

# Trente-cinq années d'embrochage centro médullaire élastique stable (ECMES) dans les fractures de l'enfant : une méthode toujours jeune

## Thirty Five Years of Intramedullary Flexible Nailing (FIN) in the Treatment of Children Fractures: Still a Young Method

P Lascombes, C Steiger, A Gonzalez, G de Coulon, R Dayer

Centre médical universitaire de Genève (CMU) - Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG).

### Mots clés

- ◆ Fracture
- ◆ Enfant
- ◆ Embrochage centromédullaire élastique

### Résumé

L'embrochage centromédullaire élastique stable (ECMES) est un concept de traitement des fractures des os longs de l'enfant qui allie le respect de la physiologie de la réparation des fractures, l'innocuité vis-à-vis des structures de croissance, et le caractère mini invasif de l'approche chirurgicale. Dans le passé, de nombreux chirurgiens se sont contentés de positionner une broche rectiligne dans le canal médullaire. Ces ostéosynthèses instables ont été abandonnées au profit de fixations rigides développées chez l'adulte mais inadaptées à l'os en croissance. Si une publication espagnole rapporte l'ECMES dès 1977, l'école de Nancy a permis le développement international de cette méthode innovante. A ce jour, les pays industrialisés comme les pays en voie de développement traitent ainsi de nombreux enfants.

Le principe de stabilisation des fractures repose sur l'introduction, à distance du foyer de fracture, de deux broches ou clous dans le canal médullaire. Ceux-ci doivent impérativement être cintrés pour pouvoir travailler en opposition à l'intérieur de l'os tandis que leur diamètre doit être au moins égal à 40 % de celui du canal médullaire. Le respect de ces principes fondamentaux est le gage du bon résultat. Tel un forgeron, le chirurgien doit adapter la forme des implants au type de la fracture.

Les indications principales concernent les fractures diaphysaires dont les fractures des deux os de l'avant-bras, du fémur, du tibia et de l'humérus. Des fractures métaphysaires peuvent également bénéficier de cette ostéosynthèse élégante dont les fractures du col radial qui ont vu le taux de nécrose épiphysaire pratiquement disparaître.

### Keywords

- ◆ Fracture
- ◆ Child
- ◆ Flexible nailing
- ◆ Elastic nails

### Abstract

The intramedullary flexible nailing (FIN) technique is a surgical concept of treatment of children long bones fractures. Advantages of FIN combine the respect of the fracture repair biology, the safety to the growth plates, and a mini invasive approach. In the past, many surgeons have used straight pins into the medullary canal. These unstable osteosynthesis were abandoned in favour of adult implants, but unsuitable for growing bones. If a Spanish publication reports the FIN in 1977, the School of Nancy helped the international development of this innovative method. To date, both industrialized countries and developing countries treat many children by the FIN technique.

The stabilization of the fracture is due to two curved nails introduced into the medullary canal, away from the fracture. They must be bent in order to work in opposition inside the bone. Their diameter must be at least equal to 40% of the medullary canal. Compliance with these principles is the guarantee of good results. As a blacksmith, the surgeon must adapt the shape of the implants to the type of fracture.

FIN Indications are diaphyseal fractures of femur, tibia, humerus, and both bones of the forearm. Some metaphyseal fractures can also benefit from this elegant fixation: in the radial neck fractures, the rate of epiphyseal necrosis virtually disappears with the FIN technique.

L'embrochage centro médullaire élastique stable (ECMES) est une technique chirurgicale d'ostéosynthèse destinée à traiter les fractures des os longs de l'enfant et de l'adolescent. Il consiste à introduire dans le canal médullaire, par une corticotomie située à distance du foyer de fracture, deux clous cintrés. De façon à stabiliser la fracture, les courbures des deux clous sont en opposition en regard du foyer de fracture selon le principe des deux arcs séquents publié par Firica (1).

La technique de l'ECMES, initialement décrite pour les fractures des deux os de l'avant-bras à Séville en 1977 (2), a été développée et enseignée par l'école française de Nancy dès le début des années 80. Les Dr JP Métaizeau (3) et JN Ligier (4), chefs de clinique dans le service du Professeur Prévot ont été les pionniers de la méthode. Le Professeur P Lascombes a ensuite largement contribué à sa diffusion (5).

