
UNIVERSITÉ DE LAUSANNE - FACULTÉ DE BIOLOGIE ET DE MÉDECINE
DÉPARTEMENT MÉDICO-CHIRURGICAL DE PÉDIATRIE

SERVICE DE CHIRURGIE PÉDIATRIQUE

**Le traitement des fractures du fémur de
l'enfant par enclouage centromédullaire
élastique stable (E.C.M.E.S.)**

THÈSE

préparée sous la direction du Professeur titulaire Olivier Reinberg

et présentée à la Faculté de biologie et de médecine de
l'Université de Lausanne pour l'obtention
du grade de

DOCTEUR EN MÉDECINE

WE
865
F01

par

B.M.T.E. 3492

Philipp FALLSCHEER

Médecin diplômé de la Confédération Suisse
Originaire de Minusio (Tessin)

Lausanne
2008

RÉSUMÉ

La prise en charge des fractures de l'enfant a beaucoup évolué au cours des quinze dernières années. Les spécificités pédiatriques des mécanismes de réparation osseuse rendaient nécessaires des modalités de traitement se différenciant de l'ostéosynthèse adulte classique qui suivait les principes de réduction anatomique et de stabilité.

Chez l'enfant le traitement conservateur des fractures reste le moyen le plus fréquemment employé. Cependant, ce traitement s'avérait imparfait dans le cas de la fracture fémorale car il impliquait une hospitalisation prolongée. Ceci a mené à réaliser des ostéosynthèses classiques et trop invasives chez des patients pédiatriques, entraînant des hyperallongements parfois importants. C'est ainsi que de nouvelles techniques adaptées à l'enfant sont apparues, tels que l'enclouage centro-médullaire élastique stable (ECMES) et le fixateur externe dynamisable (FED).

Nous rapportons ici l'expérience du Service de Chirurgie Pédiatrique du CHUV à Lausanne. Entre 1988 et 1996, nous avons recensé 265 cas de fractures fémorales chez des enfants âgés entre 0 et 15 ans : 227 sont diaphysaires, 23 épiphysaires, 8 cervicales, 7 per- ou sous-trochantériennes. Parmi celles-ci, 94 fractures diaphysaires, 11 épiphysaires, 4 trochantériennes et toutes les cervicales ont bénéficié d'un traitement chirurgical. Nous avons étudié rétrospectivement 96 fractures traitées par ECMES, ce qui représente le traitement chirurgical standard de la fracture diaphysaire fémorale dans notre service.

La majorité de ces fractures est liée aux accidents de la route (41%) ou au ski (27%). Le collectif comprend 7 enfants polytraumatisés, 3 fractures du membre inférieur controlatéral, 1 fracture du tibia homolatéral et une fracture instable du bassin. Après ECMES, la mobilisation débute généralement entre le troisième et le douzième jour postopératoire selon l'âge de l'enfant, le type de fracture et surtout les lésions associées. La durée moyenne d'hospitalisation est de 12 jours. Le suivi moyen est de 16 à 21 mois selon la catégorie d'âge, le type de fracture et la compliance du patient et des parents.

Dans les suites, nous avons pu observer que l'hyperallongement du membre concerné affecte plus souvent les patients les plus jeunes (3-5 ans) tandis que les raccourcissements du membre fracturé concernent les enfants plus âgés (12-15 ans). La complication la plus fréquemment rencontrée est la migration des broches dont la fréquence varie entre 8% et 25% selon l'âge. Un total de 11% tout âge confondu nécessite un traitement ou une reprise. Chez les enfants de moins de 8 ans, avec migration de broches, la moitié des cas nécessite d'une reprise, tandis que le montage est repris dans tous les cas de plus de 8 ans.

L'ECMES offre l'avantage d'une technique simple, peu invasive, peu coûteuse, qui utilise les capacités de guérison spécifique de l'enfant. Il permet des séjours hospitaliers courts et favorise une bonne consolidation respectant la biologie de guérison et autorisant une reprise précoce de l'activité physique. Les complications sont peu nombreuses et les résultats orthopédiques, comparables à ceux du traitement conservateur.

