



HAL
open science

Évaluation à moyen terme des clous d'allongement mécaniques ISKD®: étude rétrospective sur 28 cas

Paul Lecoanet

► **To cite this version:**

Paul Lecoanet. Évaluation à moyen terme des clous d'allongement mécaniques ISKD®: étude rétrospective sur 28 cas. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02493469

HAL Id: dumas-02493469

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02493469>

Submitted on 27 Feb 2020

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

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

À ma Mère,

Il n'y a pas de mots pour te rendre hommage
Tu m'as transmis toutes tes valeurs et fais de moi ce que je suis
Je ferai tout pour les transmettre à mon tour
J'espère que tu aurais été fière de moi une dernière fois
Je ne t'oublierai jamais.

Thèse pour l'obtention du
DIPLOME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement le 25 octobre 2019

Par Paul LECOANET

Né le 10 avril 1990 à Nancy (54)

Évaluation à moyen terme des clous d'allongement
mécaniques ISKD[®] : Étude rétrospective sur 28 cas

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Clément RIBES

Membres du jury :

Monsieur le Professeur Thierry FABRE	Président
Monsieur le Professeur Yan LEFEVRE	Juge
Monsieur le Professeur Jean-Charles LE-HUEC	Juge
Monsieur le Docteur Thomas THELEN	Juge
Monsieur le Docteur Clément RIBES	Juge

Rapporteur de thèse :

Monsieur le Professeur Yan LEFEVRE

REMERCIEMENTS

Au président du jury,

Monsieur le Professeur Thierry FABRE
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier
Chef de l'unité de Chirurgie Orthopédique Périphérique
CHU de Bordeaux

Vous me faites l'honneur de présider cette thèse. Vos connaissances chirurgicales sans limites sont un véritable exemple. Votre dévouement pour vos patients, votre disponibilité et vos qualités humaines le sont encore plus. Je vous remercie de m'avoir accueilli dans votre service. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon profond respect.

A mon directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Clément RIBES
Chirurgien Orthopédique
Maison de Santé Protestante Bordeaux - Bagatelle

Tu me fais l'honneur de diriger ce travail. Ta détermination, tes qualités chirurgicales, ton sens de l'humour et ta bonne humeur permanente sont un exemple pour moi. Merci pour tout ce que tu m'as appris durant ces deux semestres à tes côtés.

A mon rapporteur de thèse,

Monsieur le Professeur Yan Lefevre
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier
Orthopédie Pédiatrique
CHU de Bordeaux

Merci d'avoir accepté de rapporter ce travail. Vos enseignements en chirurgie pédiatrique sont précieux. Votre accompagnement des internes, votre bienveillance envers les enfants et votre culture chirurgicale sont des modèles pour moi.

A mes juges,

Monsieur le Professeur Jean-Charles LE-HUEC
Professeur des Universités – Chirurgien Orthopédique
Polyclinique Bordeaux Nord Aquitaine

Vous m'avez accueilli dans votre service au début de mon internat et vous me faites l'honneur de juger ce travail. Je suis heureux d'avoir bénéficié de votre enseignement et votre expertise tant chirurgicale que théorique sur le rachis. Veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect.

Monsieur le Docteur Thomas THELEN
Chirurgien Orthopédique
Clinique du Mail, La Rochelle

Merci d'avoir accepté de juger ce travail. J'espère un jour suivre tes pas, tant dans ta rigueur professionnelle que ta réussite familiale. Je te remercie pour ces deux semestres à tes cotés.

A mes maîtres d'internat,

Monsieur le Docteur Éric Lasseur, c'est un honneur de continuer avec vous à Libourne alors que vous m'aviez accueilli lorsque je ne savais rien.

Monsieur le Docteur Stéphane Costes, vous êtes un exemple de rigueur arthroplastique.

Monsieur le Docteur Bertrand Dunet, pour ta sympathie et ta rigueur

Monsieur le Docteur Prakash Dindoyal, 35 years of orthopaedic surgery, merci Tonton

Monsieur le Docteur Stéphane Aunoble

Monsieur le Professeur Vincent Casoli

Monsieur le Professeur Philippe Pelissier

Monsieur le Professeur Vincent Pinsolle

Monsieur le Docteur Hussein Choughri

Monsieur le Docteur Jean-christophe Lepivert, lord of the ring finger

Monsieur le Docteur Romain Weigert

Monsieur le Docteur Franck-Marie Leclere

Monsieur le Docteur Bruno Zipoli, hasta luego la 4C

Monsieur le Docteur Damien Ribeyre , merci de former les chouchouilles

Madame le Docteur Anne Cernier

Monsieur le Docteur Alfonso Riojas

Monsieur le Docteur Benoit Gheysens

Monsieur le Professeur Eric Dobremez

Monsieur le Docteur Abdelfeta Lalioui

Monsieur le Docteur Frederic Lavrand

Monsieur le Docteur Luke Harper

Madame le Docteur Maya Loot

Madame le Docteur Clémence Pfirrmann, la rigueur germanique pour enfant, merci de nous supporter pendant 6 mois

Monsieur le Docteur Vincent Souillac, merci pour tes enseignements pratiques inégalables

Monsieur le Docteur Rafael De Bartolo, le chef de chantier : au lieu de muler, prends un müller. J'espère suivre tes traces d'excellent chirurgien.

Madame le Docteur Marie-Laure Abi-Chahla, merci pour ta gentillesse et ton enseignement précieux sur la main

Madame le Docteur Alexandra Erbland

Monsieur le Docteur Olivier Laffenêtre

Monsieur le Docteur Julien Lucas

A mes chefs de clinique,

Monsieur le Docteur Julien Rigal : les mocassins à glands

Monsieur le Docteur Arnaud Cogniet : big mac, comme d'habitude

Madame le Docteur Tiphaine Menez

Madame le Docteur Audrey Michot

Madame le Docteur Wendy Thompson, merci pour ta gentillesse et ta bonne humeur

Monsieur le Docteur Remi Mariey

Monsieur le Docteur Louis Boissière

Monsieur le Docteur Vincent Challier

Messieurs les Docteurs Ribes, Thelen, et Paul Cremer, le trépied gagnant, vous êtes des modèles dans tous les domaines (PS : Ribes, on m'a dit qu'il y avait deux chirurgiens du genou sur Bordeaux)

Monsieur le Docteur Nicolas Verdier

Monsieur le Docteur Mathias Blangis, ça c'est impeccable

Madame le Docteur Marion Dias

Monsieur le Docteur Johan Lebecque, le deuxième chef de chantier, et le chef parfait

Monsieur le Docteur Lucas Azzolin, le biker de l'extrême, j'admire ta profonde gentillesse et ton attitude irréprochable

Monsieur le Docteur Adrien Cadennes, l'amateur de Lutti, l'imitateur hors pair, tu es un chef en or. Vous allez nous manquer sur votre petite île.

Monsieur le Docteur Xavier Thevenot, pour le pinch-test et tant d'autres

Monsieur le Docteur Édouard Harly

A mes co-internes,

Pmax, le meilleur d'entre nous, je serai heureux d'être chef avec toi, Garcia et Legallus, les gros poseurs, hâte de monter une belle équipe avec vous, Campi le trader fou, Mazas, Dani le capitaine, Mohsi le Nabab tu vas nous manquer, Savidoune, Meynard, Lavignac, Prieur, Geoff, Pépite, Coudert, JET, Souf, Cécile, Matthio, Gabi, Commeil, la vie c'est des épreuves, Seguineau ne change rien, Pinpin l'homme le plus classe du monde, Tourtoulou et tous les plus jeunes

Aux secrétaires d'orthopédie et aux équipes infirmières,

Notamment celles du 8^{ième} aile 2, merci pour votre aide précieuse au quotidien et votre humanité sans faille, heureusement que vous êtes là pour tenir l'hôpital.

A mes amis,

Bourdi, à nos années de lycée qui resteront gravées à vie. Pourquoi t'es - tu parti dans cet Ostie de pays ? Léon a hâte de revoir son parrain !

Jordi, tu es un ami en or. A tous ces moments inoubliables passés ensemble, médecine, la colloc, la suède. Je sais que je pourrai toujours compter sur toi. Je vous souhaite le meilleur avec Marie !

Fiboo, à toutes nos années folles, tu es un ami précieux., toujours à l'écoute. Ca ne s'arrête pas là.

Jaquet, tu es un ami magique, il faut qu'on retourne chez Badette et Co. Et qu'on s'associe.

Josset, Bonnav, Pertos, Raph, Diddy, Charlie, Laroche, vous êtes parfaits. Vous m'avez adopté dans votre groupe et je ne vous en remercierai jamais assez. C'est important de prendre du plaisir.

Alice, Sarah, Marine, Cécile, PK, Alix, merci pour tous ces bons moments nancéens, et à la future bande de petits boys.

Victoire, merci d'être là pour Manue, sans relâche, et de me supporter encore à Bordeaux. Vous avez de belles années devant vous avec Antoine.

Mathilde et Simon, merci pour votre joie de vivre indéfectible, vous êtes géniaux.

Mimil et Marco, à ces belles années lycéennes

Nunus, Sib, Antoine, Max, Nico et Lisa, PH, pour toutes ces soirées de P2.

Veur et Touf, le trépied gagnant, à nos road-trips anisés, Flusch et Buzo

Lucie, Pierre Krako, à notre enfance si joyeuse dans le quartier

A ma famille,

Marianne, tu as toujours été présente dans les moments difficiles et tu es une grande sœur modèle. Tu imposes le respect tant dans ta réussite professionnelle que familiale. Je suis si fier de toi.

Pierre et Guillaume, vous avez toujours été des modèles pour moi. J'admire votre culture et votre ouverture d'esprit. Vous avez participé à mon endurcissement parce que deux contre un c'était pas facile quand on était petits.

Patrice, je ne te remercierai jamais assez pour ce que tu as fait pour nous et pour Maman. Merci pour ta bienveillance et ta gentillesse cachées sous cette carapace. Je te serai toujours reconnaissant.

A mon père, pour les erreurs à ne pas commettre

A Clotilde, Anne-Claire, Édouard, Gabrielle, Élise, Agathe, Margaux, Auguste, Baptiste, j'espère que l'on passera encore de belles vacances en famille (nombreuse) !

A tous mes cousins, cousines, oncles et tantes, merci pour tous ces moments inoubliables à Arcachon ou Méribel, j'espère que l'on pourra reproduire la même chose avec tous nos enfants.

A mes beaux-parents, Pierre-Yves et Béatrice, merci de m'avoir accueilli dans votre famille et d'avoir élevé une fille exceptionnelle. A Loic, Nico, Camille, Max et Lila , vivement que l'on vous voit plus souvent (à Belle-Île ?)

A Yves et Gaby, merci pour votre accueil vendéen, et votre affection alimentaire, qui me rappelle tant ma mère.

A ma grand-mère Lucienne, cette thèse t'est aussi dédiée.

A Manue, il n'y a pas de mots pour te décrire tout mon amour. Merci de me supporter au quotidien et de m'avoir soutenu sans relâche durant ces années difficiles. Tu me pousses à être meilleur chaque jour. Je suis si fier d'être à tes cotés. C'est à mon tour de m'occuper de toi. Comme tu dirais, on est compagnons de vie, et on a encore de très beaux jours devant nous...

Et enfin à Léon, ma petite crapule pleine d'énergie, tu rends nos vies tellement joyeuses. Je serai toujours là pour toi.

Ce travail est organisé sous forme d'un rappel général préalable puis d'un article scientifique, soumis à publication.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	5
ABRÉVIATIONS	13
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	14
1 PREMIERE PARTIE : RAPPEL DE CONNAISSANCES.....	16
1.1 Définition d'une inégalité de longueur des membres inférieurs	16
1.2 Étiologies des inégalités de longueur des membres inférieurs.....	18
1.3 Indications de correction d'une inégalité de longueur des membres inférieurs.....	20
1.4 Moyens techniques de correction de longueur des membres inférieurs	22
1.5 Historique et principes biologiques de l'allongement osseux.....	24
1.6 Caractéristiques des clous d'allongement centromédullaires	31
1.7 Technique chirurgicale d'allongement par clou centromédullaire.....	35
1.8 Complications des techniques d'allongement osseux.....	37
2 DEUXIEME PARTIE : NOTRE ÉTUDE	40
2.1 Introduction	40
2.2 Matériel & Méthodes	41
2.2.1 Population étudiée	41
2.2.2 Technique chirurgicale	43
2.2.3 Suivi	44
2.2.4 Méthodes d'évaluation	44
2.2.5 Méthodes statistiques.....	47
2.3 Résultats.....	47
2.3.1 Résultats de l'objectif principal.....	47
2.3.2 Résultats des objectifs secondaires.....	48
2.3.3 Résultats complémentaires	55
2.4 Discussion.....	57
2.5 Conclusion.....	63
2.6 Conflits d'intérêts	63
2.7 Références	64
ANNEXES	69
SERMENT D'HIPPOCRATE	72

ABRÉVIATIONS

ILMI : Inégalité de Longueur des Membres Inférieurs

EIAS : Épines Iliques Antéro-Supérieures

ISKD : Intramedular Skeletal Kinetic Distractor

SOFCOT : Société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique

EVA : Échelle Visuelle Analogique

SF 12 : Short Form (12-items) Health Survey

ET : Écart-Type

AG : Anesthésie Générale

HAS : Haute Autorité de Santé

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Principe de fonctionnement du système EOS® 3D et exemple d'images produites.

Figure 2 : A : Fémur court congénital. B : Ectromélie longitudinale interne. C : Epiphysiodèse post-traumatique après fracture-décollement épiphysaire du fémur distal gauche.

Figure 3 : Clou calcanéen de Codivilla, relié au plâtre cruropédieux.

Figure 4 : Portrait de Codivilla et son système d'allongement sur table.

Figure 5 : Vittorio Putti et l'Ostéon.

Figure 6 : Fixateur externe d'Abott, semi-circulaire avec pins métalliques unicorticaux.

Figure 7 : Allongement fémoral par fixateur de Wagner.

Figure 8 : Coupe radiographique et histologique d'un régénérat osseux par distraction selon Ilizarov.

Figure 9 : Corticotomie respectant le périoste et la vascularisation endomédullaire.

Figure 10 : Exemple de montage pour allongement tibial par méthode d'Ilizarov.

Figure 11 : Pr G.A. Ilizarov et l'« Ilizarov Man ».

Figure 12 : Fixateur externe monolatéral développé par De Bastiani pour la technique de Callotasis.

Figure 13 : Fixateur externe circulaire hexapodal Taylor Spatial Frame®

Figure 14 : Illustration des différents composants du clou Fitbone.

Figure 15 : Illustration du fonctionnement du clou Precice® et son contrôleur externe électromagnétique ERC.

Figure 16 : Illustration et composition du clou ISKD®

Figure 17 : Système de crémaillère du clou mécanique ISKD®

Figure 18 : Illustration des mouvements de rotation de 3 à 9° nécessaires pour permettre l'allongement du clou.

Figure 19 : Système de monitoring externe magnétique.

Figure 20 : Exemple de rupture de clou ISKD®

Figure 21 : Diagramme de flux.

Figure 22 : Étiologies des Inégalités de Longueurs des Membres Inférieurs.

Figure 23 : Schéma d'un clou fémoral ISKD[®] ; Longueur C = partie large du clou dans le fragment osseux distal.

Figure 24 : Paramètres d'allongement.

Figure 25 : Comparaison des inégalités de longueurs pré et post-opératoires.

Figure 26 : Exemple d'allongement fémoral non compliqué. A : EOS 3D pré-opératoire avec ILMI 25mm. B : Distraction complétée à 1 mois par clou ISKD. C : Consolidation acquise à 6 mois. D : EOS 3D au dernier recul (4ans) montrant l'isométrie des deux membres inférieurs.

