

# Le clou d'allongement progressif (Albizzia®) et son évolution

Jacques Caton<sup>1</sup>, Pierre Trouilloud<sup>2</sup>, et Emmanuel Baulot<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lyon

<sup>2</sup> Dijon

**Résumé** – Depuis le premier allongement de membre inférieur par A. Codivilla en 1905, la grande majorité des techniques d'allongements décrites ont eu pour support le fixateur externe. Néanmoins, quelques auteurs avaient essayé de pratiquer des allongements extemporanés ou progressifs au moyen d'un clou, mais le plus souvent celui-ci était associé à un fixateur externe, ou les procédures d'allongement étaient si complexes qu'elles entraînaient des complications infectieuses et/ou mécaniques.

En 1986, grâce à Paul Marie Grammont de Dijon, l'allongement par clou centromédullaire verrouillé devient une réalité. Celui-ci ne nécessitait aucune réintervention et l'allongement était rendu possible par un ingénieux système de cliquet sans retour actionné par des manœuvres de rotation internes/externes du membre inférieur, 15 rotations entraînant un allongement de 1 mm. Outre le système mécanique de ce clou, il fallut valider les modalités d'une ostéotomie centromédullaire, et les qualités mécaniques de l'implant ainsi que celles du régénérat osseux.

Les tests mécaniques et les expérimentations animales furent réalisés de 1988 à 1994, à Dijon par l'équipe de Paul Grammont (J.M. Guichet, P. Trouilloud et E. Baulot) et à l'école vétérinaire de Lyon sous la direction de J. Caton avec J.C. Panisset et J. Rubini.

Ces travaux permirent, grâce à ce clou nommé Albizzia®, d'affirmer la réalité d'une régénération osseuse spontanée, malgré la présence du clou, et sa qualité égale à celle permise par le fixateur externe. Ce clou d'abord fémoral fut ensuite modifié pour permettre des allongements tibiaux (J. Caton).

En 1995, une équipe allemande développe un clou avec une motorisation électrique (Baumgart et Betz) ; et en 2014, après avoir utilisé les clous mécaniques Albizzia® et ISKD®, une équipe nord-américaine (D. Paley et J. Herzenberg) développe un clou à motorisation magnétique.

Ainsi grâce à l'innovation géniale de P.M. Grammont, trois types de clous peuvent aujourd'hui être utilisés pour réaliser des allongements progressifs du fémur ou du tibia: les clous mécaniques Albizzia® et ISKD® français, les clous à motorisation électrique Fitbone® allemands et les clous à motorisation magnétique Precise® (États-Unis).

**Mots clés:** allongements progressifs des membres inférieurs, clou Albizzia®, clou Precise®, clou Fitbone®, clou ISKD®, petite taille, inégalités de longueur des membres inférieurs.

**Abstract** – Since the first lengthening of the lower limb by Codivilla in 1905, the vast majority of the lengthening techniques described have been supported by the external fixator. Nevertheless, some authors had tried extemporaneous or progressive extension with a nail, but most often it was associated with an external fixator, or the lengthening procedures were so complex that they caused infectious or mechanical complications. In 1986, thanks to Paul Grammont from Dijon, locked intramedullary nail lengthening became a reality. This one did not require any intervention and the elongation was made possible by an ingenious system of ratchet without return actuated by rotation internal/external maneuvers of the lower limb, 15 rotations resulting in an lengthening of 1 mm. In addition to the mechanical system of this nail, it was necessary to validate the modalities of an intramedullary osteotomy, and the mechanical qualities of the implant as well as those of bone regeneration in elongation. Mechanical tests and animal experiments were carried out from 1988 to 1994, at Dijon by Paul Grammont's team (J.M. Guichet, P. Trouilloud, and E. Baulot) and at the veterinary school of Lyon under the direction of J. Caton with J.C. Panisset and J. Rubini. Thanks to this nail named Albizzia®, this work allowed the reality of a spontaneous bone regeneration, despite the presence of the nail, and its quality equal to that allowed by the external fixator. This femoral first nail was then modified to allow tibial lengthening (J. Caton). In 1995, a German team developed a nail with an electric motor (Baumgart and Betz) ; and in 2014, after using Albizzia® and ISKD® mechanical nails, a North American team (D. Paley and J. Hersenberg) developed a magnetic motorization nail. Thanks to the brilliant innovation of Paul Grammont, three types of lengthening nails can today be used to achieve progressive lengthening of the femur or tibia: Albizzia® and ISKD® French mechanical nails, German Fitbone® electric motorized nails and nails with magnetic motorization Precise® (USA).