### Correspondance :

Professeur Pierre Lascombes, Hôpital d'enfants - HUG - Service d'orthopédie pédiatrique  
Rue Willy Donzé 6 - CH - 1211 Genève 14.  
Tél : +41 22 372 47 86 / Fax : +41 22 372 47 83 - E-mail : pierre.lascombes@hcuge.ch

L'ECMES n'est pas un simple embrochage centro médullaire dans la mesure où des petits clous rectilignes ne peuvent pas empêcher un défaut rotatoire (6). Il impose donc au chirurgien une réflexion stratégique dans la décision de l'approche chirurgicale (antégrade versus rétrograde), dans le choix de la taille des clous, dans leur orientation intra osseuse. Des articles et des livres permettent d'améliorer les connaissances de la méthode, et de définir ses indications et ses limites (5,7). Dans la langue anglaise, l'ECMES est traduit du côté européen par « elastic stable intramedullary nailing (ESIN) », tandis que les américains lui préfèrent « flexible intramedullary nailing (FIN) » (8).

Les principes de l'ECMES sont le respect de la biologie de la consolidation osseuse de l'enfant par une fixation centromédullaire à foyer fermé, la non-agression des physes évitant ainsi les troubles de croissance, l'approche chirurgicale mini invasive, et la récupération fonctionnelle précoce rendant inutile dans la majorité des cas une immobilisation complémentaire. La qualité des résultats fait que la méthode est aujourd'hui acceptée dans le monde entier, ses avantages étant largement reconnus. Le faible coût des implants la rend également accessible à de nombreux pays, y compris dans des régions où l'absence d'amplificateur de brillance au bloc opératoire peut être compensée par un court abord chirurgical du foyer de fracture pour aider le passage intra osseux des clous. La littérature mentionne un taux des complications pouvant atteindre jusqu'à 50 % (9). Or, des bonnes indications et une technique chirurgicale rigoureuse contribuent facilement à réduire leur survenue. Dans une série prospective de 100 patients traités par des chirurgiens seniors et juniors de notre équipe, le taux de complication était égal à 12 % (9). Mais c'est encore trop, et le respect précis de la méthode doit pouvoir encore abaisser ce pourcentage. Notre objectif principal est donc d'aider le lecteur à diminuer la survenue de ces complications. Dans un dernier chapitre, nous décrirons des applications de l'ECMES en traumatologie et orthopédie pédiatrique.

## Complications : comment les éviter

### Déviations et cals vicieux, déplacements secondaires, migration des clous

Pour les fractures du fémur, du tibia et de l'humérus, la meilleure construction biomécanique est obtenue en plaçant les deux clous de façon à ce que leur concavité soit opposée et que le ventre de chaque courbure siège à proximité du foyer de fracture. Ainsi, dans l'idéal, les clous se croisent au-dessus et au-dessous de la fracture. Pour les deux os de l'avant-bras, chaque os est encloué par un seul clou ; durant la progression du clou en intra médullaire, l'opérateur oriente la concavité de chacun vers l'os voisin (10). La deuxième condition de stabilité est le choix d'un diamètre suffisant de chaque clou. Comparé au diamètre du canal médullaire à sa portion la plus étroite (DCM), le diamètre de chaque clou (DC) doit être au moins égal à 40 % du DCM. Ce ratio DCM/DC de 40 % a été démontré (11). Il est valable pour le fémur et le tibia ; pour l'humérus, un ratio de 33 % nous est apparu comme suffisant. Pour chaque os de l'avant-bras, le ratio de 40 % doit être respecté pour chaque clou, sachant qu'il n'y a qu'un seul clou par os. Ainsi, le respect du montage biomécanique et du ratio recommandés protège des complications de type instabilité responsables des déformations et des cals vicieux.

### Retard de consolidation et pseudarthrose

Dans le même travail (11), il a été montré que les retards de consolidation sont en rapport soit avec un défaut bioméca-

nique du montage ECMES, soit avec un ratio inférieur à 40 %. De façon à avoir une analyse critique des publications scientifiques, nous encourageons les lecteurs à mesurer eux-mêmes le ratio sur les radiographies publiées dans les articles qui rapportent de telles complications.

### Refractures et fractures itératives

Les refractures sont des fractures qui surviennent à la suite d'un traumatisme et avant le délai prévu de la consolidation osseuse. Les clous sont alors pliés au niveau du foyer de fracture. Le traitement consiste à corriger le déplacement en dépliant les clous selon une habituelle manœuvre de réduction sous anesthésie générale. Occasionnellement, un, voire les deux clous peuvent être changés, mais cette attitude n'est pas une règle.

Les fractures itératives surviennent, par définition, durant la période située entre la consolidation osseuse et environ 18 mois plus tard. Cette complication est rapportée dans 6 à 14 % des fractures des deux os de l'avant-bras traitées de façon conservatrice (réduction - plâtre). Chez les patients traités par un ECMES, ces fractures surviennent après l'ablation des clous (12). Avant 1987, alors que nous retirions les clous avant le 6ème mois après la fracture, nous avons eu à déplorer 3 fractures itératives parmi 50 cas (6 %). Depuis 1988, nous retirons les clous de ces fractures diaphysaires de l'avant-bras systématiquement après 6 mois : le taux de fracture itérative a été diminué à 1 pour 300 cas (0.3 %) (13).