Figure 27 : Exemple de « blocage de clou » fémoral. A : EOS 3D pré-opératoire avec ILMI 35mm d'origine congénitale. B : Distraction faible à J15 post-opératoire, décision de mobilisation du foyer d'ostéotomie sous AG. C : Distraction insuffisante à 1 mois, nouvelle mobilisation sous AG. D : EOS 3D à 3 mois montrant une consolidation précoce du foyer d'allongement, avec 25mm d'inégalité résiduelle. E : Nouvelle ostéotomie à M6. F : Inégalité restante de 11mm à M7. G : Rupture mécanique du clou à M8 repris par enclouage standard + autogreffe. H : EOS 3D au dernier recul montrant une consolidation avec ILMI résiduelle de 7mm.

Figures 28 et 29 : Comparaison des scores SF12 Mental et Physique pré et post-opératoires.

Tableau 1 : Facteurs de risques associés à l'apparition d'une insuffisance de consolidation ou de complications globales.

Tableau 2 : Comparaison des scores fonctionnels moyens SF12 pré et post-opératoires.

Tableau 3 : Comparaison des résultats entre allongement de Tibias et de Fémurs.

Tableau 4 : Comparaison des différentes séries de clous mécaniques ISKD[®].

1 PREMIERE PARTIE : RAPPEL DE CONNAISSANCES

1.1 Définition d'une inégalité de longueur des membres inférieurs

Une inégalité de longueur des membres inférieurs (ILMI) est définie par une différence de longueur entre les deux membres inférieurs, qu'il s'agisse d'un raccourcissement ou d'un allongement.

Une ILMI est diagnostiquée cliniquement par deux méthodes [1] :

- Mesure de la distance entre épines iliaques antéro-supérieures (EIAS) et malléoles latérales ou médiales, en décubitus dorsal, comparativement des deux côtés, à l'aide d'un mètre ruban.
- Mise en place de talonnettes de taille croissante sous le membre le plus court afin d'égaliser les crêtes iliaques et horizontaliser le bassin.

La validité de ces méthodes cliniques reste controversée et le diagnostic doit être confirmé à l'aide d'examens complémentaires [2] :

- La téléradiographie ou pangonogramme, qui consiste en un cliché des membres inférieurs en entier, debout, allant du bassin aux pieds. Elle permet une mesure comparative des segments osseux mais ne tient pas compte des déformations articulaires (flessum de hanche ou de genou). Il peut également persister des erreurs de mesure liées aux problèmes d'agrandissement et de parallaxe.
- L'imagerie EOS[®] (EOS Imaging, Paris, France). Il s'agit d'un système d'imagerie à rayons X faible dose, effectuant deux acquisitions orthogonales simultanées de l'ensemble du squelette, face et profil, en position debout (Figure 1). Ce système a été développé à partir des travaux sur les détecteurs gazeux de Georges Charpak, Prix Nobel de physique

en 1992. L'acquisition de deux images orthogonales permet une reconstruction 3D des images numérisées (à l'aide du logiciel SterEOS[®]) et permet ainsi de s'affranchir des problèmes d'agrandissement et de parallaxe liés à la radiographie conventionnelle. La mesure des longueurs de membres est ainsi plus précise qu'avec les imageries 2D puisqu'elle ne tient pas compte de la position du patient, ni d'éventuels flessums de hanche ou de genou. Guenoun en 2012 a confirmé la supériorité de l'EOS[®] 3D sur l'EOS[®] 2D avec une excellente reproductibilité des mesures 3D inter et intra-observateur [3].

Gheno a mis en avant la fiabilité du système EOS[®] 3D comparé à l'imagerie scanner dans la mesure des membres inférieurs [4] et Escott a confirmé ces résultats en 2013, prouvant que le système EOS[®] permet une mesure des longueurs plus précise que le scanner ou la télémétrie, tout en étant moins irradiant [5].

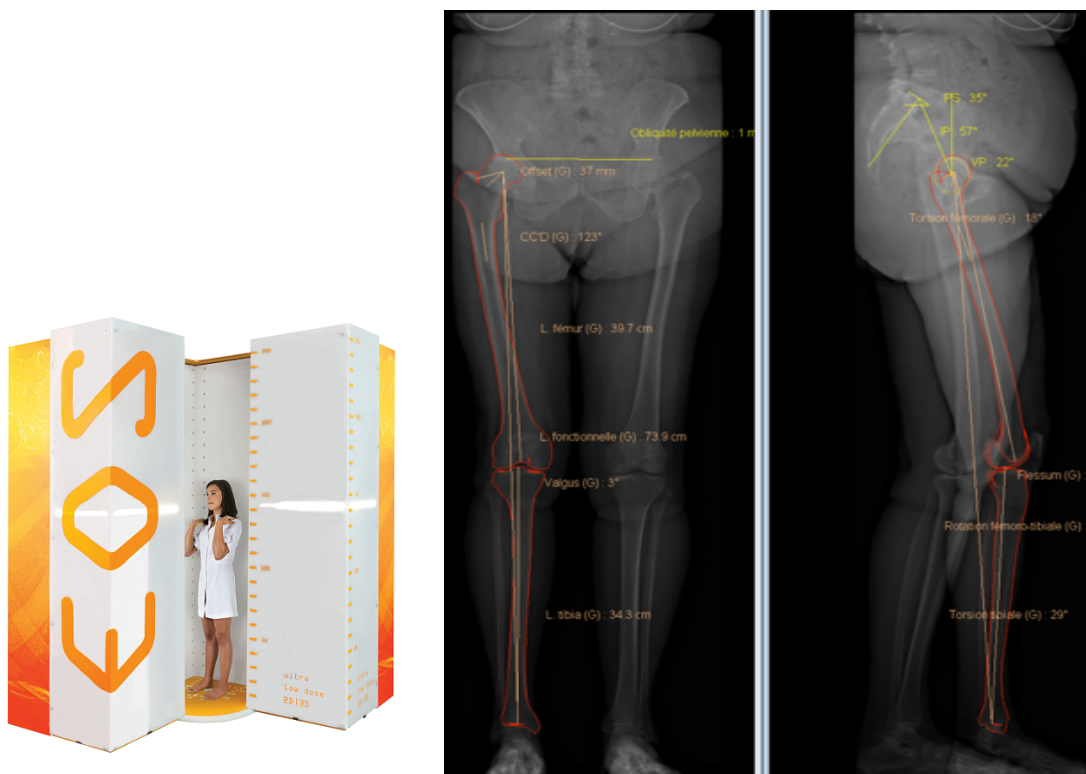


Figure 2 : Principe de fonctionnement du système EOS[®] 3D et exemple d'images produites.

Image tirée du site <https://www.eos-imaging.fr> ; radiographies personnelles, CHU Bordeaux.

1.2 Étiologies des inégalités de longueur des membres inférieurs

On distingue classiquement deux types d'inégalités :

- Les inégalités anatomiques :

Elles sont définies par une inégalité vraie de longueur entre deux segments osseux.

Leurs étiologies sont multiples :

o Inégalités congénitales :

- Fémur court congénital (Figure 2)
- Hypoplasie du rayon externe ou interne (également nommée ectromélie longitudinale externe ou interne) (Figure 2)
- Hémihypertrophie
- Pseudarthrose congénitale de jambe
- Petite taille constitutionnelle
- Luxation congénitale de hanche

o Inégalités acquises

- Post-traumatique : raccourcissement par perte de substance osseuse ou cal vicieux, épiphysiodèse ou allongement vicariant post-traumatique (Figure 2)
- Post-infectieuse : épiphysiodèse post infectieuse
- Tumorale
- Neurologique
- Iatrogène : ILMI secondaire à une arthroplastie totale de hanche, ostéotomie tibiale ou fémorale de varisation / valgisation

- Les inégalités fonctionnelles :

Sans différence vraie de mesure entre segments osseux, elles sont secondaires à :

- o Des rétractions musculaires ou raideurs articulaires (flessum de hanche, de genou, attitude vicieuse de hanche en adduction ou abduction fixée)
- o La présence d'un bassin oblique secondaire à une déformation rachidienne (scoliose lombaire)



Figure 2 : A : Fémur court congénital. B : Ectromélie longitudinale interne. C : Epiphysiodèse post-traumatique après fracture-décollement épiphysaire du fémur distal gauche.

Images A et B tirées de l'article Bronfen C. Inégalités de longueur des membres inférieurs chez l'enfant et l'adolescent. Conférences d'enseignement 2009. Elsevier; 2009 p. 157-91. ; Image C : radiographies personnelles, CHU Bordeaux.

1.3 Indications de correction d'une inégalité de longueur des membres inférieurs

Les ILMI sont fréquentes et touchent jusqu'à 70% de la population générale [2]. La différence de longueur est généralement minime (5mm en moyenne) et n'entraîne aucun retentissement clinique.

Environ 5% de la population est touchée par une inégalité supérieure à 1,5cm et une personne sur mille est porteuse d'une semelle orthopédique de correction pour ILMI [6].

De nombreux auteurs ont étudié le retentissement fonctionnel des inégalités de longueurs. Une inégalité induit des mécanismes compensatoires : extension de hanche, de genou et supination - flexion plantaire du pied sur le membre le plus court, et flessum de hanche et de genou du membre le plus long avec obliquité du bassin et scoliose lombaire secondaire [7-9].

Les ILMI sont ainsi responsables de douleurs lombaires [10], sciatalgies, douleurs de hanche et coxarthrose [11], gonarthrose [12], fractures de fatigue [13] et anomalies du schéma de marche [14].

Cependant, la valeur seuil pour laquelle peuvent apparaître ces conséquences reste controversée. La littérature semble s'accorder sur la limite de 20 mm au-delà de laquelle une inégalité de longueur des membres entraîne un retentissement fonctionnel [2,15,16].

La correction chirurgicale d'une ILMI est ainsi recommandée, chez l'adulte comme chez l'enfant, pour des inégalités anatomiques dont la valeur est supérieure à 20 mm avec retentissement fonctionnel [33].

En dessous de ce seuil, une abstention thérapeutique ou une simple compensation par semelle orthopédique est recommandée.

Les inégalités fonctionnelles ne doivent pas bénéficier de traitement chirurgical mais doivent être corrigées par la prise en charge rééducative d'un flessum éventuel ou d'un bassin oblique sur scoliose lombaire.

Concernant la prise en charge des patients de petite taille constitutionnelle (définie par une taille inférieure à -2 Déviations Standards (-2DS) par rapport aux normes de la population générale : 1,51m pour les femmes et 1,63m pour les hommes), un traitement chirurgical d'allongement osseux bilatéral n'est pas indiqué au-delà de cette valeur. En effet, si la taille est supérieure à -2DS (différence de taille faible par rapport aux normes) une chirurgie de correction est considérée comme cosmétique et n'est pas pratiquée en France pour raisons éthiques [17].

1.4 Moyens techniques de correction de longueur des membres inférieurs

On distingue deux grandes techniques de correction :

- Les corrections extemporanées :
 - o Allongement extemporané du membre le plus court
 - o Raccourcissement extemporané du membre le plus long

Actuellement, ces techniques ne sont plus utilisées du fait d'un taux important d'échec et de complications [18].

- Les corrections progressives :
 - o Épiphysiodèse

Cette technique consiste en un blocage temporaire ou définitif d'une zone de croissance du membre le plus long (fémur distal ou tibia proximal) après détermination du potentiel de croissance résiduelle. Elle est réalisée chez l'enfant en cours de croissance, à l'aide d'agrafes, vis, plaques, ou destruction volontaire de la physe par méchage. Elle ne peut plus être réalisée après la fin de la croissance, et a pour inconvénient de toucher au membre sain en cas d'épiphysiodèse controlatérale. S'agissant d'un geste anticipatoire, elle nécessite une estimation précise de la croissance résiduelle et manque ainsi de fiabilité.

- o Allongement osseux progressif

Les techniques actuelles d'allongement osseux progressif sont basées sur le principe d'ostéogénèse en distraction décrit par Ilizarov dans les années 1950 [19,20], que nous détaillerons dans le paragraphe suivant.

L'allongement osseux progressif se réalise chez les adolescents en fin de croissance ou chez l'adulte et peut être effectué à l'aide de différents outils :

- Fixateur externe monoplan
- Fixateur externe circulaire ou hexaspodal

- Fixateur externe monoplan sur clou centromédullaire standard (appelée « monorail » technique)
- Clou d'allongement centromédullaire

Le choix de l'implant dépend des déformations axiales associées et des préférences du chirurgien.

1.5 Historique et principes biologiques de l'allongement osseux

L'allongement des membres est une pratique ancienne datant du début du vingtième siècle [21].

La première technique d'allongement osseux est attribuée au chirurgien italien Alessandro Codivilla qui décrit dès 1905 le premier allongement de membre inférieur par traction aigue après ostéotomie fémorale, à l'aide d'un système de clou calcanéen (Figures 3 et 4).

Une traction brutale du membre inférieur était appliquée, pouvant aller jusqu'à 8cm en une seule manœuvre. Elle était suivie d'une immobilisation cruropédieuse, avec maintien du membre en extension sur table spécifique. Selon l'auteur, la manœuvre pouvait être répétée autant de fois que nécessaire. Sur 26 cas, il obtint « un accomplissement du but recherché dans tous les cas » mais décrit néanmoins de nombreuses lésions nerveuses, crises convulsives, douleurs extrêmes [22].

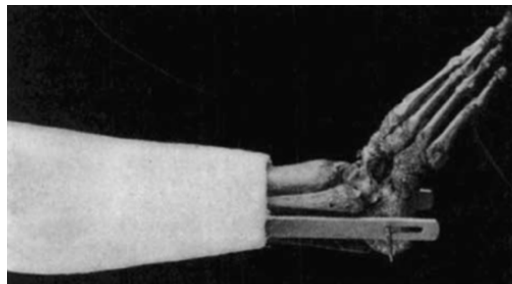


Figure 3 : Clou calcanéen de Codivilla, relié au plâtre cruropédieux.

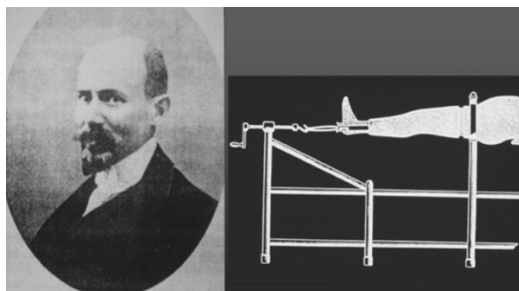
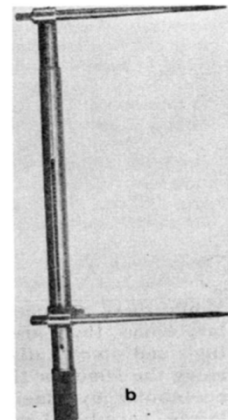
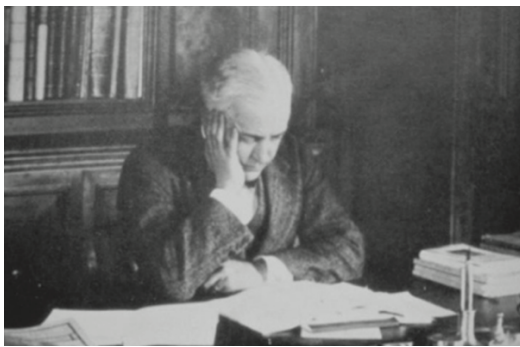


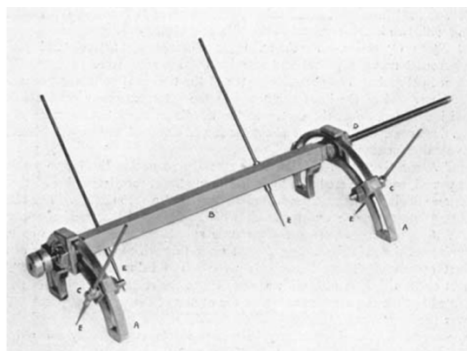
Figure 4 : Portrait de Codivilla et son système d'allongement sur table.