**Keywords:** progressive lengthening of the lower limbs, Albizzia® nail, Precise® nail, Fitbone® nail, ISKD® nail, short stature people, leg length inequalities.

## Introduction

De l'antique lit de Procuste aux facteurs de croissance actuels, un long chemin a été parcouru dans le traitement des inégalités de longueur des membres inférieurs (ILMI) et des sujets de petites tailles (PT). Si les auteurs anciens avaient entrevu les problèmes posés par les ILMI, ce n'est qu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle en France, avec le Lyonnais Léopold Ollier, que s'établirent des bases de traitement et notamment le rôle du périoste, élément fondamental de la croissance osseuse.

Le premier allongement extemporané est classiquement attribué à Alessandro Codivilla en 1905 [1] et le premier allongement progressif à Vittorio Putti en 1921 [1] ou peut-être plus précisément à Louis Ombredanne en 1912-1913 [1]. Nombreux furent ensuite les chirurgiens qui s'engagèrent avec enthousiasme et courage dans cette voie, faisant varier le lieu, la forme des ostéotomies, la nature et la géométrie des cadres de distraction ainsi que les techniques de fixation et d'immobilisation, utilisant pour la plupart la fixation externe. Mais ceux-ci ne sont devenus réellement fiables que dans la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

## L'idée du clou d'allongement progressif et son contexte historique

Ces progrès sont essentiellement dus à deux chirurgiens, l'Allemand Heinz Wagner et son fixateur monolatéral [2], suffisamment solide pour permettre aux patients de sortir de leur lit et de déambuler ; et le Russe Gavril Abramovitch Ilizarov [3]. Ce dernier, outre son fixateur externe circulaire, autorisant la marche avec appui, a surtout mis en évidence une nouvelle conception biologique des allongements : « la régénération en distraction » également possible chez l'adulte mais devant respecter selon son auteur la vascularisation osseuse intramédullaire et un rythme d'allongement d'1 mm par jour. Une association des avancées permise par H. Wagner et G.A. Ilizarov a été l'origine de la technique de la « callotasis » [1] ou allongement du cal.

Quelques auteurs s'étaient déjà engagés à faire des allongements sur clou dont Jean et Robert Judet en 1969 [4]. Mais tous ces systèmes étaient peu fiables, nécessitant parfois des réinterventions multiples pouvant entraîner de lourdes infections. Enfin certains auteurs associèrent clou et fixation externe [1].

L'apparition de l'enclouage verrouillé notamment développé à Strasbourg par Arsène Grosse et Ivan Kempf dans le milieu des années 1970 changea la « donne », ces derniers ayant d'ailleurs développé une technique d'allongement extemporané grâce à ce matériel [5].

Devant les nombreuses complications secondaires aux allongements par fixation externe [1], l'idée de mettre au point un clou d'allongement progressif est apparue impérative dès 1980 à notre ami, le regretté Paul Grammont à Dijon (fig. 1).

Fallait-il encore développer un matériel fiable, valider sa faisabilité, ainsi que la technique opératoire. Enfin, dans un deuxième temps, il nous est apparu indispensable de vérifier la possibilité de régénération osseuse, en présence d'un clou centro-médullaire. En effet, le clou par définition détruisait la



Figure 1. Paul Grammont.

vascularisation et la moelle osseuse, élément qui semblait impératif à Ilizarov pour permettre cette régénération. Ceci nous a donc conduits à devoir valider cette possibilité de régénérer malgré l'alésage et à proposer à Paul Grammont une expérimentation animale.

C'est dans ce contexte qu'une stratégie a été établie pour élaborer un tel système. Nous avons travaillé dans deux directions : mise au point d'un clou verrouillé à palette chez l'homme pour maîtriser la fabrication des clous centromédullaires verrouillés, mise au point d'un clou d'allongement chez l'animal (le mouton) pour valider la méthode d'allongement intramédullaire progressif, puis fabrication d'un clou d'allongement progressif pour l'homme.