Table des matières :

	Abréviations.....	p. 5
1.	Objectifs.....	p. 6
2.	Principes généraux et spécificités des fractures des os longs des enfants.....	p. 8
2a	Particularités de l'os de l'enfant.....	p. 8
2b	Processus de consolidation des fractures chez l'enfant.....	p. 8
2c	Possibilités de remodelage et séquelles possibles.....	p.10
2d	Particularités anatomiques du fémur de l'enfant.....	p.13
2e	Biomécanique de la fracture fémorale de l'enfant.....	p.13
2f	Classifications des fractures fémorales.....	p.15
2g	Épidémiologie des fractures du fémur de l'enfant.....	p.16
3.	Traitements des fractures du fémur de l'enfant	p.17
3a	Traitement orthopédique.....	p.17
3b	Traitement par vis et plaque.....	p.18
3c	Traitement par clou.....	p.19
3d	Fixateur Externe Dynamisable.....	p.19
3e	ECMES.....	p.20
	1. Principe de l'ECMES.....	p.20
	2. Description de la technique.....	p.21
	3. Indications à l'ECMES.....	p.22
	4. Traitement postopératoire de l'ECMES.....	p.24
	5. Comparaison des techniques.....	p.25
3f	Equivalents d'ECMES.....	p.26
4.	Matériel et méthodes.....	p.27
4a	Matériel.....	p.27
4b	Critères d'inclusion.....	p.27
4c	Critères d'exclusion.....	p.28
4d	Répartition par âge et sexe.....	p.29
4e	Causes d'accidents.....	p.30
4f	Lésions associées.....	p.31

5.	Technique et réalisation.....	p.32
5a	Montage ascendant classique.....	p.32
5b	Variations de la technique.....	p.33
5c	Montage combiné.....	p.35
5d	Matériel d'ostéosynthèse en fonction de l'âge et du poids.....	p.38
6.	Résultats.....	p.39
6a	Répartition par type de fracture et nombre de fragments.....	p.39
6b	Répartition selon localisation de la fracture.....	p.41
6c	Durée du traitement et attitude postopératoire.....	p.43
6d	Ablation du matériel d'ostéosynthèse.....	p.44
6e	Suivi.....	p.45
6f	Réhabilitation fonctionnelle.....	p.46
6g	Migration de broches.....	p.47
6h	Inégalité de longueur.....	p.49
6i	Défaut de rotation.....	p.50
6j	Défaut d'axe.....	p.51
7.	Discussion.....	p.52
8.	Recommandations.....	p.57
9.	Bibliographie.....	p.59

ABRÉVIATIONS :

ECMES:	Enclouage centromédullaire élastique stable (aussi appelé enclouage de Prévot, de Métaizeau, de Nancy)
FED:	Fixateur externe dynamisable
ECMF:	Enclouage centromédullaire flexible
AMO:	Ablation du matériel d'ostéosynthèse

Littérature anglophone (synonymes) :

SEIN:	« Stable elastic intramedullary nailing » (=ECMES)
ESIN:	« Elastic stable intramedullary nailing » (=ECMES)
FSIMP:	« Flexible stable intramedullary pinning » (=ECMES)
TEN's:	« Titanium elastic nails » (=ECMES)
FIMN:	« Flexible intramedullary nailing » (=ECMF)

Liste des figures :

Fig. 1:	Force en flexion et fracture transverse
Fig. 2:	Force axiale et fracture oblique
Fig. 3:	Torsion et fracture spiroïde
Fig. 4:	Dépériostage lors d'ostéosynthèse par plaque
Fig. 5:	Concept biomécanique permettant des micromouvements
Fig. 6:	ECMES du fémur
Fig. 7:	Montage ascendant classique
Fig. 8:	Montage tripolaire déséquilibré
Fig. 9:	Montage tripolaire équilibré
Fig. 10:	Montage combiné pour pseudarthrose
Fig. 11:	Montage combiné pour fracture spiroïde distale
Fig. 12:	Montage combiné à trois broches
Fig. 13:	Migration de broches

