

MINISTÈRE DE LA SANTÉ  
RÉGION LORRAINE  
INSTITUT DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE  
DE NANCY

**INTÉRÊT DU TRAVAIL EN CHAÎNE CINÉTIQUE FERMÉE  
DANS LA RÉÉDUCATION DES  
LIGAMENTOPLASTIES DE GENOU**



Rapport de travail écrit personnel  
Présenté par Sarah ODOJ  
Etudiante en 3<sup>ème</sup> année de kinésithérapie  
En vue de l'obtention du Diplôme d'Etat  
De Masseur-Kinésithérapie  
2005-2006

## SOMMAIRE

	PAGE
RÉSUMÉ	
1. INTRODUCTION .....	1
2. TRAVAIL EN CHAÎNE CINÉTIQUE FERMÉE .....	2
3. RAPPELS BIOMÉCANIQUES.....	3
3. 1. Contraintes fémoro-patellaires.....	3
3. 1. 1. Rapport à la ligne gravitaire.....	3
3. 1. 2. Surface de contact.....	4
3. 2. Contraintes fémoro-tibiales.....	5
3. 3. Tensions ligamentaires.....	6
4. ETUDES COMPARATIVES.....	7
4. 1. Translation tibiale antérieure.....	7
4. 2. Allongement et forces de cisaillement.....	9
4. 3. Proprioception.....	10
4. 4. Efficacité du renforcement musculaire en C. C. F.....	10
5. APPLICATIONS PRATIQUES.....	12
5. 1. Exercices en phase précoce.....	12
5. 2. Exercices en phase de rééducation active.....	14
5. 3. Exercices en phase de rééducation intensive.....	19
6. DISCUSSION.....	23
7. CONCLUSION.....	24
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

## 1. INTRODUCTION

Les lésions du Ligament Croisé Antéro-Externe (L. C. A. E.) représentent une des pathologies les plus fréquentes chez le sportif avec 30 000 lésions par an en France dont 15000 sont opérées [25]. Le ligament croisé antéro-externe a un rôle majeur dans la stabilité antéro-postérieure du genou : il est responsable de 85% de la force freinant la translation tibiale antérieure. Sa rupture est due à quatre mécanismes rencontrés le plus fréquemment dans les sports de pivot (football, handball) : la rotation interne du tibia sous le fémur, l'hyperextension, l'hyperflexion du genou et le choc latéral. Le ligament ainsi rompu est remplacé chirurgicalement par un greffon tendineux provenant du fascia lata, de la patte d'oie (DIDT : droit interne, demi-tendineux) ou du tendon rotulien. Les complications les plus fréquentes sont les douleurs de l'appareil extenseur, conséquences de syndromes fémoro-patellaires ou de tendinites rotuliennes. L'étude de MARDER [24] montre la moindre fréquence de ces douleurs lorsque l'appareil extenseur est préservé (11% contre 14%). D'après les travaux réalisés par BYNUM [1], le prélèvement du tendon rotulien n'est pas le seul élément en cause : selon lui le travail en Chaîne Cinétique Ouverte (C. C. O.) du quadriceps lors de la rééducation augmente significativement la survenue de ces complications. Les études biomécaniques confirment-elles cette affirmation ? La rééducation réalisée exclusivement en chaîne fermée donne-t-elle de bons résultats ?

Nous définirons dans un premier temps la Chaîne Cinétique Fermée (C. C. F.), puis nous ferons le rappel des contraintes articulaires et ligamentaires exercées en chaîne ouverte et chaîne fermée. Ensuite, nous décrirons plusieurs études comparant les deux chaînes musculaires et leurs apports à la rééducation des ligamentoplasties de genou pour enfin proposer une série d'exercices adaptés aux différentes phases du protocole de rééducation.

## 2. TRAVAIL EN CHAÎNE CINÉTIQUE FERMÉE

Selon STEINDLER [17], chaque membre est assimilé à une chaîne formée de segments rigides reliés entre eux par l'intermédiaire d'articulations. La chaîne cinétique fermée représente une « unité biomécanique articulaire, musculaire, tendineuse, ligamentaire et sensorielle dont le segment distal est fixé ». Le travail en chaîne fermée est donc un travail global du membre inférieur associant une extension de hanche à une extension de genou et une flexion plantaire de cheville.

La co-contraction du muscle quadriceps et des ischios-jambiers obtenue dans le travail en C. C. F. évite le mouvement de translation tibiale antérieure, assure donc la protection du transplant.

Nous parlerons aussi de la chaîne parallèle dans ce travail. Lors de mouvement en chaîne parallèle, les segments osseux se mobilisent alternativement en sens inverse les uns des autres. Les muscles sont donc recrutés alternativement de part et d'autre de l'axe articulaire, avec un bras de levier court et relativement constant. La chaîne parallèle permet donc de recruter les muscles agonistes et antagonistes avec une force égale pour chaque maillon.

Elle permet comme la chaîne fermée d'associer l'extension de hanche à l'extension de genou et à la flexion plantaire de cheville, également de protéger le transplant par la co-contraction quadriceps et ischios-jambiers mais l'extrémité distale du segment jambier est libre.

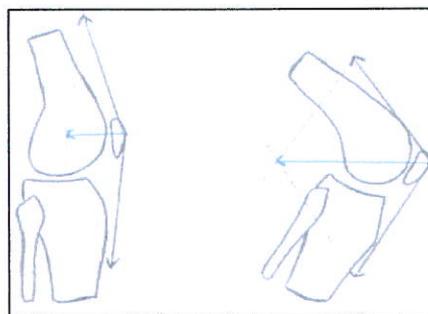
### 3. RAPPELS BIOMÉCANIQUES

#### 3. 1. Contraintes fémoro-patellaires

Les contraintes fémoro-patellaires sont fonction de deux éléments : le rapport avec la ligne gravitaire et la surface de contact mise en jeu.

