



Faculté de Sciences et de Métiers du Sport

Mémoire

Pour l'obtention du Master STAPS IEAP à visée Recherche 2^{ème} Année
2010-2011

Raphaël COURSIER

Evaluation de l'arthrose du genou par imagerie médicale. Facteurs prédictifs du handicap fonctionnel.

Soutenance le 15 Septembre 2011

Directeurs de mémoire : Monsieur Antonio Pinti
 Monsieur Eric Watelain



Présentation

Ce travail a été réalisé avec le LAMIH (Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique industrielles et Humaines) de l'Université de Valenciennes.  Unité Mixte de Recherche CNRS/ST2i-Université de Valenciennes, le LAMIH avec plus de 220 membres, dont 120 permanents et en continu une centaine de doctorants, post-doctorants et ingénieurs contractuels, est porteur d'offres multidisciplinaires particulièrement originales. Pour ce faire, le LAMIH fédère un ensemble de disciplines qui va de la modélisation, commande et supervision de systèmes industriels et humains au sens de l'automatique, à la modélisation des procédés, des structures et du comportement des matériaux au sens de la mécanique et de la biomécanique du choc, en passant par la psychologie et l'ergonomie cognitives, ainsi que par la conception et la simulation de systèmes d'information distribués, de systèmes interactifs d'aide à la décision et de systèmes embarqués au sens de l'informatique.

Mon activité professionnelle, chirurgien orthopédiste à Lille, m'a amené à rencontrer Antonio Pinti et Eric Watelain afin de réaliser un travail de biomécanique. L'étude de la hanche arthrosique puis du genou du sportif par analyses 3D étaient les sujets initiaux que je souhaitais traiter.

Malheureusement, il était très compliqué dans le cadre d'un travail annuel de Master 2 de « transporter » les pa  ts au laboratoire de Valenciennes.

Nous avons donc modifié notre projet de recherche pour l'adapter à mon activité professionnelle.

L'arthrose du genou, appelée gonarthrose, est un motif fréquent de consultation. Son retentissement sur la qualité de vie est majeur pour la personne atteinte.

Nous avons souhaité savoir s'il était possible de prédire l'apparition de cet arthrose afin d'  ter le handicap fonctionnel du genou.

Je remercie Antonio PINTI, Maître de Conférences, et Eric WATELAIN, Maître de Conférences HDR, de m'avoir accompagnés dans ce projet. Ils m'ont permis de structurer ma démarche de recherche. Ils m'accompagneront, je l'espère pour d'autres travaux.

Je remercie Hechmi Toumi, PU de la faculté de STAPS d'Orléans, pour son aide précieuse dans mes recherches.

Je remercie aussi Franck BARBIER, directeur de la Faculté des Sciences et des Métiers du Sport (FSMS) de m'avoir accueilli et soutenu au cours de la formation théorique de ce Master 2.

Résumé

La gonarthrose est une pathologie fréquente après l'âge de 45 ans. Il s'agit de l'atteinte arthrosique du genou qui touche préférentiellement les femmes. Elle se détecte par des radiographies. Elle s'accompagne de douleurs importantes du genou, de plus en plus invalidantes. L'utilisation de cannes puis d'un fauteuil roulant marquent l'évolution de la pathologie vers un handicap fonctionnel majeur.

Afin de confirmer le diagnostic, les médecins utilisent l'imagerie comme la radiographie et l'imagerie par résonnance magnétique (IRM).

La radiographie permet de donner le stade de gravité mais n'offre que peu de renseignements sur le pronostic de la maladie.

L'IRM donne des renseignements plus détaillés sur les atteintes péri-articulaires et pourrait peut être apporter des éléments définissant le pronostic.

L'enjeu est qu'en cas de détection précoce de la maladie, une adaptation du traitement permettrait un traitement préventif et éviterait les séquelles fonctionnelles majeures et le handicap.

Pour tenter de mettre en évidence les éléments prédictifs de l'arthrose sur une IRM, 25 patients ont bénéficié de radiographies et d'une IRM d'un genou douloureux.

Plusieurs paramètres de l'imagerie ont été rapportés et analysés. La comparaison de ces critères a permis de mettre en évidence que les mesures d'écart intra-articulaire habituellement réalisées sur les radiographies pour quantifier l'état d'avancement de l'arthrose n'étaient pas corrélées aux mesures pratiquées sur l'IRM ($p < 0,05$).

Par contre les ostéophytes (signes d'arthrose en imagerie) sont vus plus précocement sur l'IRM que sur les radiographies.

En conclusion, l'IRM demeure un bon examen d'imagerie pour diagnostiquer l'arthrose du genou. Les mesures habituellement réalisées en radiographie ne sont pas fiables sur l'IRM. L'apparition des ostéophytes est plus précoce sur l'IRM, ce qui lui confère un atout important pour l'optimisation du traitement de la gonarthrose.

Ces études sur une plus grande cohorte de sujets, qui incluraient une analyse anatomo-pathologique de pièces osseuses de genou retirées pour mettre une prothèse de genou, complèteraient l'exploration de cette maladie en vue de prédire son apparition et d'éviter le handicap.

SOMMAIRE

Introduction.....p 6

Matériels et méthodes.....p 16

Résultats.....p 21

Discussion.....p 24

Conclusion.....p 27

Bibliographie.....p 29

Introduction

La gonarthrose et ses généralités

L'arthrose du genou, appelée gonarthrose, est une pathologie fréquente au delà de 45 ans (1,2) et très fréquente après 65 ans.

Cette arthrose est multifactorielle et les causes semblent hétérogènes. On décrit la *gonarthrose primitive*. Des causes parfois héréditaires et peut être génétiques sont souvent retrouvées lors de l'interrogatoire (3) et dans certains travaux (4). Des facteurs de risques comme le bas niveau social, la faible éducation et le sexe féminin ont été démontrés. (1,2) Les grossesses augmenteraient la dégradation arthrosique articulaire, accentuée par la période post-ménopausique (5).

On décrit également la *gonarthrose secondaire*.

Elle peut débuter par une pathologie fémoro-tibiale lors d'une déviation frontale. Un genu varum (Fig 1) occasionne une atteinte du compartiment fémoro-tibial (angle HKA (fig 2) supérieur à 2°) interne par modification de la biomécanique de l'articulation (6,7) et augmentation du moment d'adduction du genou. La force du poids du corps supportée par le genou ne passe plus par le centre du genou mais se répercute principalement au niveau de l'articulation fémoro tibiale interne. A l'inverse un genu valgum (angle HKA inférieur à 178°) modifie la biomécanique articulaire et altère le compartiment fémoro-tibial externe (6,7).

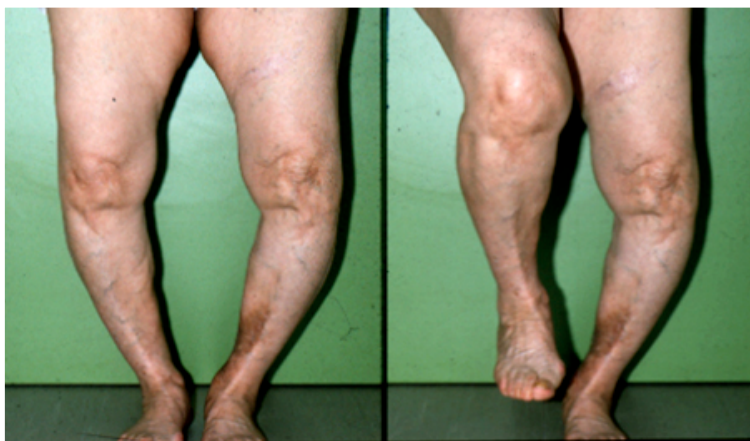
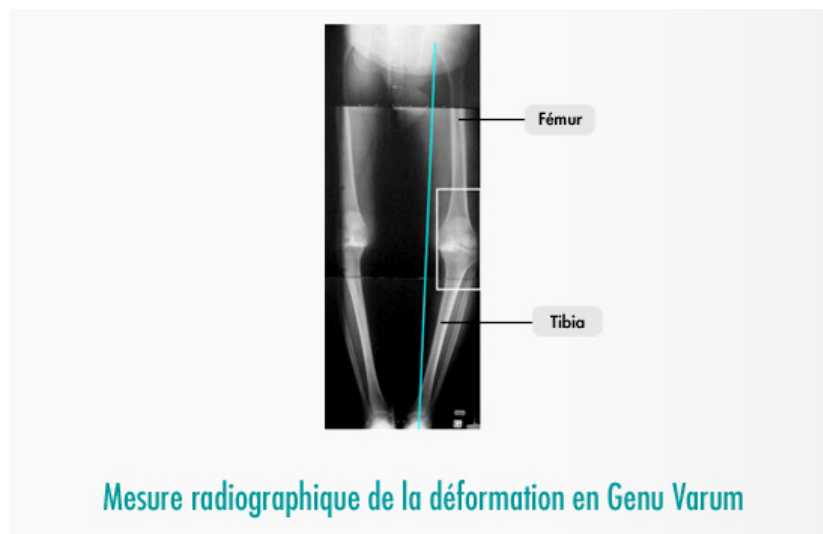


Fig 1: Genu Varum clinique



 2 : Angle HKA $>2^\circ$ lors d'un genu varum gauche (H : Hip, K : Knee, A : Ankle)

Une pathologie fémoro-patellaire (dysplasie trochléenne, malposition patellaire) peut déclencher une gonarthrose à point de départ fémoro-patellaire. La répartition de la pression engendrée sur la trochlée par le quadriceps ne s'effectue plus de manière harmonieuse occasionnant des lésions cartilagineuses qui précèdent la gonarthrose tricompartmentale.