## Mise au point et fabrication d'un clou verrouillé pour allongement progressif

Cela s'est réalisé en plusieurs étapes.

### Mise au point et fabrication d'un clou verrouillé

Un verrouillage distal du clou par deux palettes tel que celui développé dans le service de Paul Grammont par le Dr Laffay [6] fut d'abord choisi, palettes qui s'ouvraient à travers deux fentes à l'extrémité distale du clou, et se fichaient dans l'os, le verrouillage proximal étant réalisé par des vis sur un modèle voisin du clou de Kempf. L'expérience de cette technique a été évaluée dans la thèse de B. Lacour en 1992 [6] à propos de 100 fractures de jambe traitées en utilisant ce clou.

### Mise au point d'un clou d'allongement chez le mouton

Le clou d'allongement a été mis au point parallèlement. Il a été testé dans le cadre de la thèse de médecine de J.M. Guichet en commençant par des implantations chez le mouton. Pour cela P. Grammont a obtenu du directeur du CHU de Dijon la mise à disposition d'un pré-attendant à l'hôpital pour y héberger les moutons en pré- et en postopératoire. Les moutons utilisés étaient des INRA 401 fournis par la ferme expérimentale du centre Thiverval-Grignon de l'INRA, à partir soit de moutons Romanov, soit d'un croisement entre

des moutons Romanov et des moutons bérichons. Ces moutons avaient été sélectionnés pour leur grande taille, leur résistance, leur croissance continue et rapide et un métabolisme osseux proche de l'homme. Nous avons aménagé une salle d'opération dans le Laboratoire d'anatomie de la faculté de médecine de Dijon (P. Trouilloud). Le doyen de la faculté, J.P. Didier ayant mis à notre disposition une animalerie pour assurer les suites postopératoires immédiates. J.M. Guichet et P. Grammont ont conçu et fait construire un clou d'allongement à cliquet en faisant fabriquer des prototypes par l'IUT de mécanique de l'université de Dijon et par l'École nationale d'aéronautique de Toulouse (ENSAE, professeur Bellet) à partir de janvier 1989. Le clou choisi a été réalisé en acier 316L écroui, en s'inspirant du clou télescopique de Dubow et Bailey, pour la résistance mécanique. Le verrouillage supérieur et inférieur était réalisé avec des vis de 3,5. Puis le système d'allongement progressif a été mis au point. Il comporte un système de douille fileté à l'intérieur d'un clou principal fileté associé à un système de cliquet sans retour aux deux extrémités (fig. 2a, b et fig. 3). Un clou de plus petit diamètre coulisse dans le clou principal, il est poussé distalement lorsque la douille fileté migre le long du tube principal par l'action du cliquetage lors des mouvements en va-et-vient imprimés à la portion distale de l'os qui est ainsi allongé. Une première série de moutons opérés a permis de mettre au point la technique opératoire, cette première expérience a été rapportée dans la thèse de médecine de Dijon de J.M. Guichet [7]. Une deuxième série de 10 moutons, n'utilisant que des Romanov, a été ensuite utilisée. Les interventions étaient réalisées par des chirurgiens du service sous anesthésie générale donnée par un anesthésiste professionnel. Cette deuxième expérience a été rapportée en 1991 (thèse de science de J.M. Guichet) [8] : l'allongement a été en moyenne de 39 % de la longueur du fémur initial à J + 32, et de 27 % à 2 ans après consolidation. Ces expériences ont permis de valider la méthode, ainsi que le rythme de l'allongement et ont montré qu'il fallait adjoindre un système d'arrêt de l'allongement pour éviter un allongement intempestif trop important. Nous n'avons pas constaté de douleurs particulières chez les moutons opérés, en effet ils reprenaient la marche immédiatement et le saut entre le 4<sup>e</sup> et le 34<sup>e</sup> jour postopératoire [9].

### Tests mécaniques comparatifs

Ils ont été réalisés par J.M. Guichet au États-Unis sur les clous verrouillés existants pour les diamètres les plus faibles (11 mm). Quatre clous ont été testés : clou de Laffay fabriqué par la société Médinov, clou AO de la société Synthès, clou de Grosse et Kempf de la société Howmedica et clou de Russel Taylor de Richards. Ces tests mécaniques ont permis de valider la qualité de la résistance mécanique des clous verrouillés fabriqués par la société Médinov par rapport à d'autres clous utilisés. Ces essais mécaniques ont été réalisés dans le département d'orthopédie du Hospital for Joint Diseases Orthopaedic Institute (Victor Frankel). Les résultats ont été publiés par J.M. Guichet. Ils ont servi de base à la construction du clou d'allongement pour l'homme [10].