##### 3. 1. 1. rapport à la ligne gravitaire

En C. C. F. et le genou en rectitude, la ligne gravitaire est proche du centre articulaire du genou, les contraintes sont donc absentes, d'autant plus que le travail du quadriceps est nul, les structures passives postérieures permettant seules le maintien de cette position (fig. 1.). Les contraintes augmentent avec le degré de flexion car le centre articulaire est ainsi éloigné de la ligne gravitaire, atteignant 9000 newton (N) à 90° de flexion selon les travaux de STEINKAMP [18].



*Figure 1 : contraintes fémoro-patellaires en charge. DUFOUR [6].*

En C. C. O., le genou maintenu en position de rectitude, le travail musculaire est considérable (fig. 2.). Les contraintes fémoro-patellaires sont de l'ordre de 3500 N selon

STEINKAMP[18], et réparties sur une plus petite surface de contact, ce qui peut entraîner des douleurs lors du maintien de cette position. Les contraintes fémoro-patellaires diminuent avec la flexion du genou.

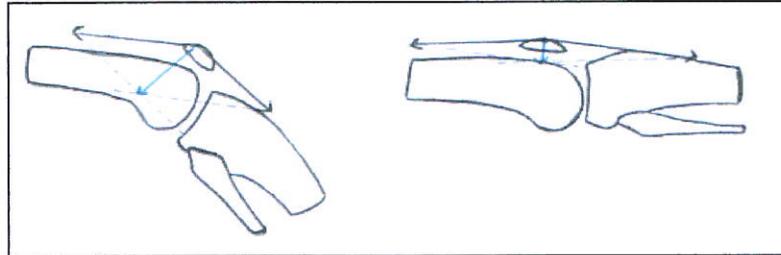


Figure 2 : contraintes en position assise. DUFOUR [6].

### 3. 1. 2. Surface de contact

Les contraintes fémoro-patellaires sont également fonction de la surface de contact entre la patella et la trochlée fémorale : plus la surface est importante, plus les contraintes sont réparties, donc amorties. D'après l'étude de TOWNSEND [20], la surface de contact fémoro-patellaire dépend du degré de flexion du genou. La surface de contact entre les deux éléments osseux augmente avec la flexion jusqu'à son maximum à 100°, pour ensuite diminuer.

Tableau I : surface fémoro-patellaire en fonction de la flexion de genou

Degré de flexion de genou	Surface de contact (cm <sup>2</sup> )
0	2.53
50	8.49
75	9.43
90	12.03

Ainsi, au-delà de  $53^\circ$  de flexion de genou, les contraintes fémoro-patellaires sont plus importantes en chaîne fermée qu'en chaîne ouverte. En revanche, de  $0^\circ$  à  $53^\circ$ , les contraintes articulaires sont moindres en chaîne fermée (HUNGERFORD et BARRY [8])

### 3. 2. Contraintes fémoro-tibiales

Les contraintes fémoro-tibiales dépendent elles aussi de la position du sujet. Le travail en C. C. F. étant un travail en charge, les contraintes au niveau de l'articulation fémoro-tibiale sont importantes, correspondant au moins au poids sus-jacent. De même que pour l'articulation fémoro-patellaire, les contraintes augmentent de façon importante avec la flexion de genou, atteignant d'après les travaux de LUTZ [12] 3500N entre  $30^\circ$  et  $60^\circ$ .

En position assise, la jambe relâchée, les contraintes sont nulles. Lors du mouvement d'extension, le quadriceps développe un effort au moins égal au poids du segment jambier, qui peut devenir nocif au-delà de  $60^\circ$ . Cet effort est maximal en position de rectitude. Lorsque le genou est en hyperextension, le bras de levier du tendon patellaire est réduit, le travail du quadriceps doit donc être maximal pour maintenir la position, ce qui entraîne des contraintes fémoro-tibiales considérables (DELAMARCHE [3]).

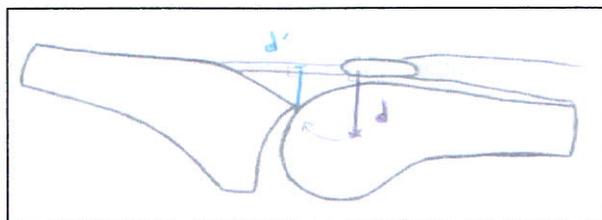


Figure 3 : contraintes fémoro-tibiales en C. C. O. le genou en hyperextension. DUFOUR [6]

En conclusion, entre  $0^\circ$  et  $60^\circ$ , le travail en chaîne ouverte induit des contraintes fémoro-tibiales plus importantes que le travail en chaîne fermée. Celui-ci est contraignant pour l'articulation fémoro-tibiale, et cela d'autant plus que l'on se situe au-delà de  $60^\circ$  de flexion.

### 3. 3. Tensions ligamentaires

Le greffon tendineux a la même orientation que le Ligament Croisé Antéro-Externe, il est également soumis aux mêmes contraintes. Il est donc mis en tension par les mouvements de translation tibiale antérieure provoqués par la contraction du muscle quadriceps. Dans la vie courante, le L. C. A. E. est soumis à des tensions allant de 160 à 450 N. WASHER [21], dans ses travaux réalisés sur des éléments cadavériques, a prouvé que les postures d'hyperextension et de fin de flexion mettaient le L. C. A. E., et donc le transplant, en tension proportionnellement à l'intensité de la posture. L'étude de ZAVATSKY [23] montre que toute charge, si elle est placée à plus de 10 cm de l'interligne articulaire du genou, provoque lors du mouvement d'extension de genou des forces de translation sur le L. C. A. E., allant jusqu'à cinq fois le poids de la charge si celle-ci est placée à 40 cm. Les travaux de MARKOLF [13] ont montré que sous l'effet de la mise en charge, entre  $0^\circ$  et  $120^\circ$ , les structures osseuses permettent la diminution des forces de translations, et donc une mise en tension moindre des structures ligamentaires en C. C. F..

La résistance du greffon est fonction de la ligamentisation, c'est à dire sa consolidation, avec notamment une phase de fragilité 3 mois après l'intervention dont il faudra tenir compte

dans notre prise en charge. Elle dépend en outre de l'origine du transplant : pour le tendon rotulien la résistance obtenue après consolidation représente 160% de la résistance du L. C. A. E., elle est de 120% pour le DIDT et 66% pour le fascia lata.