Liste des tableaux /graphiques :

Tab. 1:	Pose d'ECMES selon l'âge de l'enfant
Tab. 2:	Délai de mise en charge ECMES décrit par les auteurs
Tab. 3:	Indication au FIMN
Tab. 4:	Fractures opérées par rapport au collectif de fractures traitées
Tab. 5:	Répartition des fractures par groupe d'âge et sexe
Tab. 6:	Causes de fracture fémorale
Tab. 7:	Lésions associées à la fracture fémorale
Tab. 8:	Fractures des membres inférieurs associées à la fracture fémorale
Tab. 9:	Diamètre des broches en fonction de l'âge
Tab. 10:	Diamètre des broches en fonction du poids
Tab. 11:	Type de fracture
Tab. 12:	Localisation de la fracture
Tab. 13:	Mobilisation et durée d'hospitalisation
Tab. 14:	Mise en charge totale
Tab. 15:	Durée moyenne entre pose d'ECMES et AMO
Tab. 16:	Délai du suivi par catégorie d'âge
Tab. 17:	Réhabilitation fonctionnelle à l'hôpital et à domicile
Tab. 18:	Migration de broches et reprise chirurgicale
Tab. 19:	Fréquence de l'hyperallongement et raccourcissement selon l'âge
Tab. 20:	Défaut de rotation
Tab. 21:	Défaut d'axe radiologique et clinique

1. OBJECTIFS

Les problèmes liés à l'ostéosynthèse rigide chez l'enfant sont connus depuis longtemps. Indépendamment de certains inconvénients communs aux adultes (cicatrice longue, risque infectieux), ils impliquent une réduction anatomique du foyer de fracture et une stabilisation rigide de celui-ci. La réduction anatomique est un des éléments induisant l'hyperallongement postfracturaire des membres de l'enfant, majoré par l'hyperhémie liée à la présence du corps étranger que constitue le matériel d'ostéosynthèse. En outre, ce type de traitement lèse beaucoup le périoste qui est une structure de croissance chez l'enfant.

C'est pourquoi, la majorité des fractures des membres chez l'enfant sont traitées de manière conservatrice avec succès. Cependant, si l'immobilisation par plâtre ou attelle convient bien aux segments distaux des membres, elle est plus difficile à mettre en œuvre pour les segments proximaux où, jusqu'au début des années 80, on lui préférait différents types d'extension. Les résultats étaient satisfaisants (10% de défaut de rotation, 40% d'enfants sans hyper-allongement secondaire, 5% d'hyperallongement supérieur à 2 cm), mais au prix d'un long séjour hospitalier (8 à 12 semaines) [1].

La décade 80-90 a vu apparaître des techniques de traitement chirurgical des fractures de l'enfant qui respectent mieux la spécificité de l'os pédiatrique. En effet, l'enfant n'est pas un adulte en miniature, et son squelette diffère par son anatomie, par sa biomécanique et par sa physiologie. En particulier, il dispose d'un processus d'ossification endomembranaire qui lui permet de générer de l'os directement depuis une structure conjonctive, en particulier depuis son périoste qui est particulièrement épais et richement vascularisé. En temps normal, le périoste est responsable de la croissance en volume de la diaphyse, mais il est capable, en cas de fracture, de former en un temps record (1 à 3 semaines) du cal périosté solide qui manchonne le foyer de fracture, pour autant que son activité soit stimulée par des petits mouvements et que l'hématome fracturaire soit laissé en place. Contrairement à l'adulte, cette mobilité du foyer de fracture n'entraîne pas de pseudarthrose.

