

UNIVERSITÉ DE NANTES

FACULTE DE MEDECINE

Année 2019

n° 2019-260

THESE

pour le

DIPLÔME D'ETAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

(DES de MÉDECINE GÉNÉRALE)

par

Zélie BILLON née le 20/02/1992 à Clamart

Présentée et soutenue publiquement le 17 décembre 2019

**Lien entre la force, la morphologie et le risque de
rupture du ligament croisé antérieur selon le
mécanisme avec et sans contact**

Monsieur le Professeur NICH Christophe, président du jury

Monsieur le Docteur DAUTY Marc, directeur de thèse

Monsieur le Professeur LE GOFF Benoît, membre du jury

Monsieur le Docteur FOURNIER Jean Pascal, membre du jury

Remerciements :

A Monsieur le Professeur Christophe NICH, qui me faites l'honneur de présider mon jury de thèse. Veuillez recevoir mes remerciements et soyez assuré de mon plus profond respect.

A Monsieur le Professeur Benoit LEGOFF, que je remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.

Au Docteur Jean Pascal FOURNIER, qui me faites l'honneur de juger ce travail. Veuillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements.

Au Docteur Marc DAUTY, pour avoir accepté de diriger cette thèse. Un grand merci pour ton investissement et le temps passé à m'avoir guidé dans ce travail. Merci de m'avoir accueillie dans ton service et de m'avoir fait découvrir la médecine du sport.

A toute l'équipe médicale et paramédicale de médecine du sport pour son accueil pendant six mois.

A mes parents pour leur amour et leur soutien pendant toutes ces années.

A ma grande sœur Léa et mon grand frère Félix pour avoir toujours été là dans les bons moments comme dans les coups durs.

A ma petite nièce Lara, qui a égayé mes années d'externat et d'internat avec sa joie de vivre.

A mes cousins, mon oncle et en particulier à ma tante Hélène d'avoir été présente à Nantes pour moi quand j'en ai eu besoin.

A mes grands-parents et en particulier à ma grand-mère Edith médecin toi aussi, qui m'a donnée envie de faire ces études. J'espère te faire honneur en ce jour.

A Marion et Alice, amies depuis la première heure, pour tout ce que nous avons vécu ensemble. Merci d'être présentes aujourd'hui.

A mon équipe compas: Alice, Hercule, Maud et Ségo pour toutes nos aventures depuis mon premier week-end sous la tente jusqu'à l'Amérique du Sud en passant par le Bénin. Je suis ravie d'accueillir bientôt vos nouveaux petits bouts.

A tous mes amis de la faculté de médecine : Christine, Julia, Maeva, Tan mai, Roxane, Eli, Maxime, Sonia, Florent, Raphael, Sophie.... avec qui j'ai passé tant d'heures à la BU mais aussi à la fanf des Makabés, en soirées, en vacances et maintenant aux mariages.

Spéciale dédicace à Flo et Juju qui m'ont bien aidée pour cette thèse.

A Pauline et Gabrielle pour ces supers années à Nantes et pour tous vos conseils sur la médecine générale.

A mes anciens co internes de pédiatrie pour avoir démarré cette aventure avec vous.

A mes colocataires de l'internat de Saint Jacques pour votre présence à ces débuts difficiles. Merci à tous mes autres co internes pour tous ces bons moments à l'hôpital et en dehors.

A toute mon équipe de rugby l'ANRF, mon autre famille qui a changé ma vie et qui m'a donné tant envie de faire de la médecine du sport. J'espère vivre encore de nombreuses saisons avec vous. Spéciale dédicace à ma famille rapprochée Jeanne, Gomar et au petit nouveau Pepito.

A Matiaz pour ton amour. A tous nos bonheurs passés et à venir.

Plan :

<u>Plan</u>	3
<u>Abréviations</u>	4
<u>I. Introduction</u>	5
<u>II. Matériels et méthodes</u>	7
1. Type d'étude.....	7
2. Objectif de l'étude.....	7
3. Population	7
4. Variables recueillies à l'interrogatoire.....	8
5. Méthode de mesure de la morphologie du genou :	9
a) Axe du genou dans le plan frontal.....	9
b) Axe du genou dans le plan sagittal.....	10
c) Laxité ligamentaire sagittale du genou.....	10
d) Mesure de la force musculaire.....	11
6. Analyse statistique.....	12
<u>III. Résultats:</u>	14
1. Caractéristiques de la population.....	14
2. Mécanisme de rupture selon le type de sport.....	14
3. Morphologie et force musculaire isocinétique	15
4. Analyse univariée	15
5. Analyse multivariée.....	17
6. Corrélation entre la force des quadriceps, des ischio jambiers et les autres paramètres prédictifs	18
<u>IV. Discussion :</u>	19
1. Confrontations des résultats à la littérature.....	19
2. Forces de l'étude.....	22
3. Limites de l'étude.....	23
<u>V. Conclusion</u>	24
<u>VI. Bibliographie</u>	25
<u>Résumé</u>	30

Abréviations :

LCA : ligament croisé antérieur

IC : indice de confiance

RR: risque relatif

OR : Odds ratio

IMC : indice de masse corporelle

NST : nombre de sujet à traiter

LCP : ligament croisé postérieur

IJ : ischio jambiers

Q : quadriceps

ET : écart type

VLx : valgus

VRx : varus

Rx : recurvatum

IRM : imagerie par résonance magnétique

I. Introduction :

La rupture du ligament croisé antérieur (LCA) du genou représente une blessure fréquente lors de la pratique des activités sportives de compétition et de loisir (1). Selon les sports pratiqués, cette lésion représente 20 à 50% des blessures du genou (2,3). Elle survient selon des mécanismes bien identifiés (4,5) :

a) sans contact au niveau du genou lors d'un changement de direction rapide associé à une décélération, genou fléchi en valgus rotation externe ou en combinant un mécanisme en varus et rotation interne ;

b) avec contact direct au niveau du genou en position vulnérable de flexion rotation. Ce mécanisme est fréquemment retrouvé lors de la pratique de sport pivot contact comme le football, le basketball ou le handball ;

c) Rarement lors de l'hyper-extension du genou isolée, en skiant à haute vitesse par exemple.