*Tableau II : récapitulatif des contraintes. MIDDLETON ET COLL. [14]*

	C. C. O.	C. C. F.
Contraintes fémoro-patellaires de 0° à 53° de flexion de genou	+++	+
au-delà 53° de flexion de genou	+	+++
Contraintes fémoro-tibiales de 0° à 60° de flexion de genou	+++	+++
au-delà de 60° de flexion de genou	+	+++
Translation tibiale antérieure	+++	+
Tension ligamentaire	+++	+

## **4. ETUDES COMPARATIVES**

### **4. 1. Translation tibiale antérieure**

BYNUM [1] a réalisé une étude sur deux groupes de patients ayant subi une greffe au tendon rotulien sous arthroscopie. Un groupe bénéficie d'une rééducation en C. C. O. et l'autre groupe en C. C. F.. Le groupe ayant travaillé en C. C. F. présente en fin de prise en charge une meilleure stabilité antéro-postérieure du genou, avec un Lachman \* différentiel de 1,6 mm contre 3,3 mm pour le groupe de la chaîne ouverte (\* comparativement au côté sain, avec le test KT 1000, arthromètre permettant de mesurer la translation tibiale antérieure).

Le groupe chaîne fermée présente aussi une moindre fréquence de douleurs fémoro-patellaires : 18% contre 24%, permettant ainsi une reprise des activités quotidiennes et des loisirs plus précoce.

DREZ [5] a étudié la translation tibiale antérieure engendrée par un exercice en C. C. O. et C. C. F.. Pour l'étude de la chaîne ouverte, un poids de 4,5 kg est placé au niveau de pied du patient qui effectue une extension de genou entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$ . L'exercice en chaîne fermée est de type Leg-press. La translation antérieure du tibia est mesurée par un électrogoniomètre de type KSS sur des genoux sains mais aussi sur des genoux dont le L. C. A. E. est lésé. Il obtient les résultats suivants :

*Tableau III : translation tibiale antérieure en fonction des exercices*

	Translation tibiale antérieure (en mm)	
	C. C. O .	C. C. F.
Genou sain	9.3	5.3
Genou lésé	13	5.4

Nous pouvons ainsi noter que les exercices en chaîne ouverte avec un poids situé à l'extrémité du segment jambier entraînent une importante translation antérieure du tibia, avec pour conséquence une forte tension sur le transplant. Ces résultats sont confirmés par YACK [22] qui en C. C. O. entre  $10^\circ$  et  $60^\circ$  trouve une translation tibiale antérieure de 14 mm avec une charge de 10kg, et cela sur des genoux avec le L. C. A. E. lésé.

#### 4. 2. Allongement et forces de cisaillement

L'étude d'HENNING [7] a permis de comparer sur deux sujets l'allongement du L. C. A. E. lors d'un travail en chaîne ouverte et fermée à celui obtenu lors d'un test de Lachman à 40kg par traction instrumentale externe. Le travail en C. C. O. consiste en une extension de genou entre 0° et 45° avec un poids de 10kg au pied. Le rapport de l'allongement obtenu sur celui du test de Lachman correspond à 50% à 45° de flexion, 125% à 22° de flexion et 107% en extension complète de genou. Pour la chaîne fermée, le rapport est de 7% pour le vélo, 21% pour l'accroupissement en unipodal. Henning montre ainsi que quelque soit l'amplitude à laquelle le sujet travaille, l'allongement obtenu en C. C. F. est toujours inférieur à celui obtenu en C. C. O..

LUTZ [12] a étudié les forces de cisaillement appliquées au L. C. A. E. lors d'un travail statique en chaîne ouverte et en chaîne fermée à 30°, 60° et 90° de flexion de genou. La différence est significative entre les deux modes de travail musculaire. En effet, LUTZ ne retrouve pas de contraintes sur le ligament croisé antéro-externe en chaîne fermée, mais en chaîne ouverte elles apparaissent dès 60° et augmentent vers l'extension :

*Tableau IV : contraintes exercées sur le L. C. A. E. (en Newton)*

	degré de flexion de genou		
	30°	60°	90°
C. C. O.	<b>285 ~ 120</b>	<b>160 ~ 53</b>	~ 0
C. C. F.	~ 0	~ 0	~ 0

L'étude d' O'CONNOR [16] confirme la bonne tolérance du L. C. A. E. pour le travail en chaîne fermée en ne trouvant des tensions que dans les vingt derniers degrés d'extension de genou.

#### **4. 3. Proprioception**

SUSAN [19] a étudié la proprioception de deux groupes de patients : l'un ayant bénéficié d'une rééducation en chaîne ouverte, l'autre en chaîne fermée. Il en ressort que les exercices en chaîne ouverte ne stimulent pas les récepteurs proprioceptifs du genou, contrairement au travail en chaîne fermée qui met en jeu l'appui, la coordination entre la cheville, le genou et la hanche, la recherche du mouvement fonctionnel. Le groupe en chaîne fermée montre donc une meilleure proprioception que le groupe en chaîne ouverte.

#### **4. 4. Efficacité du renforcement musculaire en C. C. F.**

Les travaux d'IDO [9] ont comparé le renforcement musculaire sur deux types d'appareils isocinétiques :

- le Cybex 6000 qui permet un travail en C. C. O. du quadriceps
- L'Aristokin, qui permet un travail en C. C. F. de triple extension du membre inférieur.