Parmi les gonarthroses secondaires, l'arthrose post traumatique représente une part importante. Après une fracture articulaire ou une lésion ligamentaire (8) du pivot central (ligaments croisés antérieur ou postérieur), on retrouve 15 à 25 % des patients qui consultent pour une gonarthrose (9). Les pathologies des ménisques (10) entrent également dans ce cadre nosologique quand le traumatisme occasionne une fissure ou une déchirure. La lésion méniscale peut occasionner une altération du cartilage du genou mais peut aussi nécessiter une ménisectomie chirurgicale plus ou moins complète. La chirurgie soulage le patient mais augmente le risque de dégradation arthrosique à long terme ; dans des proportions toutefois moindres que l'abstention chirurgicale (11).

Les gonarthroses secondaires à des pathologies intra-articulaires telles qu'un corps étranger ou une atteinte de la synoviale (ostéochondromatose synoviale) risquent aussi d'entraîner secondairement une gonarthrose.

Les arthrites infectieuses ou inflammatoires (polyarthrite rhumatoïde, spondylarthrite ankylosante, goutte, chondrocalcinose) sont responsables de dégradation du cartilage articulaire qui aboutit à une gonarthrose secondaire.

En association à cette arthrose du genou primitive ou secondaire, on décrit des facteurs de risques qui semblent avoir un rôle plus ou moins important selon les patients.

La *surcharge pondérale* (12) se retrouve fréquemment chez les patients atteints de gonarthrose. La surcharge fonctionnelle de nature professionnelle ou sportive représente un facteur de risque associé. Enfin, le rôle de la *sénescence*, de l'*hérédité* (13, 14) et des *facteurs endocriniens* (15) sont probables mais pas identifiés de façon formelle.

La présentation clinique est variable et progressive. Les symptômes débutent vers 45 ans dans le cas d'arthrose primitive et à un âge plus variable pour les gonarthroses secondaires. Le principal symptôme est la douleur du genou qui siège en avant ou au niveau de la partie antéro-interne du genou. L'horaire est mécanique, apparaissant lors d'efforts ou de la marche et disparaissant au repos. La montée et descente des escaliers, l'agenouillement et le maintien du genou en flexion aggravent les symptômes.

Des poussées d'hydarthroses donnent parfois un aspect inflammatoire au genou au cours de l'évolution clinique. Des épisodes de craquements, de pseudo-blocage et d'instabilité émaillent la progression de l'arthrose du genou. Des épisodes vrais de blocage peuvent survenir lorsque des lésions méniscales liées à l'arthrose sont présentes.

Le patient malade, limite progressivement ses activités, et son périmètre de marche diminue. En absence d'un traitement antalgique efficace, dans un premier temps, ou d'une alternative chirurgicale, dans un second temps, une diminution très nette du périmètre de marche confine le patient à la grabatisation et au handicap sévère.  nsi une diminution de la vitesse angulaire du genou et une augmentation compensatoire de la vitesse angulaire de la hanche sont constatés en cas de gonarthrose.

Il a également été montré que la vitesse de marche et le périmètre de marche étaient sérieusement diminués. (16,17)

Moyens d'exploration

Imagerie

Les méthodes d'exploration et d'évaluation de la gonarthrose sont assez nombreuses. Depuis l'apparition des rayons X, les signes radiographiques de l'arthrose sont clairement établis. Sur des radiographies du genou de face et de profil en position debout (en charge), on retrouve pourtant peu de signe à un stade précoce. Une ostéophytose patellaire (Fig 3) supérieure et sus-trochléenne est parfois retrouvée. Sur la radiographie de type défilé fémoro-patellaire, on peut noter un pincement de l'articulation en externe ou en interne.



Fig 3 : Ostéophyte de rotule avec arthrose fémoro-patellaire

Lorsqu'une arthrose est plus avancée, on note une condensation sous-chondrale, des ostéophytes tibiales et fémorales, des géodes d'hyperpression du compartiment articulaire lésé et une diminution de l'espace articulaire entre condyles et plateaux tibiaux (Fig 4).

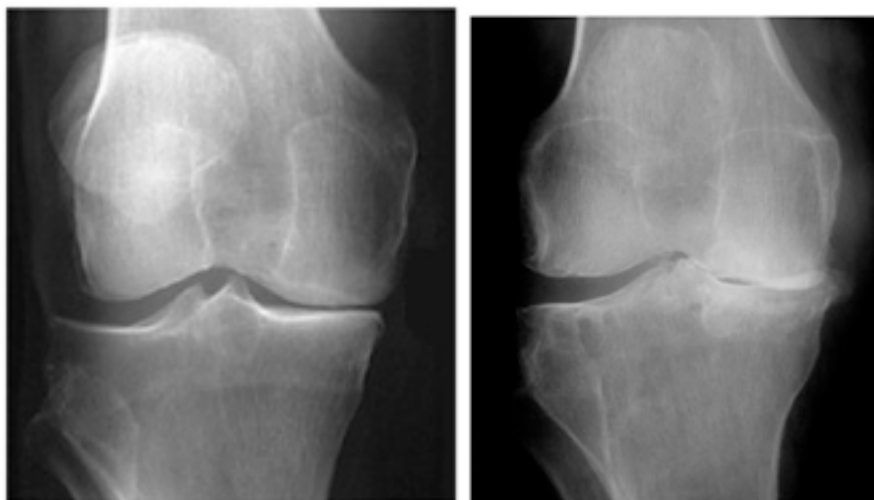


Fig 4 : Gonarthrose avec ostéophyte, condensation sous-chondrale et géode.

Tous ces signes radiographiques peuvent apparaître seul ou en association, quelque soit le stade évolutif de la gonarthrose. Il existe différentes classifications, dont les plus utilisées sont celle d' Ahlbäck et celle de Kellgren et Lawrence (18), qui permettent de décider le traitement le plus adapté en fonction du stade de la maladie. Malheureusement, il est difficile de prédire l'évolution de la pathologie en fonction de l'aspect radiographique et quand les premiers signes radiographiques sont présents, le cartilage est déjà altéré de façon irréversible. De plus, les anomalies de l'imagerie ne sont pas toujours corrélées aux symptômes du patient. Les patients âgés ne présentent pas tous des gonalgies alors que des signes radiographiques d'arthrose du genou sont souvent retrouvés



Pour explorer plus finement le cartilage articulaire du genou, le recours à l'arthroscanner s'avère utile. Les informations sont très précises en cas de doute diagnostique ; l'état des ménisques et des ligaments croisés est déterminé par cet examen. Par contre, l'injection intra-articulaire d'un produit de contraste iodé expose au risque d'arthrite septique et de réaction anaphylactique (Fig 5).