### Ostéomyélite

Malgré la prophylaxie per opératoire, une infection osseuse retardée a été observée dans 0.2 % de notre expérience. Toutes celles-ci ont été mises en évidence après la consolidation osseuse, et toutes ont guéri après identification du germe, parage local et antibiothérapie adaptée. Aucune pseudarthrose septique n'est survenue parmi plus de 3 000 patients.

### Syndrome des loges

Quelques articles font état de l'association d'un syndrome des loges et d'un ECMES. Pour les fractures de l'avant-bras, cette complication semble être d'origine iatrogène et secondaire à un temps de manipulation de réduction de la fracture extrêmement long (14). Pour éviter cette complication, nous recommandons l'abord chirurgical du foyer de fracture qui permet une réduction ouverte dès que la réduction orthopédique devient impossible au bout de 20 minutes environ. En ce qui concerne la jambe, les fractures comminutives et les patients de plus de 50 kg sont à risque, sans pour autant pouvoir incriminer l'ECMES (15). Au contraire, en présence d'un syndrome de loge, l'ECMES facilite le diagnostic et les fasciotomies, ce qui le rend avantageux par rapport à une immobilisation plâtrée.

### Complications vasculaires, nerveuses et tendineuses

Les plaies neurologiques et vasculaires per opératoires sont évitables. Pour les fractures de la diaphyse humérale, le chirurgien doit prêter attention à l'orientation du clou lors du passage du foyer de fracture : la pointe ne doit pas être orientée vers l'arrière où le risque de fausse route vers le nerf radial est grand. Lors de l'abord du radius distal et latéral, l'incision cutanée est légèrement décalée en avant de la ligne latérale. Ainsi, la branche sensitive du nerf radial et la veine satellite sont épargnées. Ensuite, le forage de la corticotomie est dirigé vers le dedans et l'arrière si bien que le risque de

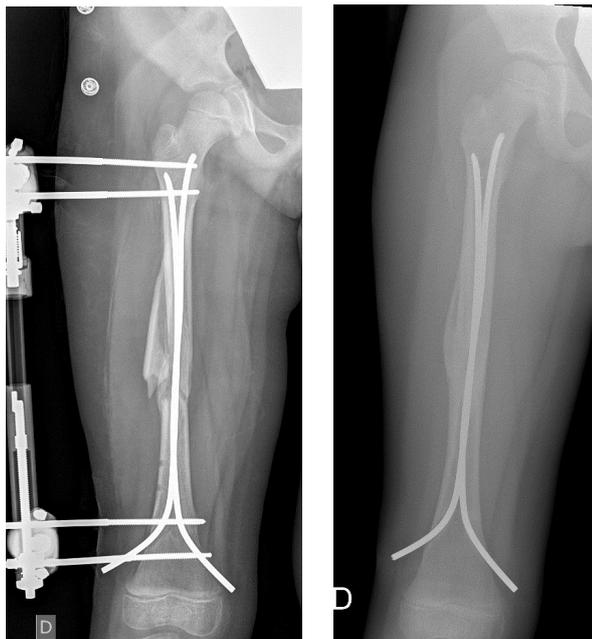


Figure 1. Fille âgée de 6 ans, collision à ski, fracture du fémur, tiers moyen, avec un troisième fragment. ECMES avec 2 clous de 3.5mm (ratio = 42 %) et fixateur externe. 6ème semaine post opératoire avant l'ablation du fixateur externe (a), 6ème mois post opératoire avant l'ablation des clous (b).



Figure 2. Garçon âgé de 10 ans, chute d'un mur, fracture des deux os de l'avant-bras (a). Un abord chirurgical du radius est réalisé après de nombreuses tentatives de réduction infructueuses. ECMES avec deux clous de 2.25 mm, ratio radial = 39 %, ratio ulnaire = 43 %. Aspect au 7ème mois post opératoire (b,c).

dérapage de la pointe carrée vers l'artère radiale est faible. Quant à la lésion des tendons extenseurs du pouce, dont principalement le tendon long extenseur, elle est en rapport avec l'abord radial distal postéro-médial utilisé dans les fractures du quart distal du radius (16,17). Cette localisation est d'ailleurs une indication limite de l'ECMES. Cependant, si cette technique est choisie, l'opérateur prend soin de recourber l'extrémité du clou pour éviter le conflit puis la rupture tendineuse.

