine pour ce super semestre d'interchu lyonnais passé en votre compagnie. J'ai adoré cette coloc, merci pour votre soutien durant mes périodes de stress.

### **Amis d'enfance**

Momo que de péripéties depuis le premier jour on s'est rencontré. Un plaisir et un honneur que tu fasses parti de mes meilleurs amis, dommage que tu n'aies pu venir ce jour, mais je pense fort à toi le frère.

Gaspard, dommage que tu n'aies pu venir, cher maître. Encore félicitations pour le barreau, fier de toi. On fêtera tout ça quand je monterai à Paris.

Pringles, un petit vide depuis que tu es parti à Berlin. En tout cas, merci de m'avoir supporté durant toutes ces années. Merci pour tous ces incroyables moments qu'on a vécu ensemble. Pleins de réussite dans ton nouveau job. Bisous frère.

Fethi, Thomas et Yassin, bien triste que vous ne soyez pas de la partie, mais je pense fort à vous.

### **Co-internes**

A tous les co-internes de rhumatologie et d'autres spécialités à Marseille et Lyon, avec qui j'ai pu passer un semestre.

A Benoit et Lucas, merci pour tous vos bons conseils.

Mention spéciale à Theo et Lisa : un grand plaisir, honneur d'avoir partagé mon deuxième semestre en votre compagnie. C'était sport, mais on s'est quand même bien marré.

Merci également à Juliette, Angélique, Aurélie(s), Justin, Evan, Dams. Guillaume et Abelsen, que de souvenirs intenses durant ce semestre à " La bourbonna ", vous avez été mes piliers. Merci à vous. Et quand tu veux pour une revanche au padel Guigui.

## Table des matières

<b>Introduction de thèse</b> .....	<b>1</b>
<b>Article : Évaluation combinée du cartilage et de l'os sous-chondral dans les compartiments arthrosiques et non arthrosiques du genou : Une étude IRM à ultra-haut champ</b> .....	<b>4</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>6</b>
<b>Sujets et méthodes</b> .....	<b>7</b>
Sujets .....	7
Méthodes.....	7
Échelles cliniques .....	7
IRM .....	8
Segmentation et mesures du cartilage.....	8
Analyse de l'os sous-chondral.....	9
Évaluation de la microstructure osseuse.....	9
Analyse statistique .....	10
<b>Résultats</b> .....	<b>10</b>
Os sous-chondral .....	10
Cartilage .....	11
Analyses corrélatives.....	11
<b>Discussion</b> .....	<b>12</b>
<b>Figures et Tableaux</b> .....	<b>17</b>
Figure 1 : segmentation du cartilage pour un sujet de l'étude.....	17
Figure 2 : montre la région d'intérêt (ROI) sous-chondrale qui a été sélectionnée en fonction de la définition anatomique sous-chondrale .....	17
Figure 3 : Paramètres de l'os sous-chondral dans les différents compartiments articulaires et les différents groupes .....	18
Figure 4 : Box plots des paramètres cartilagineux des différents compartiments articulaires.....	20
Tableau 1 : Données cliniques des sujets de l'étude.....	22
Tableau 2 : Données de score pour les sujets de l'études.....	23
Tableau 3 : Moyennes et erreur standard pour les paramètres osseux et cartilagineux pour chaque groupe.....	24
<b>Discussion et conclusion de thèse</b> .....	<b>31</b>
Figure 5 : Coupes d'IRM 23Na du genou d'un sujet sain (a) et d'un sujet présentant une gonarthrose .....	33
<b>Bibliographie</b> .....	<b>34</b>

## Introduction de thèse

L'arthrose est une maladie dégénérative des articulations et l'une des principales causes de douleur et de handicap chez les adultes [1]. Elle se décline en plusieurs types en raison de facteurs de risque systémiques ou locaux, tels que la génétique, l'obésité et le syndrome métabolique, le vieillissement de la population et les antécédents de traumatismes [2].

L'OARSI a défini l'arthrose comme « un trouble des articulations mobiles caractérisé par un stress cellulaire et une dégradation de la matrice extracellulaire initié par des micro- et macro-lésions qui activent des réponses de réparation inadaptées, y compris des voies pro-inflammatoires de l'immunité innée. La maladie se manifeste d'abord par un dérèglement moléculaire (métabolisme anormal des tissus articulaires) suivi de dérèglements anatomiques et/ou physiologiques (caractérisés par la dégradation du cartilage, le remodelage osseux, la formation d'ostéophytes, l'inflammation articulaire et la perte de la fonction articulaire normale), qui peuvent aboutir à la maladie » [3]. Sur le plan moléculaire, l'un des premiers signes de la maladie est l'atteinte de la matrice extracellulaire cartilagineuse caractérisée par la perte des glycosaminoglycanes et la dégradation des protéoglycanes. Cette dégradation est à l'origine d'une altération de la teneur en eau de la matrice cartilagineuse. Celle-ci entraîne à son tour une altération du réseau de collagène [4].

L'arthrose touche principalement le genou, la hanche, la main ou le rachis [5]. Le diagnostic de l'arthrose repose sur la symptomatologie clinique présentée par le patient et sur la radiographie des articulations concernées. La sémiologie radiographique met en exergue quatre éléments permettant de suspecter le diagnostic. Le premier correspond au pincement localisé de l'articulation, à la différence de l'arthrite, dont le pincement est global. Les autres signes sont l'ostéophytose, l'ostéosclérose de l'os sous-chondral et la présence de géodes d'hyperpression sous-chondrale.

L'impact sur les activités de la vie quotidienne est évalué par des questionnaires adaptés à l'articulation par exemple, de façon non exhaustive, le HOOS pour la hanche, le KOOS pour le genou, l'indice algo-fonctionnel de Lequesne pour la hanche et le genou ou encore l'indice de Dreiser pour la main [6-7].

La répercussion fonctionnelle associée aux signes cliniques et aux examens radiologiques du patient permettent d'orienter le patient vers la prise en charge la plus adéquate. A l'heure actuelle, il n'existe pas de traitement curatif de l'arthrose. Le traitement se résume en une prise en charge médicale symptomatique des poussées, et si échec ou invalidité majeure, en un traitement chirurgical. La place de la rééducation fonctionnelle et de l'activité physique est centrale.

En prenant pour exemple la gonarthrose, la prise en charge médicale pharmacologique est constituée des antalgiques de pallier I, voire II ou III si douleurs réfractaires ainsi que des anti-inflammatoires par voie orale ou topique. Sont également inclus dans l'arsenal thérapeutique, les infiltrations de corticostéroïdes. Les acides hyaluroniques et les PRP ne sont pas recommandés à ce jour. La prise en charge médicale non pharmacologique consiste en des mesures hygiéno-diététiques, une rééducation adaptée et du petit appareillage (orthèses). Peut se discuter selon certains cas, une prise en charge psychologique par thérapie cognitivo-comportementale. [8-9]

La gonarthrose est l'une des maladies dégénératives les plus courantes à l'origine d'un handicap chez les personnes âgées [10].

Les principaux symptômes de la gonarthrose sont la douleur, la raideur, le gonflement, la réduction des mouvements articulaires et la faiblesse musculaire péri articulaire. L'arthrose a pour conséquence la dégradation du cartilage, qui entraîne un rétrécissement de l'espace articulaire, le remodelage de l'os sous-chondral avec œdème osseux et sclérose sous-chondrale, l'inflammation synoviale, la formation de géodes d'hyperpression et d'ostéophytes, l'hypertrophie de la capsule articulaire, ainsi que des lésions dégénératives des ligaments et des ménisques [11-13].

La radiographie reste le meilleur examen paraclinique pour diagnostiquer et suivre l'évolution structurelle de l'arthrose. Cependant, cet examen présente des limites. En effet, il ne permet qu'une évaluation indirecte du cartilage en appréciant le rétrécissement de l'interligne articulaire. Il convient de noter que des discordances radio-cliniques ont été rapportées, étant donné l'absence de corrélation entre la gravité clinique et les atteintes radiologiques [14].

L'IRM est une méthode non invasive qui est utilisée pour évaluer les structures articulaires et péri articulaires dans les cas où il y a un doute diagnostique.

En recherche, en ce qui concerne le cartilage, l'IRM a été utilisée pour évaluer les paramètres morphologiques (épaisseur et volume) et les paramètres fonctionnels, tandis que la microarchitecture osseuse a également été évaluée.

En utilisant l'IRM 3T, une diminution de l'épaisseur du cartilage et une dégradation de la microarchitecture osseuse sous-chondrale ont été rapportées [15]. Des modifications du T2\* du cartilage ont été signalées au cours de la progression de gonarthrose [16], ce qui indique que le T2\* pourrait être un indice diagnostique intéressant dans les arthroses débutantes. En ce qui concerne les altérations osseuses, Barr et al. ont clairement montré le rôle important de l'os sous-chondral dans la progression de gonarthrose [17]. Cependant, il a été signalé que l'évaluation à l'aide de l'IRM 3T entraînait une sous-estimation de certains paramètres micro architecturaux osseux. En effet, Krug et al. ont montrés que le nombre de travées osseuse était calculé plus précisément en IRM UHC qu'en IRM 3T [18].

Depuis une dizaine d'années, l'IRM à ultra-haut champ soit à 7-Tesla (IRM UHC 7T) est utilisée dans la recherche en imagerie. L'IRM 7T est bien tolérée par les patients [19], avec peu d'effets secondaires. Grâce à une meilleure résolution des images, l'IRM UHC a été proposée comme un outil intéressant pour évaluer non seulement le cartilage mais aussi l'os et les tissus péri-articulaires environnants [20]. L'IRM UHC a récemment été utilisée pour l'évaluation des thérapies ciblant le cartilage [20-21]. Korpershoek et al ont utilisé l'IRM UHC pour le suivi à 6 mois et à 18 mois des défauts cartilagineux traitées par allogreffe chirurgicale de cellules souches mésenchymateuses versus traitement non chirurgical [21].

Dans le domaine de l'arthrose, les caractéristiques du cartilage et de l'os sous-chondral ont rarement été étudiées simultanément avec l'IRM UHC.

L'objectif de cette étude était d'évaluer simultanément, à l'aide de l'IRM UHC, les modifications de l'os sous-chondral et du cartilage chez des patients souffrant d'une arthrose fémoro-tibiale médiale. Nous avons également cherché à déterminer si le cartilage et l'os sous-chondral des articulations non atteintes d'arthrose, c'est-à-dire les articulations fémoro-tibiales latérales et fémoro-patellaires, étaient affectées ou non chez ces patients.

**Article : Évaluation combinée du cartilage et de l'os sous-chondral dans  
les compartiments arthrosiques et non arthrosiques du genou : Une  
étude IRM à ultra-haut champ**

Amir Bourara<sup>1</sup>, Marc-Adrien Hostin<sup>2,3</sup>, Enrico Soldati<sup>2,4,5</sup>, François Suzanne<sup>2,6</sup>, Jean-Pierre Mattei<sup>1,2</sup>, Theo Wirth<sup>1</sup>, Maxime Guye<sup>2</sup>, Christophe Chagnaud<sup>2,7</sup>, David Bendahan<sup>2</sup>, Sandrine Guis<sup>1,8,9</sup>

1 APHM, service de rhumatologie, Marseille, France

2 Aix-Marseille Univ, CNRS, CRMBM, UMR 7339, Marseille, France

3 Aix-Marseille Univ, Université de Toulon, CNRS, LIS, Marseille, France

4 Aix-Marseille Univ, CNRS, IUSTI (UMR 7343), Marseille, France

5 ISM, Aix Marseille univ, Marseille, France

6 Centre de référence pour les maladies neuromusculaires et la SLA, APHM, Hôpital de la Timone, Marseille, France.

7 Université Aix-Marseille, APHM, service de radiologie, Marseille, France.

8 Arthrites auto-immunes, INSERM 1097 UMR, Marseille France`.

9 Aix Marseille université, faculté de médecine, France

**Introduction** : La gonarthrose est l'une des maladies dégénératives les plus courantes qui provoquent des handicaps chez les personnes âgées. Bien que la radiographie soit largement utilisée comme outil de diagnostic, plusieurs limites ont été identifiées. Nous avons utilisé l'IRM à ultra-haut champ (IRM UHC) pour évaluer la microarchitecture du cartilage et de l'os sous-chondral chez des patients souffrant d'arthrose légère et sévère. Les compartiments classés arthrosiques ont également été comparés aux compartiments non arthrosiques.

**Patients et méthodes** : Vingt-quatre sujets (12 patients souffrant d'une arthrose fémoro-tibiale interne divisée en un groupe arthrose léger et un groupe arthrose sévère et 12 volontaires) ont été recrutés. L'IRM UHC a été utilisée pour calculer l'épaisseur (Tc), le volume (Vc) et le T2\* du cartilage. La microarchitecture osseuse a été évaluée sur la base de l'épaisseur trabéculaire (TbTh), du nombre de travées (TbN), de l'espacement trabéculaire (TbSp) et de la fraction du volume osseux (BVF).