Après rupture du LCA, la reconstruction chirurgicale est réalisée dans 50% à 70% des cas aux Etats-Unis, ce qui représente 125 000 à 175 000 opérations par an (6) . En France 44 893 opérations ont été réalisées en 2018 (7). Le taux de reconstruction du LCA augmente progressivement en particulier chez les femmes (8). Ce traitement est à l'origine d'une longue période « hors du terrain » de neuf à douze mois (9). Des évaluations de la récupération du genou opéré sont alors réalisées le plus souvent vers le troisième mois post-opératoire ainsi qu'à six et douze mois afin de permettre le retour au sport au même niveau (10,11). Lorsque le genou opéré a retrouvé une mobilité et une force symétrique à l'autre genou, la reprise du sport est le plus souvent autorisée (12), cependant il n'y a pas de critère clairement défini qui autorise le sport sans restriction (13). Malgré la chirurgie de reconstruction, seulement 60% des patients reprennent leur sport au même niveau à deux ans post opératoire (14,15) et moins de 50% entre deux et sept ans après la chirurgie (16). De plus, ces patients opérés qui ont repris leur sport

présentent des récurrences avec rupture de leur plastie mais également des ruptures du LCA controlatéral. Selon deux revues de littérature récentes, le taux de récurrences de rupture est compris entre 3 et 19%, et le taux de rupture controlatérale entre 5 et 24% (17,18).

Plusieurs méta-analyses ont tenté d'identifier les facteurs de risque intrinsèques dépendants de l'individu et les facteurs de risque extrinsèques (19–23). Les facteurs intrinsèques sont subdivisés en facteurs modifiables et non modifiables. Le morphotype et la laxité représentent des facteurs non modifiables selon certaines études (24,25). À l'inverse, la force musculaire et le poids représentent des facteurs intrinsèques modifiables qui sont identifiés comme des facteurs de risque.

Les facteurs de risque intrinsèques restent controversés et ne sont pas clairement identifiés chez les individus alors que le taux d'incidence de rupture de LCA ne cesse d'augmenter (8).

Ainsi, avant d'autoriser la reprise sportive après reconstruction chirurgicale du LCA, les facteurs de risque devraient être pris en compte afin d'éviter une lésion du LCA controlatéral. L'objectif principal de notre étude a donc été de rechercher des facteurs prédictifs intrinsèques de rupture du LCA au niveau du genou controlatéral considéré sain, en fonction du mécanisme de rupture avec ou sans contact du genou opéré.

II. Matériels et méthodes :

1. Type d'étude :

Nous avons réalisé une étude de cohorte analytique observationnelle monocentrique.

2. Objectif de l'étude :

Le suivi à long terme d'une cohorte de sujets déjà opérés d'un LCA du genou pour rapporter les ruptures du LCA du genou controlatéral était impossible. Il a donc été fait l'hypothèse qu'un individu récemment opéré d'une reconstruction chirurgicale du LCA présentait un genou controlatéral à risque de rupture du LCA en raison de ses caractéristiques morphologiques et musculaires. A partir de cela, l'objectif principal de notre étude a été d'étudier les associations entre le mécanisme de survenue d'une rupture du LCA du genou opéré avec ou sans contact, et les paramètres morphologiques et musculaires mesurés au niveau du genou controlatéral considéré sain.

3. Population :

Les patients ont été recrutés du 2 janvier au 31 décembre 2018 au cours d'une évaluation musculaire isocinétique de suivi systématique réalisée à quatre mois post-opératoire d'une reconstruction chirurgicale du LCA du genou. Nous avons inclus les patients de plus de 18 ans, ayant bénéficié d'une reconstruction chirurgicale par prélèvement des ischio-jambiers ou du tendon rotulien associé ou non à un geste méniscal. Le genou devait être indolore et le patient capable de réaliser un test d'évaluation musculaire isocinétique.

Les patients étaient exclus s'ils avaient subi une chirurgie de reconstruction du LCA bilatérale, une chirurgie du ligament croisé postérieur (LCP) ou une chirurgie de ré-axation du membre inférieur à type d'ostéotomie tibiale ou fémorale qui aurait rendu impossibles les

mesures des axes du genou. Etaient également exclus les patients qui présentaient un défaut d'extension du genou opéré faisant varier l'axe du genou.

4. Variables recueillies à l'interrogatoire :

Les paramètres d'étude ont été l'âge, la taille et le poids ainsi que l'Indice de Masse Corporelle (IMC) calculé selon la formule suivante :

$$IMC = \frac{\text{Poids (Kg)}}{\text{Taille (m) au carré}}$$

Le type de sport pratiqué a également été rapporté afin de connaître le mécanisme du traumatisme avec ou sans contact responsable de la rupture du LCA.

Deux populations ont été définies :

1) Rupture du LCA avec contact

Font partie de cette population : les patients ayant subi un traumatisme du genou avec contact direct par un adversaire ou un objet, ainsi que les patients victimes d'un traumatisme sans contact à haute cinétique comme, par exemple, les réceptions de saut en rotation du membre inférieur lors de la pratique de la gymnastique sportive ou du motocross, ou les réceptions avec déstabilisation du corps par un adversaire lors de compétitions de sports collectifs.

2) Rupture du LCA sans contact

Font partie de cette population : les patients ayant subi un traumatisme sans contact à type de changement de direction ou réception de saut sans déstabilisation préalable par un adversaire.

5. Méthode de mesure de la morphologie du genou :

Nous avons décidé de réaliser l'ensemble des mesures avec des méthodes simples et reproductibles selon un examen clinique applicable en consultation.

Un examen clinique du genou controlatéral à la ligamentoplastie de chaque patient a été effectué par le même médecin de médecine Physique et de Réadaptation formé à la médecine du sport afin de minimiser les erreurs de mesure.

a/ Axe du genou dans le plan frontal

Selon la position en station debout, l'axe du genou a été défini cliniquement selon trois morphotypes différents : *valgus*, *normo axé* ou *varus* (Figure 1). La quantité de *valgus* a été mesurée en prenant la distance inter malléolaire à l'aide d'une règle au centimètre près. La quantité de *varus* a été mesurée en prenant la distance inter condylienne à l'aide d'une règle au centimètre près.

L'axe du genou dans le plan frontal a également été calculé en additionnant les mesures en centimètres des patients valgus en positif et les mesures en centimètres des patients varus en négatif.