La population étudiée est composée de 26 étudiants, évalués selon les modalités suivantes : « après un échauffement spécifique, chaque sujet a réalisé un test en C. C. F. sur Aristokin composé de dix mouvements de poussée du membre inférieur dominant à la vitesse

de 50 cm/s puis dix mouvements à la vitesse 25 cm/s, ensuite les mêmes séries ont été réalisées par le membre inférieur opposé. Même jour, après une période de repos, un test en C. C. O. sur Cybex a été réalisé, cinq mouvements du genou dominant à 120°/s puis cinq mouvements à 60°/s, ensuite les mêmes séries ont été réalisées par le genou opposé. »

Le test étudie la puissance moyenne, le travail total et la force maximale à deux vitesses : lente et rapide. Les résultats obtenus montrent que le travail isocinétique en chaîne fermée est aussi efficace que celui en chaîne ouverte pour la puissance moyenne et le travail total en vitesse rapide, et pour le travail total en vitesse lente. En revanche, quelle que soit la vitesse, le travail sur Aristokin ne permet pas de recruter une force maximale comparable à celle obtenue sur Cybex. (résultats annexe I)

MIDDLETON, PUIG et TROUVE [15] ont évalué les résultats d'une rééducation avec un renforcement réalisé en chaîne fermée exclusivement, selon leur grille d'évaluation PPLP-CERS (annexe II). Le score maximal est de 100 points. Le résultat est très mauvais si la note est inférieure à 65, mauvais pour une note entre 65 et 74, moyenne de 75 à 85 et bonne à très bonne pour une note supérieure à 85.

Le protocole de rééducation est le suivant : «

- traitement des phénomènes inflammatoires et douloureux, lutte contre les troubles trophiques ;
- récupération précoce de l'extension, sauf avis du chirurgien, sans postures forcées (...)
- pas de travail en chaîne ouverte du quadriceps pour des raisons mécaniques clairement établies (...)
- sevrage des cannes anglaises en fonction de la récupération musculaire. »

Le score moyen obtenu sur 219 patients rééduqués selon ce protocole est de 89,69 points avec un écart-type de +/- 6,14 points. Il en ressort 82,2% bons résultats ; 15,1% de résultats moyens et 2,7% de mauvais résultats à quelques jours de leur sortie du C. E. R. S. et de bons résultats à moyen et long terme.

*Tableau V : résultat de l'évaluation du genou en fonction du délai*

Délai	Effectif	Score moyen	Ecart - type
3 à 6 mois	46	90.37	5.99
6 à12 mois	28	89.14	5.76
6 à12 mois	36	91.91	4.09

## **5. APPLICATIONS PRATIQUES**

### **5.1. Exercices en phase précoce (jusqu'à J+6 semaines)**

A cette phase, la rééducation est dictée par l'état trophique du genou. Les objectifs de notre prise en charge sont l'amélioration de cette trophicité, la récupération progressive et douce des amplitudes articulaires (jusqu'à 90° de flexion de genou et l'extension complète), le travail de la marche avec aide technique et le réveil musculaire jusqu'à l'obtention en fin de phase du verrouillage actif du genou par des exercices de co-contractions et des exercices en chaîne fermée, sans résistance.

- Écrase – coussin

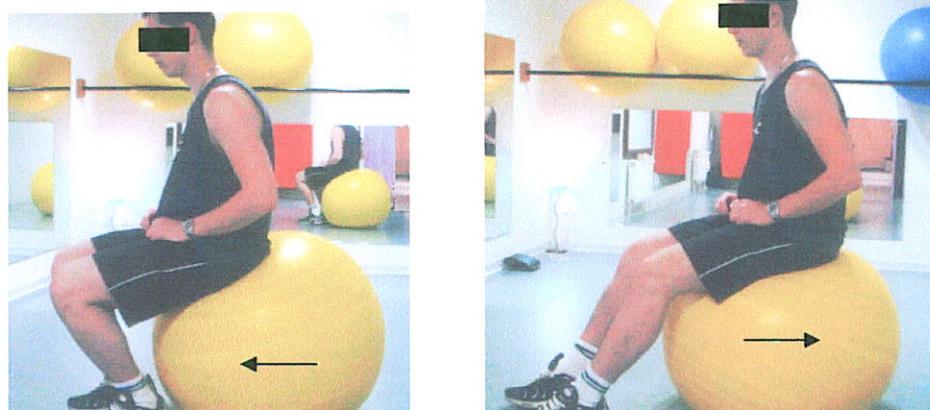
Il s'agit d'un travail en chaîne parallèle qui peut être réalisé le lendemain de l'opération et qui consiste en un mouvement d'extension de genou associé à une extension de hanche. Nous plaçons un coussin ou notre main sous le genou du patient et lui demandons de l'écraser et nous contrôlons la co-contraction du quadriceps et des ischio-jambiers.

- Exercice sur ballon de Kleinvoegelbach

**Position de départ :** le patient est assis sur un ballon de Kleinvoegelbach, les hanches fléchies à 90°, en position intermédiaire au niveau du genou et les pieds en appui au sol.

**Déroulement de l'exercice :** tout en gardant le tronc fixe et les pieds en appui, le patient emmène le ballon vers l'arrière, réalisant ainsi une extension de genou. Une fois arrivé à l'amplitude maximale d'extension et après un temps de maintien de quelques secondes, le patient ramène le ballon vers l'avant par une flexion de genou jusqu'à son amplitude maximale de flexion.

Le Masseur kinésithérapeute peut également faire réaliser un travail statique contre résistance en bloquant le ballon à différentes amplitudes de flexion de genou.



*Figure 4 : exercice sur ballon de kleinvoegelbach*

## 5. 2. Exercices en phase de rééducation active (J+6 semaines à M4)

Cette phase doit permettre la reprise progressive des activités de la vie quotidienne et du travail (s'il est peu contraignant). Les objectifs sont centrés sur la marche sans aide technique, la poursuite de la récupération des amplitudes articulaires (flexion de genou de 120°), le renforcement musculaire contre résistance et toujours en C. C. F. (sauf pour les ischio-jambiers qui peuvent être renforcés en C. C. O. sans atteinte du ligament croisé postéro-interne) et le début du travail proprioceptif.

- Skateboard

**Position de départ :** le patient est assis avec le pied de la jambe opérée sur un skateboard.

**Déroulement de l'exercice :** nous demandons au patient de garder la planche fixe alors que nous essayons de l'emmener vers l'arrière (travail statique du quadriceps) ou vers l'avant (travail des ischio-jambiers). A partir de cet exercice, nous pouvons effectuer un travail de stabilisations rythmées à différentes amplitudes.