**Résultats** : Pour le plateau tibial médial, alors que l'épaisseur était inchangée entre les deux groupes arthrose, le volume était diminué chez les patients atteints d'arthrose sévère. Pour la patella, le volume était diminué chez les patients atteints d'arthrose légère, alors que l'épaisseur était inchangée. Des résultats similaires ont été trouvés pour le condyle fémoral latéral. L'étude de la relaxation du T2\* du cartilage (T2\* mapping) n'a révélé aucun changement statistiquement significatif dans l'ensemble des compartiments articulaires du genou

Le TbSp calculé dans le plateau tibial latéral et dans la patella était significativement augmenté dans le groupe de patients atteints d'arthrose légère, alors que la plupart des paramètres de l'os sous-chondral étaient inchangés.

Des corrélations positives ont été trouvées entre les indices cartilagineux des compartiments arthrosiques et les indices osseux et cartilagineux des compartiments sains opposés.

**Discussion** : Le volume du cartilage semble plus sensible que l'épaisseur pour l'évaluation des modifications du cartilage dans l'arthrose. L'espacement trabéculaire (TbSp) serait un marqueur sensible de la dégradation de l'os sous-chondral. La dégradation du cartilage dans un compartiment arthrosique s'accompagnerait de modifications de l'os sous-chondral et du cartilage dans les compartiments sains opposés. Actuellement utilisée en recherche, l'IRM UHC est une méthode d'imagerie sensible. Elle apporte des informations intéressantes et se positionne comme un outil d'intérêt pour l'évaluation subtile de l'arthrose dans le cadre d'un essai clinique ou pour l'évaluation des stratégies thérapeutiques.

## Introduction

La gonarthrose est l'une des maladies dégénératives les plus courantes qui provoquent des handicaps chez les personnes âgées [10]. Les signes cliniques comprennent la douleur, la raideur, le gonflement et la réduction des mouvements articulaires ainsi que la faiblesse musculaire péri articulaire. L'arthrose a plusieurs conséquences, telle que le rétrécissement de l'espace articulaire, le remodelage de l'os sous-chondral, l'inflammation synoviale, les géodes, les ostéophytes, l'hypertrophie de la capsule articulaire et les lésions dégénératives des ligaments et des ménisques [11-13].

Bien que la radiographie soit largement utilisée comme outil de diagnostic de l'arthrose, plusieurs limites ont été identifiées. Plus précisément, l'intégrité de l'articulation ne peut être évaluée qu'indirectement, par le biais du rétrécissement de l'interligne articulaire et des modifications de l'os sous-chondral, et ce dans les stades avancés de la maladie. Il est à noter que des discordances radio-cliniques ont été rapportées dans l'arthrose étant donné l'absence de corrélation entre la sévérité clinique et radiologique [14]. L'IRM est une méthode non invasive qui a été utilisée pour évaluer les structures articulaires et périarticulaires de l'articulation du genou. En ce qui concerne le cartilage, l'IRM a été utilisée pour évaluer l'épaisseur, le volume et les paramètres fonctionnels, tandis que la microarchitecture osseuse a également été évaluée. En utilisant l'IRM 3T, une diminution de l'épaisseur du cartilage et une dégradation de la microarchitecture de l'os sous-chondral ont été rapportées [15]. En outre, des modifications du T2\* ont été signalées au cours de la progression de la gonarthrose [16], ce qui indique que le T2\* pourrait être un indice diagnostique intéressant de la gonarthrose. En ce qui concerne les altérations osseuses potentielles dans l'arthrose, Barr et al. ont clairement montré le rôle important de l'os sous-chondral dans la progression de la gonarthrose [17]. Cependant, il a été signalé que l'évaluation de l'os à l'aide de l'IRM 3T entraînait une sous-estimation des paramètres microarchitecturaux osseux. En effet, Krug et al. ont souligné la nécessité d'utiliser un champ magnétique d'une intensité supérieure à 3T pour évaluer avec précision le nombre de travées osseuses [18]. Au cours des dix dernières années, l'IRM à ultra-haut champ (IRM UHC) a été utilisée dans la recherche médicale. Grâce à la plus haute résolution des images, l'IRM UHC a été proposée comme un outil

d'intérêt pour évaluer non seulement le cartilage mais aussi l'os et les tissus périarticulaires environnants [20]. Dans le domaine de l'arthrose, les caractéristiques du cartilage et de l'os ont rarement été étudiées simultanément avec l'IRM UHC.

L'objectif de cette étude était d'évaluer simultanément, à l'aide de l'IRM UHC, les modifications de l'os sous-chondral et du cartilage chez les patients souffrant d'une arthrose fémoro-tibiale médiale. Nous avons également cherché à déterminer si le cartilage et l'os sous-chondral des articulations non atteintes d'arthrose, c'est-à-dire les articulations fémoro-tibiales latérales et fémoro-patellaires, étaient affectés ou non chez ces patients.

## **Sujets et méthodes**

### **Sujets**

Cette étude a été approuvée par notre comité d'éthique institutionnel « Comité de protection des personnes sud Méditerranée I » et chaque sujet a fourni un consentement éclairé écrit avant l'inscription. Au total, 24 sujets ont été recrutés, 12 patients souffrant d'une arthrose fémoro-tibiale médiale et 12 volontaires ne présentant aucune atteinte du genou et aucun symptôme clinique.

Le diagnostic de l'arthrose fémoro-tibiale médiale était basé sur un examen clinique et des radiographies du genou. Les sujets exclus de cette étude étaient ceux qui avaient des antécédents de pathologies ligamentaires ou méniscales du genou, des rhumatismes inflammatoires périphériques chroniques ou toute autre maladie affectant la structure osseuse ou cartilagineuse, ainsi que ceux présentant des contre-indication à la réalisation d'une IRM.

### **Méthodes**

#### **Échelles cliniques**

Chaque sujet a subi une évaluation de la douleur à l'aide de l'échelle visuelle analogique (EVA) [22], tandis qu'une évaluation plus globale de l'arthrose a été réalisée à l'aide du score KOOS [7] et du score WOMAC [7]. L'échelle EVA va de 0 (aucune douleur) à 10 (douleur insupportable). L'échelle KOOS est divisée en 5 sous-

catégories donnant un score relatif allant de 0 % (problèmes extrêmement invalidant du genou) à 100 (aucun problème du genou). L'échelle WOMAC est divisée en 3 sous-catégories et le score correspondant va de 0 (aucun problème) à 96 (problème majeur). La sévérité radiographique de l'arthrose a été évaluée à l'aide de l'échelle de Kellgren-Lawrence [23] calculée à partir de la radiographie des genoux. Plus précisément, les radiographies du genou comprenaient une radiographie de genou de face et profil, une incidence en Schuss et un défilé fémoro-patellaire.

## IRM

Les sujets ont été scannés en décubitus dorsal à l'aide d'une IRM UHC 7T (Magnetom Siemens). Le genou affecté était positionné dans une bobine dédiée au genou à 28 canaux. Des images anatomiques pondérées en T1 ont été enregistrées dans le plan sagittal à l'aide d'une séquence d'écho 3D avec rappel de gradient (T1 3D GRE, TR/TE = 15/4,36 ms, angle de bascule = 12°, bande passante = 326 Hz/pixel, champ de vision = 180\*180 mm, matrice = 768 x 768, dimension du voxel dans le plan 0,234 x 0,234 mm, épaisseur de la tranche = 1,5 mm, temps d'acquisition = 2 minutes 43 secondes). En outre, une carte sagittale T2\* a été calculée à partir d'une séquence GRE 3D (TR/TE = 38/3,55 ms, angle de bascule = 10°, bande passante = 372 Hz/pixel, champ de vision = 180\*180 mm, matrice = 448\*448, dimensions des voxels dans le plan = 0,402\*0,402 mm, épaisseur de la tranche = 3 mm, temps d'acquisition = 2 minutes 36 secondes). Ce protocole était similaire à celui qui avait été utilisé précédemment pour l'examen du genou à 3T [24-25] et 7T [26]. Pendant l'IRM, le genou des patients était immobilisé par des sacs de sable et fixé par des bandes Velcro pour éviter les mouvements involontaires. Les IRM ont été acquises avec une flexion du genou comprise entre 15 et 20 degrés.

## Segmentation et mesures du cartilage

Le cartilage articulaire a été segmenté manuellement sur les images MR T1W à l'aide de FSLEYES, le visualiseur d'images de FSL [27]. Le cartilage articulaire fémoro-tibial médial a été segmenté dans une coupe IRM tandis que le cartilage articulaire fémoro-tibial latéral et fémoro-patellaire a été segmenté dans une autre coupe (figure 1). Le volume total de chaque région segmentée a été calculé à partir du nombre de pixels

correspondant. L'épaisseur moyenne du cartilage des différentes régions a également été calculée. Pour chaque région segmentée, des patches droits ont été automatiquement sélectionnés et l'épaisseur correspondante a été calculée. Les masques segmentés ont été rééchantillonnés sur les images de cartographie T2\* et les valeurs T2\* correspondantes ont été calculées.

### Analyse de l'os sous-chondral

Les cartes de fraction de volume osseux (BVF) représentant le volume relatif de l'os dans chaque voxel ont été générées à partir des images GRE, comme décrit précédemment par Soldati et al [26]. Les images initiales ont été mises à l'échelle de façon linéaire afin de couvrir l'intervalle de 0 (os pur) à 255 (moelle pure) [28-29]. Dans chaque image, le fémur distal, le tibia proximal et la patella ont été délimités à l'aide de l'algorithme de Chan-Vese, qui s'est avéré robuste pour la séparation entre l'os, les tendons et le cartilage dans le genou [30-31]. La phase trabéculaire interne a ensuite été retirée des contours remplis en effectuant un processus de fermeture de 21 pixels (4,91 mm) dans toutes les directions et en soustrayant le masque obtenu du masque original. Enfin, la région d'intérêt (ROI) sous-chondrale de chaque segment osseux a été identifiée manuellement selon la référence osseuse anatomique, et le réseau osseux trabéculaire de chaque ROI a été étudié (Figure 2).

### Évaluation de la microstructure osseuse

La microstructure osseuse a été évaluée à partir des deux coupes utilisées pour l'évaluation du cartilage. Comme décrit précédemment, les ROIs ont été binarisés en utilisant un seuillage local automatique [32] et trois mesures indépendantes ont été calculées : la fraction de volume osseux (BVF), qui représente le rapport entre le volume osseux et le volume total, l'épaisseur trabéculaire (Tb.Th) et l'espacement trabéculaire (Tb.Sp), qui fournissent des informations sur les diamètres trabéculaires et la distance entre deux travées respectivement. Tb.Th et Tb.Sp ont été extrapolés en utilisant la carte de transformation de la distance à partir de laquelle a été dérivée la carte d'ouverture à l'aide du logiciel iMorph (iMorph\_v2.0.0, Aix-Marseille Université, Marseille, France) [33]. La carte d'ouverture fournit pour chaque pixel de l'os le diamètre du disque maximal totalement enfermé dans l'os et contenant ce voxel. Les

Tb.Th ont ensuite été déduites des valeurs moyennes de la distribution de la carte d'ouverture. Tb.Sp a été quantifié à partir de calculs similaires dans la phase de moelle de la ROI sous-chondrale. Enfin, le nombre de travées (Tb.N) a été calculé comme le rapport entre la BVF et la Tb.Th.

### Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de RStudio (4.0.2). Chaque paramètre quantitatif a été comparé entre les différents groupes à l'aide de tests non paramétriques de Wilcoxon avec corrections de Bonferonni. Une valeur p inférieure à 0,05 a été considérée comme statistiquement significative. Les coefficients de Spearman ont été calculés pour évaluer le degré de corrélation entre les différentes variables. Les corrections de Bonferonni ont été appliquées en cas de corrélations multiples avec une variable donnée.

## **Résultats**

Les volontaires étaient exclusivement des hommes sans douleur ni limitation des activités de la vie quotidienne. Les patients atteints d'arthrose étaient composés de 8 hommes et de 4 femmes. Les valeurs des scores anthropométriques et cliniques sont résumées dans le tableau 1 et le tableau 2. Selon l'échelle de Kellgren-Lawrence, 5 patients ont été classés comme légèrement atteints (KL1 et KL2) tandis que les 7 autres présentaient une arthrose sévère (KL3 et KL4). L'ensemble des volontaires ne présentait aucun signe clinico-radiologique pathologique.

Les paramètres osseux et cartilagineux de chaque groupe sont indiqués dans le tableau 3, la figure 3 et la figure 4.

### Os sous-chondral

Comme l'illustre la figure 3, la fraction volumique osseuse (BVF), l'épaisseur de l'os trabéculaire (TbTh) et le nombre de travées osseuses (TbN) du condyle fémoral médial, du condyle fémoral latéral, du plateau tibial médial et latéral et de la patella étaient similaires chez les patients et les témoins. En revanche, la TbSp calculée dans

le plateau tibial latéral (LT) était significativement augmentée dans les deux groupes arthrose. De plus, la TbSp calculée dans la patella était également significativement augmentée dans le groupe arthrose légère par rapport au groupe témoin.