Successeur du docteur Codivilla, Vittorio Putti ([Figure 5](#)) publia en 1920 la première technique d'allongement des membres par traction progressive continue [23]. Il inventa l'ancêtre du fixateur externe, nommé « Ostéon » ([Figure 5](#)), composé de deux fiches fixées dans les portions proximale et distale du fémur, et d'un tube métallique télescopique renfermant un ressort. Il fut le premier à considérer les parties molles comme frein majeur à l'allongement et affirma la nécessité d'un allongement progressif (2-3mm/jour) pour surmonter la résistance élastique des tissus mous.



[Figure 5](#) : Vittorio Putti et l'Ostéon.

Par la suite, les chirurgiens américains Leroy Abott et John Saunders [24] décrivent leur technique d'allongement progressif chez des patients atteints de poliomyélite, à l'aide d'un fixateur externe semi-circulaire en 1939 ([Figure 6](#)).



[Figure 6](#) : Fixateur externe d'Abott, semi-circulaire avec pins métalliques unicorticaux

En 1971, la chirurgie d'allongement osseux prit un nouvel essor avec les travaux du chirurgien allemand Hanz Wagner [25]. Il décrit un nouveau type de fixateur externe monolatéral dont les qualités mécaniques permettaient un allongement important et autorisaient une mise en charge du membre opéré. Le fixateur était composé de tubes quadrangulaires télescopiques distractés par une vis (Figure 7). Une ostéotomie diaphysaire avec incision circonférentielle du périoste était réalisée, associée à un allongement extemporané de 1 à 2cm puis une distraction rapide jusqu'à la longueur désirée. La phase de consolidation était ensuite assurée par plaque avec apport de greffe osseuse.

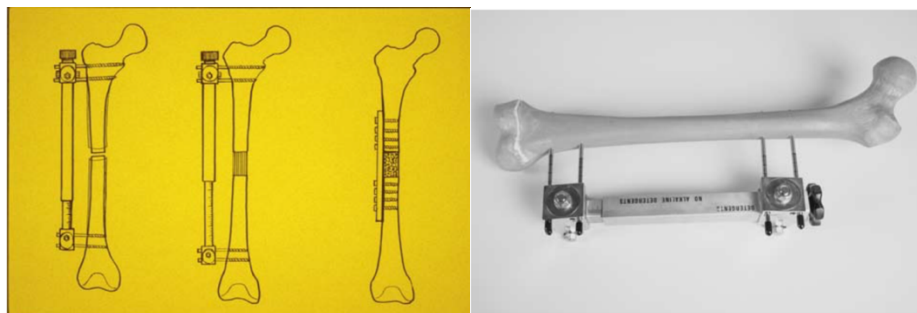


Figure 7 : Allongement fémoral par fixateur de Wagner.

Débutés dans les années 1950 et publiés en 1971, les travaux du professeur Gavriil Abramovich Ilizarov révolutionnèrent la chirurgie d'allongement des membres et la compréhension de ses principes biologiques [19,20].

Ilizarov décrit un nouveau type de fixateur externe circulaire ainsi qu'une nouvelle conception biologique fondamentale de l'allongement osseux : l'ostéogénèse en distraction.

Il réalisa des travaux expérimentaux sur plus de 120 chiens à Kurgan (Sibérie), démontrant qu'un os avait la capacité de se régénérer au niveau d'une zone d'ostéotomie lorsqu'il était soumis à une force de distraction (« tension-stress ») (Figure 8).

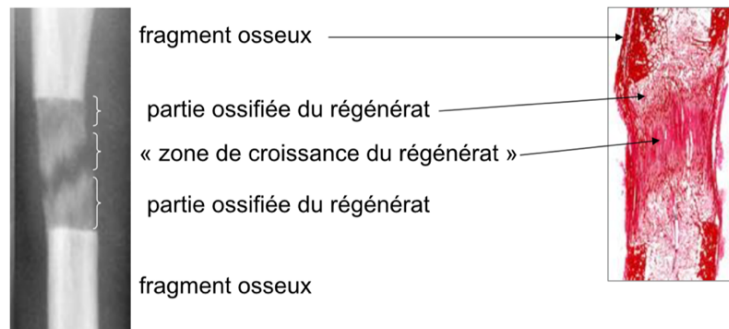


Figure 8 : Coupes radiographique et histologique d'un régénérat osseux par distraction selon Ilizarov.

Il étudia rigoureusement l'influence de la préservation des tissus mous, de la stabilité de la fixation, ainsi que de la fréquence et de la vitesse de distraction.

Il a ainsi déterminé les conditions idéales à la régénération osseuse par distraction, incluant :

- Le respect de la vascularisation endomédullaire et périostée avec réalisation préférentielle d'une corticotomie plutôt qu'une ostéotomie (Figure 9).
- Une ostéosynthèse stable et élastique.
- Un délai de latence de 5 à 7 jours avant distraction.
- Une distraction d'un millimètre par jour réalisée en 4 fois.
- La conservation de la fonction du membre allongé, avec mise en charge précoce et mobilisation articulaire.



Figure 9 : Corticotomie respectant le périoste et la vascularisation endomédullaire.

Pour appuyer ses expérimentations, Ilizarov a développé un fixateur externe circulaire constitué de broches transfixiantes mises sous tension à l'aide d'une pince dynamométrique. Ces broches sont fixées sur des anneaux, reliés entre eux par trois tiges filetées (Figure 10). La stabilité de ce fixateur, associée à une élasticité verticale, permet de stimuler le foyer d'ostéotomie et de favoriser l'ostéogénèse.

Son caractère modulaire permet de s'adapter à tous les segments de membres et toutes les déformations, comme le montre la représentation de l'« Ilizarov Man » (Figure 11).

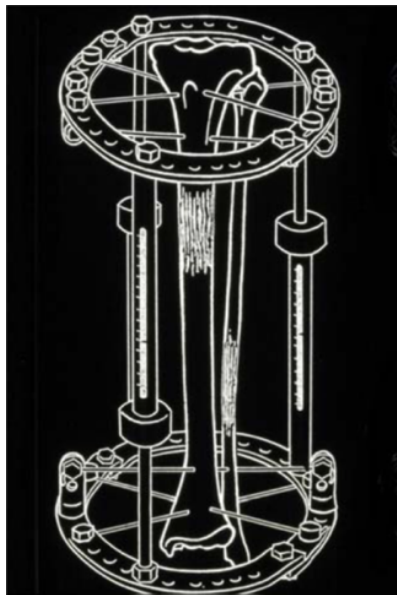


Figure 10 : Exemple de montage pour allongement tibial par méthode d'Ilizarov.

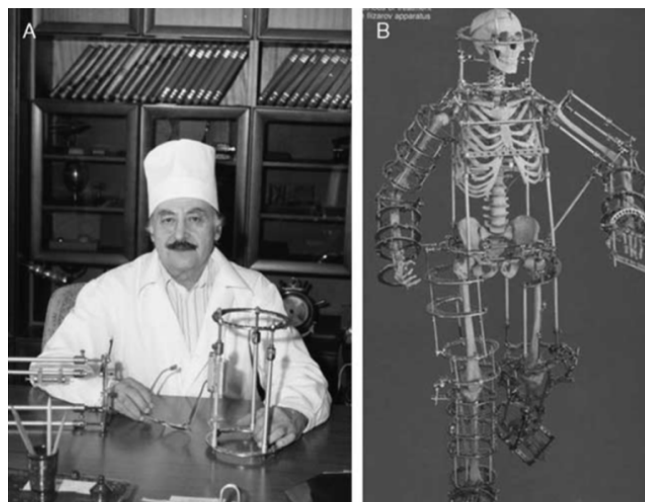


Figure 11 : Pr G.A. Ilizarov et l'« Ilizarov Man ».

Par la suite, De Bastiani [26] originaire de Vérone, reprit les concepts d'Ilizarov et les diffusa largement en Europe en 1987 en introduisant la technique de « Callotasis ». Il appliqua les mêmes principes biologiques mais à l'aide d'un fixateur externe monolatéral modulable, avec mobilité entre les différents composants, permettant de s'adapter aux différentes déformations du membre (Figure 12).



Figure 12 : Fixateur externe monolatéral développé par De Bastiani pour la technique de Callotasis.

Une évolution du fixateur circulaire d'Ilizarov a également été proposée par Taylor en 2008 avec le fixateur hexaspodal [27]. Celui-ci permet la correction de déformations multiplanaires associées à l'allongement. Le premier modèle est nommé Taylor Spatial Frame[®] (Figure 13).



Figure 13 : Fixateur externe circulaire hexapodal Taylor Spatial Frame[®]

Images des figures 3 à 13 tirées de l'article Birch JG. A Brief History of Limb Lengthening; J Pediatr Orthop. sept 2017;37:S1-8.

Afin de réduire la durée du port de fixation externe et accélérer la période de consolidation, plusieurs auteurs ont développé parallèlement des techniques d'allongement par fixateur externe sur tuteurs centromédullaires. Les premiers furent Bost et Larsen, qui présentaient en 1956 une technique d'allongement par fixateur externe sur broche centromédullaire [28]. Puis Paley en 1997, sur clou centromédullaire standard, technique appelée « lengthening over a nail » [29]. A la fin de la phase d'allongement, le fixateur externe était retiré et le clou était verrouillé.

Cependant, les nombreuses complications liées à la fixation externe (infection de fiches, infections profondes, cicatrices musculaires et cutanées, raideurs articulaires, douleurs et retentissement psychologique) ont amené les chirurgiens à développer des techniques d'allongement purement internes [30].

Le premier implant centromédullaire télescopique a été mis au point par Bliskunov en Russie en 1983, suivi du clou mécanique Albizzia[®] (DePuy, Villeurbanne, France) inventé en France en 1992 par Grammont et Guichet puis du clou ISKD[®] (Orthofix Inc., Texas, USA) développé par Cole aux États-Unis en 2001.

L'évolution s'est faite au profit des clous motorisés, de manière électrique, comme le clou Fitbone[®] (Wittenstein Igersheim, Allemagne) ou électromagnétique, comme le clou Precice[®] (Ellipse technologies, Californie, USA) permettant un contrôle plus rigoureux de l'allongement.

1.6 Caractéristiques des clous d'allongement centromédullaires

Les clous d'allongement centromédullaires sont composés de deux tubes télescopiques se distractant, augmentant ainsi la longueur du dispositif. L'évolution technique a permis une miniaturisation et une motorisation de ces systèmes d'allongement tout en améliorant leur résistance mécanique [31].

Ils sont répartis en deux types d'implants :

- Les systèmes mécaniques : clous Bliskunov[®], Albizzia[®] et ISKD[®]

L'allongement est assuré par un mécanisme de cliquet ou de crémaillère. Des mouvements de rotations du membre inférieur, réalisés par le patient ou un kinésithérapeute, sont convertis en un allongement unidirectionnel du dispositif.

- Les systèmes motorisés :
 - o Électriques : clou Fitbone[®]

L'allongement est activé par une commande électronique externe, positionnée sur un récepteur se trouvant sous la peau (Figure 14).



Figure 14 : Illustration des différents composants du clou Fitbone[®]

Image tirée du site <https://www.fitbone-us.com>

- Électromagnétiques : clou Precice®

L'allongement du dispositif est assuré par un aimant. Celui-ci est activé par un contrôleur électromagnétique externe (« External Remote Controller » ERC) placé en surface de la peau, en regard de l'implant (Figure 15). Ce clou présente comme principal avantage la capacité de s'allonger et de se raccourcir.

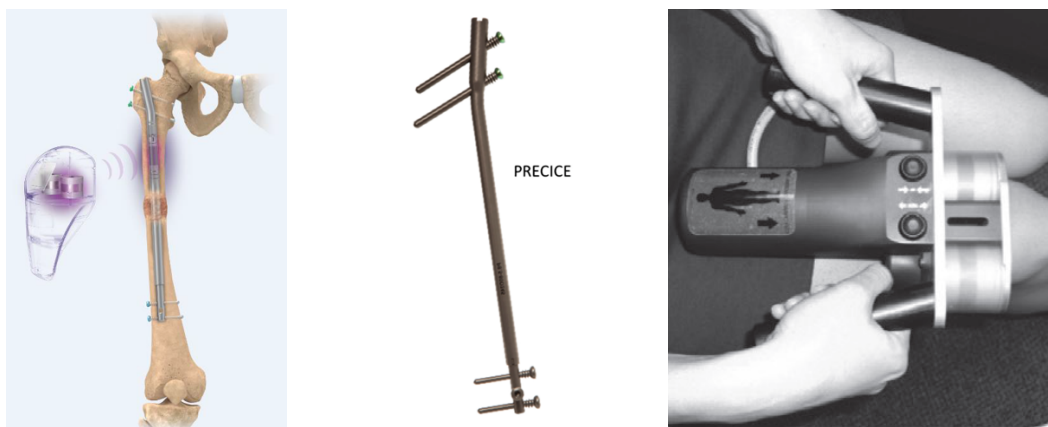


Figure 15 : Illustration du fonctionnement du clou Precice® et son contrôleur externe électromagnétique ERC. Images tirées du site <https://www.nuvasive.com>

Les clous centromédullaires sont indiqués pour des allongements sur segment osseux en fin de croissance, ou dont la croissance est terminée, et suffisamment larges pour permettre un alésage jusqu'à 14,5mm. Une mobilité normale des articulations sus et sous-jacentes est également nécessaire pour assurer l'allongement des clous mécaniques.

Ils peuvent être utilisés pour corriger un trouble rotatoire associé. En revanche, s'il existe une déformation sévère (supérieure à 30 degrés dans le plan frontal ou sagittal) ou une déformation complexe multiplanare, un fixateur externe est préféré.

Les clous sont ainsi contre-indiqués en cas de déformations complexes, d'oblitération ou diamètre réduit du canal médullaire et d'infection active. Ils sont discutés et de réalisation plus complexe en cas d'ouverture des cartilages de croissance.

Nous détaillerons ici le clou mécanique ISKD[®] [32] utilisé dans notre étude.

Celui-ci est composé d'une partie male et d'une partie femelle télescopiques, reliées entre elles par une tige filetée (Figure 16).

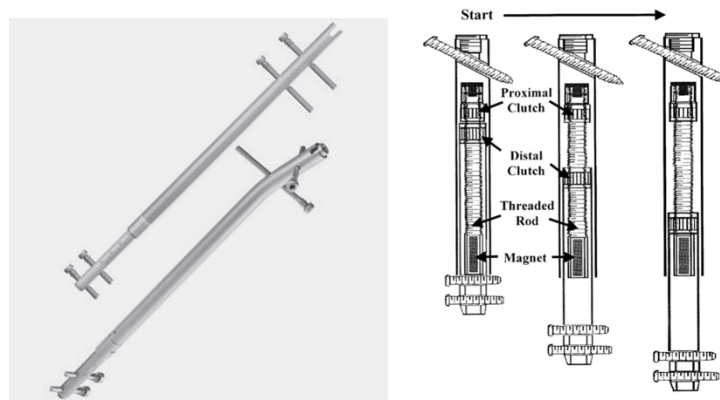


Figure 16 : Illustration et composition du clou ISKD[®]

Le dispositif s'allonge de manière unidirectionnelle lors des mouvements de rotation d'une pièce sur l'autre. Ces mouvements de rotation sont mécaniquement convertis en un mouvement de distraction, à l'aide de deux crémaillères (Figure 17).