- Huber

Le huber est un appareil de rééducation disposant d'un plateau qui effectue des mouvements dans les trois plans de l'espace. Il permet un travail en charge à visée de renforcement, d'étirement musculaire et de proprioception. Les exercices possibles sont nombreux : nous pouvons commencer par un travail en appui bipodal, puis en fente avec le tronc penché vers l'avant pour protéger le transplant (la jambe placée en avant doit donc supporter le plus de poids et celle située en arrière se trouve étirée) et proposer en progression des séances en appui unipodal.

pied (à 3,5 mois). Parce-qu'il nécessite des amplitudes articulaires suffisantes et entraîne un balayage articulaire important, le travail sur vélo ne peut être proposé avant J+6 semaines.

- Accroupissements

**Position de départ :** le patient est debout face à l'espalier ou à une table pour assurer son équilibre ou bien contre un mur avec un ballon dans le dos.

**Déroulement de l'exercice :** le patient réalise une série d'accroupissements. Le mouvement de descente constitue un travail global des membres inférieurs sur le mode excentrique freinateur et en remontant, le patient réalise un travail en C. C. F. des membres inférieurs.

Cet exercice peut être remplacé par un travail en appui bipodal sur huber.

- Rameur

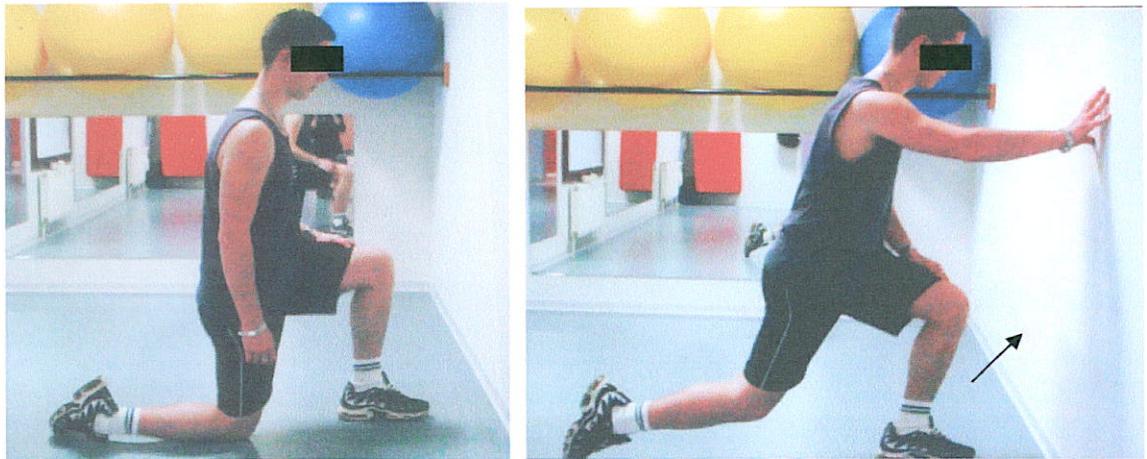
Le travail sur rameur permet de réaliser un travail de poussée du membre inférieur le pied fixe, qui met en jeu les quadriceps, les grands fessiers, les ischios-jambiers et les triceps suraux contre résistance. Il permet également de travailler les membres supérieurs et les muscles du tronc dès la 8<sup>e</sup> semaine après l'opération.

- Chevalier servant à l'espalier

**Position de départ :** le patient est en position de chevalier servant face à l'espalier (pour assurer son équilibre), la jambe opérée est fléchie devant.

**Déroulement de l'exercice :** le patient passe de la position de chevalier servant à la position debout face à l'espalier sans l'aide des membres supérieurs (sauf pour l'équilibre). Il réalise ainsi une extension de hanche, de genou et une flexion plantaire de cheville sur la jambe opérée. Il revient ensuite à la position de chevalier servant en freinant le mouvement, réalisant

ainsi un travail excentrique du membre inférieur côté opéré. Cet exercice correspond à un travail en fente sur huber.



*Figure 6 : exercice du chevalier servant*

- Step

**Position de départ :** le patient est debout face à une planche de step ou un escabeau, ou placé si nécessaire entre les barres parallèles.

**Déroulement de l'exercice :** le patient monte la marche avec la jambe opérée en premier, puis descend la marche avec la jambe saine en premier de sorte que la jambe opérée supporte toujours le poids du corps.

En progression, le masseur kinésithérapeute peut augmenter la hauteur de la marche ou la vitesse de réalisation du mouvement pour insister sur la force explosive.

- La chaise

**Position de départ :** le sujet est debout, le dos contre un mur. Nous plaçons un tabouret à hauteur variable sous le patient pour régler l'amplitude.

**Déroulement de l'exercice :** il s'agit d'un exercice statique durant lequel le patient doit

maintenir une position assise à une amplitude de genou donnée qui sera comprise entre 0 et 60° de flexion pour induire des contraintes modérées au niveau des articulations fémoro-tibiales et fémoro-patellaires comme nous l'avons vu précédemment.

Cet exercice étant statique, il reste très contraignant pour les articulations et il convient de ne pas en abuser et de veiller à la bonne tolérance du patient à cet exercice.

- Cloche-pied

**Position de départ :** le patient est en appui unipodal sur le membre inférieur opéré.

**Déroulement de l'exercice :** le patient saute à cloche pied, d'un pied à l'autre. Pour augmenter la difficulté, nous pouvons le faire sauter sur des surfaces de consistances différentes, ce qui introduit une notion de proprioception dans l'exercice.

Cet exercice peut être remplacé par des foulées bondissantes ou un travail en unipodal sur huber.



*Figure 6 : cloche-pied sur une surface instable [10]*

### 5. 3. Exercices en phase de rééducation intensive (M4 à M6)

A cette phase nous n'avons plus de contre-indications. Nous pouvons donc récupérer les derniers degrés de flexion, les rotations, poursuivre le travail proprioceptif et le renforcement musculaire.

- Pliométrie

La contraction concentrique du muscle fait suite à une contraction excentrique frénatrice. Nous pouvons reprendre l'exercice des accroupissements :

**Position de départ** : le patient est debout face à l'espalier ou à une table.

**Déroulement de l'exercice** : le patient réalise une série d'accroupissements suivis d'un saut.

La pliométrie permet de développer une force importante, jusqu'à 200% de la force recrutée lors d'un travail concentrique, sollicite l'élasticité et améliore la détente musculaire.