### Cartilage

Comme l'illustre la figure 4, les volumes cartilagineux des plateaux tibiaux médiaux et latéraux étaient considérablement réduits chez les patients présentant une arthrose sévère en comparaison aux témoins. De même, l'épaisseur du cartilage était également réduite dans les mêmes régions. De plus, le volume du cartilage du plateau tibial médial était significativement réduit chez les patients sévèrement affectés par rapport aux patients légèrement affectés (figure 3). Pour le condyle fémoral médial, l'épaisseur du cartilage était significativement réduite chez les patients sévèrement affectés par rapport au groupe contrôle et aux patients légèrement affectés (figure 4). Dans la même région, le volume du cartilage était significativement diminué chez les patients atteints d'arthrose légère et sévère. En ce qui concerne le condyle fémoral latéral, le volume du cartilage était significativement réduit chez les patients atteints d'arthrose légère et sévère. Chez les patients atteints d'arthrose légère et sévère, le volume du cartilage patellaire était significativement réduit par rapport aux témoins (figure 4). Dans la même région, l'épaisseur du cartilage était significativement réduite chez les patients sévèrement atteints par rapport aux témoins.

La cartographie T2\* du cartilage (T2\* mapping) n'a révélé aucun changement statistiquement significatif dans l'ensemble des compartiments des articulations du genou.

### Analyses corrélatives

Des corrélations positives statistiquement significatives ont été trouvées entre l'épaisseur du cartilage du condyle fémoral médial et le volume du cartilage du plateau tibial médial,  $r = 0,46$  ( **$p=0,01$** ), et entre le volume du cartilage du condyle fémoral médial et l'épaisseur du cartilage de la patella,  $r = 0,38$  ( **$p=0,03$** ). L'épaisseur du cartilage du plateau tibial médial et l'épaisseur du cartilage de la patella étaient également liées de façon linéaire ( $r = 0,587$  ( **$p < 0,05$** )). Le volume du cartilage du plateau tibial médial était significativement corrélé à l'épaisseur trabéculaire de l'os sous-chondral patellaire,  $r = 0,41$  ( **$p = 0,02$** ).

## **Discussion**

Dans cette étude, nous avons utilisé l'IRM UHC pour évaluer simultanément l'os trabéculaire sous-chondral et le cartilage articulaire dans plusieurs régions du genou, à savoir le fémur distal, le tibia proximal et la patella de sujets atteints d'arthrose et de témoins. Les données volumétriques (épaisseur et volume) et l'étude de la relaxation du T2\* (T2\* mapping) ont été quantifiés pour le cartilage tandis que pour l'os sous-chondral, les indices de microarchitecture tels que l'épaisseur trabéculaire osseuse (TbTh), le nombre de travées osseuses (TbN), l'espacement trabéculaire (TbSp) et la fraction volumique osseuse (BVF) ont été calculés.

Comme prévu, le volume et l'épaisseur du cartilage étaient significativement réduits dans les compartiments arthrosiques. Pour le condyle fémoral médial, compartiment affecté par l'arthrose, le volume du cartilage était significativement réduit chez les patients atteints d'arthrose légère et sévère par rapport aux témoins.

Dans la même région, l'épaisseur du cartilage était également réduite chez les patients atteints d'arthrose sévère. Pour le plateau tibial médial, compartiment également touché par l'arthrose, le volume du cartilage était réduit de manière significative chez les patients atteints d'arthrose sévère par rapport aux patients légèrement atteints et aux témoins. Dans la même région, l'épaisseur du cartilage était réduite chez les patients sévèrement affectés par rapport aux témoins. Ces résultats suggèrent qu'au fur et à mesure que l'arthrose progresse, il y a une désorganisation puis une destruction du cartilage, ce qui conduit macroscopiquement à une perte de cartilage illustrée par des changements d'épaisseur et de volume [34]. Ces résultats sont cohérents avec ceux précédemment rapportés [15] [35]. En utilisant l'IRM 3T, Liu et al. ont rapporté que l'épaisseur du cartilage du condyle fémoral médial était diminuée chez les patients atteints d'arthrose sévère et légère [15], tandis que Harada et al. ont rapporté une corrélation négative significative entre le volume du cartilage et le score Kellgren Lawrence, suggérant ainsi que le volume du cartilage diminue au fur et à mesure que l'arthrose progresse [35]. Il est intéressant de noter que le volume du cartilage différait entre les patients sévèrement et légèrement affectés pour le plateau tibial médial, et entre les patients atteints d'arthrose légère et les témoins pour le

condyle fémoral médial, alors que l'épaisseur du cartilage ne différait pas. Ce résultat suggère que le volume du cartilage, plutôt que son épaisseur, devrait être préféré pour l'évaluation des modifications du cartilage dans l'arthrose. Dans une étude menée sur 600 patients atteints d'arthrose, une forte association entre le volume du cartilage et la progression radiographique de l'arthrose a été signalée [36].

En ce qui concerne les modifications de l'os sous-chondral, nous n'avons constaté aucune dégradation de la fraction volumique osseuse (BVF), de l'épaisseur trabéculaire (TbTh), de l'espacement trabéculaire (TbSp) ou du nombre de travées osseuses (TbN), que ce soit chez les patients atteints d'arthrose légère ou sévère. Les valeurs de BVF calculées dans la présente étude dans le condyle fémoral médial des témoins ( $0,292 \pm 0,019$ ) et des patients atteints d'arthrose ( $0,289 \pm 0,047$ ) étaient similaires à celles rapportées par Chang et al [37] dans le même compartiment, à savoir  $0,326 \pm 0,007$  et  $0,322 \pm 0,012$  chez les témoins et les patients atteints d'arthrose légère, respectivement, en utilisant la même intensité de champ magnétique. Il convient de noter que la différence de BVF entre l'arthrose et les contrôles était faible, c'est-à-dire inférieure à 1,5 %, et similaire dans les deux études. Les valeurs de la BVF rapportées par Bolbos et al [25], calculées à partir d'IRM 3T, étaient plus grandes chez les témoins et les patients atteints d'arthrose légère en comparaison à la présente étude et celle de Chang et al. Au contraire, les valeurs de la BVF rapportées par Liu et al [15], en utilisant l'IRM 3T, étaient plus petites ( $0,145 \pm 0,002$  et  $0,129 \pm 0,002$  chez les témoins et les patients atteints d'arthrose légère respectivement).

En outre, les valeurs de TbN rapportées dans la présente étude chez les témoins ( $1,182 \pm 0,075$ ) et chez les patients atteints d'arthrose légère ( $1,143 \pm 0,197$ ) étaient similaires à celles rapportées dans l'étude de Bolbos et al [25]. La différence quantifiée entre les témoins et les patients atteints d'arthrose était faible (inférieure à 6%) et similaire entre les deux études. Une différence similaire (13%) a également été rapportée pour le TbSp et les valeurs brutes étaient similaires.

Dans l'ensemble, les différences apparentes entre les études pourraient refléter le fait qu'une partie des paramètres de la microarchitecture osseuse sont sensibles au champ magnétique et plus spécifiquement à la résolution de l'image par rapport à la taille des travées, comme cela a été suggéré précédemment [18][38]. Les mêmes différences relatives dans notre étude et dans les études précédentes suggèrent qu'un

plus grand nombre de sujets aurait été nécessaire pour atteindre une signification statistique.

Le T2\* a été signalé comme étant sensible à la teneur en eau et à l'intégrité du réseau de fibres de collagène. Les changements de T2\* dans les articulations du genou ont été précédemment liés à une altération de la microarchitecture du cartilage, c'est-à-dire à une perte de protéoglycanes et à une désorganisation du réseau de collagène, ainsi qu'à une perte importante de la teneur en eau du cartilage [39-40].

Nous n'avons pas identifié de changements de T2\* dans nos groupes de patients atteints d'arthrose, ce qui indique que la réduction du volume du cartilage ne s'accompagnerait pas d'une désorganisation de la microarchitecture. Il est intéressant de noter que le T2\* et la différence du T2\* entre sujets sains et sujets atteints d'arthrose diminueraient en fonction de l'intensité du champ magnétique [41-42]. Sur cette base, la différence T2\* quantifiée à ultra haut-champ pourrait être minimisée.

Une diminution du T2\* a été signalée dans des échantillons de cartilage ex vivo provenant du condyle fémoral latéral de patients atteints d'arthrose [16]. Une diminution transitoire similaire a été signalée chez des patients atteints d'arthrose traités à l'acide hyaluronique, un traitement symptomatique de l'arthrose, bien que le volume de cartilage correspondant ait augmenté [20].

L'autre objectif de la présente étude était de déterminer si l'os sous-chondral et le cartilage étaient affectés ou non dans les compartiments radiographiquement normaux, c'est-à-dire l'articulation fémoro-tibiale externe et l'articulation fémoro-patellaire chez les patients atteints d'arthrose fémoro-tibiale médiale. Nos résultats indiquent clairement que le volume de cartilage du condyle fémoral latéral a diminué chez les patients atteints d'arthrose légère et sévère par rapport aux témoins. Dans la même région, l'épaisseur du cartilage était similaire chez les patients et les témoins. Dans le plateau tibial latéral, le volume et l'épaisseur du cartilage étaient réduits chez les patients sévèrement atteints par rapport aux témoins. Dans la patella, le volume du cartilage était réduit chez les patients atteints d'arthrose légère et sévère. En revanche, l'épaisseur du cartilage n'était réduite que chez les patients sévèrement atteints.

Pour l'os sous-chondral, la TbSp calculée dans le plateau tibial latéral (LT) était significativement augmentée dans les deux groupes d'arthrose. La TbSp calculée dans

la patella était également significativement augmentée dans le groupe d'arthrose légère par rapport au groupe contrôle. Ces résultats pourraient suggérer que lorsque l'arthrose touche un compartiment, l'os sous-chondral du compartiment sain serait dans une phase précoce de détérioration. D'après nos résultats, cette détérioration se manifesterait initialement par un élargissement des travées osseuses. Sur cette base, comme cela a été suggéré précédemment [25], la TbSp semble être un marqueur sensible de la dégradation de l'os sous-chondral.

Globalement, ces résultats confirment la faible sensibilité de la radiographie et suggèrent que les patients atteints d'arthrose pourraient bénéficier d'examens IRM, notamment pour le suivi de stratégies thérapeutiques potentielles. On peut se demander si certains compartiments articulaires n'ont pas été mal classés dans l'analyse radiographique. Cette analyse a été réalisée par deux experts en radiologie ostéoarticulaire ayant plus de 10 ans d'expérience, ce qui indique qu'une erreur de classification est hautement improbable.

Les corrélations rapportées entre la microarchitecture cartilagineuse et osseuse du plateau tibial médial et de la patella sont d'un grand intérêt. Elles suggèrent que lorsque le plateau tibial médial devient arthrosique, l'os sous-chondral et le cartilage de la patella sont également affectés. Là encore, ce type d'information n'est pas disponible à partir des analyses radiographiques conventionnelles et positionne l'IRM comme un outil d'intérêt pour l'évaluation subtile de l'arthrose, notamment dans le cadre d'un essai clinique. Les corrélations trouvées entre le cartilage du condyle fémoral médial et le cartilage de la patella illustrent également l'atteinte concomitante du cartilage rotulien et du condyle fémoral médial dans l'arthrose. La potentielle dégénérescence osseuse et cartilagineuse qui se produit dans le compartiment opposé sain est conforme aux résultats précédents [43]. Dans une analyse comparative des condyles fémoraux et des plateaux tibiaux chez des patients sains et atteints d'arthrose, Lindsay et al. ont signalé que la dégradation du cartilage articulaire dans un compartiment était corrélée à la perte de structures osseuses dans le compartiment opposé [43]. Ces résultats pourraient s'expliquer physiologiquement par un déséquilibre dans la transmission des forces biomécaniques et une modification de la charge articulaire provoquée par la perte de cartilage dans le compartiment arthrosique. Ces changements conduiraient à une usure prématurée de l'articulation du compartiment

sain [43-45]. Sur cette base, la question d'un traitement prophylactique des compartiments sains dans le cadre de l'arthrose pourrait alors être abordée.

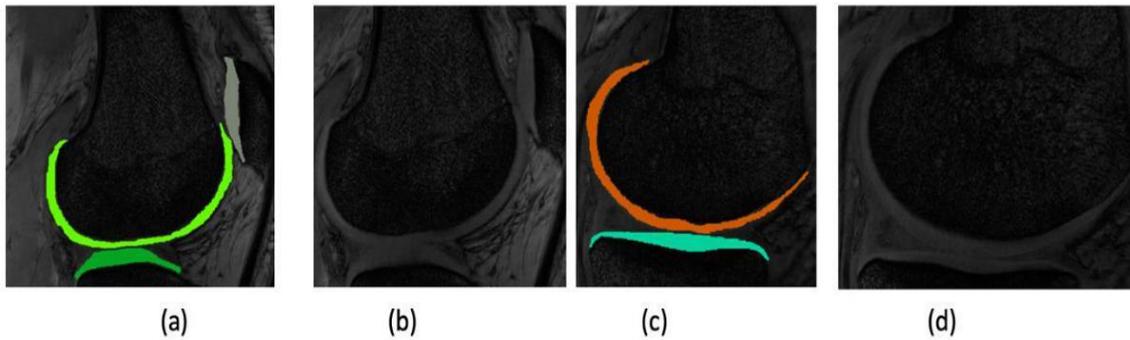
Plusieurs limites doivent être reconnues pour la présente étude. Le cartilage et l'os sous-chondral ont été analysés dans deux coupes IRM, de sorte que nous avons supposé que les images sélectionnées refléteraient la totalité de la zone cartilagineuse. Cependant, il a été signalé que les dommages causés par l'arthrose pouvaient être inhomogènes dans l'ensemble de l'articulation [46].