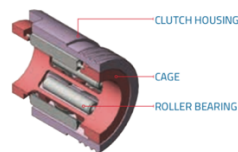


Figure 17 : Système de crémaillère du clou mécanique ISKD[®]

Contrairement aux clous mécaniques préexistants tel le clou Albizzia[®], où des rotations de 20 degrés étaient nécessaires pour permettre un allongement, celui-ci a été développé pour s'allonger avec les mouvements de la vie quotidienne, comme la marche. La distraction du clou s'effectue pour des rotations du membre inférieur de seulement 3 à 9° (Figure 18). Environ 160 rotations de ce type permettent un allongement d'un millimètre.



Figure 18: Illustration des mouvements de rotation de 3 à 9° nécessaires pour permettre l'allongement du clou.

Il peut être introduit au fémur ou au tibia, de manière antérograde, avec des capacités d'allongement de 5 à 8 centimètres. Il en existe deux diamètres différents de 10,7 et 12,5mm et deux longueurs initiales différentes : 255 et 300mm. Le clou fémoral est droit, et le clou tibial présente une partie proximale béquillée. Il se verrouille en proximal et en distal. Il est composé d'un alliage de titane (Ti6Al4 V).

Un système de monitoring externe magnétique a également été conçu afin de contrôler la progression de l'allongement. L'orientation de l'aimant contenu à l'intérieur du clou permet de déterminer le nombre de rotations effectuées et surveiller ainsi l'allongement (Figure 19).



Figure 19 : Système de monitoring externe magnétique.

Images des figures 16 à 19 tirées du site <http://web.orthofix.com>

1.7 Technique chirurgicale d'allongement par clou centromédullaire

Nous décrivons ici la technique chirurgicale d'allongement par clou ISKD[®], utilisée dans notre étude.

En premier lieu, la chirurgie d'allongement nécessite une planification pré-opératoire :

- Cliniquement, par mesure de l'inégalité de longueur et dépistage de laxités ou raideurs articulaires adjacentes au segment osseux allongé. D'éventuelles rétractions tendineuses peuvent ainsi justifier un geste de ténotomie lors de l'allongement. L'adhésion complète du patient doit également être recherchée.
- Radiologiquement, à partir d'un pangonogramme ou d'une imagerie EOS[®]3D. L'inégalité de longueur est précisément définie ainsi que l'objectif de correction et le segment osseux à allonger. Le diamètre du canal médullaire est évalué, ainsi que la présence d'une déformation dans le plan frontal ou sagittal. La supposition clinique d'un trouble rotatoire associé du membre inférieur, doit être confirmée par tomodensitométrie et pourra être corrigée dans le même temps opératoire. Le niveau d'ostéotomie ainsi que le diamètre, la longueur et le point d'entrée du clou sont également prédéfinis.

L'installation et les voies d'abord sont identiques à tout enclouage centromédullaire de fémur ou de tibia. Le patient est installé sur table orthopédique, sous anesthésie générale. Le point d'entrée correspond à la fossette piriforme pour le fémur et la surface pré-spinale pour le tibia.

L'ostéotomie doit être réalisée avant l'alésage afin de diminuer le risque d'embolie graisseuse. Elle est pratiquée au travers d'une courte incision, selon la technique du « timbre-poste » à l'aide d'une mèche de 2mm puis d'un ostéotome. Son niveau est métaphysaire lorsque le segment osseux est bien axé, afin d'assurer la meilleure régénération osseuse. Il est recommandé de placer l'ostéotomie au-dessus du point de jonction entre les sections proximales (partie large du clou) et distales (partie plus étroite) du clou d'allongement, pour

raisons mécaniques. En cas d'allongement tibial, une ostéotomie diaphysaire de la fibula associée doit être réalisée, emportant 2cm de segment osseux, afin de faciliter l'allongement futur.

Un alésage sur tige guide est ensuite effectué jusqu'à 2mm au-dessus du diamètre du clou, à l'aide d'alésoirs souples.

Avant implantation, le clou doit être pré-allongé afin de garantir un allongement de la longueur souhaitée. Par exemple, si un allongement de 30mm est planifié et qu'un clou ISKD[®] de 50mm de réserve est utilisé, celui-ci devra être pré-allongé de 20mm.

L'introduction du clou se fait manuellement, sans mouvement rotatoire pouvant allonger involontairement le dispositif.

Par la suite, le clou est verrouillé en proximal à l'aide de l'ancillaire et en distalité à main levée sous contrôle d'un amplificateur de brillance, par deux clavettes de 4,8mm de diamètre.

Un allongement per-opératoire de 2mm est effectué par mouvements rotatoires pour s'assurer du bon fonctionnement du dispositif. Celui-ci est contrôlé par fluoroscopie per-opératoire. Il est impossible de raccourcir le clou après implantation.

La distraction est débutée au cinquième jour post-opératoire. Le patient est verticalisé avec appui partiel durant la phase de distraction. Les mouvements rotatoires permettant l'allongement (3 à 9 degrés de rotation interne puis externe de jambe ou de cuisse) sont réalisés par le patient lui-même ou une tierce personne. 160 mouvements de ce type sont nécessaires à un allongement quotidien d'un millimètre.

Un suivi radio-clinique hebdomadaire est effectué par le chirurgien. La vitesse d'allongement peut être évaluée quotidiennement par le patient à l'aide du contrôleur magnétique externe. En cas d'insuffisance d'allongement, des mouvements additionnels seront réalisés et dans le cas contraire, le patient sera immobilisé pour éviter des auto-encliquetages involontaires responsables d'allongement trop rapide. L'appui complet est autorisé à la fin de la phase de distraction.

1.8 Complications des techniques d'allongement osseux

Les complications générales de l'allongement osseux progressif, quel que soit le système utilisé, sont très fréquentes. Selon une revue de littérature de Hasler en 2012, elles varient de 46 à 72% pour l'allongement par fixateur externe, 60% pour l'allongement par fixateur sur clou centromédullaire standard, 29% pour le clou Albizzia[®], 31 à 50% pour le clou ISKD[®], 9 à 27% pour les clous Fitbone[®] et Precice[®] [33].

Les complications générales sont les suivantes [34] :

- Retard de consolidation / pseudarthrose
- Fracture secondaire du cal d'allongement
- Douleurs lors de la phase de distraction
- Infections superficielles ou profondes
- Lésions nerveuses ou vasculaires
- Raideurs articulaires (flessum de genou, équin de cheville)
- Luxation ou subluxation des articulations adjacentes
- Thrombose veineuse profonde ou embolie pulmonaire
- Déviation axiale en valgus pour les allongements de fémur le long de l'axe anatomique.

Les complications spécifiques des systèmes d'allongement centromédullaires sont :

- Blocage du clou par consolidation précoce ou dysfonctionnement du système d'allongement
- Insuffisance de consolidation du régénérat osseux par distraction rapide incontrôlée du clou, appelée « Runaway Nail »
- Faillite mécanique, rupture du clou (Figure 20)
- Syndrome de loges

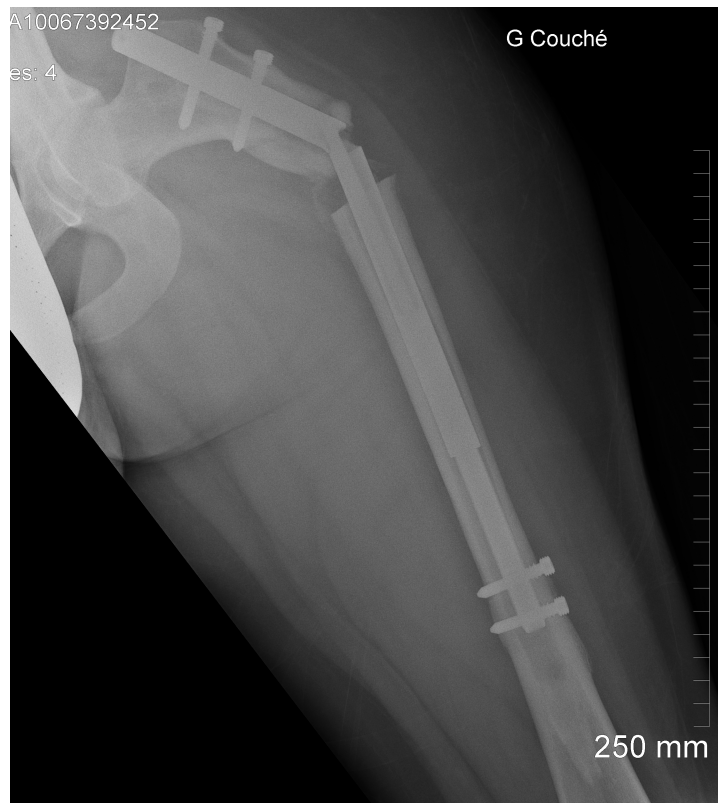


Figure 20 : Exemple de rupture de clou ISKD[®]. Radiographie personnelle, CHU Bordeaux.

Plusieurs classifications regroupent ces complications :

- La classification de Caton, publiée en 1985, et reprise en 1991 dans le symposium de la SOFCOT, décrivant trois catégories [35] :
 - o Catégorie I : Sujets ne présentant aucune complication ou des complications mineures guéries à la fin de l'allongement.
 - o Catégorie II : Complications avec addition d'un acte chirurgical non prévu dans la stratégie initiale, celles-ci ne laissant pas ou peu de séquelles et le programme d'allongement étant respecté.
 - o Catégorie III : Complications majeures laissant des séquelles à la fin de l'allongement et/ou un programme d'allongement non respecté.

- La classification de Paley en 1990 [34] qui distingue :
 - « Problèmes » : Difficultés entièrement résolues à la fin du traitement grâce à des traitements non chirurgicaux.
 - « Obstacles » : Difficultés entièrement résolues à la fin du traitement grâce à des traitements chirurgicaux.
 - « Complications » : Difficultés non résolues en fin de traitement, subdivisées en complications mineures et majeures, selon l'objectif de longueur atteint ou non.

- La classification de Lascombes en 2012 [37] qui introduit la notion de triple contrat à respecter, en termes de gain d'allongement, durée de traitement et survenue de séquelles :
 - Grade I : Triple contrat respecté incluant quelques traitements sans anesthésie générale.
 - Grade II : Triple contrat respecté au prix d'interventions sous anesthésie générale non planifiées. Celles-ci peuvent avoir lieu avant la fin du programme d'allongement (Grade II-a) ou après (Grade II-b).
 - Grade III : Poursuite du traitement nécessaire au-delà du délai prévu pour obtenir la consolidation osseuse.
 - Grade III-a : gain d'allongement supérieur ou égal à 75% de l'objectif initial
 - Grade III-b : gain d'allongement inférieur à 75 %
 - Grade IV : Existence de séquelles lors de l'évaluation finale.

2 DEUXIEME PARTIE : NOTRE ÉTUDE

2.1 Introduction

L'allongement osseux des membres inférieurs est une pratique ancienne datant du début du vingtième siècle, mais demeure un véritable challenge chirurgical, entaché de nombreuses complications pouvant aller jusqu'à 72% des interventions [33]. Le principe fondamental d'allongement osseux est basé sur l'ostéogénèse en distraction, initialement réalisée à l'aide d'un fixateur externe circulaire ou monolatéral. Les progrès techniques ont permis de développer des systèmes d'allongement centromédullaires, purement internes, permettant de diminuer les complications liées à la fixation externe telles que les infections sur fiches ou broches transfixiantes, les fractures de cal d'allongement, raideurs articulaires, cicatrices cutanées et musculaires, douleurs intenses et intolérance du matériel. Plusieurs modèles de clous d'allongement centromédullaires sont actuellement disponibles sur le marché : les systèmes mécaniques de première génération, comme le clou ISKD[®] (Orthofix Inc., Texas, USA) et les systèmes de dernière génération, motorisés, de manière électrique ou électromagnétique. Leur mécanisme de distraction est propre, pouvant engendrer des complications spécifiques à chaque système.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer à moyen terme l'efficacité des clous d'allongement mécaniques ISKD[®] par mesure des différents paramètres d'allongement et de consolidation, à l'aide d'imagerie EOS[®].

Les objectifs secondaires sont d'identifier les complications de ce clou d'allongement mécanique ainsi que leurs facteurs de risques associés, évaluer le confort du patient lors de l'allongement ainsi que le retentissement fonctionnel.

2.2 Matériel & Méthodes

2.2.1 Population étudiée

Nous avons réalisé une étude rétrospective monocentrique au CHU de Bordeaux, analysant les patients opérés d'un allongement de membres inférieurs par clou mécanique ISKD[®] entre 2005 et 2018.

Les critères d'inclusion étaient une ILMI supérieure à 20 mm avec retentissement clinique, corrigée par clou ISKD[®], chez des patients ayant terminé leur croissance.

Trente-deux patients remplissaient ces critères. Quatre patients ont été perdus de vue et exclus de l'étude pour suivi insuffisant.

Ces données ont été répertoriées dans un diagramme de flux (Figure 21).

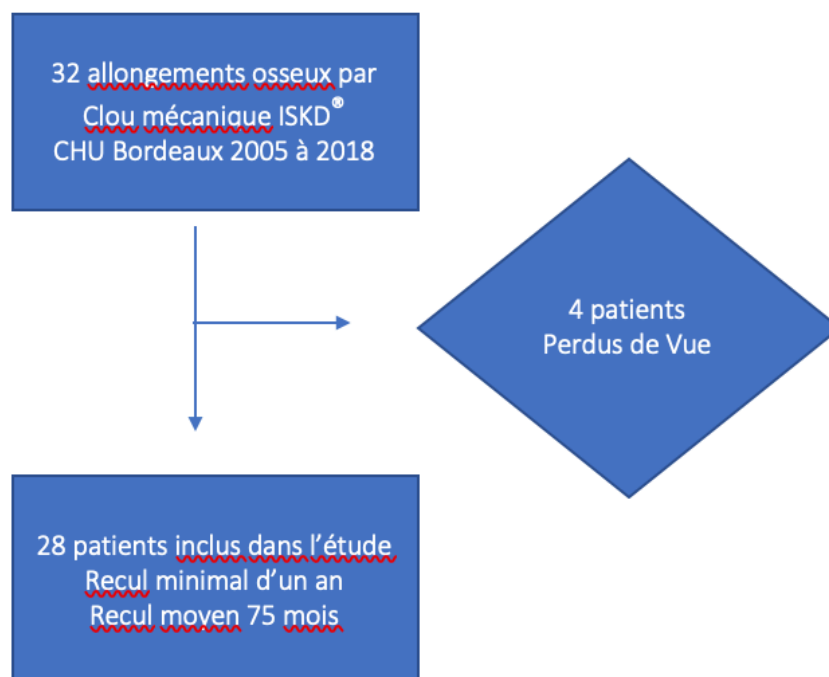


Figure 21 : Diagramme de flux.

Sur les 28 patients inclus, on retrouvait 14 femmes et 14 hommes, l'âge moyen était de 29 ans [16-60 ; Ecart-Type ET=13,3] au moment de la chirurgie. Le segment allongé concernait le fémur dans 24 cas (85%) et le tibia dans 4 cas (15%).

Pour limiter les risques cicatriciels et infectieux chez un patient multi-opéré du tibia, un allongement au niveau fémoral a été choisi malgré l'origine tibiale de l'ILMI et inversement pour un second patient multi-opéré du fémur.

Les étiologies de l'inégalité de longueur étaient post-traumatiques dans 64% des cas (18/28 patients), congénitales dans 28% (8/28), infectieuse dans 4% (1/28) et tumorale dans 4% (1/28) (Figure 22).