Plusieurs techniques d'ostéosynthèse ont été développées au début des années 80 pour respecter ces particularités pédiatriques et favoriser au maximum le développement du cal périosté externe. Plusieurs conditions sont nécessaires : il faut conserver une relative mobilité du foyer de fracture, il faut supprimer les forces de cisaillement et favoriser les efforts de compression et de traction qui sont des stimuli physiologiques, enfin il faut préserver l'hématome fracturaire et le périoste, c'est-à-dire imaginer une solution à foyer fermé. Le fixateur externe dynamisable (FED) [2, 3, 4, 5] et l'enclouage centro-médullaire élastique stable (ECMES) [6] répondent à ces critères et sont devenus d'usage courant en traumatologie pédiatrique.

C'est ainsi que nous avons introduit en 1986 l'enclouage centro-médullaire élastique stable dans le Service de chirurgie pédiatrique du CHUV à Lausanne pour les fractures fermées de la diaphyse fémorale et le fixateur externe dynamisable pour certaines fractures ouvertes [7].

Il n'y a pas de consensus sur la façon de prendre en charge les fractures fémorales pédiatriques [8]. Le but de ce travail est de revoir les différentes façons de traiter les fractures fémorales de l'enfant et de replacer l'apport de l'ECMES dans ce contexte. Après un rappel théorique de la technique, nous analyserons le collectif lausannois entre 1988 et 1996 pour évaluer le bénéfice et les difficultés que l'introduction de cette méthode a entraîné avant de formuler nos conclusions.

2. PRINCIPES GÉNÉRAUX ET SPÉCIFICITÉS DES FRACTURES DES OS LONGS DES ENFANTS

a. Particularités de l'os de l'enfant :

Le squelette est initialement une matrice cartilagineuse chez le fœtus. Celle-ci va s'ossifier progressivement au cours du développement fœtal par le milieu des diaphyses. Puis dès le 9^{ème} mois de gestation, les épiphyses vont apparaître dans un ordre immuable, identique chez tous. Le noyau épiphysaire distal du fémur est le premier à apparaître. Il est contemporain de la naissance à terme. À la naissance, la diaphyse est constituée d'os fibrillaire (primaire) à l'exception de la diaphyse fémorale qui contient un os lamellaire avec des ostéocytes. Petit à petit, la masse cartilagineuse va diminuer pour être remplacée par du tissu osseux, de sorte qu'en fin de croissance, la majeure partie de la structure est ossifiée et le cartilage ne persiste que sur les surfaces articulaires.

Ceci engendre des spécificités anatomiques, biomécaniques et physiologiques spécifiques qui font que le squelette de l'enfant diffère de celui de l'adulte par:

- La présence de cartilages de croissance.
- Une remarquable hétérogénéité : c'est une structure composite.
- Un périoste épais : le périoste est une structure de croissance. Il est plus épais et empêche parfois le déplacement des fragments lors de fracture garantissant une meilleure protection des tissus mous. Sa vascularisation est très riche. Il est très résistant à la traction, moins aux forces de cisaillement.
- Une structure osseuse malléable : l'os pédiatrique possède une biomécanique spécifique.

b. Processus de consolidation des fractures chez l'enfant :

L'os est l'un des seuls constituants de l'organisme capable de réparation complète à la suite d'un traumatisme. La consolidation osseuse d'une fracture diaphysaire chez l'enfant est un raccourci du processus naturel de l'ostéogenèse, tandis que chez l'adulte, il s'agit d'un processus spécifique de guérison [9]. La traumatologie infantile bénéficie ainsi d'avantages tels que la capacité de guérison beaucoup plus rapide du fait de la croissance péri- et endostée encore active [10].

Une des particularités de l'enfant est d'être capable de fabriquer du tissu osseux à partir d'un autre tissu que l'os.

Normalement lors de la croissance: à partir du cartilage (ossification enchondrale) ou à partir du tissu conjonctif (ossification sous périoste intra-membraneuse des os longs ou du crâne et de la face).