- Presse :

Le travail sur presse permet de recruter les grands fessiers, les quadriceps, les ischio-jambiers et les triceps suraux avec une résistance importante, en progression selon la R. M..

La position du dossier est importante : l'inclinaison du tronc met en tension les ischio-jambiers ce qui majore leur efficacité quant à la protection du transplant et augmente la participation du grand fessier dans la chaîne d'extension, et diminue en contrepartie l'action du droit fémoral qui se retrouve détendu (CHATRENET [2]). Les exercices sur presse permettent un travail concentrique, isométrique et excentrique selon un protocole défini par le rééducateur.

De plus, la position des pieds permet de cibler différents groupes musculaires :



Figure 7 : travail musculaire en fonction de la position des pieds. DELAVIER [4]

- **Demi-squat**

Il s'agit d'un travail statique, comme celui de la chaise, mais grâce au poids supporté par les membres supérieurs le patient réalise un travail contre résistance. Comme pour l'exercice de la chaise, nous effectuerons cet exercice avec une flexion de genou comprise entre 0 et 60° pour limiter les contraintes fémoro-patellaires.

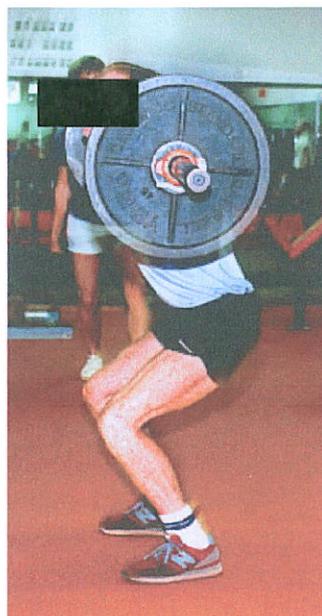


Figure 8 : travail en demi – squat [25]

- Isocinétisme

Le travail isocinétique présente de nombreux avantages en terme de renforcement musculaire :

- un travail à vitesse constante, plus la vitesse est basse et plus la résistance est importante (en concentrique),
- une résistance auto-adaptée au patient,
- un travail musculaire maximal dans toute l'amplitude permettant de recruter le plus grand nombre d'unités motrices,
- un phénomène de débordement d'énergie (renforcement dans les 10° au-delà de la limite articulaire fixée),
- un aspect qualitatif du travail musculaire objectivé par des courbes et des données chiffrées.

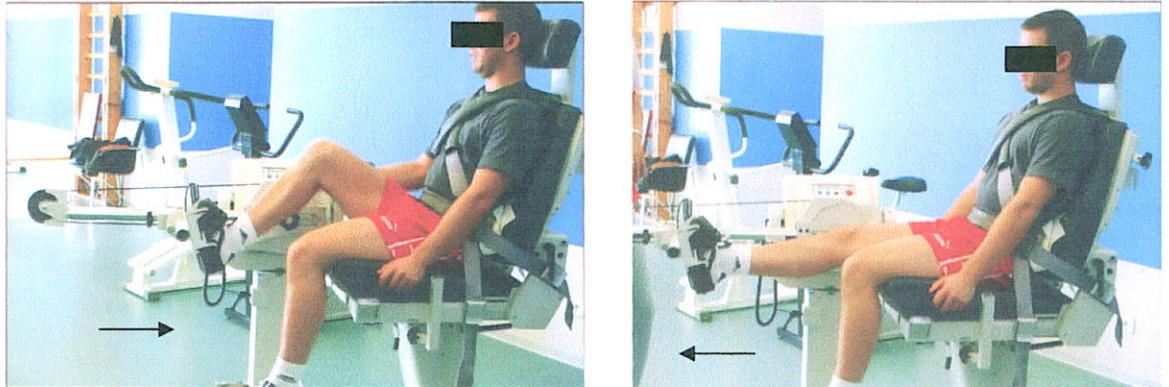
Il existe différents protocoles d'isocinétisme que nous ne développons pas dans ce travail, mais nous proposons deux montages à réaliser dès le troisième mois après l'opération si le patient ne présente pas les contre-indications suivantes : douleur, épanchement, cardiopathie, non-consolidation, amplitudes articulaires insuffisantes et consignes médicales et chirurgicales.

- montage assis

Le patient est assis le pied sanglé à 15° de flexion plantaire. Le dynamomètre est placé à 90° pour obtenir un mouvement de triple poussée et triple retrait du membre inférieur (travail en chaîne parallèle).

Nous délimitons la course articulaire (quantifiée dans ce montage en cm) en fixant les

amplitudes maximales de triple flexion et triple extension, en veillant à ne pas avoir un récurvatum de genou dans l'amplitude maximale d'extension, et nous débutons ensuite la séance.



*Figure 11 : position de flexion et d'extension du montage assis*

○ montage en charge

Le patient est debout, la sangle de l'appareil d'isocinétisme est fixée au-dessus du genou et reliée au dynamomètre. Le mouvement demandé consiste en une flexion puis une extension de genou en charge, en évitant de décoller le talon et sans compensation par des mouvements de bassin ou de tronc. La course articulaire est mesurée en degrés.

Nous fixons les amplitudes maximales de flexion et extension de genou en veillant comme dans le montage précédent à ce que le genou ne parte pas en récurvatum.

Dans ce montage, les compensations sont difficiles à éviter du fait du débordement énergétique mais il faut éduquer le patient qui maîtrise mieux le mouvement avec la pratique.



*Figure 12 : montage en charge*

## **6. DISCUSSION**

Nous avons vu à travers ce mémoire les avantages de la chaîne fermée dans la rééducation des ligamentoplasties de genou. Il existe cependant des contre-indications au travail en C. C. F. : en cas de lésions chondrales au niveau de l'articulation fémoro-tibiale, de lésions et suture du ménisque interne mais également, comme le souligne CHATRENET [2], si le patient présente une pente tibiale exagérée, le travail en charge (et à fortiori en appui unipodal) favorise le glissement antérieur du tibia sous le fémur, donc la mise en tension du greffon. Il préconise donc un travail en charge tronc incliné vers l'avant pour augmenter le rappel élastique des ischio-jambiers.