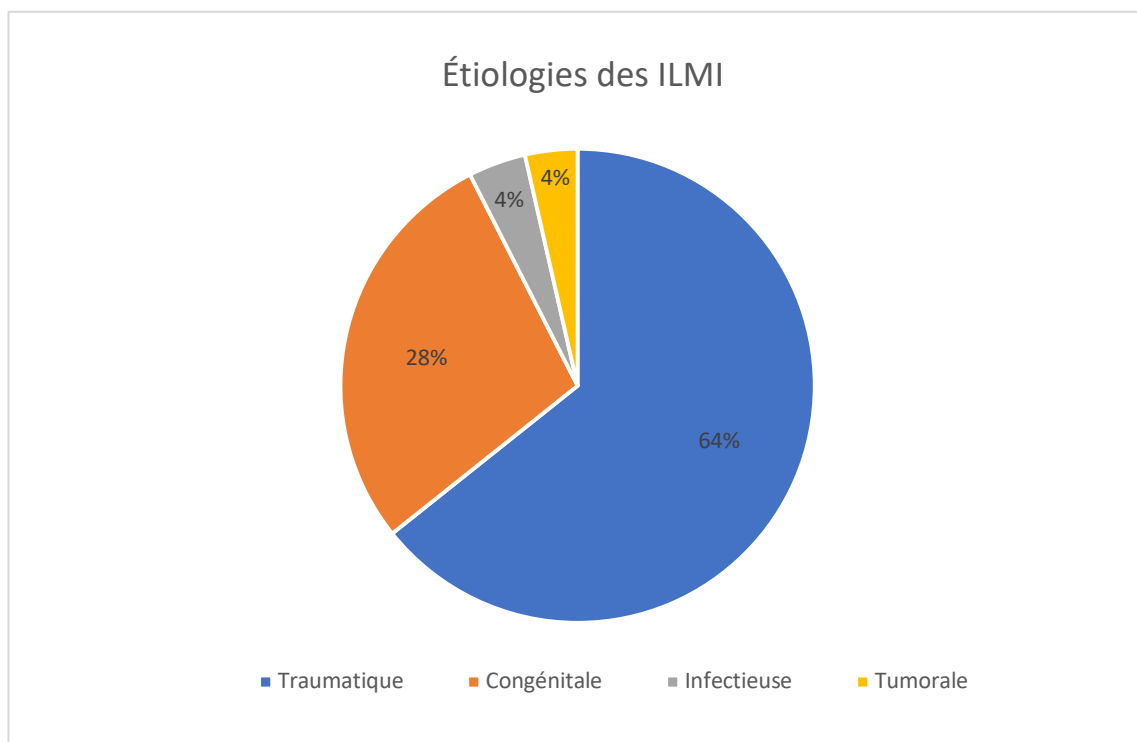


Figure 22 : Étiologies des Inégalités de Longueur des Membres Inférieurs.

2.2.2 Technique chirurgicale

L'ensemble des patients ont été opérés par deux chirurgiens séniors expérimentés, dans le service de Chirurgie Orthopédique adulte (75% des patients) et infantile (25% des patients) du CHU de Bordeaux.

La technique chirurgicale utilisée était identique à celle exposée dans la première partie de ce travail. Tous les clous ont été introduits de manière antérograde.

L'ostéotomie était réalisée au niveau métaphysaire proximal dans 89% des cas (25/28 patients) et au niveau diaphysaire dans 11% des cas (3/28 patients). Les 3 ostéotomies diaphysaires ne concernaient que des allongements de fémurs. Elles étaient dues à la nécessité de réaliser une seconde ostéotomie distale pour incapacité de descendre le clou droit pour un cas, et à un défaut technique pour deux cas.

La distance entre le niveau d'ostéotomie et la jonction entre les deux tubes télescopiques du clou (équivalent à la longueur de la partie large du clou située dans le fragment osseux distal : longueur C, Figure 23) était en moyenne de 137mm [37-247 ; ET=50,7].

Un trouble rotatoire associé a été corrigé par dérotation (22° en moyenne [10-30 ; ET=10,95]) dans le même temps opératoire chez cinq patients (17,8%).

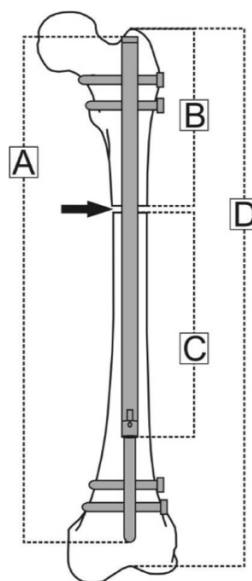


Figure 23 : Schéma d'un clou fémoral ISKD® ; Longueur C = partie large du clou dans le fragment osseux distal. Schéma tiré de l'article Simpson AHWR, Shalaby H, Keenan G. Femoral lengthening with the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor. J Bone Joint Surg Br. 2009 Jul;91-B(7):955-61.

2.2.3 Suivi

Nos patients ont bénéficié d'un suivi radio-clinique hebdomadaire lors de la phase de distraction, durant laquelle un appui contact était autorisé sous couvert d'une paire de cannes anglaises.

La vitesse d'allongement pouvait être contrôlée par le patient à domicile, à l'aide d'un contrôleur magnétique externe.

Le niveau d'activité et l'appui étaient majorés en cas de distraction trop lente. A l'inverse, l'appui était contre-indiqué, le genou était immobilisé dans une attelle en extension et les activités quotidiennes du patient étaient réduites, lorsque la vitesse d'allongement était trop rapide.

Un appui complet était progressivement repris à la fin de la période de distraction.

Le suivi radio-clinique était par la suite espacé de 6 à 12 semaines lors de la phase de consolidation.

Tous les patients ont bénéficié d'un suivi minimal d'un an ainsi qu'une réévaluation à distance dans le cadre de notre étude, par examen clinique et imagerie EOS[®] 3D. Cette réévaluation à distance correspond au dernier recul.

2.2.4 Méthodes d'évaluation

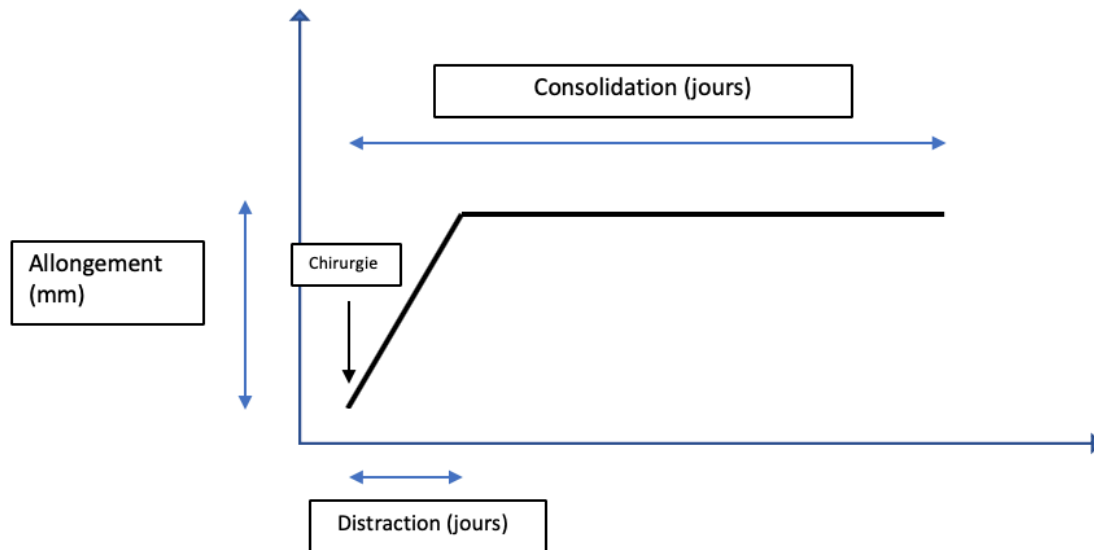
- Évaluation radiologique

L'inégalité de longueur pré-opératoire des membres inférieurs ainsi que l'objectif d'allongement ont été recensés. Ces paramètres ont été évalués par imagerie EOS[®] avec reconstruction 3D (logiciel SterEOS[®]) pour 16 patients sur 28 (57%), le reste des patients ayant bénéficié d'une imagerie pré-opératoire type pangonogramme.

Cette limitation est due à une mise en service du système d'imagerie EOS[®] (juin 2007) deux ans après le début d'implantation du clou ISKD[®] dans notre centre, ainsi qu'à son manque d'accessibilité.

L'allongement effectif (en mm), la durée de distraction (en jours), le temps de consolidation (en jours) et leurs index associés (index de distraction en mm/jours et index de consolidation en jours/cm) ont été mesurés.

Ces paramètres d'allongement généraux sont représentés par la figure suivante (Figure 24) :



Index de distraction (mm/j) = allongement / durée de distraction
Index de consolidation (jours/cm) = durée de consolidation / allongement

Figure 24 : Paramètres d'allongement.

L'allongement était considéré comme atteint s'il ne différait pas de plus de 5 mm par rapport à l'objectif initial. La consolidation osseuse était définie par une corticalisation d'au moins 3 côtés du cal d'allongement, visible sur les clichés radiographiques de face et de profil.

L'ensemble des patients a bénéficié d'une imagerie EOS[®] 3D au dernier recul, pour mesure des inégalités de longueur résiduelles.

- Évaluation clinique

Les complications étaient répertoriées selon la classification de Paley et la classification de Lascombes.

Un allongement rapide incontrôlé était défini par un index de distraction $> 1,5\text{mm/jour}$.

Le blocage d'un clou était défini par l'incapacité du système à se distraire malgré une augmentation des activités et des rotations manuelles effectuées par le patient ou une tierce personne. Une mobilisation du foyer d'ostéotomie sous Anesthésie Générale (AG) ou la réalisation d'une nouvelle ostéotomie en cas de consolidation précoce étaient alors indiquées. Une insuffisance de consolidation (IC) correspondait aux patients nécessitant une chirurgie supplémentaire pour assurer la consolidation du régénérat osseux ou l'absence de consolidation au dernier recul.

Le confort du patient lors de la période de distraction était évalué par Échelle Visuelle Analogique (EVA) de douleur, cotée de 0 à 10.

L'ablation du matériel et le nombre total d'interventions chirurgicales (en lien avec le programme d'allongement osseux par clou ISKD[®]) ont été relevés pour chaque patient.

Le retentissement fonctionnel était évalué à l'aide du score de qualité de vie SF-12 (Annexe 1), recueilli en pré-opératoire ainsi qu'au dernier recul. Ce score est composé de deux parties : un Score Composite Mental (MCS12) et un Score Composite Physique (PCS12) [37].

Les mobilités articulaires du genou, la présence d'une boiterie, ainsi que le score fonctionnel de Paley étaient également recensés au dernier recul.

Le score de Paley [29] est un score radio-clinique spécifique du résultat fonctionnel de l'allongement osseux fémoral permettant de classer les résultats en quatre entités : Excellent, Bon, Moyen ou Médiocre (Annexe 2).

2.2.5 Méthodes statistiques

L'analyse statistique a été réalisée avec le logiciel EasyMedStat© (www.easymedstat.com; Neuilly-Sur-Seine; France). Les variables quantitatives ont été présentées sous forme de moyennes, minimums, maximums, écart-types (entre crochets) et les variables qualitatives sous forme de fréquences et pourcentages. Les comparaisons entre sous-groupes ont été réalisées à l'aide du test exact de Fisher pour les variables qualitatives et du Mann-Whitney U-test pour les variables quantitatives continues, afin de trouver des facteurs influençant l'apparition de complications. La comparaison de variables quantitatives appariées s'est faite par Wilcoxon signed-rank test. Une valeur de $p < 0,05$ était considérée comme statistiquement significative.

2.3 Résultats

Vingt-huit clous mécaniques ISKD[®] ont été implantés chez 28 patients de 2005 à 2018. Le recul moyen était de 75 mois [15-171 ; ET=41,8].

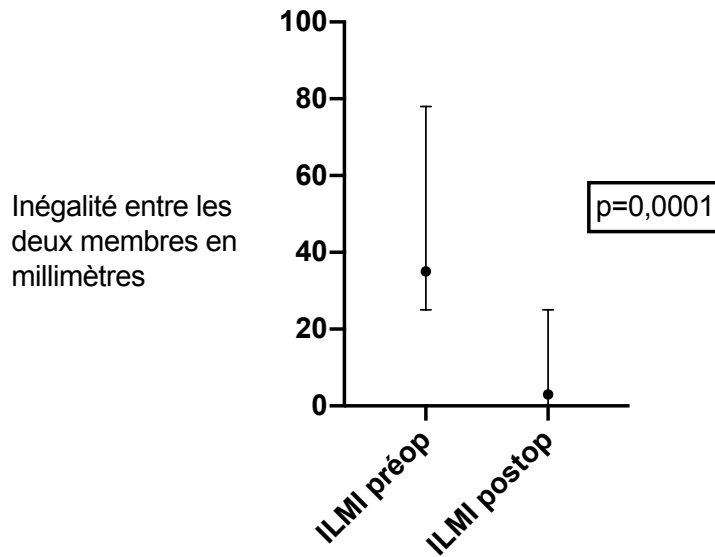
2.3.1 Résultats de l'objectif principal

Les inégalités de longueurs des membres étaient en moyenne de 38,46mm [25-78 ; ET=12,05] en pré-opératoire et de 5,57mm [0-25 ; ET=5,48] au dernier recul.

L'objectif d'allongement moyen était de 36,6mm [25-50 ; ET=8,5] et celui-ci a été respecté dans 78,5% des cas (22/28) avec un allongement effectif moyen de 34,5 mm [10-50 ; ET=10,6].

Les ILMI ont été corrigées de manière statistiquement significative après chirurgie : différence moyenne $\Delta = -32.8929$; IC_{95%} [-37.015 - -28.771] ; $p = 0.0001$ (Figure 25).

Comparaison des ILMI pré et post-opératoires



ILMI : Inégalité de Longueur des Membres Inférieurs

Figure 25 : Comparaison des inégalités de longueurs pré et post-opératoires.

Pour l'ensemble de la série, la durée de distraction moyenne était de 55 jours [14-210 ; ET=43,4] et l'index de distraction moyen de 0,94 mm/jours [0,11-2,5 ; ET=0,61]. La durée de consolidation moyenne était de 346 jours [84-840 ; ET=175] et l'index de consolidation moyen de 105 jours/cm [33,6-240 ; ET=52].

Au dernier recul, le régénérat osseux avait consolidé chez l'ensemble des patients, sauf un.

2.3.2 Résultats des objectifs secondaires

- Concernant les complications :

Deux complications peropératoires ont été recensées : une ostéotomie supplémentaire pour impossibilité de mettre en place le clou droit dans un fémur courbe malgré alésage, et un trait de refend fémoral chez un second patient, ayant nécessité une ostéosynthèse complémentaire par vissage percutané.

Selon la classification de Paley, nous avons retrouvé en post-opératoire :

- 2 « problèmes » (grade I de la classification de Lascombes) chez 2 patients :
 - o raideur de cheville (équino) après allongement de tibia chez 2 patients différents, résolus en moins de 6 mois par rééducation
- 16 « obstacles » (grade II de Lascombes) chez 12 patients :
 - o 2 ablations précoces de vis de verrouillage (une ayant migré et une entrant en conflit avec le muscle psoas)
 - o 10 mobilisations sous AG pour distraction du foyer d'ostéotomie, dont 2 patients ayant bénéficié de 2 mobilisations chacun
 - o 4 nouvelles ostéotomies pour consolidation précoce du site d'allongement, dont 2 après échec de mobilisation sous AG
- 12 « complications » (grade III et IV de Lascombes) chez 11 patients :
 - o 1 fracture de cal d'allongement un mois après ablation du matériel
 - o 3 greffes corticospongieuses autologues supplémentaires à 5, 10 et 14 mois post-opératoires, ayant permis d'obtenir une consolidation 3 à 5 mois après réalisation
 - o 3 réalésages - réenclouages dont 2 pour rupture du clou ISKD[®] à 8 et 9 mois post-opératoires, sans impact sur la longueur
 - o 1 dynamisation du clou d'allongement à 10 mois post-opératoires pour insuffisance de consolidation, sans impact sur la longueur
 - o 1 subluxation de hanche (chez une patiente présentant une découverte partielle de hanche préexistante)
 - o 1 luxation de rotule, ayant nécessité un geste de stabilisation chirurgicale
 - o 1 blocage précoce du clou avec refus de reprise chirurgicale de la part du patient
 - o 1 pseudarthrose avec refus de chirurgie complémentaire de la part du patient

Aucune infection superficielle ou profonde n'a été recensée.