Pathologiquement lors de fracture: Au moment de la fracture on observe la rupture des vaisseaux provenant des extrémités osseuses, des vaisseaux médullaires et des parties molles dont le saignement conduit à la constitution rapide d'un hématome dans la région [9]. L'ischémie locale mène à la libération d'enzymes protéolytiques qui attirent les cellules inflammatoires et libèrent le facteur de prolifération fibroblastique [6].

Entre 16 et 36 heures postfracture, on aura une prolifération de cellules pluripotielles mésenchymateuses aptes à le transformer en tissus osseux cartilagineux ou fibreux. Chez l'adulte, si la vascularisation est trop pauvre ou la mobilité trop importante, du fibrocartilage se forme à la place de l'os et persiste jusqu'à ce que les conditions vasculaires soient meilleures ou évoluent vers une non-union de type fibreux (pseudarthrose) [9]. Chez l'enfant, l'évolution se fait pratiquement toujours vers la transformation de l'hématome fracturaire en tissu osseux avec un cal périosté très précoce et « manchonnant » la fracture.

Le périoste est plus épais, plus richement vascularisé que celui de l'adulte, lâchement attaché à la diaphyse sous-jacente et capable d'une formation plus rapide du cal en réponse à un traumatisme. En croissance normale, la couche profonde du périoste synthétise essentiellement des fibroblastes à fort potentiel de différenciation en chondrocytes. Ces cellules vont s'ossifier avec l'apparition de chondrocytes hypertrophiés. Après que les agrégats cartilagineux extra- et intracorticaux se soient formés, la situation est analogue à celle d'un centre d'ossification primitif lors de la croissance osseuse embryonnaire [9]. Ainsi, la guérison d'une fracture chez l'enfant n'est que le processus normal de croissance en accéléré. Le premier tissu osseux sera déposé sur le cortex préexistant par les cellules périostées au cours des tous premiers jours [9] et la calcification et l'ossification surviendront lors de la phase hyperhémique entre une semaine et un mois.

Contrairement à l'adulte où la formation de cal périosté démontre une consolidation précaire risquant d'évoluer vers la pseudarthrose, chez l'enfant, la formation du cal périosté est précoce, stimulée par l'élasticité de l'os jeune (von Laer [11]). Il n'y a pratiquement jamais de pseudarthrose.

Au sixième jour apparaît du tissu ostéoïde. Autour de la première semaine débute la résorption ostéoclastique de l'os primaire et on assiste aux étapes de remodelage normales de l'os. L'hypervascularisation locale favorise la formation osseuse périphérique à partir du cal périosté qui est entre sept à huit fois plus perfusé que normalement [6].

Toute agression du foyer de fracture comme l'évacuation de l'hématome, la destruction du périoste et de la vascularisation périphérique ou médullaire, modifie considérablement le schéma de cette réparation osseuse [12, 13] et prive l'enfant de son processus de réparation naturel.

C'est pourquoi:

- Il faut tout tenter pour éviter d'évacuer l'hématome fracturaire, précurseur du cal périosté (pas de chirurgie ouverte si possible).
- Les fractures ouvertes sont plus longues à consolider que les fermées.
- Chez l'enfant, on cherche à stimuler le cal périosté issu de l'hématome primitif par des micromouvements dans le foyer de fracture, donc on évitera les montages rigides.
- Il n'y pas de nécessité de contact osseux entre les fragments pour qu'une fracture guérisse. Il suffit que les fragments soient dans le même hématome.

La durée approximative de consolidation de fractures chez l'enfant varie considérablement selon l'âge de l'enfant, et pour des patients de même âge, il existe de nombreuses différences individuelles. Cependant, en règle générale, la formation du cal est plus rapide que chez l'adulte. Seul un examen clinique et radiologique permet d'apprécier le degré de consolidation et de fixer la durée d'immobilisation nécessaire. Le cal osseux est formé à 1 semaine selon Métaizeau [6], d'autres parlent de consolidation clinique et radiologique à 3-4 mois [9]. Il s'agit d'un processus continu et difficilement mesurable dont seule la date de mise en charge est réellement pertinent.