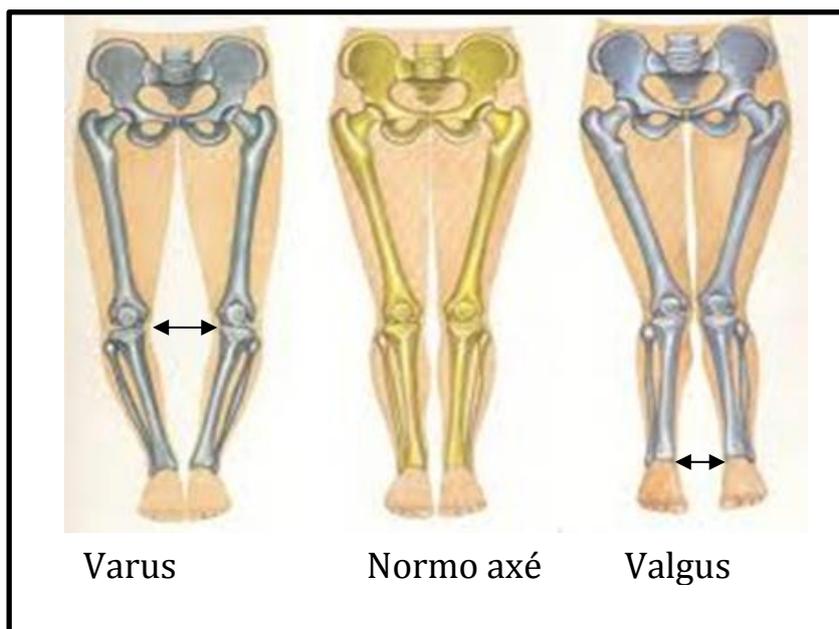


Figure 1 : Axe frontal du genou

b/ Axe du genou dans le plan sagittal : absence ou présence d'un *recurvatum* (26)

La quantité de *recurvatum* a été mesurée en position de décubitus dorsal selon l'écart entre la table d'examen et le talon lors de la mise en hyperextension du genou. Le *recurvatum* était défini par une mesure supérieure à 1 cm réalisée au centimètre près à l'aide d'une règle centimétrique.



Photo n°1 : Mesure du *recurvatum*

c/ Laxité ligamentaire sagittale du genou

La laxité ligamentaire sagittale du genou a été évaluée par la réalisation du *test de Lachman-Trillat* (27). L'examineur a exercé d'une main une translation antérieure du tibia après avoir fixé de l'autre main le fémur alors que le genou était placé à 20 degrés de flexion, patient relâché en position de décubitus dorsal. La laxité a été définie par une translation antérieure du tibia de 0.25 (1/2 croix), 0.50 cm (1 croix) ou plus.



Photo n° 2 : Test de Lachman-Trillat

d/ Mesure de la force musculaire

L'évaluation musculaire a été réalisée à l'aide d'un dynamomètre isocinétique CYBEX NORM® (Lumex Inc Ronkoma, NY, USA) par le même examinateur selon un protocole identique pour chaque patient (28).

La force des extenseurs et des fléchisseurs du genou a été évaluée selon le mode concentrique de façon bilatérale aux vitesses angulaires isocinétiques de 60 et 180°/s en commençant toujours par le genou sain. L'amplitude a été limitée à 100° (de l'extension complète à 100° de flexion). La correction de la gravité a été utilisée pour tous les tests. Après installation du patient et avoir donné les instructions des tests, étaient réalisées trois répétitions à 60°/s suivies d'un repos de 20 secondes puis cinq nouvelles répétitions à 180°/s. (28,29)

La force isocinétique relative a été calculée en rapportant la mesure du pic de force maximale pour chaque vitesse angulaire au poids du sujet. Les ratios ischio-jambiers sur quadriceps ont été calculés à 60°/s et 180°/s.

Un ratio ischio-jambiers sur quadriceps inférieur à 50% a été pris comme référence pour étudier le déficit ischio-jambiers sur quadriceps (28).

Seules les données du genou sain, non opéré, ont été prises en compte.



Photo n° 3 : Dynamomètre isocinétique CYBEX Norm[®] du CHU de Nantes

6. Analyse statistique :

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide d'un logiciel SPSS 23.0[®] (IBM corp. Dublin, Ireland). Les variables quantitatives ont été présentées selon la moyenne et l'écart-type, et les variables qualitatives selon la fréquence. La comparaison des deux populations selon le mécanisme de rupture du LCA avec ou sans contact a été réalisée par un test-t de Student pour les variables quantitatives et un test de chi² pour les variables qualitatives. Les résultats ont été jugés significatifs pour $p < 0,05$.

Afin de rechercher les associations entre le mécanisme avec et sans contact de la rupture du LCA et les paramètres morphologiques et musculaires du genou considéré sain selon l'hypothèse que les deux genoux étaient identiques, il a été réalisé une analyse univariée en prenant comme paramètre expliqué le mécanisme de rupture du LCA avec ou sans contact et comme paramètres explicatifs les paramètres mesurés.

Un modèle de régression logistique binaire a ensuite été construit afin de prévoir une rupture du LCA avec ou sans contact en fonction des variables explicatives morphologiques et musculaires du genou. Ces variables ont été introduites pas à pas selon la méthode ascendante Wald pour obtenir un modèle concis. Le modèle final comprend uniquement les variables

statistiquement significatives. Les résultats ont été présentés selon l'odds ratio et un intervalle de confiance à 95%. La qualité de l'ajustement du modèle a été déterminée selon le test de Hosmer-Lemeshow.

Les liens entre les variables explicatives ont également été recherchés par analyse de corrélation selon Pearson.

III. Résultats :

1. Caractéristiques de la population :

Cent cinquante patients ont été inclus dont 98 hommes (65,3%) et 52 femmes (34,7%) sur l'année 2018. La population était en moyenne âgée de 26 ± 8 ans pour un poids de 71 ± 11 kg et une taille de 174 ± 8 cm, soit un IMC de 23 ± 3 kg/cm² avec des extrêmes de 17,9 kg/m² (maigreur) à 39,1 kg/m² (obésité sévère).

2. Le mécanisme de la rupture du LCA selon le type de sport:

Soixante et un patients ont présenté une rupture du LCA avec contact et 89 une rupture sans contact. Le football (65 patients), le basketball (22 patients), le ski (19 patients) et le handball (13 patients) représentaient les quatre sports les plus pratiqués parmi les 19 sports rapportés lors de la rupture du LCA. Le mécanisme de rupture selon le type de sport est représenté en figure 2.