### Complications cutanées

La fin de l'intervention consiste à couper les clous au-dessous du niveau de la peau de façon à conserver une longueur de quelques millimètres hors de l'os et pouvoir les retirer ultérieurement, tout en évitant une longueur excessive qui menace la peau d'une perforation. L'utilisation d'une pince coupante de type guillotine assure une section nette et non agressive du clou. Ce dernier, légèrement recourbé, est ensuite poussé dans l'os à l'aide d'un impacteur creux dont la taille choisie laisse entre 3 et 12 mm de clou extérieur à l'os.

### Inégalités de longueur

La stimulation de croissance post opératoire semble comparable à celle observée après un traitement conservateur. Évaluée à moins de 1 cm en moyenne dans la littérature (18), nous l'avons mesurée à 9 mm chez des patients âgés de moins de 10 ans (19). Les cas susceptibles de présenter une inégalité de longueur significative en fin de croissance sont les fractures transversales chez des sujets jeunes.

### Ablation du matériel

Cette question fait aujourd'hui débat entre une position opposée à l'ablation des clous en Amérique du Nord (20) et la nôtre. Nous ne souhaitons pas reporter sur les générations futures les difficultés d'ablation de matériel, sachant que

certains clous sont quasiment impossible à enlever après plusieurs années, surtout lorsqu'ils sont en titane du fait de leur ostéo intégration. D'une façon habituelle, les clous sont enlevés avant le 6ème mois post fracture pour toutes les localisations sauf pour les deux os de l'avant-bras où un délai minimal de 6 mois est impératif afin de diminuer le risque de fractures itératives.

## Indications de l'ECMES dans les fractures diaphysaires des os longs

### Fracture du fémur

Selon les recommandations de l'American Academy of Orthopedic Surgeons (AAOS) (21), la plupart des fractures diaphysaires du fémur survenant entre l'âge de 5 et de 11 ans doit être ostéosynthésée par un ECMES. Avant l'âge de 5 ans, l'ECMES est justifié chez les polytraumatisés et poly fracturés. Toutefois, si le plâtre pelvi-cruro-pédieux garde ses indications vers l'âge de 2 à 3 ans, il devient de plus en plus abandonné au profit de l'ECMES dès l'âge de 3 ans (22). Au-delà de l'âge de 11 ans et/ou d'un poids supérieur à 50 kg, des alternatives à l'ECMES comme les clous centro médullaires (CCM) pédiatriques à introduction par le grand trochanter sont préférées.

En fait, les véritables contre-indications à l'ECMES semblent être les fractures largement ouvertes de type Gustilo III. Pour les fractures très comminutives, les fractures du tiers distal avec un volumineux troisième fragment (car le montage antégrade est de réalisation bio mécanique difficile à réaliser parfaitement), et surtout les cas où le ratio DCM/DC de 40 % ne peut pas être respecté (fémurs dont le DCM est supérieur à 10 mm (11)), l'association d'un ECMES et d'un fixateur externe porté quelques semaines est une solution envisageable (Fig.1).



Figure 3. Garçon âgé de 12 ans, poly fracturé (fémur et tibia contre-latéral, avant-bras, nez) à la suite d'une collision en ski. Fracture fermée de la jambe gauche (a). Contrôle post opératoire de l'ECMES à l'aide de deux clous de 4.0 mm, ratio de 35 % (b). Résultat à 9 mois (c).



Figure 4. Fille âgée de 11 ans. Fracture étagée de l'humérus et de l'avant-bras distal en passant la main dans un sèche-linge (a). ECMES antégrade unipolaire, deux clous de 3.0 mm, ratio = 30 %. Un plâtre brachio-ante brachial est porté 6 semaines. Consolidation en 2 mois (b).

### Fractures des deux os de l'avant-bras

Durant ces dernières années, l'excellence des résultats a poussé les chirurgiens à élargir les indications de l'ECMES dans les fractures des deux os de l'avant-bras. Classiquement les fractures irréductibles, instables et itératives, ainsi que de nombreuses lésions de Monteggia, sont des indications devenues incontournables de l'ECMES (10) (Fig.2). Mais les indications d'ECMES concernent également des enfants âgés de plus de 8 ans pour lesquels la récupération précoce de la fonction du membre supérieur est importante : écriture à l'école, musique, reprise précoce des activités physiques, natation durant les vacances d'été... Lorsque les deux os sont fracturés, le radius et l'ulna doivent tous les deux être fixés. Les résultats des ostéosynthèses d'un seul os sont nettement moins favorables que ceux de la fixation des deux os (23).