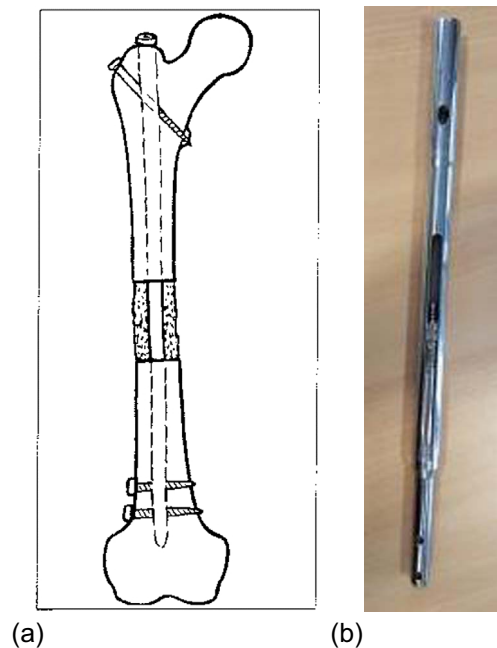


Figure 2. a. Schéma du clou. b. Le clou Albizzia.

Des clous d'allongement fémoraux ont été fabriqués en acier 316L avec pour le tube proximal des diamètres de 13 mm et 15 mm pour s'adapter à la taille du fémur, le clou distal coulissant ayant un diamètre de 11 mm. Les longueurs des clous étaient calculées en fonction de la taille du fémur qui devait être allongé et en fonction de l'allongement prévu (fig. 2a, b et fig. 3).

La construction du clou d'allongement a été confiée à la société Médinov de Roanne, deux ingénieurs (M. Colombier et J.M. Peyguet) développant deux préséries d'une dizaine de clous centro-médullaires d'allongement progressif, baptisées « Système d'allongement progressif intra-médullaire » (SAPI). Chaque clou était fabriqué sur mesure d'après les radiographies millimétrées et la longueur de l'allongement programmé. Le premier clou a été mis dans le service d'orthopédie de P. Grammont en 1989, sur un patient qui avait eu une fracture du fémur enclouée sans verrouillage avec un raccourcissement de 10 cm, un des auteurs ayant réalisé une ostéotomie au-dessus du cal en formation (P. Trouilloud) puis une distraction peropératoire de 8 mm, et ensuite un allongement progressif de 1 mm par jour pendant 90 jours avec un bon résultat.

### Validation et comparaison de la qualité du régénérat osseux obtenu avec clou d'allongement progressif (CAP) et fixation externe (FE) chez le mouton

Animant le département d'allongement des membres dans le service d'orthopédie pédiatrique du Pr CR. Michel (Centre Livet – LYON) à partir de 1980, nous fûmes particulièrement intéressés par l'idée de Paul Grammont afin d'éviter les

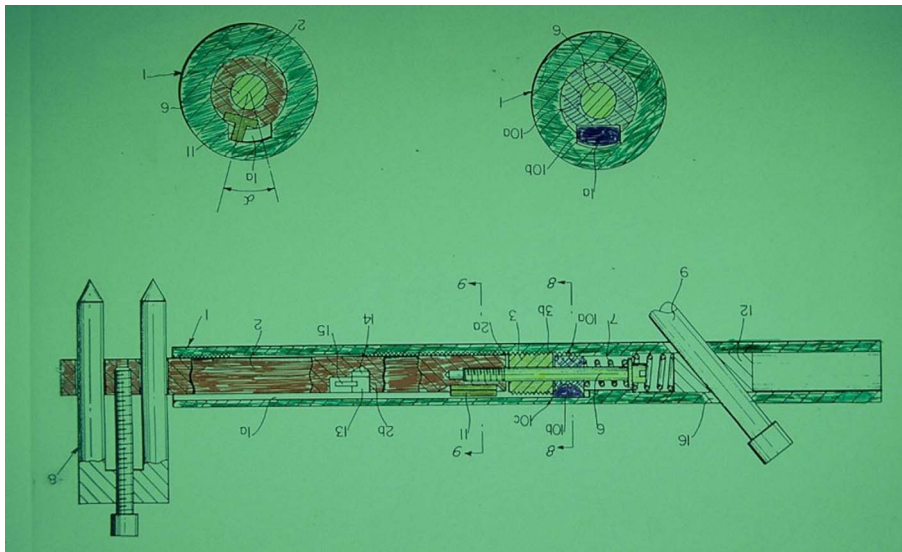


Figure 3. Mécanisme du clou et du cliquet sans retour.