Fig 5 : Arthroscanner de genou mettant en évidence le cartilage et les ménisques

L'IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) est parfois utilisée dans le cas de patients ayant un genou douloureux en association à des épisodes de blocage ou d'instabilité. Les ménisques et les ligaments croisés sont ainsi contrôlés. Le cartilage est exploré par cette méthode mais les résultats de l'IRM sont à priori aléatoires ou imprécis. En utilisation

courante de consultation pour une gonarthrose, l'IRM est très peu utilisée. Cela est paradoxalement de moins en moins vrai à la lecture de la littérature. (19)

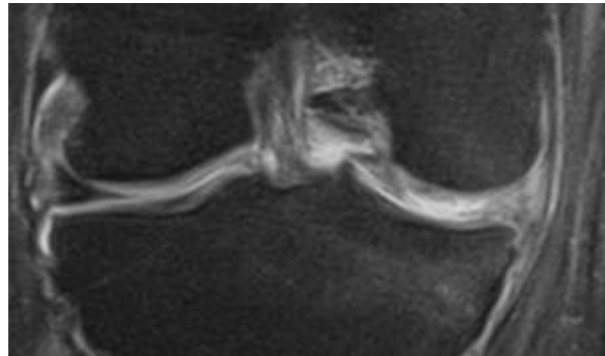


Fig 6 : Lésion de cartilage an hypersignal (aspect blanchâtre) vue sur l'IRM

En plus du recours aux examens paracliniques, l'arthroscopie, geste chirurgical intermédiaire entre le diagnostic et le thérapeutique, permet un bilan intra-articulaire complet et exhaustif ; l'effet du lavage articulaire et de gestes comme les perforations ou micro fracturing (20) du cartilage lésé assurent une diminution des douleurs dans certains cas 

Et s biomécaniques

La biomécanique du genou est considérablement modifiée du fait de l'arthrose (21). La vitesse de marche, la cadence du pas et la longueur du pas diminuent en cas d'arthrose du genou. Par contre le temps de charge et la longueur du pas augmentent du côté non pathologique (22). De même, l'augmentation du moment d'adduction au niveau du genou est significativement corrélée à l'arthrose fémoro-tibiale interne (23). De nombreux trav  tendent à montrer qu'il est possible de corréler la gonarthrose et l'altération du schéma de marche ; il est également possible d'utiliser l'analyse de la marche pour déterminer le stade d'atteinte du genou. En pratique courante, cela n'est jamais fait et l'usage est surtout à visée scientifique.

Lorsque l'atteinte arthrosique est trop sévère, le chirurgien propose différentes alternatives. Le remplacement par une prothèse totale de genou diminue les douleurs, permet une reprise de la marche et une amélioration fonctionnelle ; cependant, malgré le remplacement prothétique et le soulagement apporté au patient il a été mis en évidence une dégradation du genou contro-latéral (24) par augmentation de la charge sur le membre inférieur contro-latéral. Il n'existe pas de solution idéale à tous les stades. Quand la

gonarthrose s'installe et que son évolution est trop marquée, il est aujourd'hui impossible mécaniquement de « guérir » le patient. Il n'y a plus que la chirurgie assez «  le » à un certain stade de la pathologie qui puisse soulager le patient.

Tratement

A propos du traitement de la gonarthrose, deux axes principaux sont envisageables. Les méthodes fonctionnelles et médicamenteuses d'une part et les méthodes chirurgicales d'autre part.

Traitement fonctionnel et médical

 règles hygiéno-diététiques sont essentielles. Le repos de l'articulation atteinte est primordial. Il faut diminuer les activités physiques telles que les marches prolongées, les montées et descentes des escaliers, le port de charges lourdes et la position « à genou » prolongée. La perte de poids s'avère très efficace pour empêcher l'évolution péjorative des symptômes mais nécessite une activité physique régulière contradictoire avec le respect de l'articulation déjà arthrosique. La rééducation lutte contre la réduction de la mobilité articulaire et l'entretien actif du quadriceps. La prise de médicaments par voie orale devient très rapidement indispensable de façon assez pérenne. Les antalgiques de niveau 1 à 2 sont classiquement utilisés et les anti inflammatoires non stéroïdiens complètent bien l'efficacité des antalgiques mais leur tolérance digestive permet difficilement l'utilisation au long cours. Le recours aux morphiniques (stade 3 de l'OMS) est un stade qui doit inciter à proposer une alternative chirurgicale à la gonarthrose.

Il est possible de pratiquer des injections intra-articulaires de dérivés cortisonés lors des poussées congestives ou inflammatoires de l'arthrose. Depuis quelques années des viscosupplémentations à base d'acide hyaluronique offrent une diminution des douleurs variables selon les séries (25).

Traitement chirurgical

Les options chirurgicales sont assez variées. Il est permis de corriger les troubles architecturaux, quand ils existent, et que les signes d'arthrose sont présents dans un seul compartiment (ex : ostéotomie tibiale de valgisation en cas de genu varum et d'arthrose fémoro-tibiale interne).



Fig7 : Ostéotomie de valgisation tibiale pour genu varum

Quand l'arthrose uni-compartimentale est plus évoluée, une prothèse ne remplaçant qu'un seul compartiment (ex : prothèse fémoro-patellaire) est proposée au patient. Si l'atteinte du genou est globale, il faut proposer une prothèse tri-compartimentale (Fig 8 et 9). Il en existe plusieurs types (charnière, à glissement, postéro-stabilisés...) adaptées à l'état ligamentaire et architectural de chaque genou. Les suites habituelles d'une prothèse totale de genou (PTG) nécessitent une hospitalisation de 8 à 15 jours, puis une rééducation de 2 à 3 mois avant un résultat fonctionnel et antalgique satisfaisants.



Fig 8 : Radiographie de PTG

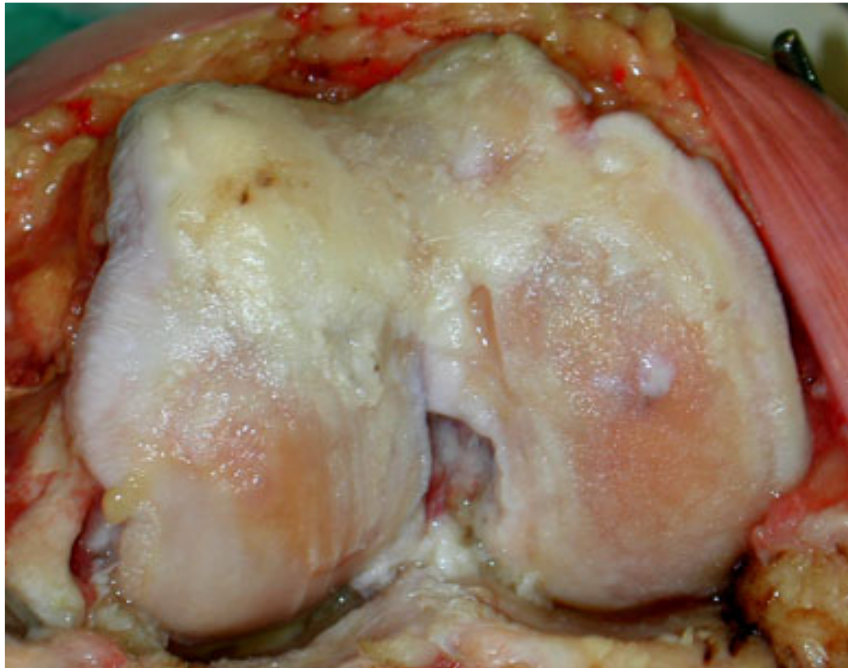


Fig 9 : Usure constatée en per-opératoire de condyles fémoraux

Depuis quelques années, la recherche en biomatériaux et cultures cellulaires a permis la réalisation de greffes de cartilage et de ménisques (26, 27). Il s'agit d'une alternative chirurgicale récente. Son but est de retarder l'apparition des symptômes de la gonarthrose qui nécessitent la mise en place d'une PTG.

La gonarthrose et son traitement se heurtent à deux écueils majeurs. La modification du schéma de marche et ses conséquences (grabatisation à terme), et le coût médico-économique du traitement.

En effet, même en cas de chirurgie corrigeant les troubles architecturaux et empêchant la progression de l'arthrose, les paramètres d'analyse de la marche (24, 28) restent modifiés.

De plus, il est admis et montré que les conséquences d'une arthrose de genou sur le travail du malade (29), le coût des soins pour la société (30) et le retentissement social (31) pour le patient peuvent être désastreuses.

Au vu des conséquences biomécaniques, fonctionnelles, médicales et sociales de la gonarthrose, il apparaît indispensable de mettre en œuvre des outils qui permettent une évaluation fine et pertinente de la pathologie.

La radiographie du genou est l'examen paraclinique « historique » le plus fréquemment utilisé. D'autres outils sont à la disposition des soignants comme le scanner ou l'IRM.

Lorsque l'arthrose est présente sur les radiographies de manière indiscutable et qu'elle est très symptomatique, la prothèse de genou s'impose. Quand le patient présente des symptômes modérés de gonarthrose, avec des radiographies peu contributives, l'IRM occupe une place prépondérante pour affiner le diagnostic. Cependant, l'IRM ne donne pas les mêmes renseignements que la radiographie. Toutes les informations recueillies par ces deux examens ne sont pas toujours compatibles (32). La radiographie donne une représentation plane alors que l'IRM donne une vision en 2 ou 3 dimensions rendant les mesures et leurs comparaisons incertaines.