La deuxième limitation potentielle est liée au fait que les femmes n'ont été incluses que dans le groupe d'arthrose sévère. Étant donné que l'épaisseur du cartilage a été signalé comme plus fin chez les femmes [47-48], cela pourrait constituer un biais potentiel dans la présente analyse comparative du cartilage.

En conclusion, les résultats de cette étude confirment que le cartilage est affecté chez les patients atteints d'arthrose et indiquent que le volume de cartilage serait plus sensible que l'épaisseur pour évaluer les modifications du cartilage dans l'arthrose et que la dégradation du cartilage dans un compartiment arthrosique donné serait accompagnée de modifications de l'os sous-chondral et du cartilage dans les compartiments sains opposés. L'espacement trabéculaire (TbSp) serait alors un marqueur sensible de la dégradation de l'os sous-chondral.

Actuellement utilisée en recherche, l'IRM UHC est une méthode d'imagerie sensible. Elle apporte des informations intéressantes et se positionne comme un outil d'intérêt pour l'évaluation subtile de l'arthrose dans le cadre d'un essai clinique ou pour l'évaluation des stratégies thérapeutiques.

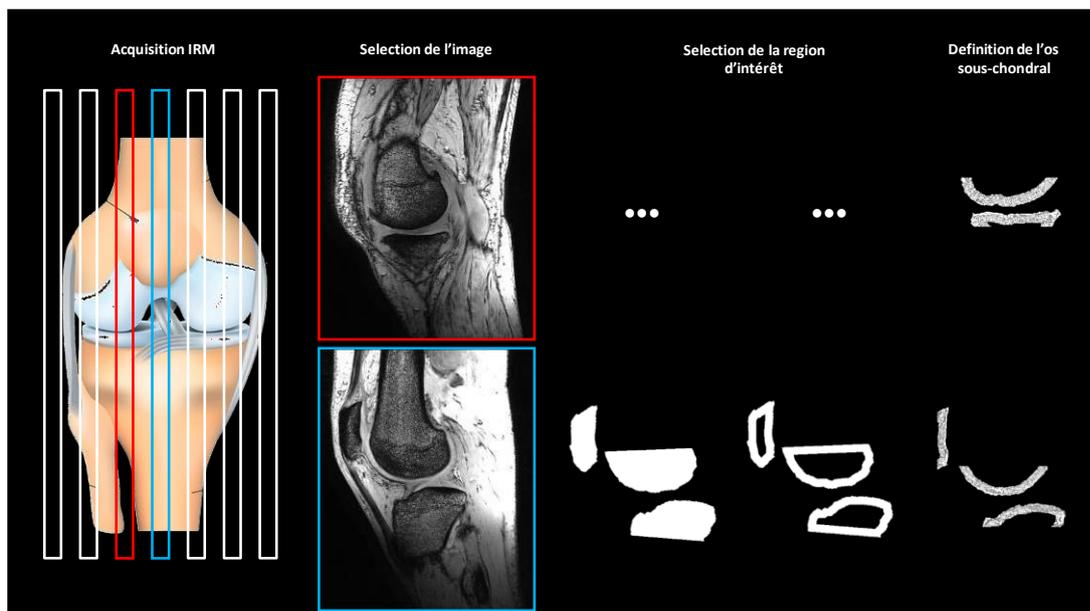
## Figures et Tableaux



(a) et (b) font référence à l'articulation fémoro-tibiale externe et à l'articulation fémoro-patellaire avec (a) et sans (b) segmentation.

(c) et (d) font référence à l'articulation fémoro-tibiale médiale avec (c) et sans (d) segmentation.

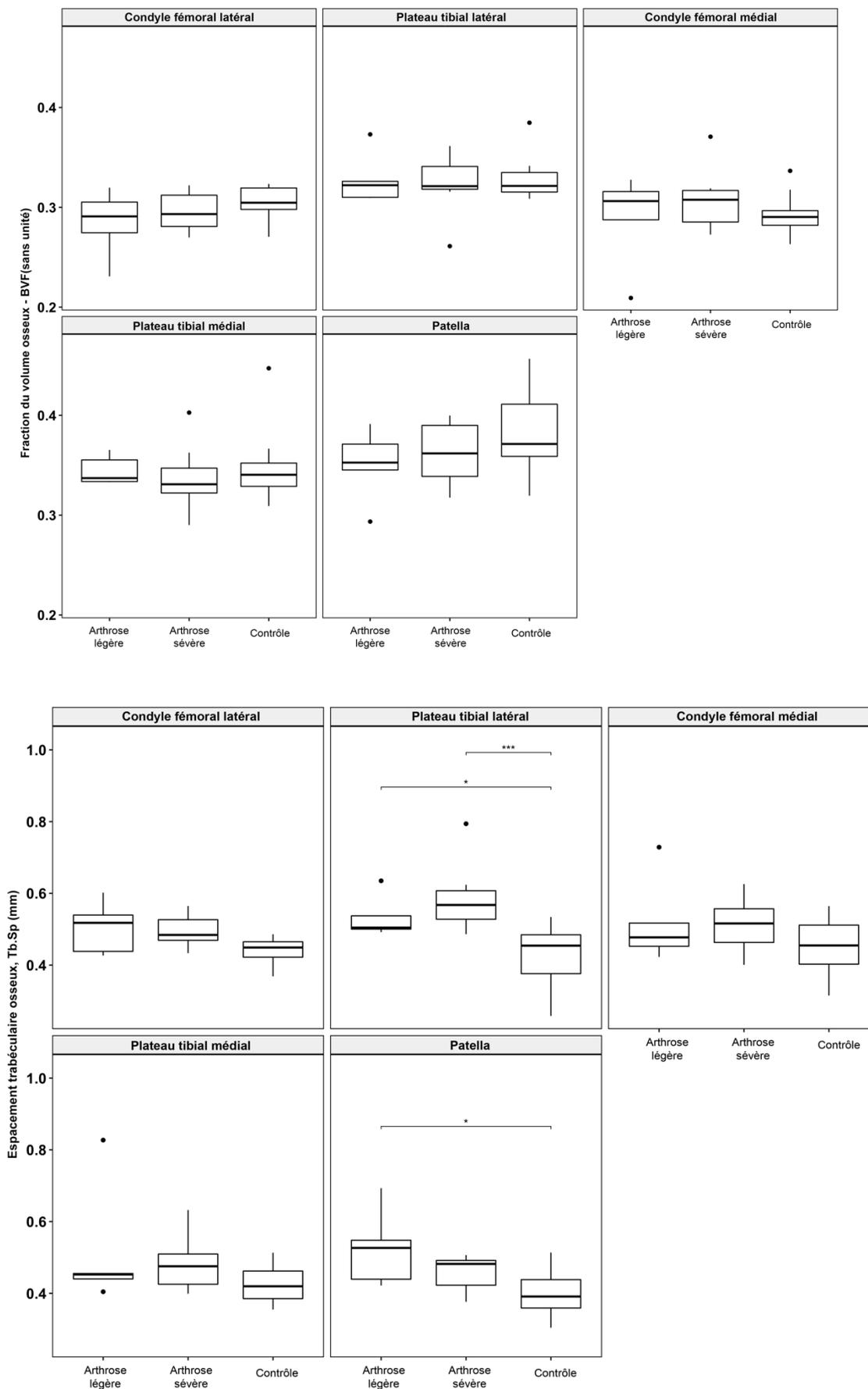
**Figure 1 : segmentation du cartilage pour un sujet de l'étude**

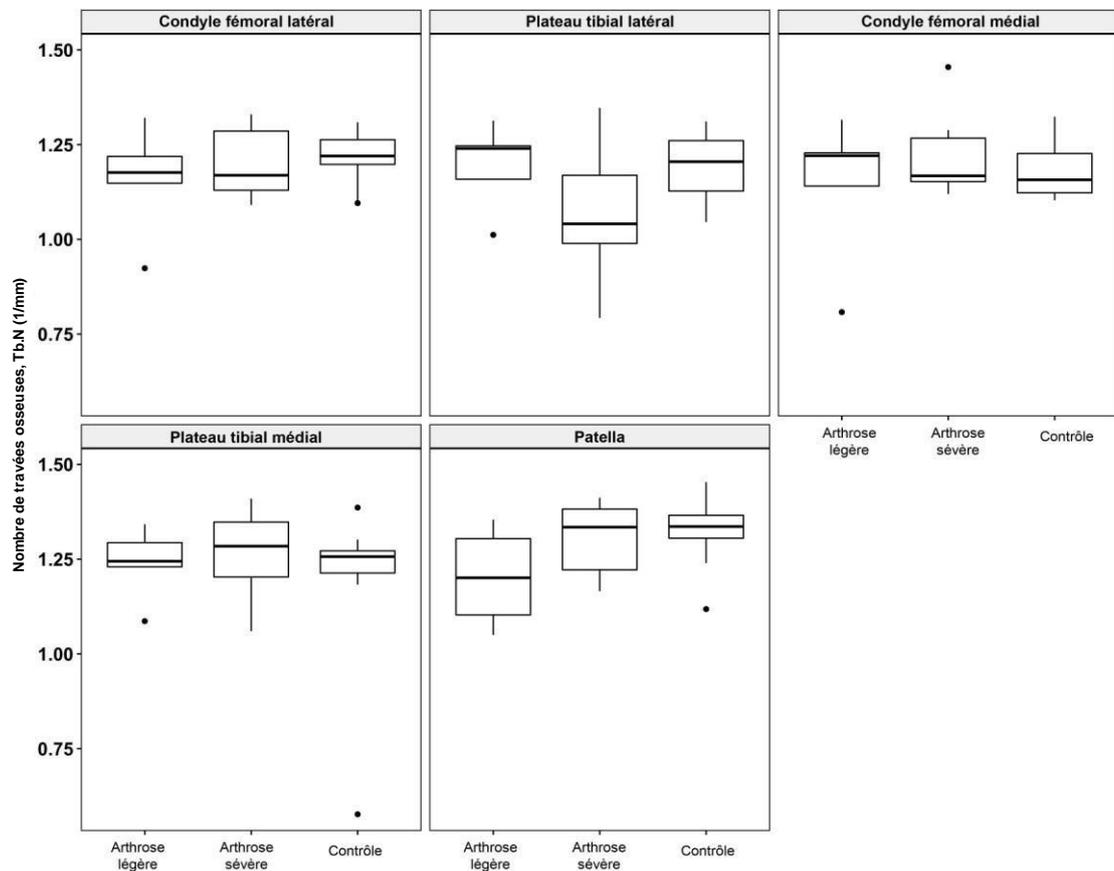
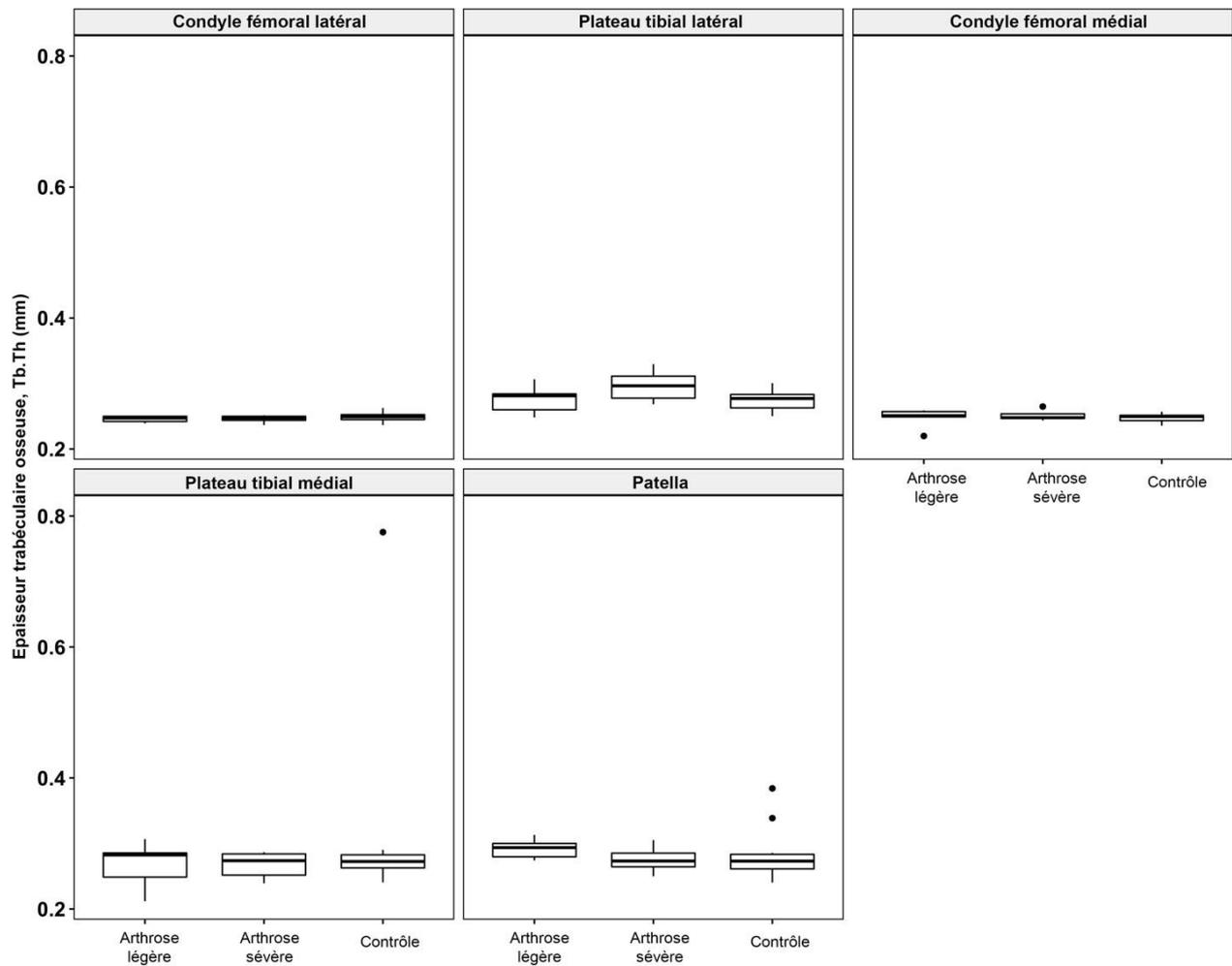