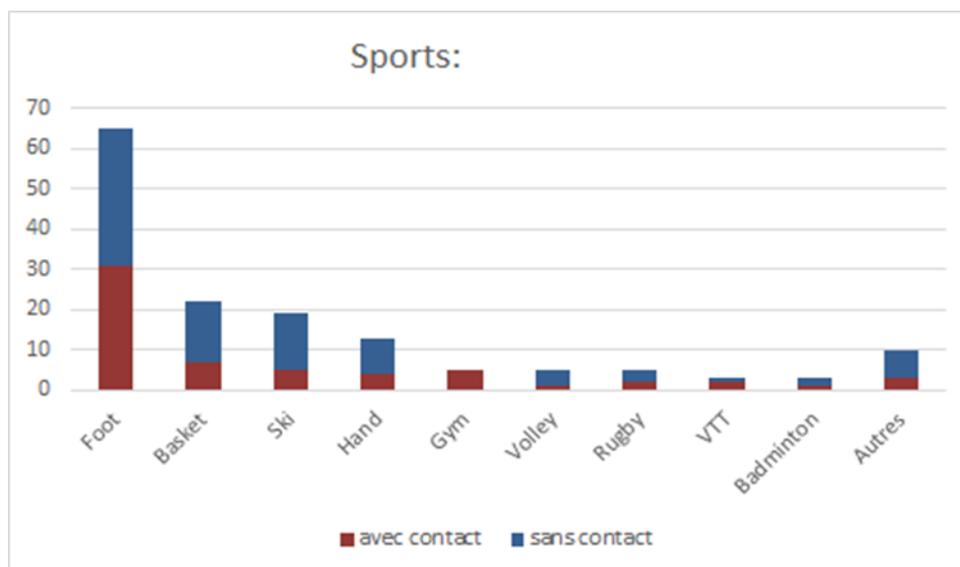


Figure n°2 : Rupture sans contact ou avec contact en pourcentage selon le sport pratiqué.

3. Morphologie et force musculaire isocinétique du genou considéré sain:

Les résultats sont présentés pour l'ensemble de la population étudiée dans le tableau I.

Facteurs	Nombre (sur 150), (pourcentage), +/- écart type
Morphologie du genou	
Normo axé (oui/non)	43 (28,7%)
Varus (oui/non)	44 (29,3%)
Distance inter-genou (cm)	1,3 +/- 2,5
Valgus (oui/non)	63 (42%)
Distance inter-malléolaire (cm)	1,4 +/- 2
Recurvatum (oui/non)	106 (70,6%)
Distance talon-table (cm)	3,1 +/- 1,4
Laxité selon le test de Lachman (cm)	0,28 +/- 0,21
Force isocinétique	
IJ à 60°/s Nm/kg	1,34 +/- 0,31
IJ à 180°/s, Nm/kg	1,01 +/- 0,24
Q à 60°/s, Nm/kg	2,54 +/- 0,49
Q à 180°/s, Nm/kg	1,62 +/- 0,31
Ratio IJ/Q à 60°/s	0,53 +/- 0,09
Ratio IJ/Q à 180°/s	0,62 +/- 0,10

Cm: centimètre ; ET: écart-type ; IJ: Ischio-jambiers ; Q: Quadriceps

Tableau I : Morphologie et force isocinétique du genou considéré sain

4. Analyse univariée : comparaison des populations qui ont présenté une rupture du LCA avec et sans contact :

Les deux populations n'ont pas présenté de différence dans la répartition des sexes. La population qui a présenté une rupture du LCA sans contact était significativement plus âgée et présentait un poids et un IMC significativement plus grand. La morphologie du genou considéré sain était surtout valgus (37,1% des cas) et *recurvatum* (78,7% des cas) avec une association *valgus recurvatum* significativement différente (33,7% vs 9,8% ; $p < 0,01$). Aucune différence n'était retrouvée entre les deux populations pour la laxité selon le test de Lachman.

FACTEURS		avec contact (n=61)	sans contact (n= 89)	B	OR	IC 95%	p	
CARACTERISTIQUES	Sexe	Homme	42 (69.7%)	56 (62.9%)	-0.264	0,77	(0,38- 1,53)	0,45
		Femme	19 (30.6 %)	33(37.1%)				
	Age (années)		24,51+/-7,17	27,7+/-9,69	0.044	1,05	(1-1,09)	0,03
	Poids (en kilos)		67,87+/-8,85	73,58+/-13,24	0.045	1,05	(1,01-1,08)	0,01
	Taille (en cm)		172,97+/-7,75	174,71+/-9,136	0.024	1,02	(0,99-1,06)	0,2
	IMC (kg/m2)		22,59+/-2,20	24,02+/-3,60	0.171	1,19	(1,04-1,35)	0,01
ANATOMIE DU GENOU	Normo axé		20 (32,8%)	23 (25.8%)		1,58	(1,02-2,15)	0,04
	Valgus	Oui/non	11 (18%)	33 (37,1%)		0,37	(0,17-0,81)	0,01
		cm	0,62(+/-1.58)	1,82 (+/-2,84)	0.0488	1,63	(1,14-2,32)	0,01
	Varus	Oui/non	30 (49.1%)	33 (37.1%)		1,64	(0,85-3,18)	0,14
		cm	1,80(+/-2,00)	1,30 (+/-1.98)	-0.210	0,81	(0,58-1,12)	0,21
	Axe frontal (cm)		0,52 (+/-2.93)	-0,25		0,79	(0,65-0,96)	0,02
	Recurvatum	Oui/non	36 (59%)	70 (78.7%)		2,56	(1,25-5,25)	0,01
		cm	2,4 (+/- 2.50)	3,60 (+/-2.70)	0.363	1,44	(1,1-1,88)	0,01
	Laxité Lachman (cm)		0,26 (+/-0.42)	0,29 (+/-0.40)	0.878	2,41	(0,48-12,03)	0,29
	Association de 2 facteurs	Recurvatum associé valgus	6 (9.8%)	30 (33.7%)		0,22	(0,08-0,56)	<0,01
Recurvatum associé varus		18 (29.5%)	25 (28.1%)		1,07	(0,52-2,2)	0,85	
FORCE DU GENOU	Ischio jambiers à 60°/s		1,42+/-0,30	1,30+/-0,30	-1.307	0,27	(0,09-0,82)	0,02
	Ischio jambiers à 180°/s		1,07+/-0,23	0,97+/-0,24	-1.758	0,17	(0,04-0,72)	0,02
	Quadriceps à 60°/s		0,54+/-0,01	0,53+/-0,08	-0.614	0,54	(0,27-1,08)	0,08
	Quadriceps à 180°/s		0,63+/-0,09	0,62+/-0,11	-1.168	0,31	(0,10-0,93)	0,04
	Ischio/ quadriceps à 60°/s		0,54+/-0,09	0,53+/-0,08	-2.159	0,12	(0,00-5,54)	0,27
	Ischio/ quadriceps à 180°/s		0,63+/-0,09	0,62+/-0,01	-1.397	0,25	(0,01-6,09)	0,39
	Quadriceps/ischio <0,5		25 (40.1%)	31 (34.8%)		1,3	(0,66-2,5)	0,45