Il faut préciser que dans certains secteurs angulaires la chaîne fermée est plus contraignante : de 0 à 20° de flexion de genou pour le L. C. A. E. et au-delà de 60° de flexion de genou pour l'articulation fémoro-patellaire.

De plus, dans les études biomécaniques citées précédemment, les exercices en chaîne ouverte sont réalisés avec une résistance distale. Or, le fait de placer la charge en proximal sur le segment jambier permet d'obtenir une translation tibiale antérieure négligeable, et cela d'autant plus si le patient est assis car la flexion de hanche, nous l'avons vu, augmente le rappel élastique des ischio-jambiers.

Enfin, grâce à l'étude d'IDO [9] nous savons qu'il n'existe pas de corrélation entre la C. C. O. et la C. C. F. concernant la force maximale. Ainsi, en cas de déficit de force important et isolé du quadriceps, la chaîne ouverte appliquée dans les secteurs articulaires adéquats est plus appropriée car elle seule permet un travail musculaire analytique maximal.

## **7. CONCLUSION**

Les rappels biomécaniques des contraintes qui s'exercent sur le greffon tendineux et l'ensemble de l'appareil extenseur ont mis en évidence l'intérêt du travail en chaîne cinétique fermée dans la rééducation des ligamentoplasties de genou. En effet, la compression articulaire qui s'exerce en charge et la co-contraction du quadriceps et des ischio-jambiers assure la protection du transplant et nous trouvons, selon le secteur angulaire, des contraintes articulaires moins importantes pour les articulations fémoro-patellaires et fémoro-tibiales.

Nous avons ensuite montré grâce à différentes études qu'en plus de limiter la mise en tension du greffon (par translation tibiale antérieure, force d'allongement et de cisaillement), la rééducation en C. C. F. donne de bons résultats et, par son approche fonctionnelle,

contribue à une meilleure intégration proprioceptive et à une reprise plus précoce des activités de la vie quotidienne.

Les exercices que nous proposons dans ce travail tendent à prouver que la rééducation en chaîne fermée est facile à mettre en œuvre, diversifiée et que l'utilisation du poids du corps du sujet comme résistance permet de lui faire développer une force importante avec peu de matériel, donc à moindre coût.

Mais la chaîne cinétique ouverte a sa place dans la rééducation des ligamentoplasties, en complémentarité de la chaîne fermée. Elle est plus indiquée dans le cas de lésions chondrales et méniscales au niveau de l'articulation fémoro-tibiale et permet une sollicitation musculaire directe et plus importante.

Ainsi, l'association de la C. C. O. et de la C. C. F., selon les indications, permet une rééducation plus complète. Est-ce que cela signifie plus efficace ? Il serait donc intéressant de pouvoir comparer l'efficacité d'une rééducation en C. C. F. uniquement avec une rééducation associant les deux modalités de travail musculaire.

## BIBLIOGRAPHIE :

1. BYNUM E.B., BARRACK R.L., ALEXANDER A.H. - Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study. *Am. J. Sports Med.*, 1995, 23 : 401-406.
2. CHATRENET Y. – La place de la chaîne cinétique fermée dans la rééducation des ligamentoplasties LCA : attention au maillon faible. *KINÉSITHÉRAPIE, les annales*, janvier 2003, p. 16-19.
3. DELAMARCHE P., DUFOUR M., MULTON F. - Anatomie, physiologie biomécanique en STAPS. Paris : Masson, 2002.
4. DELAVIER F. – Guide des mouvements de musculation. Approche anatomique. Paris : Vigot (3è édition), 2001.
5. DREZ D. – In vivo testing of closed versus open kinetic chain exercises in patients with documented tears of the ACL. *Orthop. Trans.*, 1992, 16, 43.
6. DUFOUR M., PILLUM. – Biomécanique fonctionnelle. Paris : Masson (6è édition) mars 2005 – 563p.
7. HENNING. – An in vitro strain gage study of elongation of the ACL. *Am. J. Sports Med.*, 1985, 13, p 22-26.
8. HUNGERFORD D.S., BARRY M. – Biomechanics of parellofemoral joint. *Clin. Orthop.*, 1979, 144, p 9-15.
9. IDO G., FICHEUX G., HEULEUN J.N. - Etude comparative sur Cybex 6000 chaîne cinétique ouverte et Aristokin (chaîne cinétique fermée) sur 26 sujets sains : approche dans la rééducation des genoux ligamentaires. - PR. S. DE SEZE - Rééducation 1999,- Paris : ESF, 1999. – p. 98-106. - entretiens de Bichat

10. KERKOUR K.- Reconstruction du ligament croisé antérieur : répercussions du choix du greffon sur la sensibilité proprioceptive du genou. *KINESITHERAPIE, les annales*, janvier 2003, p. 19-24.
11. LE BLAY G. – Travail en chaîne cinétique ouverte et chaîne cinétique fermée. *Progrès en médecine physique et de réadaptation. L. SIMON, 2è série. Paris : Masson, 1998, p. 501-504.*
12. LUTZ G.E., PALMITIER R.A., AN. K.N., et al. - Comparison of tibio-femoral joint forces during open kinetic chain and closed-kinetic-chain exercises. *J. Bone Joint Surg. (Am)*, 1993, 75-A : p. 732-739.
13. MARKOLF K.L. et coll. - The role of joint load in knee stability. *J. Bone Joint Surg;* April 1981, 63-A, p. 570-575.
14. MIDDLETON P., PUIG P., TROUVE P. - Le travail en chaîne cinétique fermée dans la rééducation des ligamentoplasties intra-articulaires du genou : intérêts, indications. *Progrès en médecine physique et de réadaptation. L. SIMON, 2è série. Paris : Masson, 1994. – p. 43 – 46.*
15. MIDDLETON P., PUIG P., TROUVE P. - Résultat d'un protocole de rééducation du genou ligamentaire : à propos de 219 transplants libres au tendon rotulien isolé. *Progrès en médecine physique et de réadaptation. L. SIMON, 2è série. Paris : Masson, 1998. – p. 508 – 510.*
16. O'CONNOR J.J. - Can muscle co-contraction protect knee ligaments after injury or repair ? *J. Bone Joint Surg. (Br)*, 1993, 75-B : p. 41-48.
17. STEINDLER A. – *Kinesiology of the human body under normal and pathological conditions.* Springfield, Illinois, Charles C. Thomas, 1955.
18. STEINKAMP L.A., DILLINGHAM M.F., MARKEL M.D., et al. - *Biomechanical*