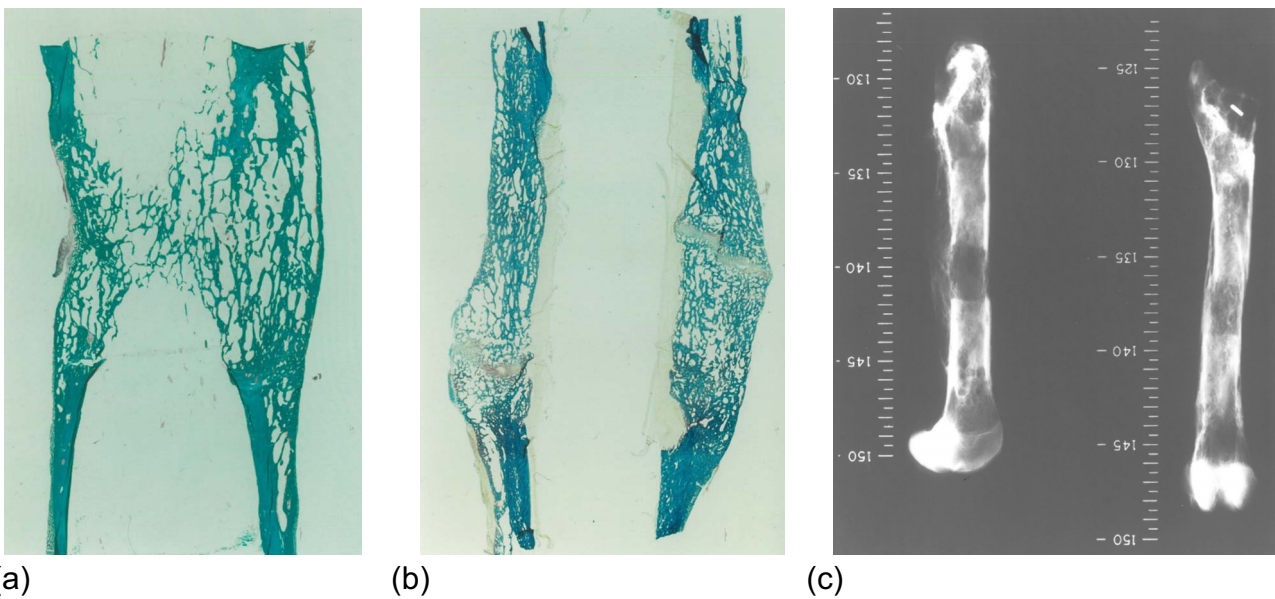


Figure 4. a. Histomorphométrie osseuse sur un allongement fémoral de mouton par fixateur externe. b. Histomorphométrie osseuse après CAP (Clou d'allongement progressif) avec une excellente régénération osseuse fémorale. c. Densitométrie osseuse : fémur de mouton allongé par CAP.

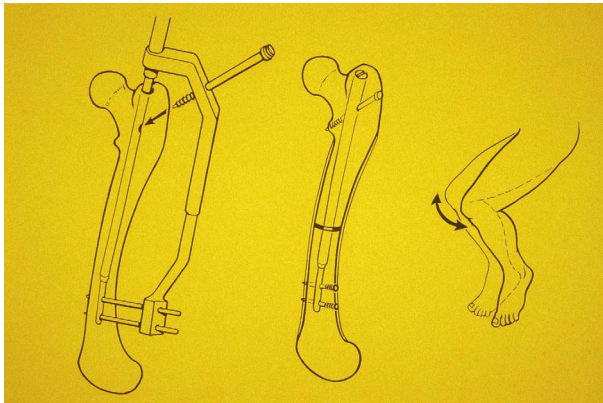
complications des broches de fixation externe et je lui proposais une expérimentation animale permettant de comparer les régénérats obtenus par CAP *versus* fixation externe.