Tableau II : Comparaison des populations selon le mécanisme avec et sans contact des ruptures du LCA

Abréviations : OR et IC95: Odds ratio et intervalle de confiance à 95%, cm: centimètres, IJ: ischio jambiers ; Q: quadriceps

La force isocinétique relative de la population qui a présenté une rupture du LCA sans contact était significativement plus faible au niveau des muscles ischio-jambiers à 60°/s et 180°/s. La force des quadriceps avait une tendance à être également plus faible alors que les ratios IJ/Q n'étaient pas différents.

5. Analyse multivariée :

Réalisation d'un modèle expliquant la rupture du LCA sans contact à partir des paramètres explicatifs morphologiques et de la force du genou sain (tableau III).

		Béta	Wald	Odds Ratio	IC 95%	<i>p</i>
Pas 1	Vlx	0,446	5,83	1,56	1,08-2,24	0,016
Pas 2	Rx	0,311	5,04	1,36	1,04-1,79	0,025

Vlx: valgus en cm , Rx: recurvatum en cm IC: intervalle de confiance

Tableau III : Facteurs explicatifs d'une rupture du LCA sans contact

Le modèle a rejeté plusieurs variables de l'équation à savoir l'âge, le poids, l'IMC ainsi que la force isocinétique relative des ischio-jambiers. Seuls le valgus et le recurvatum ont été retenus pour expliquer une rupture du LCA sans contact (Tableau III).

Le hasard a permis de classer correctement 59,3% des ruptures du LCA avec ou sans contact selon le valgus mesuré. En introduisant la mesure du recurvatum, la classification devient correcte pour 69,7% des ruptures du LCA.

Par contre, le modèle n'est pas significatif selon le test de Hosmer-Lemeshaw ($\text{Chi}^2 = 1,38$; $p=0,96$ au pas 2). L'ajustement du modèle aux données est faible au regard des faibles valeurs des coefficients de Cox et Snell ($R^2 = 0,09$) et de Nagelkerke ($R^2=0,12$).

6. Corrélations entre la force des quadriceps, des ischio jambiers et les autres paramètres prédictifs:

La force des quadriceps est significativement corrélée positivement à celle des ischio-jambiers à 180°/s et à 60°/s (r compris entre 0,662 et 0,744).

La force des quadriceps est significativement et négativement corrélée au valgus du genou (r compris entre - 0,410 et - 0,434). Plus le valgus du genou est important, plus la force des quadriceps est faible. Il en est de même avec la force des ischio-jambiers (r compris entre - 0,456 et - 0,483). La force des quadriceps et des ischio-jambiers n'est pas corrélée au *recurvatum*.

	Q60	Q180	IJ60	IJ180	VLx	VRx	Rx
Q60	1	0,866**	0,715**	0,662**	- 0,410**	0,254*	- 0,100
Q180	0,866**	1	0,724**	0,744**	- 0,434**	0,288**	- 0,280
IJ60	0,715**	0,724**	1	0,880**	- 0,456**	0,308**	- 0,186
IJ180	0,662**	0,744**	0,880**	1	- 0,483**	0,322**	- 0,144
VLx	- 0,410**	- 0,434**	- 0,456**	- 0,483**	1	- 0,402**	0,198
VRx	0,254*	0,288**	0,308**	0,322**	- 0,402**	1	- 0,096
Rx	- 0,100	- 0,280	- 0,186	- 0,144	0,198	- 0,096	1

** : p<0,001 ; * : p<0,01

Q : *quadriceps*, IJ : *ischio jambiers*, VLx : *valgus*, VRx : *varus*, Rx : *recurvatum*

Tableau IV : Corrélations entre la force des quadriceps, des ischio-jambiers et des autres paramètres étudiés.

IV. Discussion:

1) Confrontation des résultats à la littérature :

Selon nos résultats, 41% des ruptures du LCA sont survenues avec contact et 59% sans contact. Cependant, la définition d'une rupture d'un LCA avec et sans contact n'est pas univoque. Pour Myklebust et al. (30,31) la rupture sans contact correspond à une lésion qui survient en l'absence de contact entre joueurs (corps-à-corps). Selon Montalvo et al. (32) le mécanisme de rupture peut être défini par cinq situations différentes : collision, contact, contact limité, sans contact et réception en rotation avec impact élevé. Ainsi, le mécanisme est défini selon le sport pratiqué. L'incidence des ruptures du LCA est plus importante pour les sports avec contacts (1,51/10000), pour les sports à collisions (1,29/10000) et pour les sports sans contact associés à une rotation avec impact élevé (2,62/10000) par rapport aux sports avec contacts limités (0,48/10000) et les sports sans contact (0,25/10000). Nous avons décidé de ne pas différencier les groupes selon le sport mais selon le mécanisme rapporté par le patient. Ainsi, la pratique du football est responsable dans notre étude, de 52% des ruptures du LCA sans contact contre 48% avec contact témoignant qu'un sport à lui seul ne peut être à l'origine de rupture du LCA avec contact. Notre méthode a donc été plus précise même si un biais mnésique du mécanisme de rupture du LCA, rapporté par le patient, a pu être possible.