**Figure 2 : montre la région d'intérêt (ROI) sous-chondrale qui a été sélectionnée en fonction de la définition anatomique sous-chondrale.**

**Figure 3 : Paramètres de l'os sous-chondral dans les différents compartiments articulaires et les différents groupes.**

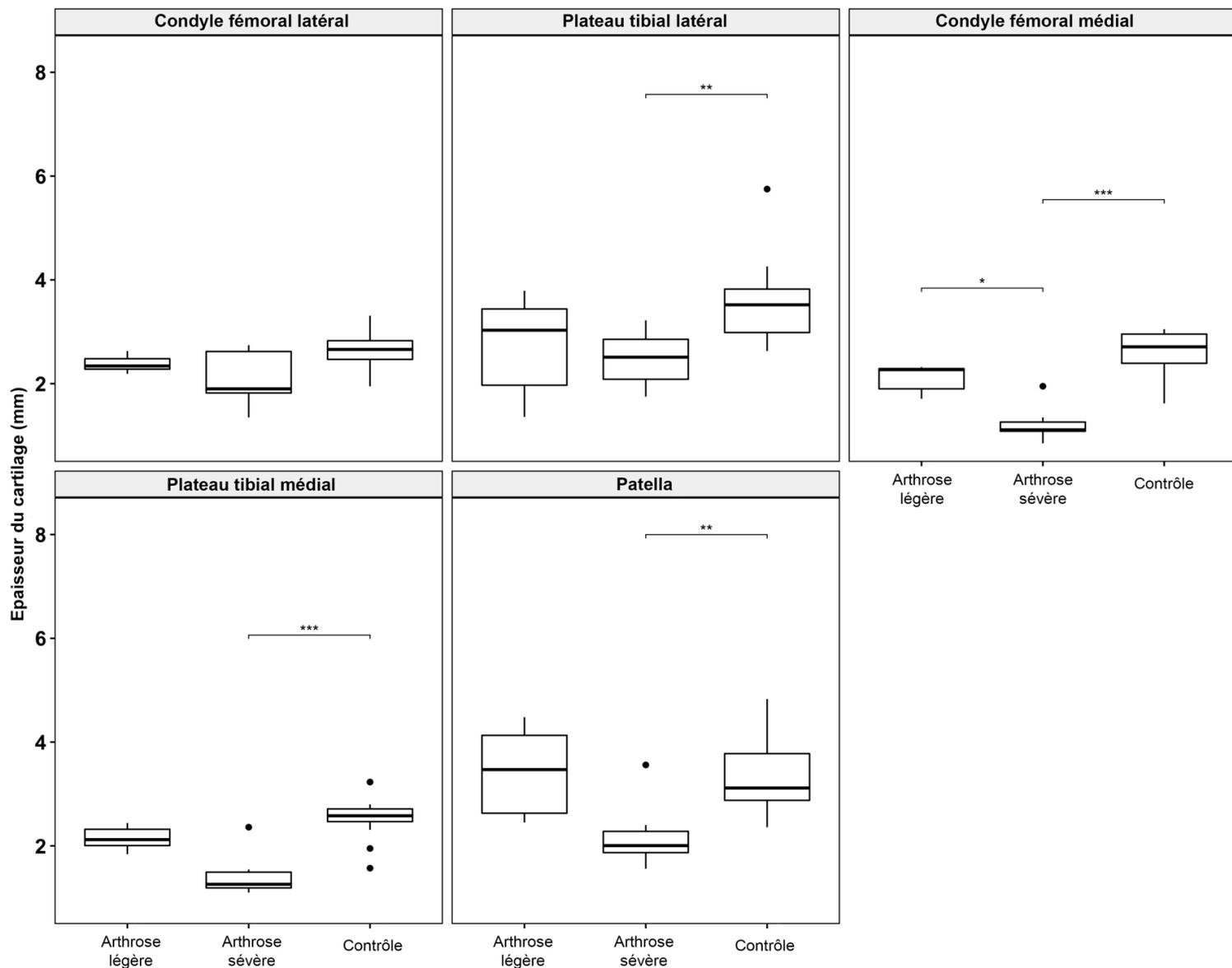
\* indique une différence statistiquement significative ( $p < 0,05$ )

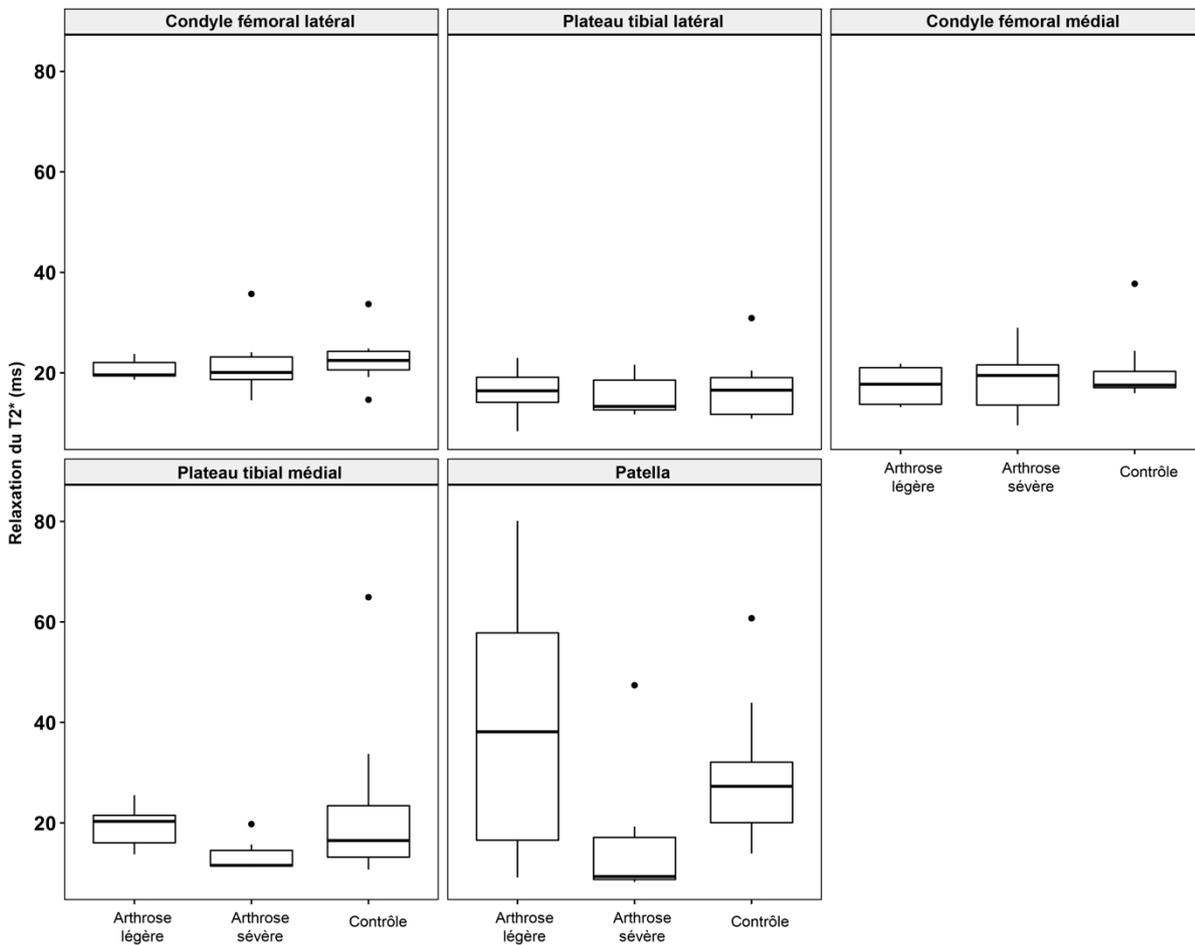
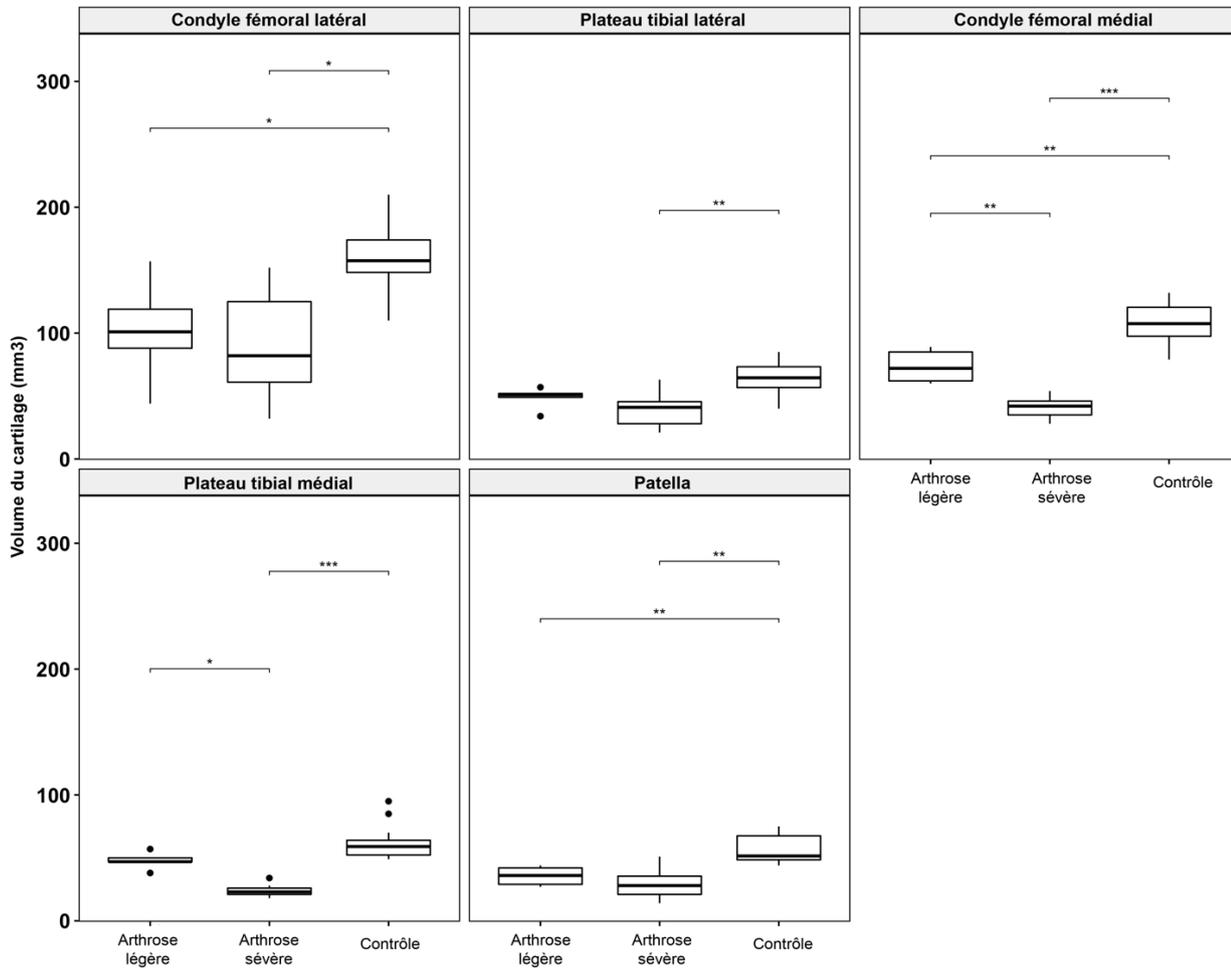




**Figure 4 : Box plots des paramètres cartilagineux des différents compartiments articulaires.**

\* indique une différence statistiquement significative (p < 0.05)





**Tableau 1 : Données cliniques des sujets de l'étude**

<b>Caractéristiques</b>	<b>Sujets atteints d'arthrose légère (n=5)</b>	<b>Sujets atteints d'arthrose sévère (n=7)</b>	<b>Sujets non atteints d'arthrose (n=12)</b>
<b>Sexe (masculin/féminin)</b>	5/0	3/4	12/0
<b>Âge (années)</b>	45.8 ± 15.57	67.14 ± 6.76	22.5 ± 1.56
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	27.1 ± 4,87	28.34 ± 4.971	21.8 ± 0.96
<b>Échelle Lawrence de Kellgren</b>	1.4 ± 0.54	3.7 ± 0.48	0

**Tableau 2 : Données de score pour les sujets de l'études**

	Sujets atteints d'arthrose légère	Sujets atteints d'arthrose sévère	Groupe contrôle
<b>EVA (/10)</b>	4.2 ± 0.83	4.71 ± 1.70	0
<b>Douleur WOMAC (/20)</b>	13.2 ± 2.16	11.28 ± 3.90	0
<b>Raideur WOMAC (/8)</b>	2.4 ± 1.81	3.42 ± 3.04	0
<b>Limitation fonctionnelle WOMAC (/68)</b>	23.6 ± 12.17	35.2 ± 15.3	0
<b>Score total WOMAC (/96)</b>	39.2 ± 12.59	49.9 ± 14.96	0
<b>Symptômes KOOS</b>	69.2 ± 11.94	57.14 ± 19.17	100
<b>KOOS Pain</b>	68.2 ± 19.72	58.71 ± 25.8	100
<b>KOOS ADL</b>	83.2 ± 23.68	52.28 ± 21.75	100
<b>KOOS Sport</b>	64 ± 22.19	48.57 ± 26.41	100
<b>KOOS QOL</b>	67.8 ± 16.2	51 ± 21.57	100
<b>KOOS Total</b>	70.5 ± 14.15	53.5 ± 18.69	100

**Tableau 3 : Moyennes et erreur standard pour les paramètres osseux et cartilagineux pour chaque groupe.**

\* indique une différence statistiquement significative ( $p < 0,05$ ) par rapport au groupe témoin, \*\* une différence statistiquement significative par rapport à l'arthrose légère et \*\*\*indique une différence statistiquement significative par rapport à l'arthrose sévère.