19 patients sur 28 ont présenté des séquelles ou complications nécessitant des traitements itératifs sous anesthésie générale (grade II à IV de Lascombes ou « obstacles/complications » selon Paley), soit un taux de complications globales de 67,9%. Seuls 9 patients sur 28 n'ont présenté aucune complication (32,1%) (exemple en Figure 26).

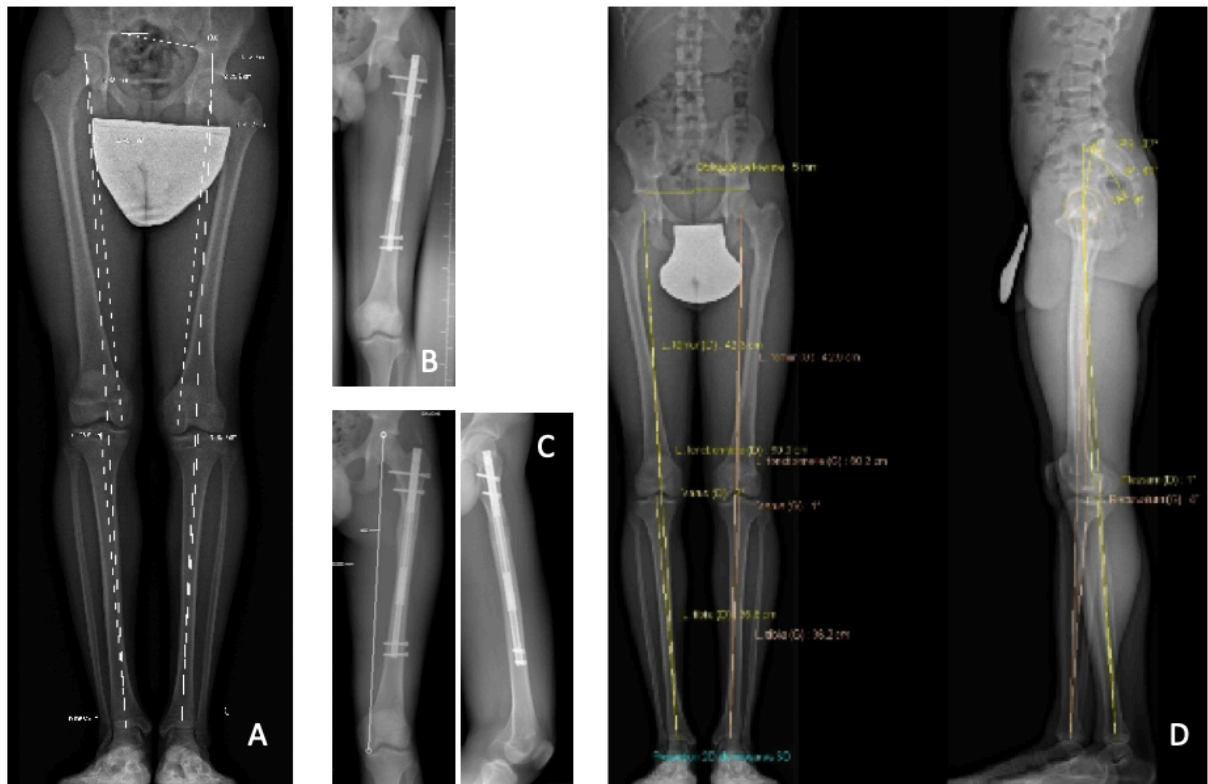


Figure 26 : Exemple d'allongement fémoral non compliqué. A : EOS 3D pré-opératoire avec ILMI 25mm. B : Distraction complétée à 1 mois par clou ISKD®. C : Consolidation acquise à 6 mois. D : EOS 3D au dernier recul (4ans) montrant l'isométrie des deux membres inférieurs.

Nous avons retrouvé dans cette série :

- 6 allongements rapides incontrôlés (21,4%) dont un a nécessité une greffe ultérieure pour permettre la consolidation du régénérat, un a présenté une fracture de cal après ablation du matériel, et un présentant une pseudarthrose du foyer d'ostéotomie au dernier recul, la patiente refusant une nouvelle prise en charge chirurgicale. Les 3 autres

clous dont l'allongement était $>1,5\text{mm/jour}$ n'ont nécessité aucune autre intervention mais la durée de consolidation était supérieure à un an.

- 11 blocages de clou (39,3%) dont 4 n'ont pas atteint l'objectif d'allongement malgré une tentative de distraction du clou par mobilisation du foyer d'ostéotomie sous AG ou nouvelle ostéotomie (exemple en Figure 27).
- 9 patients présentant une insuffisance de consolidation (32,1%), dont 3 sont secondaires à une distraction trop rapide du clou et 4 secondaires à des mobilisations ou ostéotomies itératives du foyer de distraction.

Un âge supérieur à 30 ans, un allongement de plus de 40mm, le niveau d'ostéotomie par rapport à la zone de jonction du clou, une dérotation associée ou un index de distraction supérieur à 1 mm/jour n'influençaient pas de manière significative la survenue d'une insuffisance de consolidation ou le taux de complications globales (Tableau 1).

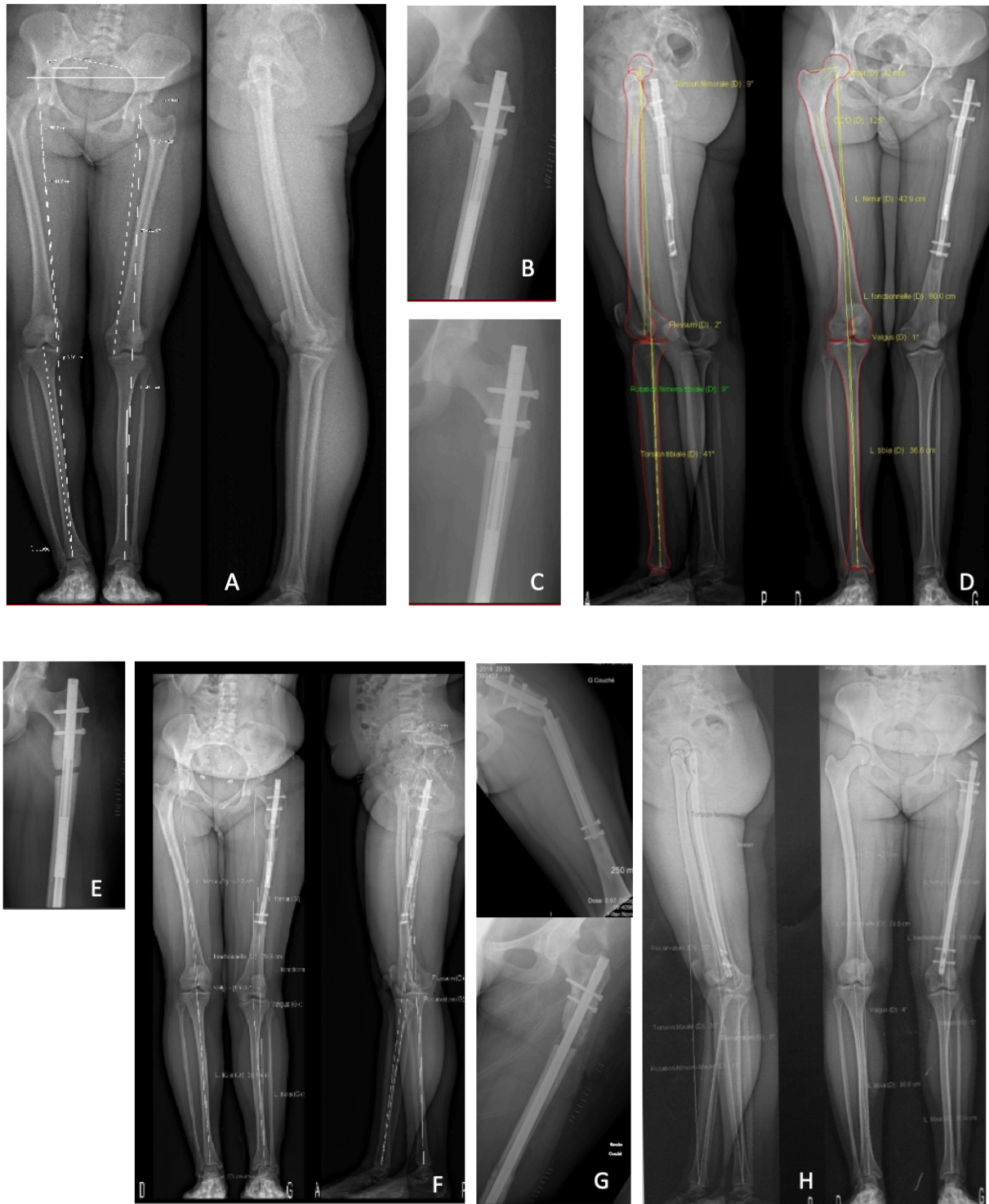


Figure 27 : Exemple de « blocage de clou » fémoral. A : EOS 3D pré-opératoire avec ILMI 35mm d'origine congénitale. B : Distraction faible à J15 post-opératoire, décision de mobilisation du foyer d'ostéotomie sous AG. C : Distraction insuffisante à 1 mois, nouvelle mobilisation sous AG. D : EOS 3D à 3 mois montrant une consolidation précoce du foyer d'allongement, avec 25mm d'inégalité résiduelle. E : Nouvelle ostéotomie à M6. F : Inégalité restante de 11mm à M7. G : Rupture mécanique du clou à M8 repris par enclouage standard + autogreffe. H : EOS 3D au dernier recul montrant une consolidation avec ILMI résiduelle de 7mm.

Tableau 1 : Facteurs de risques associés à l'apparition d'une insuffisance de consolidation ou de complications globales.

	Insuffisance de consolidation %	Complications globales %
Age < ou = à 30ans	31,6%	63,2%
Age > 30ans	33,3%	77,8%
<i>p-value</i>	<i>p = 1</i>	<i>p = 0,67</i>
Allongement < ou = à 40mm	35%	70%
Allongement > 40mm	25%	62,5%
<i>p-value</i>	<i>p = 1</i>	<i>p = 0,685</i>
Ostéotomie à - de 80mm	33,3%	66,7%
Ostéotomie à + de 125mm	28,6%	78,6%
<i>p-value</i>	<i>p = 1</i>	<i>p = 1</i>
Dérotation associée	20%	60%
Pas de dérotation associée	34,8%	69,6%
<i>p-value</i>	<i>p = 1</i>	<i>p = 1</i>
Index Distraction < ou = à 1mm/j	31,6%	73,7%
Index Distraction >1mm/j	30%	50%
<i>p-value</i>	<i>p = 1</i>	<i>p = 0,244</i>

- Concernant le confort du patient lors de la phase de distraction :

75% des patients (21/28) ont présenté des douleurs lors de la phase de distraction (crampes musculaires et douleurs neuropathiques) évaluées en moyenne à 5,5/10 [3-10/10 ; ET=3,79] sur l'Échelle Visuelle Analogique. L'EVA était évaluée à 0/10 pour les sept patients (25%) restants.

- Scores fonctionnels :

Le score de qualité de vie préopératoire SF12 était en moyenne de 42,55 [19,06-66,41 ; ET=13,53] pour le score Mental (MCS12) et de 32,45 [21,33-47,16 ; ET=7,45] pour le score Physique (PCS12).

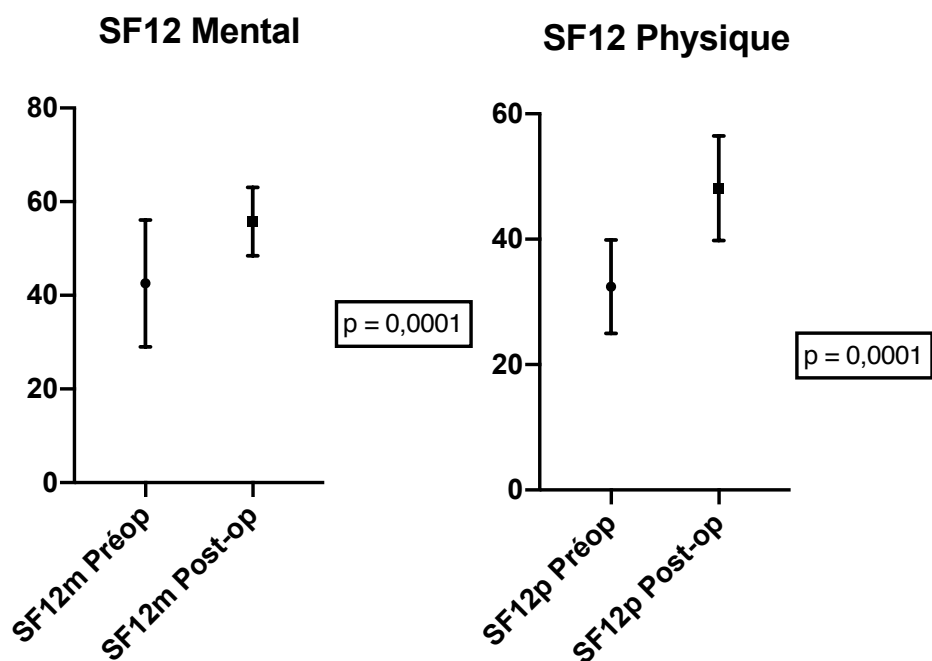
Au dernier recul, il était en moyenne de 55,75 [36,33-63,53 ; ET=7,3] pour le score Mental et de 48,14 [26,98-56,98 ; ET=8,3] pour le score Physique.

Ces scores fonctionnels ont été améliorés de manière statistiquement significative après chirurgie (MCS12 : Différence moyenne $\Delta = 13.2004$ IC_{95%} [8.094 - 18.307] ; p = 0.0001) (PCS12 $\Delta = 15.6864$ IC_{95%} [12.553 - 18.819] ; p = 0.0001) (Tableau 2, Figures 28 et 29).

Tableau 2 : Comparaison des scores fonctionnels moyens SF12 pré et post-opératoires.

	Pré- opératoire	Post- opératoire	Différence moyenne Δ	IC 95%	p-value
SF12 Mental	42,55	55,75	13,20	8,094- 18,307	0,0001
SF12 Physique	32 ,45	48,14	15,69	12,553- 18,819	0,0001

SF12 : Short Form (12-items) Health Survey.



Figures 28 et 29 : Comparaison des scores SF12 Mental et Physique pré et post-opératoires.

Le score fonctionnel de Paley évalué au dernier recul était excellent pour 14 patients (50%), bon pour 10 (35,7%) et moyen pour 4 patients (14,3%).

Les mobilités articulaires étaient globalement bonnes avec une flexion de genou moyenne de 113° [90-120 ; ET=12], sans flessum, et 6 patients présentaient une boiterie résiduelle (21,4%).

2.3.3 Résultats complémentaires

Une ablation complète du matériel a été réalisée chez 71% des patients (20/28), en moyenne 25 mois [10-51 ; ET=12] après la pose. Le nombre total d'interventions par patients (comprenant l'ablation du matériel le cas échéant) était en moyenne de 2,85 [1-5 ; ET=0,97].