### Fractures de la jambe

Toutes les fractures de jambe ne sont pas accessibles à un traitement par ECMES (Fig.3). Dès lors que le DCM dépasse 10 mm, la stabilisation de la fracture devient difficile (11). L'ajout d'un troisième clou est une option réaliste. Lorsque la fibula est fracturée, son embrochage rétrograde peut contribuer à une stabilisation efficace. Chez les adolescents pour lesquels un CMM par la tubérosité tibiale encore en croissance est contre indiquée en raison du risque de genu recurvatum secondaire, l'association d'un ECMES à un fixateur externe porté 4 à 6 semaines (comme pour le fémur) est une solution acceptable (24). Quant aux fractures isolées du tibia, l'opérateur doit prévenir la tendance au varus par une orientation correcte des deux clous.

### Fractures de l'humérus

Ces fractures peuvent bénéficier d'une fixation par ECMES chez les adolescents, lorsque celles-ci sont très instables et surviennent chez les patients poly fracturés voire polytraumatisés (Fig.4).

### Fracture de la clavicule

Récemment, les indications thérapeutiques des fractures de la clavicule chez l'adolescent se sont modifiées au profit

d'ostéosynthèses justifiées dans les fractures à fragments multiples, avec un raccourcissement initial de 15 à 20 mm, voire avec menace cutanée. L'embrochage avec un seul clou est devenu une alternative utile (25) ; sa flexibilité lui permet de suivre les courbures de la clavicule et de rendre anatomique la réduction de la fracture (Fig.5).

## Applications en orthopédie pédiatrique

### Les fractures métaphysaires

Un matériel identique et des abords chirurgicaux identiques sont utilisés pour les fractures diaphysaires et métaphysaires. Dans les fractures métaphysaires, le principe bio mécanique est toutefois différent : il s'agit simplement de stabiliser la métaphyse et/ou l'épiphyse par deux clous divergents. Reprenant les principes d'Ender pour le col fémoral (26), de Hackethal pour l'humérus proximal (27), voire de Foucher pour le 5ème métacarpien (28), l'ECMES est volontiers utilisé chez les adolescents pour les fractures de l'humérus proximal (29), plus rarement pour les fractures supracondyliennes du coude (30). L'ECMES de la fracture du col radial conçu par Métaizeau en 1981 et considéré alors comme une révolution a permis de diminuer significativement les nécroses de la tête radiale par rapport aux abords chirurgicaux directs (31,32). Quant aux fractures du col fémoral de l'enfant, elles ne sont pas une indication à l'ECMES, car une réduction et une stabilité parfaite sont requises.

### Les kystes osseux solitaires

Ces tumeurs osseuses bénignes, essentiellement situées au niveau de l'humérus et du fémur proximal sont volontiers à risque de fracture pathologique. Leur diagnostic doit être certain avant d'entreprendre un ECMES. Ce dernier a pour vocation, non pas de guérir le kyste, quoique des guérisons précoces sont volontiers observées, mais de protéger l'enfant des fractures récurrentes (33,34). Toutefois, la famille doit être informée que, du fait de la croissance osseuse, les clous donnent l'impression de « descendre » dans le kyste, et ils doivent de fait être changés à la demande.

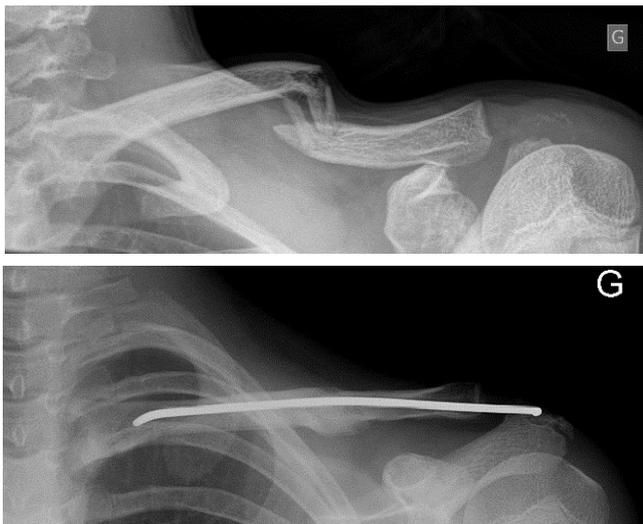


Figure 5. Garçon âgé de 14 ans, collision au hockey. Fracture complexe de la clavicule (a). Embrochage élastique, clou de 2.5 mm. Résultat à 5 mois (5).

### Fractures et ostéogénèse imparfaite

Si les clous d'allongement passif sont justifiés dans la majorité des cas, le canal médullaire de certains os longs est si fin qu'aucun de ces clous ne peut être utilisé. Dans ces situations, l'ECMES coulissant a une indication justifiée (35,36). Il convient alors, pour le fémur par exemple, d'utiliser un clou antégrade au travers du grand trochanter et un clou rétrograde introduit dans un condyle fémoral. Chaque clou, traversant une physe, coulisse en regard de l'autre avec la croissance osseuse. De façon à éviter leur migration dans ces os porotiques, leur extrémité recourbée doit être fixée par un fil non résorbable à l'os lui-même.