	Groupe	Paramètre cartilagineux	Moyenne
Cartilage du condyle fémoral médial	Groupe contrôle	Épaisseur (mm)	2.593 ± 0.459
		Volume (mm <sup>3</sup> )	<b>108.25 ± 16.515 **</b>
		T2* (ms)	19.988 ± 6.074
	Arthrose légère	Épaisseur (mm)	<b>2.098 ± 0.276 ***</b>
		Volume (mm <sup>3</sup> )	<b>73.6 ± 13.126***</b>
		T2* (ms)	17.506 ± 4.004
	Arthrose sévère	Épaisseur (mm)	<b>1.228 ± 0.351 *</b>
		Volume (mm <sup>3</sup> )	<b>40.857 ± 9.299 *</b>
		T2* (ms)	18.337 ± 6.755

	Groupe	Paramètre cartilagineux	Moyenne
Cartilage du plateau tibial médial	Groupe contrôle	Épaisseur (mm)	2.516 ± 0.422
		Volume (mm <sup>3</sup> )	62.167 ± 14.547
		T2* (ms)	21.986 ± 15.225
	Arthrose légère	Épaisseur (mm)	2.145 ± 0.24
		Volume (mm <sup>3</sup> )	<b>47.8 ± 6.834***</b>
		T2* (ms)	19.418 ± 4.639
	Arthrose sévère	Épaisseur (mm)	<b>1.441 ± 0.435 *</b>
		Volume (mm <sup>3</sup> )	<b>24.143 ± 5.367*</b>
		T2* (ms)	13.49 ± 3.207

	Groupe	Paramètre cartilagineux	Moyenne
Cartilage du condyle fémoral latéral	Groupe contrôle	Épaisseur (mm)	2.668 ± 0.36
		Volume (mm <sup>3</sup> )	160.667 ± 28.124
		T2* (ms)	22.617 ± 4.484
	Arthrose légère	Épaisseur (mm)	2.384 ± 0.173
		Volume (mm <sup>3</sup> )	<b>101.8 ± 41.457*</b>
		T2* (ms)	20.698 ± 2.152
	Arthrose sévère	Épaisseur (mm)	2.125 ± 0.535
		Volume (mm <sup>3</sup> )	<b>91.143 ± 45.922 *</b>
		T2* (ms)	22.006 ± 6.758

	Groupe	Paramètre cartilagineux	Moyenne
Cartilage du plateau tibial latéral	Groupe de contrôle	Épaisseur (mm)	3.586 ± 0.846
		Volume (mm <sup>3</sup> )	64.333 ± 13.527
		T2* (ms)	16.699 ± 5.713
	Arthrose légère	Épaisseur (mm)	2.718 ± 1.021
		Volume (mm <sup>3</sup> )	48.6 ± 8.678
		T2* (ms)	16.214 ± 5.471
	Arthrose sévère	Épaisseur (mm)	<b>2.48 ± 0.564 *</b>
		Volume (mm <sup>3</sup> )	<b>38.857 ± 14.531*</b>
		T2* (ms)	15.583 ± 4.094

	Groupe	Paramètre cartilagineux	Moyenne
Cartilage de la patella	Groupe de contrôle	Épaisseur (mm)	3.355 ± 0.728
		Volume (mm <sup>3</sup> )	55.833 ± 11.11
		T2* (ms)	29.044 ± 13.069
	Arthrose légère	Épaisseur (mm)	3.432 ± 0.894
		Volume (mm <sup>3</sup> )	<b>35.6 ± 7.57 *</b>
		T2* (ms)	40.35 ± 29.291
	Arthrose sévère	Épaisseur (mm)	<b>2.204 ± 0.656 *</b>
		Volume (mm <sup>3</sup> )	<b>29.429 ± 12.804*</b>
		T2* (ms)	16.666 ± 14.17

	Groupe	Paramètre osseux	Moyenne
Plateau tibial médial osseux	Groupe contrôle	BVF (sans dimension)	0.347 ± 0.037
		TBN (1/mm)	1.203 ± 0.204
		TBSP (mm)	0.425 ± 0.049
		TBTH (mm)	0.311 ± 0.147
	Arthrose légère	BVF (sans dimension)	0.345 ± 0.015
		TBN (1/mm)	1.239 ± 0.096
		TBSP (mm)	0.516 ± 0.175
		TBTH (mm)	0.267 ± 0.037
	Arthrose sévère	BVF (sans dimension)	0.337 ± 0.036
		TBN (1/mm)	1.265 ± 0.122
		TBSP (mm)	0.482 ± 0.08
		TBTH (mm)	0.267 ± 0.02

	<b>Groupe</b>	<b>Paramètre osseux</b>	<b>Moyenne</b>
<b>Condyle fémoral médial osseux</b>	<b>Groupe contrôle</b>	BVF (sans dimension)	0.292 ± 0.019
		TBN (1/mm)	1.182 ± 0.075
		TBSP (mm)	0.451 ± 0.08
		TBTH (mm)	0.247 ± 0.006
	<b>Arthrose légère</b>	BVF (sans dimension)	0.289 ± 0.047
		TBN (1/mm)	1.143 ± 0.197
		TBSP (mm)	0.52 ± 0.122
		TBTH (mm)	0.247 ± 0.016
	<b>Arthrose sévère</b>	BVF (sans dimension)	0.308 ± 0.033
		TBN (1/mm)	1.226 ± 0.117
		TBSP (mm)	0.512 ± 0.076
		TBTH (mm)	0.251 ± 0.007

	Groupe	Paramètre osseux	Moyenne
<b>Condyle fémoral latéral osseux</b>	<b>Groupe contrôle</b>	BVF (sans dimension)	0.304 ± 0.017
		TBN (1/mm)	1.218 ± 0.068
		TBSP (mm)	0.441 ± 0.037
		TBTH (mm)	0.249 ± 0.007
	<b>Arthrose légère</b>	BVF (sans dimension)	0.284 ± 0.034
		TBN (1/mm)	1.158 ± 0.146
		TBSP (mm)	0.505 ± 0.073
		TBTH (mm)	0.246 ± 0.005
	<b>Arthrose sévère</b>	BVF (sans dimension)	0.296 ± 0.021
		TBN (1/mm)	1.203 ± 0.097
		TBSP (mm)	0.496 ± 0.046
		TBTH (mm)	0.246 ± 0.005

	Groupe	Paramètre osseux	Moyenne
Plateau tibial latéral osseux	Groupe contrôle	BVF (sans dimension)	0.328 ± 0.021
		TBN (1/mm)	1.197 ± 0.085
		TBSP (mm)	0.427 ± 0.086
		TBTH (mm)	0.274 ± 0.016
	Arthrose légère	BVF (sans dimension)	0.328 ± 0.026
		TBN (1/mm)	1.194 ± 0.116
		TBSP (mm)	<b>0.534 ± 0.059 *</b>
		TBTH (mm)	0.276 ± 0.023
	Arthrose sévère	BVF (sans dimension)	0.323 ± 0.032
		TBN (1/mm)	1.071 ± 0.178
		TBSP (mm)	<b>0.588 ± 0.102 *</b>
		TBTH (mm)	0.296 ± 0.023

	Groupe	Paramètre osseux	Moyenne
Os sous-chondral de la patella	Groupe contrôle	BVF (sans dimension)	0.385 ± 0.042
		TBN (1/mm)	1.324 ± 0.085
		TBSP (mm)	0.4 ± 0.057
		TBTH (mm)	0.283 ± 0.04
	Arthrose légère	BVF (sans dimension)	0.351 ± 0.037
		TBN (1/mm)	1.202 ± 0.129
		TBSP (mm)	<b>0.526 ± 0.108 *</b>
		TBTH (mm)	0.292 ± 0.016
	Arthrose sévère	BVF (sans dimension)	0.362 ± 0.032
		TBN (1/mm)	1.303 ± 0.1
		TBSP (mm)	0.456 ± 0.049
		TBTH (mm)	0.275 ± 0.02

## **Discussion et conclusion de thèse**

Dans cette étude, nous avons profité de l'IRM UHC pour évaluer simultanément l'os trabéculaire sous-chondral et le cartilage articulaire dans plusieurs régions du genou, à savoir le fémur distal, le tibia proximal et la patella de sujets atteints d'arthrose fémoro-tibiale médiale et de témoins. L'épaisseur, le volume du cartilage et la relaxation du T2\* (T2\* mapping) ont été quantifiés pour le cartilage et des indices de la microarchitecture osseuse tels que l'épaisseur trabéculaire de l'os (TbTh), le nombre de travées osseuses (TbN), l'espacement des travées osseuses (TbSp) et la fraction du volume osseux (BVF) ont été calculés pour l'os sous-chondral.

L'objectif principal de l'étude était de quantifier les modifications de l'os et du cartilage dans les compartiments arthrosiques, à savoir le condyle fémoral médial et le plateau tibial médial.

Comme prévu, le volume et l'épaisseur du cartilage des compartiments arthrosiques étaient significativement réduits. En revanche, il convient de noter, que nos résultats montrent que le volume semble plus sensible que l'épaisseur pour l'évaluation des changements cartilagineux dans l'arthrose. Cette hypothèse semble en accord avec Schaefer et al., qui ont montré, dans une étude menée sur 600 patients atteints de gonarthrose, une forte association entre le volume du cartilage et la progression radiographique de l'arthrose [36].

Nous n'avons pas identifié de changements de T2\* dans nos groupes de patients atteints d'arthrose, indiquant que la réduction du volume du cartilage ne serait pas accompagnée d'une désorganisation de la microarchitecture cartilagineuse. La susceptibilité du T2\* à l'intensité du champ magnétique [41-42], ainsi que les résultats divergents de certaines études [16] [20] mets en valeur les limites potentielles de cette technique quant à discriminer le cartilage normal du pathologique, et remet en cause son utilisation en pratique clinique.

L'analyse de l'os sous-chondral des compartiments arthrosiques n'a pas retrouvé de différence sur la fraction volumique de l'os (BVF), l'épaisseur des travées (TbTh), l'espacement des travées (TbSp) et le nombre de travées (TbN) entre les sujets sains et atteint d'arthrose.

Ces résultats pourraient s'expliquer par la susceptibilité des paramètres osseux à l'intensité du champ magnétique, et donc à la résolution de l'image par rapport à la

taille du paramètre étudié. L'étude de Krug et al. [18] ainsi que celle de Soldati et al. [38] souligne la sous ou sur-estimation de la micro architecture osseuse en fonction de l'intensité du champ magnétique. Mais aussi, la similarité des paramètres osseux entre sujets sains et atteint d'arthrose pourraient s'expliquer par un manque de puissance de l'étude.

Dans un second temps, nous avons cherché à déterminer si le cartilage et/ou l'os sous-chondral, ipsilatéral, des articulations non arthrosiques, c'est-à-dire les articulations fémoro-tibiale latérale et fémoro-patellaire, étaient affectés ou non.

L'atteinte d'un ou plusieurs paramètres cartilagineux (volume, épaisseur) du condyle fémoral latéral, du plateau tibial latéral et de la patella, l'atteinte du TbSp du plateau tibial latéral et de la patella ainsi que les corrélations retrouvées entre les compartiments non arthrosique (paramètres osseux et/ou cartilagineux rotulien) et les paramètres cartilagineux des structures arthrosiques (condyle fémoral médial et plateau tibial médial) confirme l'hypothèse d'une atteinte des compartiments non arthrosique et laissent suggérer que lorsque l'arthrose touche un compartiment, le cartilage et l'os sous-chondral du compartiment sain ipsilatéral serait dans une phase précoce de détérioration. Cette détérioration se manifesterait par une atteinte du volume et/ou de l'épaisseur du cartilage, ainsi que par un élargissement des travées osseuses.