Le coût élevé et la faible accessibilité de l'IRM font qu'elle n'est pas toujours utilisée (33).

Afin de connaître exactement les possibilités d'exploitation de l'IRM en cas de prise en charge de la gonarthrose, une étude de 25 patients ayant bénéficié de radiographies standards du genou et d'une IRM de genou a été réalisée. Celle-ci doit permettre de trouver les corrélations existantes ou non entre les résultats de l'IRM et de la radiographie. Pour tenter d'aller plus loin, les signes précoces d'arthrose ont été recherchés sur l'IRM.

Le but de cette étude est de savoir s'il est possible de détecter précocement et avec fiabilité, avant l'apparition de signes radiographiques, l'arthrose par l'intermédiaire d'une IRM. En cas de détection précoce, un traitement parfaitement adapté permettrait de diminuer les coûts fonctionnels et biomécaniques pour le genou mais aussi diminuerait l'impact socio-économique sur la prise en charge globale de la gonarthrose.

Matériels et méthodes

Il s'agit d'une étude rétrospective qui porte sur 25 patients ayant consulté pour des problèmes de genoux. Il y a 11 genoux droits et 14 genoux gauches. Des radiographies en charge de face et de profil du genou pathologique ont été pratiquées. Une IRM du même genou a été réalisée avec un intervalle maximal de six mois. Tous les examens ont été pratiqués au « University hospitals of Wales ». Plusieurs paramètres ont été étudiés après traitement et sélection des images.

Le logiciel utilisé pour la lecture des images et les mesures est Scrix v.3.9.1 (34). Le logiciel utilisé pour le traitement des données statistiques est Stata©.

Analyse des radiographies

Sur chaque radiographie du genou de face en charge, un agrandissement maximal autorisé par l'écran, 15 pouces, est effectué. Puis des points précis, permettant des mesures reproductibles, sont identifiés par un opérateur expert en imagerie. Le point A correspond au point le plus médial des plateaux tibiaux et le point B au point le plus latéral. La distance AB est appelée largeur tibiale maximale

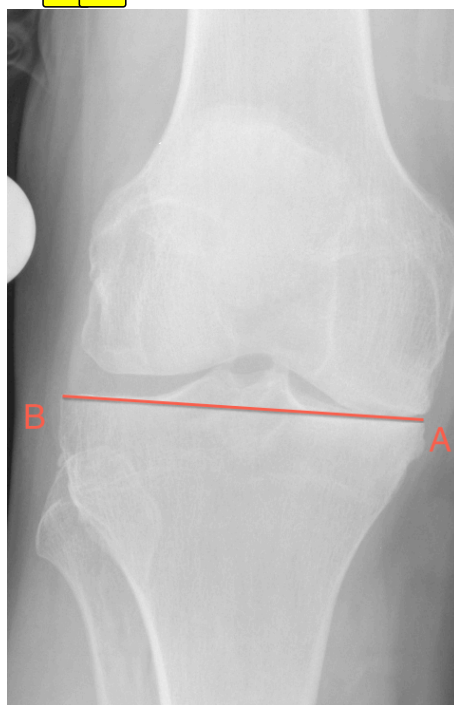


Fig 10 : Largeur tibiale maximale AB radiographique

Sur le condyle latéral, le point 1 est celui situé à l'apex du condyle et sur le plateau tibial latéral, le point 2 correspond à l'intersection de la perpendiculaire à la tangente du condyle latéral passant par le point 1. La distance 1-2 (aussi appelée CE centre pour centre du Compartiment Externe) est considérée comme l'interligne externe. Parallèlement et de part et d'autre de cette ligne 1-2, 2 autres droites sont tracées à chacune 0,5 cm de distance de la ligne 1-2. Le croisement de ces 2 autres droites avec le condyle externe détermine en dehors le point 3 et en dedans le point 5. Le croisement de ces 2 droites avec le plateau tibial détermine en dehors le point 4 et en dedans le point 6. Les distances 3-4 (CE externe) et 5-6 (CE interne) sont considérées comme l'interligne externe latéral et médial. Les opérations sont réalisées à l'identique au niveau de l'interligne interne du genou déterminant les points 7, 8, 9, 10, 11 et 12. La distance 7-8 (CI centre pour Compartiment Interne) correspond à l'interligne interne, la distance 9-10 (CI externe) l'interligne interne latéral et la distance 11-12 (CI interne) l'interligne interne médial (Fig 11).

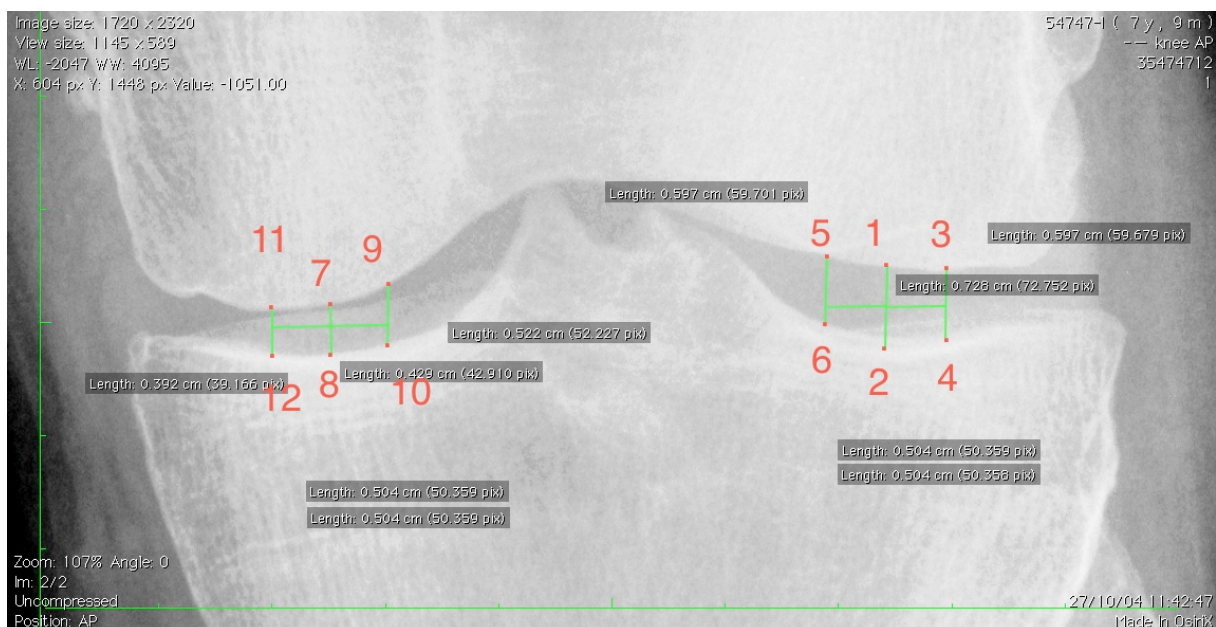


Fig 11 : Mesures des espaces intra-articulaires sur la radiographie

Sur les clichés de face et de profil, d'autres paramètres sont recherchés. La présence d'ostéophytes, d'une condensation sous-chondrale, de géodes et leurs localisations sont rapportées. Un ostéophyte ou « bec de perroquet » est une production osseuse anormale, sorte d'excroissance, au voisinage d'une articulation souffrant d'arthrose. La condensation est l'augmentation de la densité du tissu osseux au niveau sous-chondral. Elle apparaît sous la

forme d'un rehaussement des blancs dans la trame osseuse. Les géodes sont des petites plages de vacuité osseuse constatées sur les radiographies. Elles apparaissent sous forme d'une lésion arrondie plus sombre et sont la conséquence d'une hyperpression dans l'articulation. Chacun de ces paramètres est rapporté dans une base de données Excel® sous la forme 1 (présence du caractère étudié) ou 0 (absence du caractère étudié).

Une appréciation de l'interligne articulaire interne et externe, appelée hauteur de l'interligne, est effectuée ; son importance (supérieure ou inférieure à 50%) est spécifiée. Aucune mesure n'est réalisée, mais il est juste noté comme pour la classification selon Ahlbäck si la diminution de la hauteur de l'interligne étudié existe et si elle est supérieure ou inférieure à 50% par rapport au côté sain.