### Allongement osseux progressif par fixateur externe et ECMES

Cette association, décrite lors de la dernière décennie, est certainement un atout majeur de l'ECMES. Due à l'idée de D Popkov, le fait d'associer deux clous de faible diamètre (2 à 2.5 mm dans un fémur par exemple) lors d'un allongement osseux progressif par fixateur externe a montré de nombreux avantages. Les déviations axiales pendant l'allongement sont rares en raison de l'effet mécanique lié à la présence des clous ; les infections sur les broches des fixateurs externes et les fractures après l'ablation du fixateur externe sont diminuées de façon significative par rapport au groupe sans ECMES. Mais c'est surtout la diminution impressionnante de l'index de consolidation démontré chez le chien (37) et chez l'homme (38,39) qui est séduisante. En effet, elle autorise l'ablation du fixateur externe plus précocement qu'en l'absence d'ECMES. Ce raccourcissement moyen de 20 % du temps de port du fixateur explique en partie la diminution significative des complications.

### Conclusion

Durant ces 35 dernières années, plusieurs milliers d'enfants fracturés ont été opérés dans le monde selon la technique chirurgicale d'ostéosynthèse dite de l'ECMES. Cette méthode simple, élégante et reproductible est efficace dès lors que les chirurgiens comprennent ses principes et qu'ils respectent les lois biomécaniques. Des indications thérapeutiques mesurées sont également le succès de cette méthode. Dans l'avenir, le

développement efficace des implants résorbables permettra d'éviter les complications cutanées et les questions liées à l'ablation du matériel (40). Nous tenons enfin à remercier tous les services d'orthopédie pédiatrique français qui ont su appliquer cette méthode parfaitement et qui ont largement contribué à son rayonnement international.

### Discussion en séance

#### Question de R Kohler

Nécessité de l'application stricte de la technique ECMES = garantie des résultats ?

#### Réponse

Je vous remercie de votre question et comme vous le savez, notre métier ne peut pas garantir le 100 % du succès. Néanmoins, dans les cas où le respect des principes biomécaniques et du ratio DC/DCM > 40 % est appliqué, nous n'avons pas observé de déformation ni de cal vicieux. La courbe ROC est très démonstrative (11). Le problème vient du fait que de nombreux résultats sont favorables malgré un montage défailant chez les jeunes enfants. Dans ces pratiques, il est clair que le chirurgien ne guide pas son geste selon les principes édictés. Il a de la chance tant que les cas sont favorables. Mais un jour apparaît un cas qui nécessite un parfait montage et un bon choix de la taille des clous. Et dans ce cas, non seulement une déformation peut apparaître, mais sa correction est difficile par méconnaissance de la technique. Dans la préface du livre ECMES (5), JP Métaizeau concluait : « Si certains montages aberrants donnent souvent de bons résultats, il ne faut pas en déduire que l'on peut faire n'importe quoi et qu'il suffit de mettre deux broches sans tenir compte ni de leur calibre, ni de leur longueur, ni de leur point d'entrée, ni de leur position. Tous les mauvais résultats sont dus à de mauvais montages ou de mauvaises indications ».

#### Question de L Sedel

Importance du matériau des broches : acier versus titane ?

#### Réponse

Je vous remercie de votre question et comme vous le savez les matériaux ont une importance. Les différences principales sont une plus grande rigidité et une moindre élasticité pour l'acier que pour le titane (5, chapitre 4). Toute la difficulté réside dans le fait que les critères absolus font défaut. En effet, par définition, il faut un montage élastique autorisant une faible mobilité autour du point d'équilibre souhaité qui correspond à la réduction anatomique et un montage rigide qui empêche les déformations post opératoires. Mais la rigidité absolue n'est pas requise, contrairement au pré requis des clous centromédullaires. Certaines études cliniques font cependant état d'un plus grand nombre de complications avec le titane versus l'acier (1). Quant aux études biomécaniques, elles sont à l'origine de controverses, certaines avançant des arguments pour l'un ou l'autre des biomatériaux (2,43). Le chirurgien doit donc choisir. Pour ma part, je suis resté fidèle au titane pour les fractures du fémur et du tibia, mais il m'arrive d'utiliser l'acier sans pouvoir démontrer scientifiquement quel est le meilleur métal. Un fait certain est qu'il ne faut pas s'imaginer de pouvoir enlever facilement des clous en titane plusieurs années après leur implantation.