D'après nos résultats, le volume cartilagineux (Vc) et le TbSp semble être des marqueurs sensibles de la détérioration du cartilage et de l'os sous-chondral, comme cela a été suggéré précédemment [25] [36].

Ce travail de thèse offre une nouvelle manière d'analyser l'os sous-chondral et le cartilage dans le cadre de la gonarthrose. Bien que certains résultats ne soient pas significatifs, des tendances se dégagent.

L'IRM UHC permet, grâce à un rapport signal bruit augmenté, une amélioration de la résolution de l'image et donc une meilleure compréhension de la gonarthrose.

Ce travail a également mis en valeur l'imagerie fonctionnelle, avec le T2\* mapping.

L'IRM fonctionnelle (ou compositionnelle) a pour objectif de quantifier les altérations biochimiques du cartilage en mesurant la contenance en eau et la concentration en glycosaminoglycanes, ou en évaluant l'intégrité du réseau de collagène [39].

L'IRM compositionnelle pourrait être utile avec l'apparition de traitements ciblant l'arthrose (Spifermin, Tpx-100 et autres DMOADS...) [49-52].

Bien que le T2\* mapping fut non concluant dans notre étude, d'autres séquences d'imagerie fonctionnelle utilisées en recherche semblent prometteuses. Les principales séquences sont l'étude de la relaxation du T1 $\rho$ , le T2 mapping, l'IRM retardée du cartilage avec renforcement du gadolinium (dGEMRIC), le transfert de saturation par échange chimique du glycosaminoglycane (gagCEST), l'imagerie sodique, l'imagerie pondérée en diffusion (DWI) et l'imagerie du tenseur de diffusion (DTI) [53].

La méta-analyse de MacKay et al. soulignait les capacités discriminantes du T1 $\rho$  et du T2, qui sont augmentées de 1,9 ms pour le T2 (IC à 95% de 1,2 à 2,7 ms) et de 3,5 ms pour le T1 $\rho$  (IC à 95% de 1,9 à 5,2 ms) chez les patients arthrosiques [54].

En plus d'être original par son mode de fonctionnement, l'imagerie sodique semble également être intéressante pour l'imagerie du cartilage [55].

A la différence des IRM conventionnelle, l'IRM sodique ( $^{23}\text{Na}$ -IRM), capte son signal des ions sodium et non des protons. Le signal produit par les ions sodium est faible, ayant pour conséquence une faible résolution des images.

Pour contrecarrer cet effet, il est nécessaire d'associer l'IRM sodique à un champ magnétique de haute intensité [56].

A titre d'exemple, deux sujets de notre étude ont eu une  $^{23}\text{Na}$ -IRM (figure 5).

Ainsi, il pourrait être intéressant, d'évaluer, dans un prochain travail, les performances de l'imagerie sodique associée à l'IRM UHC ( $^{23}\text{Na}$ -IRM UHC) dans l'analyse du cartilage sain et pathologique.

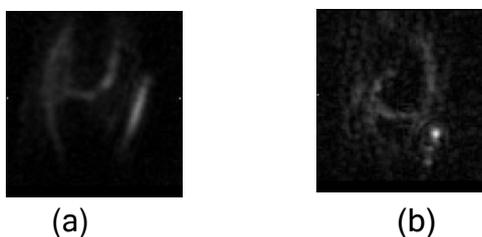


Figure 5 : Coupes d'IRM  $^{23}\text{Na}$  du genou d'un sujet sain (a) et d'un sujet présentant une gonarthrose

## **Bibliographie**

1. El-Tawil S, Arendt E, Parker D. Position statement: the epidemiology, pathogenesis and risk factors of osteoarthritis of the knee. *Journal of ISAKOS*. juill 2016;1(4):219- 28.
2. Vina ER, Kwok CK. Epidemiology of osteoarthritis: literature update. *Current Opinion in Rheumatology*. mars 2018;30(2):160- 7.
3. Kraus VB, Blanco FJ, Englund M, Karsdal MA, Lohmander LS. Call for standardized definitions of osteoarthritis and risk stratification for clinical trials and clinical use. *Osteoarthritis Cartilage*. 2015 Aug;23(8):1233-41. doi: 10.1016/j.joca.2015.03.036. Epub 2015 Apr 9. PMID: 25865392; PMCID: PMC4516635.
4. Żylińska B, Sobczyńska-Rak A, Lisiecka U, Stodolak-Zych E, Jarosz Ł, Szponder T. Structure and Pathologies of Articular Cartilage. *In Vivo*. 2021 May-Jun;35(3):1355-1363. doi: 10.21873/invivo.12388. Epub 2021 Apr 28. PMID: 33910813; PMCID: PMC8193327.
5. O'Neill TW, McCabe PS, McBeth J. Update on the epidemiology, risk factors and disease outcomes of osteoarthritis. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2018 Apr;32(2):312-326. doi: 10.1016/j.berh.2018.10.007. Epub 2018 Nov 22. PMID: 30527434.
6. Dreiser RL, Maheu E, Guillou GB, Caspard H, Grouin JM. Validation of an algofunctional index for osteoarthritis of the hand. *Rev Rheum (Engl Ed)* 1995; 62 (Suppl 1): 43S-53.
7. Collins NJ, Misra D, Felson DT, Crossley KM, Roos EM. Measures of knee function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), Activity Rating Scale (ARS), and Tegner Activity Score (TAS). *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2011 Nov;63 Suppl 11(0 11):S208-28. doi: 10.1002/acr.20632. PMID: 22588746; PMCID: PMC4336550.

8. Kolasinski SL, Neogi T, Hochberg MC, Oatis C, Guyatt G, Block J, Callahan L, Copenhaver C, Dodge C, Felson D, Gellar K, Harvey WF, Hawker G, Herzig E, Kwoh CK, Nelson AE, Samuels J, Scanzello C, White D, Wise B, Altman RD, DiRenzo D, Fontanarosa J, Giradi G, Ishimori M, Misra D, Shah AA, Shmagel AK, Thoma LM, Turgunbaev M, Turner AS, Reston J. 2019 American College of Rheumatology/Arthritis Foundation Guideline for the Management of Osteoarthritis of the Hand, Hip, and Knee. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2020 Feb;72(2):149-162. doi: 10.1002/acr.24131. Epub 2020 Jan 6. Erratum in: *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2021 May;73(5):764. PMID: 31908149.
9. Sakellariou G, Conaghan PG, Zhang W, Bijlsma JWJ, Boyesen P, D'Agostino MA, Doherty M, Fodor D, Kloppenburg M, Miese F, Naredo E, Porcheret M, Iagnocco A. EULAR recommendations for the use of imaging in the clinical management of peripheral joint osteoarthritis. *Ann Rheum Dis*. 2017 Sep;76(9):1484-1494. doi: 10.1136/annrheumdis-2016-210815. Epub 2017 Apr 7. PMID: 28389554.
10. Kan HS, Chan PK, Chiu KY, Yan CH, Yeung SS, Ng YL, Shiu KW, Ho T. Non-surgical treatment of knee osteoarthritis. *Hong Kong Med J*. 2019Apr;25(2):127-133. doi: 10.12809/hkmj187600. Epub 2019 Mar 28. PMID: 309 19810.
11. Loeser RF, Goldring SR, Scanzello CR, Goldring MB. Osteoarthritis: a disease of the joint as an organ. *Arthritis Rheum*. 2012 Jun;64(6):1697-707. doi: 10.1002/art.34453. Epub 2012 Mar 5. PMID: 22392533; PMCID: PMC3366018.
12. Chen D, Shen J, Zhao W, Wang T, Han L, Hamilton JL, Im HJ. Osteoarthritis: toward a comprehensive understanding of pathological mechanism. *Bone Res*. 2017 Jan 17;5:16044. doi: 10.1038/boneres.2016.44. PMID: 28149655; PMCID: PMC5240031.
13. Grynblas MD, Alpert B, Katz I, Lieberman I, Pritzker KP. Subchondral bone in osteoarthritis. *Calcif Tissue Int*. 1991 Jul;49(1):20-6. doi:10.1007/BF0255589 8. PMID: 1893292.

14. Steenkamp W, Rachuene PA, Dey R, Mzayiya NL, Ramasuvha BE. The correlation between clinical and radiological severity of osteoarthritis of the knee. *SICOT J.* 2022;8:14. doi: 10.1051/sicotj/2022014. Epub 2022 Apr 6. PMID: 35389338; PMCID: PMC8988866.
15. Liu C, Liu C, Ren X, Si L, Shen H, Wang Q, Yao W. Quantitative evaluation of subchondral bone microarchitecture in knee osteoarthritis using 3T MRI. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017 Nov 28;18(1):496. doi: 10.1186/s12891-017-1865-x. PMID: 29179754; PMCID: PMC5704369.
16. Bittersohl B, Hosalkar HS, Miese FR, Schibensky J, König DP, Herten M, Antoch G, Krauspe R, Zilkens C. Zonal T2\* and T1Gd assessment of knee joint cartilage in various histological grades of cartilage degeneration: an observational in vitro study. *BMJ Open.* 2015 Feb 9;5(2):e006895. doi: 10.1136/bmjopen-2014-006895. PMID: 25667150; PMCID: PMC4322206.
17. Barr AJ, Campbell TM, Hopkinson D, Kingsbury SR, Bowes MA, Conaghan PG. A systematic review of the relationship between subchondral bone features, pain and structural pathology in peripheral joint osteoarthritis. *Arthritis Res Ther.* 2015 Aug 25;17(1):228. doi: 10.1186/s13075-015-0735-x. PMID: 26303219; PMCID: PMC4548899.
18. Krug R, Carballido-Gamio J, Banerjee S, Burghardt AJ, Link TM, Majumdar S. In vivo ultra-high-field magnetic resonance imaging of trabecular bone microarchitecture at 7 T. *J Magn Reson Imaging.* 2008 Apr;27(4):854-9. doi: 10.1002/jmri.21325. PMID: 18383263.
19. Friebe B, Richter M, Penzlin S, Stärke C, Kropf S, Lohmann C, Fischbach F, Speck O. Assessment of Low-Grade Meniscal and Cartilage Damage of the Knee at 7 T: A Comparison to 3 T Imaging With Arthroscopic Correlation. *Invest Radiol.* 2018 Jul;53(7):390-396. doi: 10.1097/RLI.0000000000000456. PMID: 29521888.

20. Andreani L, Giuntoli M, Addevico F, Aringhieri G, Cosottini M, Marchetti S. The effect of viscosupplementation on early-stage knee osteoarthritis: Clinical evaluation and assessment of cartilage in vivo with 7 T MRI. *J Clin Orthop Trauma*. 2021 May 8;19:53-61. doi: 10.1016/j.jcot.2021.04.024. PMID: 34046300; PMCID: PMC8144354.
21. Korpershoek JV, Vonk LA, Kester EC, Creemers LB, de Windt TS, Kip MMA, Saris DBF, Custers RJH. Efficacy of one-stage cartilage repair using allogeneic mesenchymal stromal cells and autologous chondron transplantation (IMPACT) compared to nonsurgical treatment for focal articular cartilage lesions of the knee: study protocol for a crossover randomized controlled trial. *Trials*. 2020 Oct 9;21(1):842. doi: 10.1186/s13063-020-04771-8. PMID:33036661; PMCID: PMC7547426.
22. Downie WW, Leatham PA, Rhind VM, Wright V, Branco JA, Anderson JA. Studies with pain rating scales. *Ann Rheum Dis*. 1978 Aug;37(4):378-81. doi: 10.1136/ard.37.4.378. PMID: 686873; PMCID: PMC1000250.
23. KELLGREN JH, LAWRENCE JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis*. 1957 Dec;16(4):494-502. doi: 10.1136/ard.16.4.494. PMID: 13498604; PMCID: PMC1006995.
24. Chiba K, Uetani M, Kido Y, Ito M, Okazaki N, Taguchi K, Shindo H. Osteoporotic changes of subchondral trabecular bone in osteoarthritis of the knee: a 3-T MRI study. *Osteoporos Int*. 2012 Feb;23(2):589-97. doi: 10.1007/s00198-011-1585-2. Epub 2011 Feb 26. PMID: 21359670.
25. Bolbos RI, Zuo J, Banerjee S, Link TM, Ma CB, Li X, Majumdar S. Relationship between trabecular bone structure and articular cartilage morphology and relaxation times in early OA of the knee joint using parallel MRI at 3 T. *Osteoarthritis Cartilage*. 2008 Oct;16(10):1150-9. doi: 10.1016/j.joca.2008.02.018. Epub 2008 Apr 2. PMID: 18387828; PMCID: PMC2580796.