Nous avons opéré à l'École nationale vétérinaire de Lyon à Marcy-L'Étoile, 40 moutons de race Romanov femelles en croissance, particulièrement robustes (J. Caton – J. Rubini – J.C. Panisset) avec 20 fixations externes (appareil FAD Orthofix) et 20 CAP (Médinov), un allongement de 1 mm par jour étant pratiqué sur les pattes arrières.

Après le sacrifice des animaux, les fémurs étaient prélevés, avec une étude densitométrique, histomorphométrique, histologique (L.M. Patricot), et double marquage à la tétracycline de façon à comparer les régénérats obtenus.

Cette étude [11] nous a permis d'affirmer que l'allongement par clou progressif centro-médullaire permettait une ostéogénèse en élévation de qualité égale sinon supérieure à celle obtenue par fixation externe dans des conditions identiques, autorisant ainsi l'utilisation clinique [12, 13] (fig. 4a, b, c).

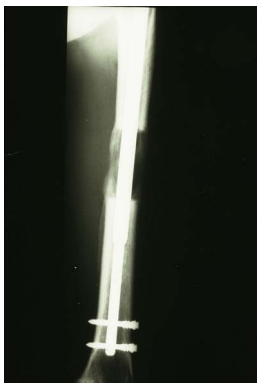




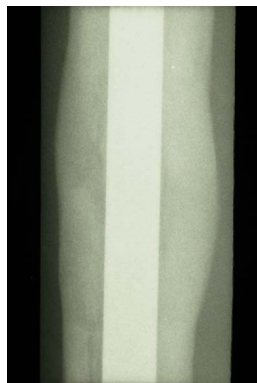
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figure 5.** a. Technique de l'allongement fémoral. b. Ostéotomie endo-médullaire avec scie spéciale. c. Fémur en cours de consolidation. d. Fémur consolidé.

### Commercialisation du clou d'allongement

Devant le succès des travaux expérimentaux et des préséries, la société Médinov a embauché un ingénieur pour mettre au point un clou commercialisable. Le nom du clou choisi a été « Albizzia », en référence à l'acacia de Constantinople, arbre à croissance rapide pouvant atteindre 10 mètres en 12 mois. Un système de « scie endomédullaire » a été mis au point par le service d'orthopédie (J.M. Guichet et

la société Médinov), ce qui permettait de réaliser l'allongement en respectant au mieux le périoste et l'hématome autour du foyer d'ostéotomie, éléments fondamentaux de la régénération osseuse. Un clou d'allongement tibial a été mis au point (J. Caton) en adaptant les mêmes mécanismes que le clou d'allongement fémoral. La fabrication du clou d'allongement progressif et sa commercialisation ont été ensuite reprises par la société Depuy.

### Technique et résultats

#### Technique des allongements [12, 14]

- Fémoral : sur table orthopédique ou ordinaire, avec préparation du grand trochanter et du trajet du clou par alésage, ostéotomie avec une scie endomédullaire puis ostéoclasie, verrouillage distal par vis clavette puis proximal par vis 5,5 mm et allongement extemporané de quelques millimètres. L'allongement progressif est ensuite commencé au 8<sup>e</sup> jour au rythme de 1 mm par jour en 4 fois par le biais de mouvements du membre à allonger (fig. 5a, b, c, d).
- Tibial : le clou est béquillé, une syndesmose péronéo tibiale supérieure et inférieure est réalisée après alésage, corticotomie osseuse à la jonction métaphysa diaphysaire, l'allongement étant ensuite identique à la technique fémorale (fig. 6).

#### Les premiers résultats cliniques [13]

Ceux-ci ont été satisfaisants et la technique rapidement adoptée par de nombreux chirurgiens en France et à l'étranger notamment aux États-Unis [15].

### Évolution et état de l'art actuel

Ces évolutions portent sur les indications, les clous mécaniques et le développement de clous motorisés.

#### Évolution des indications

Réservées initialement au seul traitement des ILMI surtout fémorales, les indications se sont étendues aux sujets de PT avec quelques modifications techniques pour éviter les embolies graisseuses (D. Paley *et al.* Baltimore puis Miami).