1. Wall EJ, Jain V, Vora V, Mehlman CT, Crawford AH. Complications of titanium and stainless steel elastic nail fixation of pediatric femoral fractures. *J Bone Joint Surg.* 2008; 90:135-13.
2. Mahar AT, Lee SS, Lalonde FD, Impelluso T, Newton PO. Biomechanical comparison of stainless steel and titanium nails for fixation of simulated femoral fractures. *J. Pediatr Orthop.* 2004; 24: 638-41.
3. Perez A, Mahar A, Negus C, Newton P, Impelluso T. A computational evaluation of the effect of intramedullary nail material properties on the stabilization of simulated femoral shaft fractures. *Med Eng Phys.* 2008; 30: 755-60.

## Références

1. Firica A, Popescu R, Scarlet M, Dimitriu M, Jonescu V. L'ostéosynthèse stable élastique, nouveau concept biomécanique. Étude expérimentale. *Rev Chir Orthop* 1981;(67 suppl)2:82-91.
2. Pérez Sicilia JE, Morote Jurado JL, Corbacho Gironés JM, Hernández Cabrera JA, González Buendía R. Osteosintesis percutánea en fracturas diafisarias de antebrazo en niños y adolescentes. *Rev Esp de Cir Ost.* 1977;12:321-34.
3. Métaizeau JP. Ostéosynthèse chez l'enfant: Flexible Intramedullary Nailing. Montpellier: Sauramps Médical. 1988.
4. Ligier JN, Métaizeau JP, Prévot J, Lascombes P. Flexible Intramedullary Nailing of femoral shaft fractures in children. *J Bone Joint Surg.* 1988;70B:74-7.
5. Lascombes P. Embrochage centromédullaire élastique stable. Elsevier Masson, Paris. 2006:320p. Analyse : Aronsson D. *J Pediatr Orthop.* 2008;28:391.
6. Rush LV, Rush HL. A medullary fracture pin for spring-type fixation, as applied to the femur. *Mississippi Doctor.* 1949;27:119-26.
7. Lascombes P, Haumont T, Journeau P. Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents. *J Pediatr Orthop.* 2006;26:827-34.
8. Lascombes P. Flexible intramedullary nailing in children. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2010 :317p.
9. Lascombes P, Nespola A, Poircuittie JM, Popkov D, de Gheldere A, Haumont T, Journeau P. Early complication with flexible intramedullary nailing in childhood fracture: 100 cases managed with precurved tip and shaft nails: *Orthop Traumatol Surg Res.* 2012;98:369-75.
10. Lascombes P, Prévot J, Ligier JN, Métaizeau JP, Poncelet T. Flexible Intramedullary Nailing in forearm shaft fractures in children: 85 cases. *J Pediatr Orthop.* 1990;10:167-71.
11. Lascombes P, Huber H, Fay R, Popkov D, Haumont T, Journeau P. Flexible intramedullary nailing in children: nail to medullary canal diameters optimal ratio. *J Pediatr Orthop.* 2013;33:403-8.
12. Makki D, Kheiran A, Gadiyar R, Ricketts D. Refractures following removal of plates and elastic nails from paediatric forearms. *J Pediatr Orthop B.* 2014; 23:221-6.
13. Lascombes P. Fractures des deux os de l'avant-bras chez l'enfant et l'adolescent. Conférences d'enseignement 2008 de la SoFCOT. In Cahiers d'enseignement de la SOFCOT, Elsevier Masson, Paris. 2008;255-71.
14. Yuan PS, Pring ME, Gaynor TP, Mubarak S, Newton PO. Compartment syndrome following intramedullary fixation of pediatric forearm fractures. *J Pediatr Orthop.* 2004;24:370-5.
15. Pandya NK, Edmonds EW, Mubarak SJ. The incidence of compartment syndrome after flexible nailing of pediatric tibial shaft fractures. *J Child Orthop.* 2011;5:439-47.
16. Aribit F, Laville JM. L'embrochage postéromédial dans les fractures à déplacement antérieur de la jonction diaphysométaphysaire distale du radius chez l'enfant. *Rev Chir Orthop.* 1999;85:858-60.
17. Brooker B, Harris PC, Donnan LT, Graham HK. Rupture of the extensor pollicis longus tendon following dorsal entry flexible nailing of radial shaft fractures in children. *J Child Orthop.* 2014;8:353-7.
18. Park SS, Noh H, Kam M. Risk factors for overgrowth after flexible intramedullary nailing for fractures of the femoral shaft in children. *Bone Joint J.* 2013;95-B:254-8.
19. Blanquart D. L'embrochage élastique stable des fractures du fémur chez l'enfant. Thèse de médecine, Nancy I. 1987.
20. Levy JA1, Podeszwa DA, Lebus G, Ho CA, Wimberly RL. Acute complications associated with removal of flexible intramedullary femoral rods placed for pediatric femoral shaft fractures. *J Pediatr Orthop.* 2013;33:43-7.