Nous avons montré que la présence d'un *valgus* et, à un moindre degré, d'un *recurvatum* avaient un lien avec la rupture du LCA sans contact. Nous n'avons pas retrouvé d'étude qui a confirmé que le valgus passif du genou représentait un facteur de risque de rupture du LCA. Par contre, le valgus dynamique du genou est considéré comme un facteur de risque notamment chez les femmes athlètes. Quatman et Hewett (33) ont réalisé une revue de littérature sur l'effondrement dynamique du genou en valgus comme mécanisme de rupture. Selon Olsen et al. (34) et Krosshaug et al. (35), plusieurs études ont constaté que l'effondrement dynamique du valgus était le mécanisme le plus commun de blessure du LCA pour les athlètes féminines

de handball et de basketball. Krosshaug et al. (35) ont également constaté que les joueuses de basketball présentaient un risque relatif de l'effondrement en valgus 5,3 fois plus important par rapport au risque des joueurs de basketball masculins lors d'une lésion du LCA. Une étude plus récente de Boden et al. (36) a montré que les femmes présentaient des angles de valgus plus élevés que leurs homologues masculins lors d'une lésion du LCA.

Dans le plan sagittal, le *recurvatum* du genou selon une extension passive exagérée, représente une association avec la rupture sans contact du LCA dans notre étude. L'étude de Myer et al. (37) montre que le *recurvatum* multiplie par 4,8 (IC95% : 1,24-18,4) le risque de rupture du LCA chez des femmes sportives selon une analyse multivariée.

La laxité sagittale ligamentaire mesurée instrumentalement par KT 2000 a également été rapportée comme un facteur de risque uniquement chez la femme (25,37). Nous n'avons pas confirmé cette association, peut-être en raison d'une faible représentation des femmes dans notre population (34%) ou du fait de la mesure manuelle de la laxité sagittale du genou qui n'a donc pas été instrumentale. De plus, dans notre méthode, le sexe féminin n'a pas été considéré comme un facteur de risque contrairement aux affirmations de la littérature. L'association laxité généralisée et sexe féminin est pourtant souvent présentée (38). Plusieurs études avaient montré un taux de rupture du LCA plus élevé chez les femmes (39,40). Le risque relatif de lésion du LCA sans contact pour la première fois après ajustement pour le sport et le niveau de jeu était de 2,1 par rapport au sujet masculin selon Beynnon et al. (41). Un taux 3,5 fois supérieur chez la femme pour la pratique du basketball et 2,6 fois supérieur pour la pratique du football a été rapporté (42). A l'inverse, Joseph et al. (2) et Mountcastle et al. (43) n'ont pas montré de différence significative de lésion du LCA selon le sexe.

Deux facteurs, le *valgus* et le *recurvatum* ont été associés à la rupture du LCA sans contact selon le modèle construit à partir de notre population. Malheureusement, ces facteurs morphologiques ne sont pas modifiables si bien que la portée de nos résultats pourrait sembler

limitée. En fait, c'est la recherche de corrélations qui a présenté un intérêt car le modèle de régression a exclu les paramètres qui étaient liés entre eux. Ainsi, les paramètres de force isocinétique ont été significativement plus faibles dans la population qui a présenté une rupture du LCA sans contact que dans la population qui a présenté une rupture du LCA avec contact. L'analyse univariée a calculé des odd-ratios inférieurs à 1 surtout pour la force des ischio-jambiers et à un moindre degré pour la force des quadriceps qui font de ces paramètres des paramètres protecteurs. Etant donné la forte liaison entre la force isocinétique du genou et le *valgus*, (Tableau IV de corrélation : $r > 0,400$, $p < 0,001$), témoignant que plus le valgus était important et plus la force isocinétique était faible, il est possible de comprendre l'intérêt indirect d'un renforcement musculaire pour contrôler le valgus dynamique du genou. Plusieurs méta-analyses ont évalué l'intérêt des programmes de prévention des ruptures du LCA (44,45). Les programmes multi-composants donnent de meilleurs résultats que les programmes à composant unique pour réduire l'incidence et le risque des lésions du LCA sans contact. Ces programmes comprennent pliométrie des membres inférieurs, équilibre dynamique, étirements, prise de conscience du corps, prise de décision d'information, contrôle ciblé du tronc, formation à l'agilité et renforcement des muscles ischio-jambiers. Les exercices excentriques des ischio-jambiers tels que le "nordic hamstring curl", seuls ou intégrés à d'autres modalités d'exercices (déséquilibre, renforcement, pliométrie, agilité, sprint ou flexibilité) améliorent la force des ischio-jambiers avec un décalage du couple maximal optimal de flexion du genou vers une position d'angle plus ouvert (45).

Par contre, le *recurvatum* n'étant pas lié à la force musculaire, la correction dynamique de celui-ci semble illusoire. Aucune étude ne semble avoir étudié la correction du recurvatum du genou.

Le poids et l'IMC ont également été différents entre les deux populations avec un poids et un IMC plus élevés chez la population qui a présenté une rupture du LCA sans contact. Le

fait de perdre du poids présenterait donc un intérêt afin d'éviter une rupture du LCA sans contact selon une amélioration de l'IMC et de la force, paramètres tous deux calculés par rapport au poids.

2) Forces de l'étude

Il s'agit d'une étude originale par sa comparaison entre deux groupes selon le mécanisme de rupture du LCA avec et sans contact.

Cette étude clinique a employé une technique d'évaluation manuelle des axes du genou facile à réaliser en consultation de suivi alors que la plupart des études utilisent des moyens instrumentaux complexes (radiographie, IRM, vidéo analyse) qui ne correspondent pas à une pratique clinique simplifiée. Seule, l'évaluation isocinétique de la force musculaire peut paraître complexe et coûteuse mais celle-ci correspond au suivi habituel de toutes les reconstructions chirurgicales du LCA du genou pour avoir des arguments permettant le retour au sport (10,11,12).

Les mesures ont été réalisées par un seul opérateur entraîné, ce qui a minimisé les biais de mesure par défaut de reproductibilité intra et extra-observateur. Enfin, le recueil des données réalisé à l'occasion d'une seule consultation a évité les pertes de vue avec des données manquantes.

3) Limites de l'étude :

La puissance de notre étude a peut-être été limitée par un effectif relativement faible étant donné le nombre de paramètres étudiés (axe du genou dans le plan frontal (valgus-varus), dans le plan sagittal (test de Lachman) et force musculaire isocinétique, en plus des paramètres anthropométriques (âge, poids, taille et sexe).

Cette cohorte a pu avoir un biais de sélection car nous n'avons inclus que des patients opérés du LCA, or tous les patients qui présentent une rupture du LCA ne sont pas opérés.