Analyse des clichés d'IRM

Grâce au même logiciel (Osirix v 3.9.1), des mesures similaires sont effectuées sur les IRM. L'agrandissement maximal autorisé par l'écran 15" est effectué. Les coupes coronales en T2 Fat Sat sont toujours choisies, ainsi les séquences étudiées sont toujours les mêmes. Afin de déterminer l'image où les mesures doivent être pratiquées, on visionne les coupes de l'avant vers l'arrière et on sélectionne celle où l'espace entre les cartilages tibial et fémoral est le plus faible et où le ménisque est le plus court. Sur les coupes choisies en latéral et en médial les points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, et 12 sont déterminés selon la même procédure que sur les images radiologiques. Ces points sont situés à la jonction os sous chondral-cartilage (Fig 12)

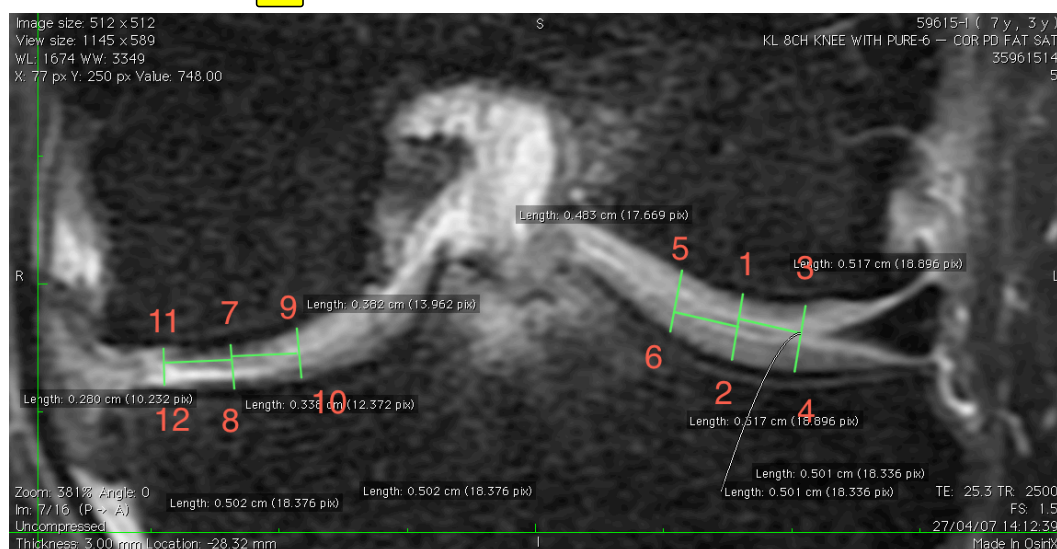


Fig 12 : Mesures de l'espace intra-articulaire sur l'IRM

La largeur tibiale maximale AB est mesurée sur l'image IRM coronale où l'épiphyse tibiale semble la plus large. Les points A et B sont positionnés sur la partie la plus médiale osseuse du plateau tibial médial et sur la partie la plus latérale osseuse du plateau tibial latéral.

Sur les clichés de l'IRM, l'œdème sous chondral (fig 13) est recherché puis notifié ; sa présence est spécifiée selon les compartiments : condyles interne ou externe, tibia interne ou externe puis rapportée 1 en cas de présence ou 0 en cas d'absence. L'œdème se signale par la présence d'un hypersignal sur les images.



Fig 13 : Œdème (aspect blanc) du condyle

La présence de lésions cartilagineuses sous forme d'hypersignal est aussi recherchée (fig 14).

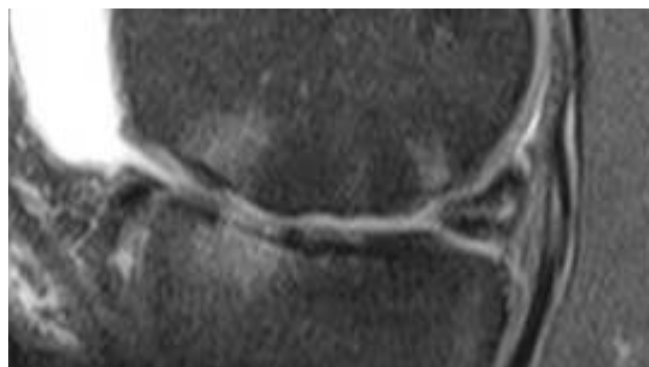


Fig 14 : Lésions de cartilage du condyle sur l'IRM

La présence d'un épanchement intra-articulaire (fig 16) est signalée ainsi que l'existence d'ostéophytes avec leur localisation. L'état ménisco-ligamentaire est détaillé en analysant les

images des ligaments croisés et des ménisques (fig 15) sur les différentes coupes IRM disponibles.



Fig 15 : Lésion méniscale en hypersignal sur IRM

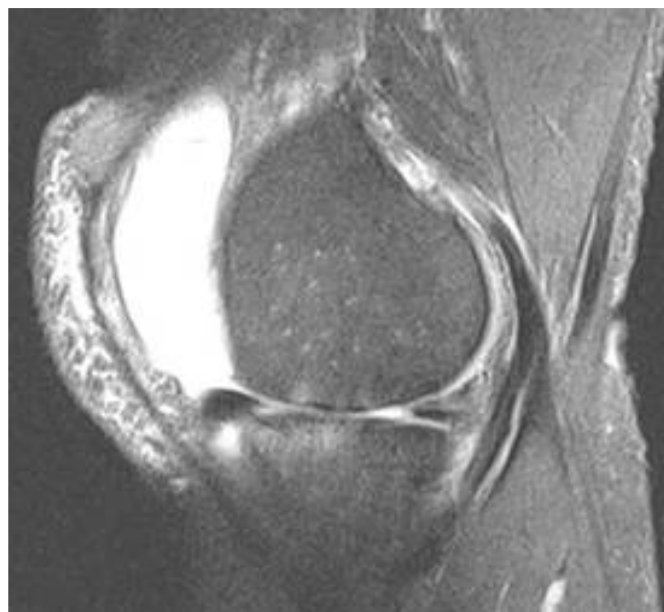


Fig 16 : Epanchement intra-articulaire en avant de la trochlée sur l'IRM

En cas d'images spécifiques, elles sont notifiées pour pouvoir être analysées en complément.
La qualité de l'imagerie est prise en compte : bonne ou médiocre.

Résultats

Il faut signaler que tous les clichés radiographiques ont été jugés de bonne qualité alors que 76% (19 clichés) des IRM sont de qualité médiocre.

 Sur les clichés radiographiques, des ostéophytes sont retrouvés dans 32% des cas et les géodes dans 16% des cas. Sur l'IRM, on retrouve 11 cas d'ostéophytes (44%). A chaque fois que les ostéophytes étaient vus sur les radiographies, ils l'étaient aussi sur l'IRM ; mais 27% des ostéophytes vus sur une IRM n'ont pas été remarqués sur la radiographie.

La hauteur de l'interligne est diminuée dans 64% (16/25) des cas sur les radiographies et 43% de ces 16 cas ont un intervalle diminué de plus de 50% signifiant la sévérité de l'atteinte. Il existe une très nette prédominance de diminution de l'interligne pour le compartiment fémoro-tibial interne (81%). Si on compare les cas de hauteur d'interligne diminuée de plus de 50% aux atteintes méniscales constatées sur les IRM, on constate que du côté interne une atteinte méniscale est présente dans 83% des cas alors qu'elle est présente dans 50% des cas du côté externe.

Lorsqu'il y a une lésion méniscale interne sur l'IRM on trouve dans 72% des cas une diminution de la hauteur de l'interligne articulaire. Par contre lorsqu'une atteinte méniscale externe est mise en évidence, on ne trouve que 20% de diminution de la hauteur de l'interligne externe.

Sur l'IRM on a mis en évidence 14 épanchements intra-articulaires. 78% de ces cas avaient déjà une diminution de la hauteur de l'interligne sur les clichés radiographiques.

Sur les IRM, on note un œdème dans 48% des clichés. On note une corrélation avec la hauteur de l'interligne puisque 75% des cas d'œdème à l'IRM ont une diminution radiologique de la hauteur de l'interligne.

On met en évidence une altération du cartilage sur les IRM pour 16 patients. Seulement 43% de ces derniers ont un œdème sur les clichés d'IRM.

Parmi ces 16 cas de cartilage atteint sur l'IRM, 12 (75%) ont aussi une hauteur de l'interligne articulaire diminuée sur les radiographies.