#### Évolution des clous mécaniques

La société Orthofix, qui avait développé le fixateur externe du même nom, s'est rapidement engagée dans la fabrication d'un clou de plus gros diamètre baptisé ISKD, l'allongement se produisant lors de la marche. Ce clou n'a pas été exempt de complications (blocage) ou allongement intempestif (Runaway) [17]. Du fait de ce type de complications, l'évolution s'est faite également vers des clous motorisés.

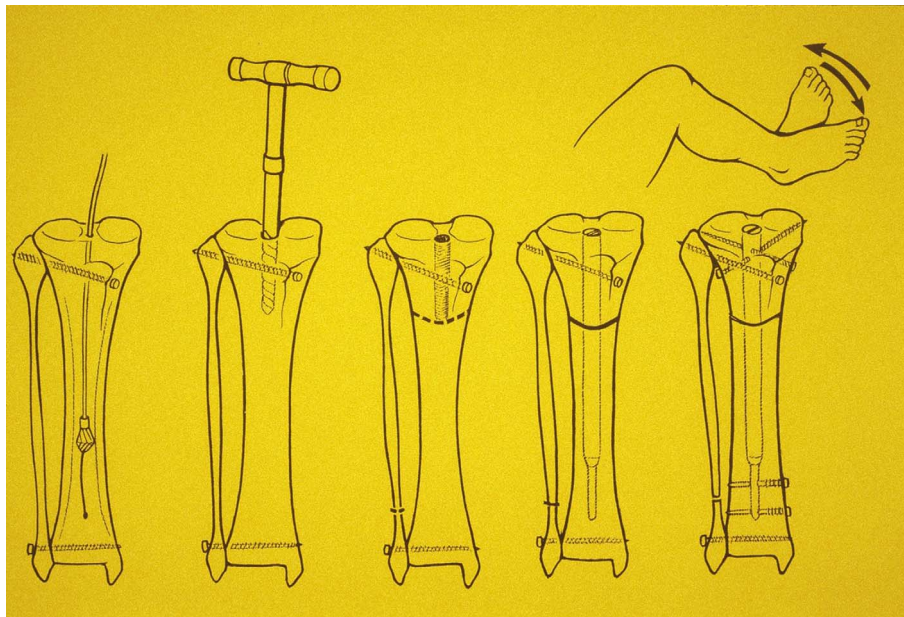


Figure 6. Technique de l'allongement tibial.

### Évolution vers des clous motorisés

Paul Grammont avait déjà imaginé un protocole de clou motorisé type mémoire de forme et champ magnétique qui n'a jamais été commercialisé. Cependant, trois chirurgiens allemands, R. Baumgart, A. Betz et L. Schweiberer, avaient déjà construit et utilisé dès 1995 [16] un clou motorisé électrique dont les premiers résultats étaient identiques au clou Albizzia. Deux d'entre eux (Baumgart et Betz) poursuivirent ce travail avec un clou baptisé *Fit Bone*. Une puce permettant la transmission de la motorisation électrique était implantée en même temps que le clou. Les premiers résultats français de ce clou ont été publiés par F. Accadbled *et al.* en 2010 [18]. Après avoir utilisé les clous Albizzia et ISKD, deux chirurgiens nord-américains (D. Paley et J.E. Herzenberg) sont à l'origine d'un nouveau clou motorisé magnétiquement, d'abord baptisé *Ellipse* puis *Precise 2*, toujours utilisé [19].

Enfin un nouveau clou de type Albizzia a été secondairement développé en Suisse et utilisé en Allemagne (J.P. Perret Inc).

### Conclusion

C'est grâce au « génie français » et à Paul Grammont qui a su motiver ses élèves et amis (essentiellement J.M. Guichet, P. Trouilloud, E. Baulot à Dijon et J. Caton à Lyon, ainsi que les ingénieurs M. Colombier et J.M. Peyguet) que cette évolution et avancée majeure de la chirurgie de l'allongement des membres a pu se faire car tous les chirurgiens intéressés en dehors de Baumgart et Betz ont d'abord utilisé ce premier clou d'allongement progressif centro-médullaire Albizzia puis évolué vers d'autres clous mécaniques type Albizzia ou ISKD, et/ou vers des clous motorisés.