La mise en charge précoce, les micromouvements au niveau du foyer de fracture stimulent la formation du cal périosté par ostéogenèse plus rapide et de bonne qualité. De ce fait, le délai de mise en charge ne traduit pas exactement la durée de guérison d'une fracture de l'enfant (Clavert, Dietz, Prévot, Goodship, Tjesen [9, 13, 14, 15, 16, 17]).

c. Possibilités de remodelage et séquelles possibles:

L'os de l'enfant est capable de remodelage du fait que des forces s'exercent sur les cartilages de croissance et du périoste.

- Par allongement et effacement des cals hypertrophiques.
- Les défauts d'axe (angulations) se corrigent par apposition de cal dans le sinus des angles et par stimulation du versant « raccourci » du cartilage de croissance.
- Mais pour corriger une angulation, il faut du temps. Un angle important qui peut être toléré chez un petit enfant, ne peut plus l'être lorsqu'on s'approche de la puberté.

- Les cartilages d'un os long ne participent pas de manière égale à la croissance. Certains cartilages sont plus actifs que d'autres et permettent donc plus de remodelage (épaule et genou).
- Il n'y a pas ou peu de correction des défauts de rotation.

La phase de remodelage va durer plusieurs années. Le cortex retrouve peu à peu son architecture ostéonique haversienne et la cavité médullaire tend à reformer une trabéculatation. Radiologiquement, le cal périosté diminue de taille [9].

En outre toute fracture chez l'enfant provoque une hyperhémie qui stimule les cartilages de croissance de la région concernée, donc entraîne transitoirement un hyperallongement à contrôler. Il existe un rapport entre la croissance en volume du cal et l'hyperallongement: l'allongement est inversement proportionnel au développement transverse de l'os.

Le potentiel de remodelage des cals de l'enfant permet souvent l'acceptation d'imperfections dans l'alignement initial des fractures permettant de recourir aux méthodes de réductions orthopédiques plutôt que chirurgicales. Cependant, les cals hypertrophiques de l'enfant ne se remodelent pas toujours et les résultats sont quelquefois mauvais [9].

Chez l'adulte, lorsque la consolidation est acquise et que l'activité a repris sans gêne, le traitement est considéré comme terminé. Chez l'enfant il ne peut en être ainsi tant que l'on ne s'est pas assuré que la croissance s'effectue normalement (inégalité de longueur, déviation axiale, épiphysiodèse,...).

- Le traitement d'une fracture de l'enfant ne se termine pas avec la consolidation de la fracture et une fonction restituée.
- Il s'achève lorsque l'intégrité des processus de croissance sans séquelle orthopédique a été vérifiée avec un recul suffisant.

Le contrôle à long terme fait donc partie du traitement des fractures de l'enfant.

Défaut d'angulation:

Le remodelage efface l'angulation du cal par résorption sur la convexité et apposition sur sa concavité. Il ne s'agit pas nécessairement d'une réelle correction de l'alignement longitudinal [9].

Le cal vicieux modifie la direction de croissance de la plaque conjugale en la faisant se réorienter perpendiculairement aux forces de réaction. Ceci explique la correction progressive de certaines déformations à la fois dans le plan sagittal (antécurvation et rétrocurvation) mais aussi dans le plan frontal (varus et valgus) [9].

Le pronostic est d'autant meilleur que : [9]

- le patient est jeune : avant 8 ans, la correction est presque complète, plus tard une angulation peut persister [9].
- la déformation se trouve dans le plan de mouvement de l'articulation [11], sagittal pour le fémur.
- la fracture se situe près d'une zone à forte activité de croissance (plaque de croissance).
- la déformation axiale est minime [9]. Cependant, le remodelage est meilleur si la déformation initiale est plus importante [9,11].

Prévoit décrit une correction de 6° dans les 3 ans postopératoires à raison de 2° par an [16].