Une lésion du ligament croisé antérieur a été signalée sur 9 IRM et dans 78% des cas celle-ci s'accompagnait d'une atteinte cartilagineuse sur les mêmes clichés.

La condensation radiologique est présente dans 56% des cas. 43% des cas ayant une condensation radiologique ont un œdème sur l'IRM.

Les mesures d'écart intra-articulaire (1-2, 3-4, 5-6 Radios...1-2, 3-4, 5-6 IRM...) effectuées sur les clichés radiographiques et sur les IRM sont différentes. Ces différences étaient très importantes et la comparaison entre les valeurs AB et A'B' a permis de montrer que sur les clichés radiographiques la mesure AB était toujours supérieure à la même mesure théorique A'B' de l'IRM. Un coefficient de correction (C) a donc été calculé correspondant à $A'B'/AB$ pour chaque sujet.

Ce coefficient appliqué aux résultats des interlignes articulaires permet de corriger les valeurs mesurées sur les radiographies.

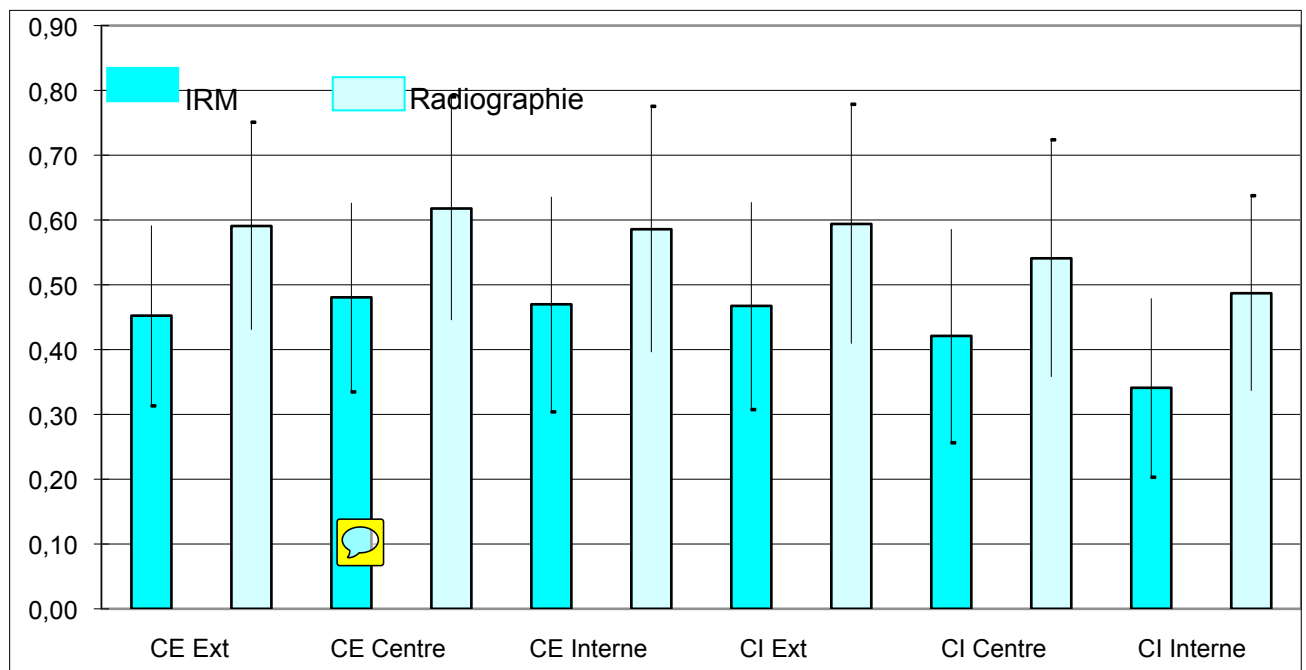


Fig 17 : Moyennes d'écarts intra-articulaires sur IRM et Radiographies corrigées

Le calcul des moyennes (fig 17) de chaque écart intra-articulaire mesuré a été effectué. En moyenne, l'écart intra-articulaire est systématiquement plus élevé sur les mesures

radiographiques corrigées que sur les IRM. Ces différences sont significativement différentes (p<0,05). Pour cela un test de Wilcoxon (Fig 18), test non paramétrique, pour données appariées a été utilisé.

L'écart est plus élevé sur les radiographies au niveau du compartiment externe mais aussi au niveau du compartiment interne.

Discussion

La qualité des clichés IRM et radiographiques doit être mise en avant pour ce travail. En effet, Sumanaweera (35) a décrit des phénomènes de distorsion au cours des acquisitions IRM. Ces phénomènes créent des artéfacts à l'interface cartilage/os rendant la détermination de la limite imprécise entre ces deux structures qui n'ont pas la même teneur en protons. De plus, une IRM de qualité (19) nécessite que le temps d'acquisition ne soit pas trop long (<20 minutes) pour éviter les mouvements qui créent des artéfacts. Toutes nos IRM ont été réalisées avec un champ de 1,5 Tesla ce qui, si l'on veut quantifier le cartilage par des méthodes volumiques, est insuffisant d'après Buckland-Wright (33). Concernant, la qualité des radiographies réalisées, il n'est pas possible d'affirmer que celles-ci ont été réalisées selon une méthode fiable et parfaitement reproduite. En effet nous ne savons pas si le genou était fléchi ou non au cours de la réalisation des clichés. Cicuttini (32) décrit la qualité nécessaire de la radiographie finale de face en charge. Mazzuca (36) décrit lui la technique idéale de réalisation de la radiographie. Pour la mesure de l'espace intra-articulaire, la technique rapportée par Lequesne (37) a été reproduite 

Dans notre série, quand il y a des ostéophytes sur les radiographies en charge, on en trouve toujours sur les clichés IRM. A l'inverse, des ostéophytes sont parfois trouvés sur l'IRM sans que l'on en voit sur les radiographies. La présence d'ostéophytes est le stade 1 de l'arthrose de la classification selon Kellgren et Lawrence (38) sur des radiographies ; on peut penser que l'IRM permet de visualiser plus rapidement que l'imagerie traditionnelle ces ostéophytes. Boegard (39) avait rapporté des travaux se rapprochant de nos constatations car la présence d'ostéophytes était corrélée à l'existence de lésions cartilagineuses. Cependant dans son article il ne mettait pas en évidence de cinétique descriptive entre la visualisation des ostéophytes sur l'IRM et la radiographie standard.

L'atteinte arthrosique de notre série est majoritairement constatée du côté interne du genou. Toutes les enquêtes épidémiologiques (1, 16) retrouvent des résultats similaires. Nous avons constaté une  relation entre la diminution de la hauteur de l'interligne et la présence d'une lésion méniscale interne sur l'IRM. Pelletier (40) relève pourtant que lorsque des lésions méniscales internes ou externes sont retrouvées, une perte volumique de cartilage est constatée dans les deux années qui suivent sur des IRM de contrôle. Il ne semble pas y avoir

de différenciation décrite entre une atteinte d'un ménisque interne ou externe. Nos résultats tendraient à montrer que lorsqu'une lésion méniscale interne est présente, une atteinte arthrosique sur les radiographies est déjà constatée alors que la lésion méniscale externe pourrait apparaître avant la réduction de hauteur de l'interligne.

De la même façon, la présence d'un épanchement intra-articulaire ou d'un œdème intra-osseux à l'IRM sont quasiment toujours présents quand la hauteur de l'interligne diminue. Ces deux éléments ne peuvent donc pas apparaître comme des signes précurseurs de l'arthrose radiographique. Hunter (41) a montré que l'œdème sur l'IRM évoluait en phase avec la perte de volume du cartilage mais il n'a pas non plus constaté que cet œdème était un facteur prédictif évolutif.

Au vu des résultats des IRM, on constate que les $\frac{3}{4}$ des patients qui ont un œdème de la zone spongieuse ont déjà une atteinte cartilagineuse. Cette corrélation forte confirme les données de Hunter (41).

Le cartilage atteint sur les IRM s'accompagne dans 75% des cas d'une diminution de la hauteur de l'interligne. Nos résultats sont similaires à ceux de Bruyère (42) qui retrouve une corrélation entre la diminution de l'espace intra-articulaire du genou et la baisse de volume du cartilage. Cette étude est réalisée avec des séquences IRM en T1 et notre travail a inclus des séquences en T2.

En ce qui concerne la hauteur de l'interligne, une attention particulière a été portée dans notre travail pour la mesure des écarts intra-articulaires.