21. Kocher MS, Sink EL, Blasler RD, Luhmann SJ, Mehlman CT et al. American Academy of Orthopaedic Surgeons. American Academy of Orthopaedic Surgeons clinical practice guideline on treatment of pediatric diaphyseal femur fracture. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92:1790-2.
22. Heffernan MJ, Gordon JE, Sabatini CS, Keeler KA, Lehmann CL et al. Treatment of Femur Fractures in Young Children: A Multicenter Comparison of Flexible Intramedullary Nails to Spica Casting in Young Children Aged 2 to 6 Years. *J Pediatr Orthop.* 2015 ;35 :126-9.
23. Colaris J, Reijman M, Allema JH, Kraan G, van Winterswijk P et al. Single-bone intramedullary fixation of unstable both-bone diaphyseal forearm fractures in children leads to increased redisplacement: a multicentre randomised controlled trial. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133:1079-87.
24. Sun LJ1, Wu ZP, Guo XS, Chen H. Management of distal third tibial fractures: comparison of combined internal and external fixation with minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis. *Int Orthop.* 2014;38:2349-55.
25. Saha P, Datta P, Ayan S, Garg AK, Bandyopadhyay U, Kundu S. Plate versus titanium elastic nail in treatment of displaced midshaft clavicle fractures: A comparative study. *Indian J Orthop.* 2014;48:587-93.
26. Ender J, Simon-Weidner R. Die Fixierung der trochanteren Brüche mit rundem elastischem Condylennägeln. *Acta Chir Austriaca.* 1970;1:40-2.
27. Hackethal KH. Volloperative geschlossene Frakturposition und percutane Markraum-Schienung bei Kindern. *Langenbeck's. Arch Klin Chir* 1963;304:621-6.
28. Foucher G, Chemorin C, Sibilly A. Nouveau procédé d'ostéosynthèse originale dans les fractures du tiers distal du cinquième métacarpien. *Nouv Presse Méd* 1976;5:1139-40.
29. Sessa S, Lascombes P, Prévot J, Gagneux E, Blanquart D. Embrochage centromédullaire dans les fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus chez l'enfant et l'adolescent. *Chir Pédiatr* 1990;31:43-6.
30. Prévot J, Lascombes P, Métaizeau JP, Blanquart D. Fractures supracondyliennes de l'humérus de l'enfant: traitement par embrochage descendant. *Rev Chir Orthop* 1990;76:191-7.
31. Métaizeau JP, Prévot J, Schmitt M. Réduction et fixation des fractures et décollement épiphysaires de la tête radiale par broche centromédullaire. *Rev Chir Orthop* 1980;66:47-9.
32. Métaizeau JP, Lascombes P, Lemelle JL, Finlayson D, Prévot J. Reduction and fixation of displaced radial neck fractures by closed intramedullary pinning. *J Pediatr Orthop* 1993;13:355-60.
33. Roposch A, Saraph V, Linhart WE. Flexible intramedullary wiring for the treatment of unicameral bone cysts in long bones. *J Bone Joint Surg* 2000;82A:1447-53.
34. Cha SM1, Shin HD, Kim KC, Kang DH. Flexible intramedullary nailing in simple bone cysts of the proximal humerus: prospective study for high-risk cases of pathologic fracture. *J Pediatr Orthop B.* 2013;22:475-80.
35. Métaizeau JP. L'embrochage centromédullaire coulissant. Applications au traitement des formes graves d'ostéogenèse imparfaite. *Chir Pédiatr* 1987;28:240-3.
36. Boutaud B, Laville JM. L'embrochage centromédullaire coulissant dans l'ostéogenèse imparfaite. *Rev Chir Orthop* 2004;90:304-11.
37. Popkov DA, Popkov AV, Kononovich NA, Barbier D, Ceroni D, Journeau P, Lascombes P. Experimental study of progressive tibial lengthening in dogs using the Ilizarov technique. Comparison with and without associated intramedullary K-wires. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014;100:809-14.
38. Shevtsov VI, Popkov AV, Popkov DA, Yerofeev SA, Prévot J, Lascombes P. Embrochage centromédullaire dans les allongements osseux selon Ilizarov. *Rev Chir Orthop* 2004;90:399-410.
39. Popkov D, Popkov A, Haumont T, Journeau P, Lascombes P. Flexible intramedullary nail use in limb lengthening. *J Pediatr Orthop.* 2010;30:910-8.
40. Sinikumpu JJ1, Keränen J, Haltia AM, Serlo W, Merikanto J. A new mini-invasive technique in treating pediatric diaphyseal forearm fractures by bioabsorbable elastic stable intramedullary nailing: a preliminary technical report. *Scand J Surg.* 2013;102:258-64.