Défaut de rotation :

Selon beaucoup d'auteurs, un décalage en rotation ne se corrige jamais [9]. D'autres affirment qu'il y a compensation fonctionnelle, sans qu'il y ait correction anatomique, ce qui mènerait beaucoup de patients présentant un défaut de rotation, à une disparition clinique de ce défaut pour autant qu'il reste modéré [11, 18, 19].

Défaut de longueur :

Dans les fractures diaphysaires, la cause la plus fréquente d'inégalité de longueur est la stimulation d'un ou plusieurs cartilages de croissance liée à l'hyperhémie accompagnant le processus de guérison. Une grande partie de l'hyperallongement est réalisée en 18 mois et finit après 3 ans [20, 21, 22]. Cependant, le squelette de l'enfant permet de corriger une inégalité de longueur par stimulation du côté controlatéral pour autant que la croissance ne soit pas terminée. Selon l'âge auquel survient la fracture, il ne reste plus assez de temps pour que cette compensation ait lieu, c'est pourquoi les hyperallongements ne se corrigent pas toujours de façon significative [11].

L'hyperallongement est bénéfique lors de raccourcissement au niveau du foyer de fracture, mais peut être gênante pour une fracture en place lorsqu'elle engendre une inégalité de longueur [9]. Les défauts inférieurs à 10 mm ne sont pas cliniquement importants [20, 23, 24, 25, 26].

L'hyperallongement est d'autant plus important que:

- La réduction est anatomique [7]
- Il y a du matériel d'ostéosynthèse. L'hyperémie est liée à la présence du corps étranger que constitue le matériel d'ostéosynthèse [7]
- La fracture est instable [11]
- Un défaut de translation induit un important remodelage [11].

Le raccourcissement volontaire, préconisé pour les enfants dans le but de prévenir l'hyperallongement, est à éviter pour les enfants de moins de 10 ans. En effet, la stimulation excessive de l'allongement, liée au remodelage inévitable du défaut de translation, dépasserait le raccourcissement volontaire [11]. Il serait également à éviter chez les jeunes de plus de 10 ans, car il fait courir un risque de raccourcissement en cas de fermeture précoce des cartilages de croissance [11]. On acceptera moins de raccourcissement lors de réduction de fractures chez les enfants plus âgés que chez les enfants de moins de 4 ans [27].

d. Particularités anatomiques du fémur de l'enfant

L'anatomie du fémur proximal est complexe. Initialement, la tête fémorale et le grand trochanter forment une masse confluyente de cartilage hyalin. L'épiphyse commence à s'ossifier entre le 4^{ème} et 6^{ème} mois. L'épiphyse du grand trochanter s'ossifie vers 4 ans.

Les artères circonflexes médiales et latérales forment un anneau artériel à la base du col fémoral. De cet anneau, des artères cervicales ascendantes montent le long du col pour nourrir la tête fémorale. Des artères partant de la métaphyse vont nourrir la tête en parcourant l'intérieur du col, mais dès l'apparition de la physe, cette voie disparaîtra. (Boitzy [28, 29])

La structure diaphysaire est plus simple, de forme tubulaire. Chez le petit enfant, elle décrit un léger arc à convexité antérieure et également interne avec un valgus physiologique oscillant entre 4° et 7°.

L'épiphyse fémorale distale est le seul centre d'ossification secondaire présent à la naissance.

La fermeture des cartilages de croissance dépend essentiellement de l'âge de la puberté qui est variable, mais aussi de plusieurs autres facteurs. Ainsi chez les filles, chez les personnes d'origine méditerranéenne et celles avec la peau foncée, elle va survenir plus précocement [27].

Il est à noter que les rapports anatomiques du fémur varient avec la croissance : chez l'adulte, le sillon fessier est approximativement situé à la hauteur de la ligne intertrochantérienne, tandis que chez le petit enfant, il est médiadiaphysaire. Ainsi un plâtre cruropédieux chez un petit enfant ne peut immobiliser le tiers proximal du fémur.