Cette innovation s'inscrit dans le cours de l'histoire de l'allongement des membres qui s'est déroulée sur plus d'un siècle, faite d'évolutions mais aussi de transgressions, moteurs du changement.

### Références

- [1] Caton J. Allongement des membres chez l'adulte (adolescents et adultes jeunes). *Cahiers d'enseignements de la SOFCOT*. Conférence d'enseignement 1995. Expansion Scientifique Française, Paris, 1995.
- [2] Wagner H. Operative lengthning of femur. *Clin Orthop*, 1976; 11: 125-142.
- [3] Ilizarov G.A. *Les principes de bases de l'ostéosynthèse transosseuse de compression et de distraction*. *Orthop Traumatol Protez*, 1971; 32(11): 7-15.
- [4] Judet R., Euvrard J. Allongements fémoraux. *Actualités orthopédiques de l'Hôpital Raymond Poincaré*, n° VIII, Masson, Paris, 1969; 37-49.
- [5] Kempf I., Grosse A., Lefèvre C. Allongement extemporané du fémur fixé par clou centro-médullaire verrouillé. *Rev Chir Orthop*, 1982; 68: 575-579.
- [6] Lacour B. Place et modalités du verrouillage (vis, palettes) dans l'enclouage centro-médullaire des fractures de jambe. Thèse de médecine de Dijon, n° 90, 27 octobre 1992.
- [7] Guichet J.M. Clou centro-médullaire d'allongement progressif. Bases théoriques, étude expérimentale. Thèse de médecine de Dijon, n°110, tome 1 et tome 2, 2 décembre 1988.
- [8] Guichet J.M. Clou d'allongement progressif. Étude mécanique. Résultats à deux ans de l'expérimentation animale et protocole humain. Thèse de science chirurgicale, faculté d'Aix Marseille II, 1991.
- [9] Guichet J.M., Grammont P.M., Trouilloud P. Clou d'allongement progressif. Expérimentation animale avec un recul de deux ans. *Chirurgie*, 1992; 445-410.

- [10] Guichet J.M., Casar R.S. Mechanical characterization of totally intramedullary gradual elongation nail. *Clin Orthop*, 1997; 337: 281-290.
- [11] Caton J., Rubini J., Panisset J.C. *et al.* L'allongement progressif par clou mécanique centro-médullaire d'allongement : étude expérimentale chez le mouton. Comparaison du régénérat obtenu par fixation externe et par clou centro-médullaire. *Rev Chir Orthop*, 2001; 87, 237-247.
- [12] Caton J. Allongement progressif des membres par clou centro-médullaire. In : *Techniques Chirurgicales d'Orthopédie Pédiatrique : membres inférieurs, bassin*. Carlioz H., Kohler R., Elsevier, Paris, 2005.
- [13] Caton J., Panisset J.C., Rubini J., Fau D., Rachidi I., Michel F., Michel C.R. et le GENAC. L'allongement progressif des membres par clou centro-médullaire d'allongement, communication au 1er congrès européen d'orthopédie, EFORT, Paris, 1993, *J Bone joint Surg*, 1993; 75B suppl. II: 156.
- [14] Caton J., Chotel F., Chatelain. Inégalités de longueur des membres inférieurs : cause, diagnostic, prévision et traitement. *EMC Appareil locomoteur* 15-330-A-10, Elsevier, Paris, 2008.
- [15] Guichet J.M., Deromedos B., Donnan L.T., Peretti G., Lascombes P., Bado F. Gradual femoral lengthening with the « ALBIZZIA » intra medullary nail. *J Bone Joint Surg*, 2003; 85A: 838-848.
- [16] Baumgart R., Betz A., Schweiberer L. A fully implantable motorized intra medullary nail and bone transport. *Clin Orthop*, 1997; 343: 135-143.
- [17] Pejin Z. Technique de mise en place et d'allongement du clou ISKD. *La Gazette de la SOFOP*, 2015; 43: 6-8
- [18] Accadbled F., Pailhé R., Cavaignac F., Sales de Gauzy J. Bone lengthening using the FIT BONE motorized intra medullary nail. The first experience in France. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & research*, 2016; 102: 217-222.
- [19] Paley D. Precise intra medullary limb lengthening system. *Expert review of medical devices*, 2015; 12 (3): 231-249.