Nous avons eu quelques difficultés à comparer les mesures radiographiques et en IRM. Pourtant Duryea et Agnesi (43, 44) ont tous montré une compatibilité entre les mesures d'écart sur les radiographies et sur les IRM. Il existe une discordance entre la littérature et la pratique régulière de patients souffrant du genou. En effet, même si Eckstein (19) affirme la validité de l'IRM pour l'évaluation de la quantité de cartilage d'un genou douloureux ou si Boegard (45) montre que le suivi au long cours de l'arthrose du genou est validée, la majorité des praticiens (chirurgiens, radiologues) n'utilisent pas cet examen pour prendre une décision chirurgicale radicale (PTG). Dans notre étude, la mesure de l'espace intra-articulaire entre le fémur et le tibia était significativement plus élevée sur les radiographies que sur les IRM. Il est difficile de savoir quelle est la réelle mesure ; une étude cadavérique pourrait donner des informations objectives même si la radiographie en charge s'avérerait complexe.

Fukui (46) a montré la corrélation entre la diminution de l'écart chiffré intra-articulaire sur les radiographies et la dégradation clinique validant cette mesure pour le suivi de l'arthrose. Par contre aucune étude ne valide la même mesure sur des IRM.

Dans notre travail, nous retrouvons 24% de clichés d'IRM de qualité médiocre. Cela peut altérer la qualité de la mesure effectuée entre le fémur et le tibia. De plus Sumanaweera (35) a bien montré les possibles artefacts à la jonction os-cartilage qui nous intéressent pour évaluer la distance.

De plus, les IRM ont été réalisées en décubitus dorsal et non en charge. Buckland-Wright (33) a bien mis en évidence une possible compression du cartilage lors de l'évaluation des hauteurs des interlignes sur des radiographies en appui.

Des études anatomo-pathologiques et histologiques sur des genoux arthrosiques seraient plus adaptées à la vérification des mesures.

Conclusion

Notre étude a porté sur 25 sujets ayant des douleurs de genoux. Tous ont bénéficié d'une IRM et d'une radiographie de genou de face et de profil en charge. Nos résultats sont comparables à ceux de la littérature en ce qui concerne l'exploration intra-articulaire par l'IRM. On peut en effet reconnaître la fiabilité de cet examen pour évaluer le cartilage mais aussi les lésions des parties molles (ménisques, ligaments, épanchement) du genou au décours d'une gonarthrose.

Les résultats de l'exploration par des radiographies en charge sont également similaires à ceux rapportés (18).

Nous avons montré que la survenue d'ostéophytes était constatée plus précocement en IRM que sur des clichés radiographiques standards en cas d'arthrose de genou.

Toutefois, notre étude descriptive comporte un biais car il n'y a pas de suivi longitudinal qui permettrait d'affirmer avec certitude que les ostéophytes sont d'abord mieux vus sur une IRM.

Pour confirmer cette hypothèse, il faudrait une plus grande série et un suivi de l'arthrose à différents stades évolutifs.

La qualité et la fiabilité de l'exploration du cartilage par l'IRM permettent d'utiliser cette technique pour expliquer les douleurs de genou quand les radiographies ne sont pas suffisantes.

Toutefois, la mesure des écarts intra-articulaires n'est pas la même sur les IRM et sur les radiographies. Au vu de la littérature et de l'expérience professionnelle, l'IRM n'est pas utilisée pour réaliser ces mesures ; il reste recommandé de se fier aux radiographies en charge pour mesurer cet écart.

Ce travail met donc en lumière les intérêts différents de la radiographie en charge du genou et de l'IRM dans le but d'étudier et de pronostiquer l'arthrose et son devenir.

Les ostéophytes diagnostiqués sur l'IRM représentent un élément annonciateur de l'évolution vers un stade plus avancé de la maladie ; ce stade ultime nécessitant une PTG pourrait alors être évité si un traitement adapté et précoce est initié.

Conscients du fait que les causes de l'arthrose sont multi-factorielles, il semblerait qu'une étude de pièces anatomiques soit instructive. Une cohorte de patients souffrant de gonarthrose pourrait bénéficier d'examens complémentaires puis en cas de nécessité de mise en place d'une prothèse totale de genou, les parties osseuses retirées pourraient alors être étudiées histologiquement et en anatomo-pathologie. Une étude biomécanique complémentaire du genou pathologique avant la chirurgie apporterait de précieux renseignements sur les raisons de l'usure du cartilage. Une étude « multi-factorielle » n'a à notre connaissance jamais été réalisée.

Une première étude préalable a déjà été initiée sur une dizaine de pièces anatomiques de patients recevant une PTG dans notre équipe (fig 19).



Figure 19 : Résection osseuse pour mise en place d'une PTG exploitée pour l'étude

La compréhension de l'arthrose passe par l'étude d'un maximum de champs d'explorations. C'est probablement en détectant précocement la genèse de cette maladie que l'on aura le plus de chance de proposer un traitement adéquat ; celui-ci permettra la diminution d'interventions chirurgicales lourdes, coûteuses et empêchera assurément le handicap généré par cette gonarthrose.

Bibliographie

1. Sun Y, Stürmer T, Günther KP, Brenner H. Incidence and prevalence of cox- and gonarthrosis in the general population. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1997 May-Jun;135(3):184-92. Review. German.
2. . Jørgensen KT, Pedersen BV, Nielsen NM, Hansen AV, Jacobsen S, Frisch M. Socio-demographic factors, reproductive history and risk of osteoarthritis in a cohort of 4.6 million Danish women and men. *Osteoarthritis Cartilage.* 2011 Jul 27.
3. Riyazi N, Rosendaal FR, Slagboom E, Kroon HM, Breedveld FC, Kloppenburg M. Risk factors in familial osteoarthritis: the GARP sibling study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2008 Jun;16(6):654-9
4. Valdes AM, Van Oene M, Hart DJ, Surdulescu GL, Loughlin J, Doherty M, Spector TD. Reproducible genetic associations between candidate genes and clinical knee osteoarthritis in men and women. *Arthritis Rheum.* 2006 Feb;54(2):533-9.
5. Von Mühlen D, Morton D, Von Mühlen CA, Barrett-Connor E. Postmenopausal estrogen and increased risk of clinical osteoarthritis at the hip, hand, and knee in older women. *J Womens Health Gend Based Med.* 2002 Jul-Aug;11(6):511-8.
6. Moision K, Chang A, Eckstein F, Chmiel JS, Wirth W, Almagor O, Prasad P, Cahue S, Kothari A, Sharma L. Varus-valgus alignment: reduced risk of subsequent cartilage loss in the less loaded compartment. *Arthritis Rheum.* 2011 Apr;63(4):1002-9. doi: 10.1002/art.30216.
7. Sharma L, Song J, Felson DT, Cahue S, Shamiyeh E, Dunlop DD. The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. *JAMA.* 2001 Jul 11;286(2):188-95. Erratum in: *JAMA* 2001 Aug 15;286(7):792.
8. Neuman P, Englund M, Kostogiannis I, Fridén T, Roos H, Dahlberg LE. Prevalence of tibiofemoral osteoarthritis 15 years after nonoperative treatment of anterior cruciate ligament injury: a prospective cohort study. *Am J Sports Med.* 2008 Sep;36(9):1717-25. Epub 2008 May 15.
9. Lidén M, Sernert N, Rostgård-Christensen L, Kartus C, Ejerhed L. Osteoarthritic changes after anterior cruciate ligament reconstruction using bone-patellar tendon-bone or hamstring tendon autografts: a retrospective, 7-year radiographic and clinical follow-up study. *Arthroscopy.* 2008 Aug;24(8):899-908. Epub 2008 May 19.