26. Soldati E, Escoffier L, Gabriel S, Ogier AC, Chagnaud C, Mattei JP, Cammilleri S, Bendahan D, Guis S. Assessment of in vivo bone microarchitecture changes in an anti-TNF $\alpha$  treated psoriatic arthritic patient. *PLoS One*. 2021 May 19;16(5):e0251788. doi: 10.1371/journal.pone.0251788. PMID: 34010320; PMCID: PMC8133422.
27. Jenkinson M, Beckmann CF, Behrens TE, Woolrich MW, Smith SM. FSL. *Neuroimage*. 2012 Aug 15;62(2):782-90. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.09.015. Epub 2011 Sep 16. PMID: 21979382.
28. Chang G, Rajapakse CS, Regatte RR, Babb J, Saxena A, Belmont HM, Honig S. 3 Tesla MRI detects deterioration in proximal femur microarchitecture and strength in long-term glucocorticoid users compared with controls. *J Magn Reson Imaging*. 2015 Dec;42(6):1489-96. doi: 10.1002/jmri.24927. Epub 2015 Jun 12. PMID: 26073878; PMCID: PMC4676948.
29. Rajapakse CS, Leonard MB, Bhagat YA, Sun W, Magland JF, Wehrli FW. Micro-MR imaging-based computational biomechanics demonstrates reduction in cortical and trabecular bone strength after renal transplantation. *Radiology*. 2012 Mar;262(3):912-20. doi: 10.1148/radiol.11111044. PMID: 22357891; PMCID: PMC3285225.
30. Jiang J-G, Guo Y, Zhan S, Li H. Segmentation of Knee Joints Based on Improved Multiphase Chan-Vese Model. 2008 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. Shang-hai, China: IEEE; 2008. pp. 2418-2422. <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2008.93739>.
31. Arovitola A, Gallo L. Knee bone segmentation from MRI: A classification and literature review. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*. 2016; 36: 437-449. <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2015.12.00740>.
32. Dougherty R, Kunzelmann K-H. Computing Local Thickness of 3D Structures with ImageJ. *MAM*.2007;13. <https://doi.org/10.1017/S1431927607074430>

33. Brun E, Ferrero C, Vicente J. Fast Granulometry Operator for the 3D Identification of Cell Structures. Dulio P, Frosini A, Rozenberg G, editors. *Fundam Informaticae*. 2017; 155: 363-372.
34. Madry H, Luyten FP, Facchini A. Biological aspects of early osteoarthritis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012 Mar;20(3):407-22. doi: 10.1007/s00167-011-1705-8. Epub 2011 Oct 19. PMID: 22009557.
35. Harada Y, Tokuda O, Fukuda K, Shiraishi G, Motomura T, Kimura M, Matsunaga N. Relationship between cartilage volume using MRI and Kellgren-Lawrence radiographic score in knee osteoarthritis with and without meniscal tears. *AJR Am J Roentgenol*. 2011 Mar;196(3):W298-304. doi: 10.2214/AJR.09.3556. PMID: 21343478.
36. Schaefer LF, Sury M, Yin M, Jamieson S, Donnell I, Smith SE, Lynch JA, Nevitt MC, Duryea J. Quantitative measurement of medial femoral knee cartilage volume - analysis of the OA Biomarkers Consortium FNIH Study cohort. *Osteoarthritis Cartilage*. 2017 Jul;25(7):1107-1113. doi: 10.1016/j.joca.2017.01.010. Epub 2017 Jan 30. PMID: 28153788; PMCID: PMC5466831.
37. Chang G, Xia D, Chen C, Madelin G, Abramson SB, Babb JS, Saha PK, Regatte RR. 7T MRI detects deterioration in subchondral bone microarchitecture in subjects with mild knee osteoarthritis as compared with healthy controls. *J Magn Reson Imaging*. 2015 May;41(5):1311-7. doi: 10.1002/jmri.24683. Epub 2014 Jun 30. PMID: 24979471.
38. Soldati E, Vicente J, Guenoun D, Bendahan D, Pithioux M. Validation and Optimization of Proximal Femurs Microstructure Analysis Using High Field and Ultra-High Field MRI. *Diagnostics (Basel)*. 2021 Sep 2;11(9):1603. doi: 10.3390/diagnostics11091603. PMID: 34573945; PMCID: PMC8466948.
39. Link TM, Neumann J, Li X. Prestructural cartilage assessment using MRI. *J Magn Reson Imaging*. 2017 Apr;45(4):949-965. doi: 10.1002/jmri.25554. Epub 2016 Dec 26. PMID: 28019053.

40. Hesper T, Hosalkar HS, Bittersohl D, Welsch GH, Krauspe R, Zilkens C, Bittersohl B. T2\* mapping for articular cartilage assessment: principles, current applications, and future prospects. *Skeletal Radiol.* 2014 Oct;43(10):1429-45. doi: 10.1007/s00256-014-1852-3. Epub 2014 Mar 19. PMID: 24643762.
41. Welsch GH, Apprich S, Zbyn S, Mamisch TC, Mlynarik V, Scheffler K, Bieri O, Trattnig S. Biochemical (T2, T2\* and magnetisation transfer ratio) MRI of knee cartilage: feasibility at ultra-high field (7T) compared with high field (3T) strength. *Eur Radiol.* 2011 Jun;21(6):1136-43. doi: 10.1007/s00330-010-2029-7. Epub 2010 Dec 12. PMID: 21153551.
42. Mars M, Tbini Z, Gharbi S, Bouaziz MC, Ladeb F. T2 T2\* MRI mapping in the knee articular cartilage at 1.5 Tesla and 3 Tesla. *Open Med J.* 2018;5(1): 119e129
43. Lindsey CT, Narasimhan A, Adolfo JM, Jin H, Steinbach LS, Link T, Ries M, Majumdar S. Magnetic resonance evaluation of the interrelationship between articular cartilage and trabecular bone of the osteoarthritic knee. *Osteoarthritis Cartilage.* 2004 Feb;12(2):86-96. doi: 10.1016/j.joca.2003.10.009. PMID:14723 868
44. Hu W, Chen Y, Dou C, Dong S. Microenvironment in subchondral bone: predominant regulator for the treatment of osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 2021 Apr;80(4):413-422. doi: 10.1136/annrheumdis-2020-218089. Epub 2020 Nov 6. PMID: 33158879; PMCID: PMC7958096
45. Guilak F. Biomechanical factors in osteoarthritis. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2011 Dec;25(6):815-23. doi: 10.1016/j.berh.2011.11.013. PMID: 22265263; PMCID: PMC3266544.
46. Madry H, Kon E, Condello V, Peretti GM, Steinwachs M, Seil R, Berruto M, Engebretsen L, Filardo G, Angele P. Early osteoarthritis of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016 Jun;24(6):1753-62. doi: 10.1007/s00167-016-4068-3. Epub 2016 Mar 21. PMID: 27000393.

47. Otterness IG, Eckstein F. Women have thinner cartilage and smaller joint surfaces than men after adjustment for body height and weight. *Osteoarthritis Cartilage*. 2007 Jun;15(6):666-72. doi: 10.1016/j.joca.2006.12.003. Epub 2007 Feb 22. PMID: 17321168.
48. Cicuttini FM, Wluka AE, Wang Y, Davis SR, Hankin J, Ebeling P. Compartment differences in knee cartilage volume in healthy adults. *J Rheumatol*. 2002 Mar;29(3):554-6. PMID: 11908572.
49. McGuire D, Bowes M, Brett A, Segal NA, Miller M, Rosen D, Kumagai Y. Study TPX-100-5: intra-articular TPX-100 significantly delays pathological bone shape change and stabilizes cartilage in moderate to severe bilateral knee OA. *Arthritis Res Ther*. 2021 Sep 17;23(1):242. doi: 10.1186/s13075-021-02622-8. PMID: 34535197; PMCID: PMC8447757.
50. Eckstein F, Hochberg MC, Guehring H, Moreau F, Ona V, Bihlet AR, Byrjalsen I, Andersen JR, Daelken B, Guenther O, Ladel C, Michaelis M, Conaghan PG. Long-term structural and symptomatic effects of intra-articular sprifermin in patients with knee osteoarthritis: 5-year results from the FORWARD study. *Ann Rheum Dis*. 2021 May 7;80(8):1062-9. doi: 10.1136/annrheumdis-2020-219181. Epub ahead of print. PMID: 33962962; PMCID: PMC8292562.
51. Chen T, Weng W, Liu Y, Aspera-Werz RH, Nüssler AK, Xu J. Update on Novel Non-Operative Treatment for Osteoarthritis: Current Status and Future Trends. *Front Pharmacol*. 2021 Sep 16;12:755230. doi: 10.3389/fphar.2021.755230. PMID: 34603064; PMCID: PMC8481638.
52. Louis ML, Dumonceau RG, Jouve E, Cohen M, Djouri R, Richardet N, Jourdan E, Giraud L, Dumoulin C, Grimaud F, George FD, Veran J, Sabatier F, Magalon J. Intra-Articular Injection of Autologous Microfat and Platelet-Rich Plasma in the Treatment of Knee Osteoarthritis: A Double-Blind Randomized Comparative Study. *Arthroscopy*. 2021 Oct;37(10):3125-3137.e3. doi: 10.1016/j.arthro.2021.03.074. Epub 2021 Apr 20. PMID: 33887408.

53. Alizai H, Walter W, Khodarahmi I, Burke CJ. Cartilage Imaging in Osteoarthritis. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2019 Oct;23(5):569-578. doi: 10.1055/s-0039-1695720. Epub 2019 Sep 25. PMID: 31556090.
54. MacKay JW, Low SBL, Smith TO, Toms AP, McCaskie AW, Gilbert FJ. Systematic review and meta-analysis of the reliability and discriminative validity of cartilage compositional MRI in knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2018 Sep;26(9):1140-1152. doi: 10.1016/j.joca.2017.11.018. Epub 2018 Mar 14. PMID: 29550400.
55. Zbýň Š, Schreiner M, Juras V, Mlynarik V, Szomolanyi P, Laurent D, Scotti C, Haber H, Deligianni X, Bieri O, Nieminen MT, Trattnig S. Assessment of Low-Grade Focal Cartilage Lesions in the Knee With Sodium MRI at 7 T: Reproducibility and Short-Term, 6-Month Follow-up Data. *Invest Radiol*. 2020 Jul;55(7):430-437. doi: 10.1097/RLI.0000000000000652. PMID: 32011573.
56. Zbýň S, Mlynárik V, Juras V, Szomolanyi P, Trattnig S. Sodium MR Imaging of Articular Cartilage Pathologies. *Curr Radiol Rep*. 2014 Feb 20;2(4):41. doi: 10.1007/s40134-014-0041-4. PMID: 24683524; PMCID: PMC3963441.

## SERMENT D'HIPPOCRATE

**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 seront 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.**



**Introduction** : La gonarthrose est l'une des maladies dégénératives les plus courantes qui provoquent des handicaps chez les personnes âgées. Bien que la radiographie soit largement utilisée comme outil de diagnostic, plusieurs limites ont été identifiées. Nous avons utilisé l'IRM à ultra-haut champ (IRM UHC) pour évaluer la microarchitecture du cartilage et de l'os sous-chondral chez des patients souffrant d'arthrose légère et sévère. Les compartiments classés arthrosiques ont également été comparés aux compartiments non arthrosiques.

**Patients et méthodes** : Vingt-quatre sujets (12 patients souffrant d'une arthrose fémoro-tibiale interne divisée en un groupe arthrose léger et un groupe arthrose sévère et 12 volontaires) ont été recrutés. L'IRM UHC a été utilisée pour calculer l'épaisseur (Tc), le volume (Vc) et le T2\* du cartilage. La microarchitecture osseuse a été évaluée sur la base de l'épaisseur trabéculaire (TbTh), du nombre de travées (TbN), de l'espacement trabéculaire (TbSp) et de la fraction du volume osseux (BVF).

**Résultats** : Pour le plateau tibial médial, alors que l'épaisseur était inchangée entre les deux groupes arthrose, le volume était diminué chez les patients atteints d'arthrose sévère. Pour la patella, le volume était diminué chez les patients atteints d'arthrose légère, alors que l'épaisseur était inchangée. Des résultats similaires ont été trouvés pour le condyle fémoral latéral. L'étude de la relaxation du T2\* du cartilage (T2\* mapping) n'a révélé aucun changement statistiquement significatif dans l'ensemble des compartiments articulaires du genou

Le TbSp calculé dans le plateau tibial latéral et dans la patella était significativement augmenté dans le groupe de patients atteints d'arthrose légère, alors que la plupart des paramètres de l'os sous-chondral étaient inchangés.

Des corrélations positives ont été trouvées entre les indices cartilagineux des compartiments arthrosiques et les indices osseux et cartilagineux des compartiments sains opposés.

**Discussion** : Le volume du cartilage semble plus sensible que l'épaisseur pour l'évaluation des modifications du cartilage dans l'arthrose. L'espacement trabéculaire (TbSp) serait un marqueur sensible de la dégradation de l'os sous-chondral. La dégradation du cartilage dans un compartiment arthrosique s'accompagnerait de modifications de l'os sous-chondral et du cartilage dans les compartiments sains opposés. Actuellement utilisée en recherche, l'IRM UHC est une méthode d'imagerie sensible. Elle apporte des informations intéressantes et se positionne comme un outil d'intérêt pour l'évaluation subtile de l'arthrose dans le cadre d'un essai clinique ou pour l'évaluation des stratégies thérapeutiques.

**Mots-clés** : gonarthrose, cartilage, os sous-chondral, compartiments arthrosiques, compartiments non arthrosiques, étude IRM à ultra-haut champ.