- considerations in patellofemoral joint rehabilitation. *Am. J. Sports Med.*, 1993, 21 : p. 438-444.
19. SUSAN B. et coll. – Comparison of open versus closed kinetic chain test positions for measuring joint. Position sense. *J. Sport Rehabil.*, 1995, 4, p. 165-171.
20. TOWNSEND PR., ROSE R.M., RADIN E.L., RAUX P. – The biomechanics of the human patella and its implication for chondromalacia. *J. Biomech.* 1977, 10, p. 403-407.
21. WASCHER D.C, MARKLOF K.L, SHAPIRO M.S, et al. - Direct in vitro measurement of forces in the cruciate ligaments. *J. Bone Joint Surg.(Am)*, 1993, 75-A : p. 377 - 386.
22. YACK H.J., COLLINS C.E., WHIELDON T.J. - Comparison of closed and open kinetic chain exercise in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am. J. Sports Med.*, 1993, 21 : p. 49-54.
23. ZAVATSKY A.B., BEARD D.J, O'CONNOR J.J. - Cruciate ligament loading during isometric muscle contractions. A theoretical basis for rehabilitation. *Am. J. Sports Med.*, 1994, 22 : p. 418-423.

**Pour en savoir plus :**

24. [www.anmsr.asso.fr](http://www.anmsr.asso.fr)
25. [www.genou.com](http://www.genou.com)
26. [www.smatsh.org](http://www.smatsh.org)
27. [www.strengthtech.com](http://www.strengthtech.com)
28. [artdevinci.free.fr](http://artdevinci.free.fr) (illustration de la page de garde)

# ANNEXES

## ANNEXE I

Tableau 1 : Pour les extenseurs à vitesse rapide.  
120°/s sur Cybex et 50cm/s sur Aristokin.

Quadriceps/poussée du membre inférieur	Moyennes	Ecart-types	Corrélation entre chaîne ouverte/ chaîne fermée
Puissance moyenne	69 %	12,38	<b>0,79</b>
Travail total	58 %	10,41	<b>0,80</b>
Force maximale	15 %	2,74	0,72

Tableau 2 : Pour les extenseurs à vitesse lente  
60°/s sur Cybex et 25 cm/s sur Aristokin.

Quadriceps/poussée du membre inférieur	Moyennes	Ecart-types	Corrélation entre chaîne ouverte/ chaîne fermée
Puissance moyenne	85 %	4,03	0,74
Travail total	70 %	5,30	<b>0,79</b>
Force maximale	20 %	3,76	0,57

L'indice de corrélation mesure le degré de liaison entre deux variables. Il correspond au quotient de la covariance sur le produit des écarts-types. Le résultat est positif lorsque la valeur est comprise entre 0,8 et 1 (en gras).

## ANNEXE II

### EVALUATION DU GENOU LIGAMENTAIRE OPERE P.P.L.P. - CERS

NOM DU PATIENT : \_\_\_\_\_ AGE : \_\_\_\_\_  
 CHIRURGIEN : \_\_\_\_\_ DELAI : - 3 mois A  
 entre 3 et 6 B  
 entre 6 et 12 C  
 + 12 mois D  
 INTERVENTION : \_\_\_\_\_  
 DATE POST-OPERATOIRE D'ARRIVEE AU CERS : \_\_\_\_\_  
 DATE POST-OPERATOIRE DU TEST : \_\_\_\_\_

<b>12</b>	Impression du patient 12 - 8 - 4 - 0	Bonne	Assez bonne	Moyenne	Mauvaise		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<b>18</b>	Symptômes 6 - 4 - 2 - 0	Douleur	0	Mécanique	Nocturne	Permanente	
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		Diff. PR	< ou = 1 cm	1 à 2 cm	2 à 3 cm	> à 3	
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		Appréhension	0	Un peu	Moyen	Beaucoup	
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>22</b>	Stabilité 4 - 2 - 1 - 0	Lachman 6 - 4 - 2 - 0	0	Dur +/-	Dur	Mou	
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		TAD	0 à 2 mm	3 à 5 mm	6 à 10 mm	> 10 mm	
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		TPD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		TRE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		TRI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>15</b>	Mobilité						
	Extension 10 - 7 - 4 - 0		< 3°	3 à 5°	6 à 10°	> 10°	
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Flexion 5 - 4 - 3 - 2 - 0		> ou = 130°	110° - 130°	90 - 110	60 - 90	< ou = 60°
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>12</b>	Site donneur 12 - 8 - 4 - 0		Pas de Dir	Dir Palpation	Dir Activité	Dir Spontanée	
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>12</b>	Amyotrophie 6 - 4 - 2 - 0		< ou = 2 cm	2 à 3,5 cm	3,5 cm à 5 cm	> à 5 cm	
		à 10 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		à 15 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>9</b>	Marche 9 - 6 - 3 - 0		Sans canne	1 CA	2 CA	Impossible	
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

	SCORE :	TRAITEMENT MEDICAL :			
<b>36</b>	Course 18 - 12 - 6 - 0	> 45°	30° à 45°	15° à 30°	< 15°
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Vélo 18 - 12 - 6 - 0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### EVALUATION ISOCINETIQUE

<b>64</b>	Concentrique 10 - 6 - 3 - 0				
	Excentrique 12 - 8 - 4 - 0				
	Déficit quadriceps	< 15%	15% à 25%	25% à 40%	> 40%
	240° Conc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	90° Conc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	90° Exc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Déficit ischio-jambiers	< 10%	10% à 15%	15% à 20%	> 20%
	240° Conc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	90° Conc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	90° Exc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>