Aucune différence statistiquement significative n'a été mise en évidence entre le groupe d'allongement fémoral et le groupe d'allongement tibial, concernant l'index de distraction ($p=0,41$), l'index de consolidation ($p=0,61$), le taux de complications globales ($p=0,57$), la

proportion d'allongement rapide incontrôlé (p=1), de « blocage de clou » (p=0,635), d'insuffisance de consolidation (p=1), le confort évalué par EVA (p=0,56) ou les scores fonctionnels post-opératoires (p=0,425 pour le score MCS12 et p=0,3653 pour le score PCS12) (Tableau 3).

Tableau 3 : Comparaison des résultats entre allongement de Tibias et de Fémurs.

	Tibias (n=4)	Fémurs (n=24)	Différence moyenne Δ	IC 95%	p-value
Index distraction (mm/j)	1,182	0,904	-0,2784	-0,9688 à 0,4120	0,4147
Index de consolidation (jours/cm)	92,20	106,8	14,60	-43,63 à 72,84	0,6107
Complications globales	2 (50%)	17 (70,8%)	-	-	0,57
Allongement rapide incontrôlé	1 (25%)	5 (20,8%)	-	-	1,00
« Blocage du clou »	1 (25%)	10 (41,7%)	-	-	0,635
Insuffisance de consolidation	1 (25%)	8 (33,3%)	-	-	1,00
EVA moyenne (sur 10)	6,5	5,3	-1,208	-5,463 à 3,047	0,56
SF12 Mental post-opératoire	58,51	55,29	3,219	-4,945 à 11,38	0,425
SF12 Physique post-opératoire	51,70	47,54	4,155	-5,115 à 13,43	0,3653

EVA : Échelle Visuelle Analogique ; SF12 score de qualité de vie

2.4 Discussion

Notre étude avait pour but d'évaluer l'efficacité du clou mécanique ISKD[®] dans le traitement des ILMI symptomatiques de plus de 20mm. Nous avons retrouvé une correction statistiquement significative ($p < 0,01$) des longueurs de membres après chirurgie, ce qui constituait notre critère de jugement principal. Néanmoins, neuf patients présentaient une inégalité $> 5\text{mm}$ au dernier recul, dont 6 sont dues à un allongement incomplet du clou mécanique ISKD[®]. L'inégalité résiduelle des trois autres patients est liée à un objectif d'allongement délibérément inférieur à l'ILMI initiale.

L'objectif d'allongement fixé avant intervention n'a été atteint que dans 78,5% des cas. Ce taux semble être un des plus faibles de la littérature. Une étude de Schiedel et al. [44] en 2011 sur 69 clous ISKD[®] retrouvait un objectif atteint dans 90% des cas, et le reste des études analysant le système de distraction ISKD[®] retrouvaient 100% (Tableau 4).

Nous avons retrouvé un allongement moyen ainsi qu'un index de distraction semblables aux autres séries de clous ISKD[®] (Tableau 4). Seul l'index de consolidation moyen semble plus élevé, ceci pouvant être imputé à l'âge de nos patients, majoritairement des adultes, ainsi qu'aux nombreuses complications liées à la distraction rencontrées chez ces sujets.

Les scores de qualité de vie SF-12 mental et physique ont été améliorés de manière statistiquement significative après chirurgie et les résultats généraux étaient bons à excellents dans 86% des cas selon le score fonctionnel spécifique de Paley. Ceci confirme, avec la correction significative des longueurs, que la chirurgie d'allongement osseux par clou est une indication de choix dans le traitement des inégalités symptomatiques de plus de 20mm. Le rapport de la Haute Autorité de Santé, publié en 2005 sur l'allongement osseux progressif du fémur ou du tibia par système interne, corrobore cette affirmation, attestant que les systèmes internes constituent « un traitement curatif de première intention » [47].

Les avantages des clous centromédullaires en comparaison avec les fixateurs externes dans la chirurgie d'allongement ont été largement démontrés dans la littérature [48,49].

Mais l'allongement par clou mécanique reste grevé de nombreuses complications spécifiques. Celles-ci sont principalement liées au contrôle imprécis de l'allongement et de la vitesse de distraction par le patient. La qualité du régénérat osseux étant conditionnée par une vitesse de distraction constante d'un millimètre par jour, l'hétérogénéité des mouvements quotidiens réalisés par le patient et l'absence de contrôle fiable peuvent entraîner une consolidation précoce si la vitesse de distraction est trop lente ou au contraire une insuffisance de consolidation si elle est trop rapide.

Dans la série de Lee et al. en 2011 [43], seuls 40% des clous ISKD[®] se sont allongés au rythme souhaité compris entre 0,8 et 1,5mm/jour. Un système électromagnétique de monitoring externe a été développé pour pallier ce problème mais Simpson et al. ont prouvé sa baisse de sensibilité (par diminution du champ magnétique) lorsque le diamètre de la cuisse dépasse 20cm [39]. La fiabilité de ce système de monitoring est donc controversée et ce dispositif a peu été utilisé dans notre étude.

Le taux de complications globales s'élève à 67,9% dans notre étude. Outre quelques complications liées à l'allongement osseux (équin transitoire de cheville, déstabilisation des articulations sus et sous-jacentes), la grande majorité des complications observées sont directement imputables au système ISKD[®]. Celles-ci représentent 76,6% des complications et nécessitent un retour au bloc opératoire pour chirurgie itérative (61% des patients dans notre étude).

Ces complications spécifiques du système ISKD[®] sont très fréquemment décrites dans la littérature, hormis la série princeps de Cole [32] en 2001, concepteur du dispositif, ne retrouvant aucune complication de ce type sur 20 patients et celle de Hankemeier [40] avec aucune complication sur 4 patients (Tableau 4).

Notre étude retrouve un taux d'allongement rapide incontrôlé de 21% (6/28 patients), dont la moitié a évolué vers une insuffisance de consolidation. Les principales études retrouvent un taux non négligeable de 31% pour Wang [38], 21% pour Simpson [39], 17% pour Lee [46] et 16% pour Kenaway [41]. Reynders en 2009 rapporte un cas d'allongement incontrôlé avec gain de 4cm en 5 jours, concluant que le système de crémaillère interne est trop sensible et s'allonge par simple contraction musculaire [50]. Kenaway conclue également en 2010 que le design

interne du clou devrait être révisé [41], de même que Mahmoud dans une revue de littérature en 2014 [51].

Un taux important de blocage du clou a également été retrouvé dans notre étude, s'élevant à 39,3%. Ces valeurs sont comparables aux autres séries (Tableau 4). Kubiak, qui rapporte le taux le plus élevé de 54,5%, attribue cette complication au fait que le clou soit droit dans un fémur courbe, entraînant ainsi un excès de contrainte [43]. Simpson et al. ont prouvé que le risque de blocage était statistiquement majoré si la longueur de la partie large du clou dans le fragment osseux distal était supérieure à 125mm. De la même manière, le risque d'allongement rapide incontrôlé était majoré si la longueur du clou (partie large) dans le fragment distal était inférieure à 80mm [39]. Nous n'avons retrouvé aucune de ces deux associations statistiquement significatives dans notre étude par manque de puissance.

Neuf patients (32,1%) ont présenté une insuffisance de consolidation ayant nécessité une chirurgie supplémentaire pour assurer la consolidation du régénérat. Hormis deux patients sans difficultés de distraction, les sept autres insuffisances de consolidation étaient secondaires à une distraction trop rapide du clou ou des mobilisations et ostéotomies itératives du foyer de distraction. Kenaway [42] a mis en évidence deux facteurs de risques significatifs d'insuffisance de consolidation sur une série de 37 patients : le tabac et un allongement > 40mm. Seule une tendance était retrouvée pour les autres facteurs de risques tels qu'un âge > 30ans et la correction de déformations associées dans le même temps opératoire. Ces facteurs de risques n'ont pas été identifiés de manière significative dans notre série (Tableau 1). Ce défaut de significativité est probablement dû à un manque de puissance par faible effectif.

Concernant le confort du patient lors de la distraction, nous avons retrouvé des douleurs évaluées en moyenne à 5,5/10 [ET=3,79] par EVA chez 75% des patients. Les 25% restant n'ont présenté aucune douleur (EVA = 0). Les séries d'anciens clous mécaniques Albizzia® (DePuy, Villeurbanne, France) retrouvaient 42% de mobilisation sous AG et 12% d'arrêt prématuré du programme d'allongement pour douleurs extrêmes lors des mouvements de rotations de 20° nécessaires à la distraction [52,53].

A l'inverse, les implants motorisés de nouvelle génération entraînent des taux de complications nettement plus faibles avec seulement 15,4% de complications rapportés par Accadbled en 2015 sur une série de 26 clous Fitbone[®] (Wittenstein, Igersheim, Allemagne) [54]. Aucune complication liée à la distraction ni aucune insuffisance de consolidation n'était recensée. L'efficacité du clou était de 88% et le confort du patient lors de la distraction était également amélioré car aucun mouvement rotatoire n'est nécessaire à l'allongement (EVA moyenne 2,5/10). Son utilisation est malheureusement restreinte à certains centres pilotes.

Les résultats du clou électromagnétique Precice[®] (Ellipse technologies, Californie, USA) mis sur le marché en 2011, sont également prometteurs. Une série de Wagner en 2017 [55] retrouve une efficacité de 97,3% sur 32 clous, 91% des patients ayant consolidé sans chirurgie itérative et aucune complication spécifique du clou n'ayant été recensée. Avec le système de commande externe électromagnétique, la vitesse de distraction est précisément contrôlée. Elle peut être modifiée en cours de programme, de même que la valeur totale de distraction en cas de besoin et le système a la capacité de se comprimer (bidirectionnalité). Hammouda et al. [56] rapportent 18% de complications, dont aucune n'est liée à l'implant, sur 17 allongements fémoraux par clous Precice[®] en 2017. Schiedel en 2014 [57] retrouve une efficacité de 97% sur 26 clous Precice[®], avec 2 ruptures du clou au niveau d'une zone de faiblesse et une consolidation prématurée ayant nécessité une ostéotomie itérative.

A notre connaissance, une seule étude compare le système ISKD[®] aux clous Precice[®] de première et deuxième génération. L'étude de Lee et al. en 2017 [58] compare ces dispositifs en terme de complications, de manière rétrospective dans la même série. Les auteurs proposent ainsi une nouvelle classification des complications selon leur lien avec un problème de distraction, de résistance mécanique ou autre. Les complications nécessitant une chirurgie complémentaire (i.e. « obstacle » selon Paley) s'élevaient à 14,3% pour le clou ISKD[®] (majoritairement liées à la distraction), 8,8% pour le clou Precice[®] de 1ère génération et 6,5% pour le clou Precice[®] de 2^{ème} génération (majoritairement liées à la résistance mécanique du système). Malheureusement, les auteurs n'étudient pas les paramètres classiques d'allongement, ni le retentissement fonctionnel.

Ces clous motorisés permettent ainsi un contrôle plus fiable de la distraction quotidienne ce qui explique leur taux de complication réduit. Malgré leur coût important (11500 euros pour le clou Precice[®], 10000 euros pour le clou Fitbone[®], contre 7950 euros pour le clou ISKD[®], tous trois non référencés en France sur la Liste des Produits et Prestations remboursés par la sécurité sociale) et des complications propres (résistance mécanique plus faible, rupture [58] ou dysfonctionnement d'implant [59]), ces nouveaux dispositifs semblent néanmoins supérieurs. D'un point de vue médico-économique, le coût global d'un allongement par clou motorisé reste avantageux, en comparaison aux allongements par clous mécaniques car le nombre d'hospitalisation et de réintervention sous anesthésie générale est limité.

Non disponibles au début de notre étude, ces implants sont à présent utilisés de manière préférentielle dans notre centre.

Les points forts de notre étude résident principalement dans le suivi le plus long mentionné dans la littérature sur ce type d'implant (recul moyen de 75 mois), ainsi que l'utilisation du système EOS[®] 3D permettant une mesure fiable et peu irradiante des inégalités de longueurs.

En revanche, notre étude présente plusieurs limites. Il s'agit d'une étude rétrospective, sans groupe contrôle, avec un faible effectif. Cette limite existe dans la majorité des séries de clous d'allongement car elles étudient une procédure restant rare.

Tableau 4 : Comparaison des différentes séries de clous mécaniques ISKD®.

	Nombre de clous ISKD®	Allongement moyen (mm)	Index de distraction (mm/j)	Index de consolidation (j/cm)	Suivi moyen (mois)	Efficacité %	Complications globales %	Allongement rapide incontrôlé %	« Blocage de clou » %	IC %
Cole et al. 2001 [32]	20	49 [29-110]	0,82 [0,4-1,7]	-	28 [12-48]	100%	10%	0%	0%	0%
Wang 2012 [38]	16	35 [21-75]	1,2 [0,2-2,5]	47 [27-112]	18	100%	56%	31%	18%	37,5%
Simpson 2009 [39]	33	46 [15-80]	-	-	-	97%	42%	21%	24%	9%
Hankemeier et al. 2005 [40]	4	31 [26-40]	1,2 [0,9-1,8]	29 [18-41]	27,6	100%	0%	0%	0%	0%
Kenaway 2011 [41]	57	43 [20-100]	-	36 +/- 9,6	23	100%	32%	16%	5%	21%
Kubiac 2007 [43]	11	31 [23-44]	-	-	16 [12-26]	-	64%	9%	54,5%	-
Schiedel et al. 2011 [44]	69	40,8 [10-80]	1 [0,1-2,5]	34 [24-94]	16 [6-49]	90%	56%	-	10%	8%
Lee et al. 2014 [46]	35	47 [40-60]	1,5 [0,6-3,8]	26,5 [40-66]	26 [15-38]	100%	53%	17%	8,5%	0%
Notre série 2019	28	34,5 [10-50]	0,94 [0,11-2,5]	105 [34-240]	75 [15-171]	78,5%	67,9%	21,4%	39,3%	32,1%

IC : Insuffisance de Consolidation

2.5 Conclusion

L'allongement osseux par clou centromédullaire est une technique de choix dans le traitement des inégalités de longueur symptomatiques des membres inférieurs supérieures à vingt millimètres. Cette étude, en comparaison aux données de la littérature sur les clous centromédullaires motorisés de dernière génération, nous incite à ne plus recommander les systèmes d'allongement mécaniques de première génération, tel que le clou ISKD[®], car celui-ci est responsable de complications spécifiques trop fréquentes, notamment liées au manque de contrôle de la distraction. Plusieurs études comparatives seraient nécessaires pour affirmer la supériorité des clous motorisés de nouvelle génération et ne plus recommander les systèmes de distraction mécanique.

2.6 Conflits d'intérêts

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts en lien avec cette étude.