Enfin, l'hypothèse qu'un genou sain est comparable en tout point à un genou controlatéral qui a fait l'objet d'une reconstruction d'un LCA a peut-être représenté une simplification. En fait, il n'est pas possible d'attendre qu'un genou controlatéral sain présente une entorse grave en sachant que dans 75 à 95% des cas celle-ci ne surviendra sans doute pas même si le sujet reprend un sport pivot contact dangereux pour les genoux (17,18)

IV. Conclusion :

Le *valgus* et le *recurvatum* du genou mesurés manuellement représentent des facteurs associés au risque de rupture du LCA sans contact. Etant donné les corrélations significatives et négatives entre la force des ischio-jambiers, et à un moindre degré des quadriceps, et l'importance du valgus, un renforcement des quadriceps et ischio jambiers pourrait diminuer le risque de rupture du LCA. De plus, perdre du poids pourrait avoir un intérêt afin d'éviter une rupture du LCA sans contact chez ces patients présentant un valgus du genou et un recurvatum. Par contre, aucun renforcement musculaire ne permettrait de corriger le recurvatum étant donné l'absence de lien significatif entre la force musculaire de la cuisse et cette déformation axiale du genou. Le sexe féminin n'a pas été associé, de même que la laxité sagittale selon le test de Lachman, à la rupture du LCA sans contact.

V. Bibliographie:

1. Joseph AM, Collins CL, Henke NM, Yard EE, Fields SK, Comstock RD. A Multisport Epidemiologic Comparison of Anterior Cruciate Ligament Injuries in High School Athletics. *J Athl Train*. 2013;48(6):810-7.
2. Swenson DM, Collins CL, Best TM, Flanigan DC, Fields SK, Comstock RD. Epidemiology of knee injuries among us high school athletes, 2005/06–2010/11. *Med Sci Sports Exerc*. mars 2013;45(3):462-9.
3. Risberg MA, Lewek M, Snyder-Mackler L. A systematic review of evidence for anterior cruciate ligament rehabilitation: how much and what type? *Phys Ther Sport*. 2004;5(3):125–145
4. Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Garrett WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*. Juin 2000; 23(6):573-8.
5. Shimokochi Y, Shultz SJ. Mechanisms of Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Athl Train*. 2008;43(4):396-408.
6. Kim S, Bosque J, Meehan JP, Jamali A, Marder R. Increase in Outpatient Knee Arthroscopy in the United States: A Comparison of National Surveys of Ambulatory Surgery, 1996 and 2006. *JBJS*. 1 juin 2011;93(11):994.
7. Base Nationale Publique et Privée - 2018 Répartition des GHM pour l'acte CCAMNFM003 : Reconstruction du ligament croisé antérieur du genou par autogreffe, par arthroscopie.
8. Csintalan RP, Inacio MCS, Funahashi TT. Incidence Rate of Anterior Cruciate Ligament Reconstructions. *Perm J*. 2008;12(3):17-21.
9. Gerometta A, Khiami F, Lutz C, Lefevre N, Herman S, Thoreux P, et al. Reprise du sport après ligamentoplastie du ligament croisé antérieur chez 239 sportifs. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique Volume 26* nov 2015; 101, n° 8S.
10. Sue D, Barber-Westin, B.S., and Frank R. Noyes, M.D. Systemic Review With Video Illustration Factors Used to Determine Return to Unrestricted Sports Activities After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction *Arthroscopy*. 2011 Dec;27(12):1697-705
11. R. Martin, S. Gard, C. Besson;J. Ménétreay. Retour au sport après reconstruction du ligament croisé antérieur. *Revue Médicale Suisse* 2013 ; 9 : 1426-31
12. Delvaux F, Rochcongar P, Bruyère O, Daniel C, Reginster J-Y, Croisier J-L. Retour au sport après plastie du ligament croisé antérieur : critères utilisés dans les clubs professionnels de football. *Sci Sports*. 1 févr 2015;30(1):33-40.
13. Barber-Westin SD, Noyes FR. Factors Used to Determine Return to Unrestricted Sports Activities After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthroscopy*. 1 déc 2011;27(12):1697-705.

14. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Whitehead TS, Webster KE. Sports participation 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction in athletes who had not returned to sport at 1 year: a prospective follow-up of physical function and psychological factors in 122 athletes. *Am J Sports Med.* avr 2015;43(4):848-56.
15. Gobbi A, Francisco R. Factors affecting return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon and hamstring graft: a prospective clinical investigation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* oct 2006;14(10):1021-8.
16. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE. Return to sport outcomes at 2 to 7 years after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Am J Sports Med.* janv 2012;40(1):41-8.
17. Thomee R, Kaplan Y, Kvist J, Myklebust G, Risberg MA, Theisen D, et al. Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 20 sept 2011;19(11):1798.
18. Barber-Westin SD, Noyes FR. Objective criteria for return to athletics after anterior cruciate ligament reconstruction and subsequent reinjury rates: a systematic review. *Phys Sportsmed.* sept 2011;39(3):100-10.
19. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: Part 1, Mechanisms and Risk Factors. *Am J Sports Med.* févr 2006;34(2):299-311.
20. Hewett TE, Ford KR, Myer GD. Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: Part 2, A Meta-analysis of Neuromuscular Interventions Aimed at Injury Prevention. *Am J Sports Med.* 1 mars 2006;34(3):490-8.
21. Craig E, Pfeifer, Paul F, Beattie, Ryan S, Sacko, Amy Hand, MA. Risk factors associated with non contact anterior cruciate ligament injury : a systematic review ; *Int J Sports Phys Ther.* 2018 Aug; 13(4): 575–587.
22. Smith HC, Vacek P, Johnson RJ, Slauterbeck JR, Hashemi J, Shultz S, et al. Risk factors for anterior cruciate ligament injury: a review of the literature - part 1: neuromuscular and anatomic risk. *Sports Health.* janv 2012;4(1):69-78.
23. Smith HC, Vacek P, Johnson RJ, Slauterbeck JR, Hashemi J, Shultz S, et al. Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury: A Review of the Literature—Part 2: Hormonal, Genetic, Cognitive Function, Previous Injury, and Extrinsic Risk Factors. *Sports Health Multidiscip Approach.* mars 2012;4(2):155-61.
24. Uhorchak JM, Scoville CR, Williams GN, Arciero RA, St Pierre P, Taylor DC. Risk factors associated with noncontact injury of the anterior cruciate ligament: a prospective four-year evaluation of 859 West Point cadets. *Am J Sports Med.* déc 2003;31(6):831-42.
25. Woodford-Rogers B, Cyphert L, Denegar CR. Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury in High School and College Athletes. *J Athl Train.* déc 1994;29(4):343-6.