10. Sharma L, Eckstein F, Song J, Guermazi A, Prasad P, Kapoor D, Cahue S, Marshall M, Hudelmaier M, Dunlop D. Relationship of meniscal damage, meniscal extrusion, malalignment, and joint laxity to subsequent cartilage loss in osteoarthritic knees. *Arthritis Rheum.* 2008 Jun;58(6):1716-26.
11. Englund M, Lohmander LS. Risk factors for symptomatic knee osteoarthritis fifteen to twenty-two years after meniscectomy. *Arthritis Rheum.* 2004 Sep;50(9):2811-9.
12. Grotle M, Hagen KB, Natvig B, Dahl FA, Kvien TK. Obesity and osteoarthritis in knee, hip and/or hand: an epidemiological study in the general population with 10 years follow-up. *BMC Musculoskelet Disord.* 2008 Oct 2;9:132.
13. Riyazi N, Rosendaal FR, Slagboom E, Kroon HM, Breedveld FC, Kloppenburg M. Risk factors in familial osteoarthritis: the GARP sibling study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2008 Jun;16(6):654-9.
14. Valdes AM, Van Oene M, Hart DJ, Surdulescu GL, Loughlin J, Doherty M, Spector TD. Reproducible genetic associations between candidate genes and clinical knee osteoarthritis in men and women. *Arthritis Rheum.* 2006 Feb;54(2):533-9. Erratum in: *Arthritis Rheum.* 2009 Jan;60(1):178.
15. Von Mühlen D, Morton D, Von Mühlen CA, Barrett-Connor E. Postmenopausal estrogen and increased risk of clinical osteoarthritis at the hip, hand, and knee in older women. *J Womens Health Gend Based Med.* 2002 Jul-Aug;11(6):511-8.
16. Messier SP. *Med Sci Sports Exerc.* 1994 Dec;26(12):1446-52. Osteoarthritis of the knee and associated factors of age and obesity: effects on gait.
17. Mündermann A, Dyrby CO, Andriacchi TP. Secondary gait changes in patients with medial compartment knee osteoarthritis: increased load at the ankle, knee, and hip during walking. *Arthritis Rheum.* 2005 Sep;52(9):2835-44.
18. Petersson IF, Boegård T, Saxne T, Silman AJ, Svensson B. Radiographic osteoarthritis of the knee classified by the Ahlbäck and Kellgren & Lawrence systems for the tibiofemoral joint in people aged 35-54 years with chronic knee pain. *Ann Rheum Dis.* 1997 Aug;56(8):493-6.
19. Eckstein F, Cicuttini F, Raynauld JP, Waterton JC, Peterfy C. Magnetic resonance imaging (MRI) of articular cartilage in knee osteoarthritis (OA): morphological assessment. *Osteoarthritis Cartilage.* 2006;14 Suppl A:A46-75. Epub 2006 May 19. Review.
20. Wu CC. Combined lateral retinacular release with drilling chondroplasty for treatment

- of patellofemoral osteoarthritis associated with patellar malalignment in elderly patients. *Knee*. 2011 Jan;18(1):24-9.
21. Zeni JA Jr, Higginson JS. Differences in gait parameters between healthy subjects and persons with moderate and severe knee osteoarthritis: a result of altered walking speed? *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2009 May;24(4):372-8.
 22. Gok H, Ergin S, Yavuzer G. Kinetic and kinematic characteristics of gait in patients with medial knee arthrosis. *Acta Orthop Scand* 2002; 73: 647–52.
 23. Baliunas AJ, Hurwitz DE, Ryals AB, Karrar A, Case JP, Block JA, et al. Increased knee joint loads during walking are present in subjects with knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* 2002; **10**: 573–9.
 24. Alnahdi AH, Zeni JA, Snyder-Mackler L. Gait after unilateral total knee arthroplasty: frontal plane analysis. *J Orthop Res*. 2011 May;29(5):647-52. doi: 10.1002/jor.21323. Epub 2010 Dec 23.
 25. Wang Y, Hall S, Hanna F, Wluka AE, Grant G, Marks P, Feletar M, Cicuttini FM. Effects of Hyal G-F 20 supplementation on cartilage preservation detected by magnetic resonance imaging in osteoarthritis of the knee: a two-year single-blind clinical trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2011 Aug 24;12(1):195.
 26. Enea D, Cecconi S, Busilacchi A, Manzotti S, Gesuita R, Gigante A. Matrix-induced autologous chondrocyte implantation (MACI) in the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011 Aug 12.
 27. Monllau JC, Gelber PE, Abat F, Pelfort X, Abad R, Hinarejos P, Tey M. Outcome after partial medial meniscus substitution with the collagen meniscal implant at a minimum of 10 years' follow-up. *Arthroscopy*. 2011 Jul;27(7):933-43.
 28. Lind M, McClelland J, Wittwer JE, Whitehead TS, Feller JA, Webster KE. Gait analysis of walking before and after medial opening wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011 Apr 12
 29. Sayre EC, Li LC, Kopec JA, Esdaile JM, Bar S, et al. (2010) The Effect of Disease Site (Knee, Hip, Hand, Foot, Lower Back or Neck) on Employment Reduction Due to Osteoarthritis. *PLoS ONE* 5(5): e10470.
 30. Wright EA, Katz JN, Cisternas MG, Kessler CL, Wagenseller A, Losina E. Impact of knee osteoarthritis on health care resource utilization in a US population-based national sample. *Med Care*. 2010 Sep;48(9):785-91.
 31. Palmer KT, Milne P, Poole J, Cooper C, Coggon D. Employment characteristics and

- job loss in patients awaiting surgery on the hip or knee. *Occup Environ Med.* 2005 Jan;62(1):54-7.
32. Cicuttini F, Hankin J, Jones G, Wluka A. Comparison of conventional standing knee radiographs and magnetic resonance imaging in assessing progression of tibiofemoral joint osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2005 Aug;13(8):722-7.
 33. Buckland-Wright JC, Macfarlane DG, Williams SA, Ward RJ. Accuracy and precision of joint space width measurements in standard and macroradiographs of osteoarthritic knees. *Ann Rheum Dis.* 1995 Nov;54(11):872-80.
 34. Rosset A, Spadola L, Ratib O. OsiriX: an open-source software for navigating in multidimensional DICOM images. *J Digit Imaging.* 2004 Sep;17(3):205-16. Epub 2004 Jun 29. Review.
 35. Sumanaweera T, Glover G, Song S, Adler J, Napel S. Quantifying MRI geometric distortion in tissue. *Magn Reson Med.* 1994 Jan;31(1):40-7.
 36. Mazzuca SA, Brandt KD, Lane KA, Katz BP. Knee pain reduces joint space width in conventional standing anteroposterior radiographs of osteoarthritic knees. *Arthritis Rheum.* 2002 May;46(5):1223-7.
 37. Lequesne M. Quantitative Measurements of Joint Space During Progression of Osteoarthritis: Chondro- metry. In: Keuttner GV, Ed. Rosemont, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons 1995;427e44.
 38. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis.* 1957 Dec;16(4):494-502.
 39. Boegård T, Rudling O, Petersson IF, Jonsson K. Correlation between radiographically diagnosed osteophytes and magnetic resonance detected cartilage defects in the tibiofemoral joint. *Ann Rheum Dis.* 1998 Jul;57(7):401-7.
 40. Pelletier JP, Raynauld JP, Berthiaume MJ, Abram F, Choquette D, Haraoui B, Beary JF, Cline GA, Meyer JM, Martel-Pelletier J. Risk factors associated with the loss of cartilage volume on weight-bearing areas in knee osteoarthritis patients assessed by quantitative magnetic resonance imaging: a longitudinal study. *Arthritis Res Ther.* 2007;9(4):R74.
 41. Hunter DJ, Zhang Y, Niu J, Goggins J, Amin S, LaValley MP, Guermazi A, Genant H, Gale D, Felson DT. Increase in bone marrow lesions associated with cartilage loss: a longitudinal magnetic resonance imaging study of knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum.* 2006 May;54(5):1529-35.
 42. Bruyere O, Genant H, Kothari M, Zaim S, White D, Peterfy C, Burlet N, Richy F,

- Ethgen D, Montague T, Dabrowski C, Reginster JY. Longitudinal study of magnetic resonance imaging and standard X-rays to assess disease progression in osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2007 Jan;15(1):98-103.
43. Duryea J, Neumann G, Niu J, Totterman S, Tamez J, Dabrowski C, Le Graverand MP, Luchi M, Beals CR, Hunter DJ. Comparison of radiographic joint space width with magnetic resonance imaging cartilage morphometry: analysis of longitudinal data from the Osteoarthritis Initiative. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2010 Jul;62(7):932-7.
44. Agnesi F, Amrami KK, Frigo CA, Kaufman KR. Comparison of cartilage thickness with radiologic grade of knee osteoarthritis. *Skeletal Radiol*. 2008 Jul;37(7):639-43. Epub 2008 May 7.
45. Boegård TL, Rudling O, Petersson IF, Jonsson K. Magnetic resonance imaging of the knee in chronic knee pain. A 2-year follow-up. *Osteoarthritis Cartilage*. 2001 Jul;9(5):473-80.
46. Fukui N, Yamane S, Ishida S, Tanaka K, Masuda R, Tanaka N, Katsuragawa Y, Fukui S. Relationship between radiographic changes and symptoms or physical examination findings in subjects with symptomatic medial knee osteoarthritis: a three-year prospective study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2010 Nov 24;11:269.