2.7 Références

1. Woerman AL, Binder-MacLeod SA. Leg length discrepancy assessment: accuracy and precision in five clinical methods of evaluation. *J Orthop SportsPhysTher* 1984;5:230–8.
2. Gurney B: Leg length discrepancy. *Gait Posture* 2002, 15:195-206.
3. Guenoun B, Zadegan F, Aim F, Hannouche D, Nizard R. Reliability of a new method for lower-extremity measurements based on stereoradiographic three-dimensional reconstruction. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2012 Sep;98(5):506–13.
4. Gheno R, Nectoux E, Herbaux B, Baldisserotto M, Glock L, Cotten A, et al. Three-dimensional measurements of the lower extremity in children and adolescents using a low-dose biplanar X-ray device. *Eur Radiol.* 2012 Apr;22(4):765–71.
5. Escott BG, Ravi B, Weathermon AC, Acharya J, Gordon CL, Babyn PS, et al. EOS Low-Dose Radiography: A Reliable and Accurate Upright Assessment of Lower-Limb Lengths. *J Bone Jt Surg.* 2013 Dec;95(23):e183.
6. Guichet JM, Spivak JM, Trouilloud P, Grammont PM. Lower limb-length discrepancy. An epidemiologic study. *Clin Orthop* 1991;272:235 – 41.
7. Papaioannou T, Stokes I, Kenwright J. Scoliosis associated with limb-length inequality. *J Bone Joint Surg Am* 1982;64:59– 62.
8. McCaw ST, Bates BT. Biomechanical implications of mild leg length inequality. *Br J Sports Med* 1991;25:10 – 3.
9. Friberg O. Clinical symptoms and biomechanics of lumbar spine and hip joint in leg length inequality. *Spine* 1983;8:643– 51
10. Giles LGF, Taylor JR. Low-back pain associated with leg length inequality. *Spine* 1981;6:510–21.
11. Gofton JP, Trueman GE. Studies in osteoarthritis of the hip: Part II. Osteoarthritis of the hip and leg-length disparity. *Can Med Assoc J* 1971;104:791–9.
12. Harvey WF, Yang M, Cooke TD et al (2010) Association of leg- length inequality with knee osteoarthritis: a cohort study. *Ann Intern Med* 152:287–295
13. Friberg O. Leg length asymmetry in stress fractures, a clinical and radiological study. *J Sports Med* 1982;22:485–8.
14. Kaufman KR, Miller LS, Sutherland DH. Gait asymmetry in patients with limb-length inequality. *J Pediatr Orthop* 1996;16:144 – 50.

15. Gordon JE, Davis LE. Leg Length Discrepancy: The Natural History (And What Do We Really Know). *J Pediatr Orthop*. 2019 Jul;39.
16. Gross RH (1978) Leg length discrepancy: how much is too much? *Orthopedics* 1:307–310.
17. Caton JH, Dalery J, Chatelain P. Lengthening of the lower limbs of short stature people ethic and psychologic aspects. 2016;16.
18. Bronfen C. Inégalités de longueur des membres inférieurs chez l'enfant et l'adolescent. *Conférences d'enseignement 2009*. Elsevier; 2009 p. 157–91.
19. Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;239:263–285.
20. Ilizarov GA. Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop Relat Res*. 1990;250:8–26.
21. Birch JG. A Brief History of Limb Lengthening: *J Pediatr Orthop*. sept 2017;37:S1-8.
22. Codivilla A. On the means of lengthening, in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity. *J Bone Joint Surg Am*. 1905;s2–2:353–369.
23. Putti V. The operative lengthening of the femur. 1921. *Clin Orthop Relat Res*. 1990;250:4–7.
24. Abbott LC, Saunders JB. The operative lengthening of the tibia and fibula: a preliminary report on the further development of the principles and technic. *Ann Surg*. 1939;110:961–991.
25. Wagner H (1971) Surgical leg prolongation. *Chirurg* 42:260– 266
26. De Bastiani G, Aldegheri R, Renzi-Brivio L, et al. Limb lengthening by callus distraction (callotaxis). *J Pediatr Orthop*. 1987;7: 129–134.
27. Taylor JC. Perioperative planning for two and three planes deformities. *Foot Ankle Clin N Am* 2008 ; 13 : 69–121.
28. Bost FC, Larsen LJ. Experiences with lengthening of the femur over an intramedullary rod. *J Bone Joint Surg*. 1956;38A:567–584.
29. Paley D, Herzenberg JE, Paremian G, Bhave A. Femoral Lengthening over an Intramedullary Nail. A Matched-Case Comparison with Ilizarov Femoral Lengthening*: *J Bone Jt Surg*. 1997 Oct;79(10):1464–80.

30. Calder PR, Laubscher M, Goodier WD. The role of the intramedullary implant in limb lengthening. *Injury*. 2017 Jun;48:S52–8.
31. Alrabai HM, Gesheff MG, Conway JD. Use of internal lengthening nails in post-traumatic sequelae. *Int Orthop*. 2017 Sep;41(9):1915–23.
32. Cole JD, Justin D, Kasparis T, DeVlught D, Knobloch C. The intramedullary skeletal kinetic distractor (ISKD): first clinical results of a new intramedullary nail for lengthening of the femur and tibia. *Injury*. 2001 Dec;32:129–39.
33. Hasler CC, Krieg AH. Current concepts of leg lengthening. *J Child Orthop*. 2012 Jun;6(2):89–104.
34. Paley D (1990) Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop Relat Res* 250:81–104
35. Caton J, Dumont P, Bérard J, Michel CR. Etude des résultats à moyen terme d'une série de 33 allongements des membres inférieurs selon la technique de H.Wagner. *Rev Chir Orthop* 1985;71:44–8.
36. Lascombes P, Popkov D, Huber H, Haumont T, Journeau P. Classification of complications after progressive long bone lengthening: Proposal for a new classification. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2012 Oct;98(6):629–37.
37. Peyre H, Leplège A, Coste J. Missing data methods for dealing with missing items in quality of life questionnaires. A comparison by simulation of personal mean score, full information maximum likelihood, multiple imputation, and hot deck techniques applied to the SF-36 in the French 2003 decennial health survey. *Qual Life Res* 2011;20:287-300.
38. Wang K, Edwards E. Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor in the Treatment of Leg Length Discrepancy—A Review of 16 Cases and Analysis of Complications: *J Orthop Trauma*. 2012 Sep;26(9):e138–44.
39. Simpson AHWR, Shalaby H, Keenan G. Femoral lengthening with the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor. *J Bone Joint Surg Br*. 2009 Jul;91-B(7):955–61.
40. Hankemeier S, Gössling T, Pape H-C, Wiebking U, Krettek C. Verlängerung der unteren Extremität mit dem Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD). *Oper Orthopädie Traumatol*. 2005 Feb;17(1):79–101.
41. Kenawey M, Krettek C, Liidakis E, Wiebking U, Hankemeier S. Leg lengthening using intramedullary skeletal kinetic distractor: Results of 57 consecutive applications. *Injury*.

- 2011 Feb;42(2):150–5.
42. Kenaway M, Krettek C, Liidakis E, Meller R, Hankemeier S. Insufficient Bone Regenerate after Intramedullary Femoral Lengthening: Risk Factors and Classification System. *Clin Orthop Relat Res.* 2011 Jan;469(1):264–73.
 43. Kubiak EN, Egol KA. Early complications encountered using a self-lengthening intramedullary nail for the correction of limb length inequality. :6.
 44. Schiedel FM, Pip S, Wacker S, Pöpping J, Tretow H, Leidinger B, et al. Intramedullary limb lengthening with the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor in the lower limb. *J Bone Joint Surg Br.* 2011 Jun;93-B(6):788–92.
 45. Burghardt RD, Herzenberg JE, Specht SC, Paley D. Mechanical failure of the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor in limb lengthening. *J Bone Joint Surg Br.* 2011 May;93-B(5):639–43.
 46. Lee DH, Ryu KJ, Song HR, Han S-H. Complications of the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD) in Distraction Osteogenesis. *Clin Orthop Relat Res.* 2014 Dec;472(12):3852–9.
 47. Allongement osseux progressif du fémur ou du tibia par système interne. Rapport HAS octobre 2005.
 48. Horn J, Grimsrud Ø, Dagsgard AH, Huhnstock S, Steen H. Femoral lengthening with a motorized intramedullary nail: A matched-pair comparison with external ring fixator lengthening in 30 cases. *Acta Orthop.* 2015 Mar 4;86(2):248–56.
 49. Szymczuk VL, Hammouda AI, Gesheff MG, Standard SC, Herzenberg JE. Lengthening With Monolateral External Fixation Versus Magnetically Motorized Intramedullary Nail in Congenital Femoral Deficiency: *J Pediatr Orthop.* 2017 Jun;1.
 50. Reynders P. The runaway nail. *Inj Extra.* 2009 Sep;40(9):165–7.
 51. Mahmoud AN, Amgad M, Abdelmohsen MT, Nagy AY, Abuelhadid M, Aref AI, et al. Is the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor a Safe Measure for Bone Lengthening? A Systematic Review. *J Orthop Trauma Rehabil.* 2014 Dec;18(2):69–78.
 52. Guichet J-M, Deromedis B, Donnan LT, Peretti G, Lascombes P, Bado F. Gradual femoral lengthening with the Albizzia intramedullary nail. *J Bone Joint Surg Am* 2003;85-A:838–48.

53. García-Cimbreló E, Curto de la Mano A, García-Rey E, Cordero J, Martí-Ciruelos R. The intramedullary elongation nail for femoral lengthening. *J Bone Joint Surg Br* 2002;84:971–7.
54. Accadbled F, Pailhé R, Cavaignac E, Sales de Gauzy J. Bone lengthening using the Fitbone® motorized intramedullary nail: The first experience in France. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2016 Apr;102(2):217–22.
55. Wagner P, Burghardt RD, Green SA, Specht SC, Standard SC, Herzenberg JE. PRECICE® magnetically-driven, telescopic, intramedullary lengthening nail: pre-clinical testing and first 30 patients. *SICOT-J*. 2017;3:19.
56. Hammouda AI, Jauregui JJ, Gesheff MG, Standard SC, Conway JD, Herzenberg JE. Treatment of Post-Traumatic Femoral Discrepancy With PRECICE Magnetic-Powered Intramedullary Lengthening Nails: *J Orthop Trauma*. 2017 Jul;31(7):369–74.
57. Schiedel FM, Vogt B, Tretow HL, Schuhknecht B, Gosheger G, Horter MJ, et al. How precise is the PRECICE compared to the ISKD in intramedullary limb lengthening?: Reliability and safety in 26 procedures. *Acta Orthop*. 2014 Jun;85(3):293–8.
58. Lee DH, Kim S, Lee JW, Park H, Kim TY, Kim HW. A Comparison of the Device-Related Complications of Intramedullary Lengthening Nails Using a New Classification System. *BioMed Res Int*. 2017;2017:1–9.
59. Baumgart R, Betz A, Schweiberer L. A fully implantable motorized intramedullary nail for limb lengthening and bone transport. *Clin Orthop Relat Res* 1997;343:135–43.

ANNEXES

- Score de qualité de vie SF-12

SF-12

Nom :
Prénom :
Date :

Comment répondre ? Les questions qui suivent portent sur votre santé, telle que vous la ressentez. Ces informations nous permettront de mieux savoir comment vous vous sentez dans votre vie de tous les jours. Veuillez répondre à toutes les questions en cochant la case correspondant à la réponse choisie. Si vous ne savez pas très bien comment répondre, choisissez la réponse la plus proche de votre situation.

1 - Dans l'ensemble, pensez-vous que votre santé est :

- Excellente
- Très bonne
- Bonne
- Médiocre
- Mauvaise

2 - Voici une liste d'activités que vous pouvez avoir à faire tous les jours. Pour chacune d'entre elles, indiquez si vous êtes limité(e) en raison de votre état de santé actuel.

a - Efforts physiques modérés tels que déplacer une table, passer l'aspirateur, jouer aux boules

- Oui, beaucoup limité(e)
- Oui, un peu limité(e)
- Non, pas du tout limité(e)

b - Monter plusieurs étages par l'escalier

- Oui, beaucoup limité(e)
- Oui, un peu limité(e)
- Non, pas du tout limité(e)

3 - Au cours de ces 4 dernières semaines, et en raison de votre état physique, avez-vous eu les problèmes suivants?

a - Accompli moins de choses que vous auriez souhaité

- Tout le temps
- La plupart du temps
- Quelquefois
- Peu souvent
- Jamais

b - Dû arrêter de faire certaines choses

- Tout le temps
- La plupart du temps
- Quelquefois
- Peu souvent
- Jamais

4 - Au cours de ces 4 dernières semaines et en raison de votre état émotionnel (comme vous sentir triste, nerveux(se) ou déprimé(e))

a - Accompli moins de choses que vous auriez souhaité

- Tout le temps
- La plupart du temps
- Quelquefois
- Peu souvent
- Jamais

b - Avez-vous eu des difficultés à faire ce que vous aviez à faire avec autant de soin et d'attention que d'habitude ?

- Tout le temps
- La plupart du temps
- Quelquefois
- Peu souvent
- Jamais

5 - Au cours de ces 4 dernières semaines, dans quelle mesure vos douleurs physiques vous ont-elles limité dans votre travail ou vos activités domestiques ?

- Pas du tout
- Un petit peu
- Moyennement
- Beaucoup
- Enormément

6 - Les trois questions qui suivent portent sur comment vous vous êtes senti(e) au cours des ces 4 dernières semaines. Pour chaque question, veuillez indiquer la réponse qui vous semble la plus appropriée. Au cours de ces 4 dernières semaines, y a-t-il eu des moments où :

a - Vous vous êtes senti(e) calme et détendu(e)?

- Tout le temps
- La plupart du temps
- Quelquefois
- Peu souvent
- Jamais

b - Vous vous êtes senti(e) débordant(e) d'énergie?

- Tout le temps
- La plupart du temps
- Quelquefois
- Peu souvent
- Jamais

c - Vous êtes-vous senti(e) abattu(e) et triste ?

- Tout le temps
- La plupart du temps
- Quelquefois
- Peu souvent
- Jamais

7 - Au cours de ces 4 dernières semaines, y a-t-il eu des moments où votre état de santé physique ou émotionnel vous a gêné dans votre vie sociale et vos relations avec les autres, votre famille, vos amis, vos connaissances?

- Tout le temps
- La plupart du temps
- Quelquefois
- Peu souvent
- Jamais

■ Score fonctionnel de Paley

TABLE II
SCORING SYSTEM FOR OUTCOME OF FEMORAL LENGTHENING*

	Additions (No. of Points to Be Added to Derive Total Score)				Subtractions (No. of Points to Be Subtracted from Total Score)			
	Excellent (25 points)	Good (20 Points)	Fair (10 Points)	Poor (0 Points)	Excellent (0 Points)	Good (5 Points)	Fair (20 Points)	Poor (30 Points)
Range of motion of knee	Fixed flexion deformity = 0°, flexion > 120° or flexion ≥ 90% of preop. flexion	Fixed flexion deformity ≤ 5°, flexion = 101-120°, or flexion = 67-89% of preop. flexion	Fixed flexion deformity = 6-15°, flexion = 70-100°, or flexion = 50-66% of preop. flexion	Fixed flexion deformity > 15°, flexion < 70°, or flexion < 50% of preop. flexion				
Amount of lengthening	Within 1 cm of goal	Within 1.1-3 cm of goal	Within 3.1-5 cm of goal	>5 cm of goal				
Gait (preop. to postop.)† (points)	0, 1 to 0	1, 2 to 1	0 to 1 or 1, 2 to 2	0 to 2				
Lateral distal femoral angle (degrees)	85-90	82-84 or 91-93	79-81 or 94-96	<79 or >96				
Pain (preop. to postop.)‡ (points)					0, 1, 2 to 0 or 1 to 1	0, 2, 3 to 1 or 2 to 3	0 to 2, 3 or 1 to 3	
Ability to perform activities of daily living or to work (preop. to postop.)§ (points)					0, 1, 2 to 0	1, 2 to 1	1 to 2 or 0 to 1	0 to 2

*Excellent = 95 to 100 points, good = 75 to 94 points, fair = 40 to 74 points, and poor = less than 40 points.

†0 points = no limp, 1 point = slight limp, and 2 points = moderate limp.

‡0 points = no pain, 1 point = slight pain, 2 points = moderate pain, and 3 points = severe pain.

§0 points = full activity and full-time work, 1 point = reduced activity and reduced work, and 2 points = no activity or no work.

SERMENT D'HIPPOCRATE

« Au moment d'être admis à exercer la Médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission.

Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

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

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