26. Watkins MA, Riddle DL, Lamb RL, Personius WJ. Reliability of goniometric measurements and visual estimates of knee range of motion obtained in a clinical setting. *Phys Ther.* févr 1991;71(2):90-6; discussion 96-97.
27. Cooperman JM, Riddle DL, Rothstein JM. Reliability and validity of judgments of the integrity of the anterior cruciate ligament of the knee using the Lachman's test. *Phys Ther.* avr 1990;70(4):225-33.
28. Impellizzeri FM, Bizzini M, Rampinini E, Cereda F, Maffiuletti NA. Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging.* mars 2008;28(2):113-9.
29. Steffen K, Nilstad A, Kristianslund EK, Myklebust G, Bahr R, Krosshaug T. Association between Lower Extremity Muscle Strength and Noncontact ACL Injuries: *Med Sci Sports Exerc.* nov 2016;48(11):2082-9.
30. Myklebust G, Maehlum S, Holm I, Bahr R. A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scand J Med Sci Sports.* juin 1998;8(3):149-53.
31. Myklebust G, Engebretsen L, Br IH, Skjølberg A, Olsen O-E, Bahr R. Prevention of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Team Handball Players: A Prospective Intervention Study Over Three Seasons. *Clin J Sport Med.* 2003;13(2):8.
32. Montalvo AM, Schneider DK, Webster KE, Yut L, Galloway MT, Heidt RS, et al. Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Sport: A Systematic Review and Meta-Analysis of Injury Incidence by Sex and Sport Classification. *J Athl Train.* 22 avr 2019;54(5):472-82.
33. Quatman C, Hewett T. The anterior cruciate ligament injury controversy: is "valgus collapse" a sex-specific mechanism? *Br J Sports Med.* mai 2009;43(5):328-35.
34. Olsen O-E, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med.* juin 2004;32(4):1002-12.
35. Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, Engebretsen L, Smith G, Slaughterbeck JR, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *Am J Sports Med.* mars 2007;35(3):359-67.
36. Boden BP, Torg JS, Knowles SB, Hewett TE. Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics. *Am J Sports Med.* févr 2009;37(2):252-9.
37. Myer GD, Ford KR, Paterno MV, Nick TG, Hewett TE. The Effects of Generalized Joint Laxity on Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury in Young Female Athletes: *Am J Sports Med.* 2008 Jun; 36(6): 1073–1080.
38. Seçkin U, Tur BS, Yilmaz O, Yağcı I, Bodur H, Arasil T. The prevalence of joint hypermobility among high school students. *Rhumatol Int.* mai 2005;25(4):260-3.

39. Agel J, Arendt EA, Bershadsky B. Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer: a 13-year review. *Am J Sports Med.* avr 2005;33(4):524-30.
40. Arendt EA. Anterior cruciate ligament injuries. *Curr Womens Health Rep.* 2001;1(3):211–217.
41. Beynnon BD, Vacek PM, Newell MK, et al. The Effects of Level of Competition, Sport, and Sex on the Incidence of First-Time Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury. *Am J Sports Med.* 2014;42(8):1806-1812.
42. Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* déc 2007;23(12):1320-1325.e6.
43. Mountcastle SB, Posner M, Kragh JF, Taylor DC. Gender Differences in Anterior Cruciate Ligament Injury vary with Activity: Epidemiology of Anterior Cruciate Ligament Injuries in a Young, Athletic Population. *Am J Sports Med.* 1 oct 2007;35(10):1635-42.
44. Voskanian N. ACL Injury prevention in female athletes: review of the literature and practical considerations in implementing an ACL prevention program. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 15 févr 2013;6(2):158-63.
45. Monajati A, Larumbe-Zabala E, Goss-Sampson M, Naclerio F. The Effectiveness of Injury Prevention Programs to Modify Risk Factors for Non-Contact Anterior Cruciate Ligament and Hamstring Injuries in Uninjured Team Sports Athletes: A Systematic Review. *Cavarretta E,* 12 mai 2016;11(5):e0155272.

Vu, le Président du Jury,

Vu, le Directeur de Thèse,

Vu, le Doyen de la Faculté,

Résumé:

Lien entre la force, la morphologie et le risque de rupture du ligament croisé antérieur selon le mécanisme avec et sans contact:

Introduction:

La rupture du ligament croisé antérieur (LCA) représente une blessure fréquente amenant à une longue période hors des terrains. Les facteurs de risque de ruptures ne sont pas encore clairement identifiés. L'objectif de l'étude était d'étudier le lien entre la force, la morphologie du genou et la rupture du LCA selon le mécanisme de rupture avec et sans contact.

Matériels et méthodes:

Cette étude de cohorte observationnelle monocentrique a été menée entre janvier et décembre 2018 au CHU de Nantes. Les patients de plus de 18 ans ont été inclus lors d'une consultation à quatre mois post-opératoire d'une ligamentoplastie du LCA. Les patients ont été interrogés, examinés puis ont effectué des tests isocinétiques sur le genou sain.

Résultats:

150 patients ont été inclus (89 ruptures sans contact et 61 ruptures avec contact). En analyse multivariée, le valgus du genou (OR=1,56 [IC95% : 1,08-2,24] p=0,016) et le recurvatum (OR=1,36 [IC95% : 1,04-1,79] p=0,025) ont été associés significativement à une rupture du LCA sans contact. Des corrélations significatives négatives ont été observées entre l'importance du valgus et la force des ischio-jambiers (r compris entre - 0,456 et - 0,483 ; p<0.001) et la force des quadriceps (r compris entre - 0,410 et - 0,434 ; p<0.001).

Conclusion :

Le valgus du genou et le recurvatum sont associés au risque de rupture du LCA sans contact. Etant donné que le valgus est corrélé négativement à la force des quadriceps et des ischio jambiers, un renforcement musculaire des cuisses pourrait diminuer le risque de rupture du LCA.

Mots clés :

Ligament croisé antérieur, rupture, mécanisme, facteur de risque, recurvatum, valgus