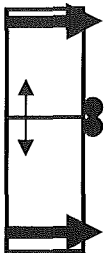
e. Biomécanique de la fracture fémorale de l'enfant

Sa forme tubulaire donne au fémur un maximum de résistance à la flexion qui constitue la contrainte principale à laquelle les os longs sont soumis lors de traumatismes. Cependant ils subissent aussi des compressions et des torsions.

La résistance de l'os à la flexion dépend de la force exercée multipliée par la longueur de son bras de levier.

$$(Résistance = Force \times Longueur)$$

La structure de l'os lui-même diminue les contraintes en flexion. Les courbures de certains os les mettent en ligne avec la force prédominante qui agit sur eux augmentant leur contrainte en compression mais diminuant leur contrainte en flexion [9]. Ceci explique la convexité antérieure physiologique du fémur.



Quand l'os subit une force en flexion : d'un côté elle sera en compression, de l'autre en tension. Cette dernière étant beaucoup plus destructrice que la compression, c'est elle qui initie la fracture dans la flexion, particulièrement chez l'enfant. La fissure démarre sur le côté en tension du cortex et se propage à angle droit par rapport à l'axe longitudinal du cylindre (fracture transverse) dans la flexion simple (fig.1).

Fig. 1 : Force en flexion et Fracture transverse

Des forces compressives axiales produiront un trait à 45° (oblique). La combinaison entre les deux types de force produira une fracture oblique-transverse ou en aile de papillon (fig.2).

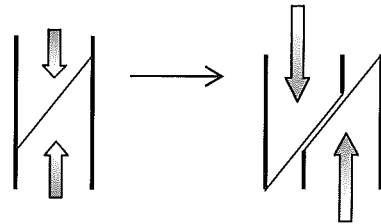
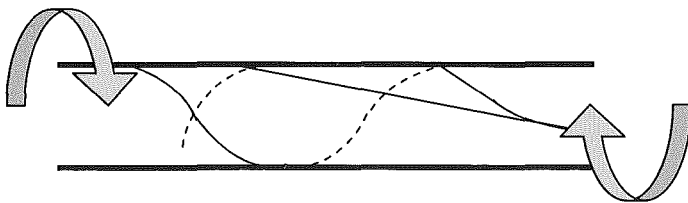


Fig. 2 : Force axiale et fracture oblique



La torsion provoque une fracture en spirale [9] (fig.3).

Fig. 3: Torsion et fracture spiroïde

Les muscles agissent comme des haubans qui maintiennent une antenne. Ils augmentent les contraintes en compression, mais ceci ne présente pas de désavantage puisque l'os a une plus grande résistance en compression qu'en tension [9, 16].

L'os possède des propriétés viscoélastiques dont les caractéristiques mécaniques varient selon la vitesse à laquelle les forces sont appliquées. Il faut plus d'énergie/unité de temps pour rompre l'os diaphysaire. (Clavert [9]).

Plus l'amplitude de la force est grande, plus grande est la destruction tissulaire ou plus complexe est la fracture produite (Clavert [9]).

f. Classifications des fractures fémorales :

Les fractures souspériostées non déplacées dites en cheveu et les fractures bois vert sont rares. Les fractures en motte de beurre sont essentiellement métaphysaires inférieures et se trouvent seulement chez le petit enfant [9].

Les fractures diaphysaires du fémur qui nous intéressent ici seront définies ainsi:

- tiers proximal (plus de 2 cm en dessous du petit trochanter chez le petit et 4 cm pour l'adolescent).
- jonction tiers proximal - tiers moyen.
- tiers moyen.
- jonction tiers moyen - tiers distal.
- tiers distal (plus de 7 cm au-dessus de l' interligne articulaire du genou, plus de 10 cm chez l'adolescent).

Ces dernières comportent parfois un risque de lésion vasculo-nerveuse associée du fait de la proximité vasculaire dans le canal de Hunter et de leur position juxtaosseuse dans le creux poplité [9].

Selon la cause :

Traumatique

Pathologique: il s'agit de fracture sur un „locus minoris resistentiae“ préexistant.

Il peut s'agir de :

- tumeur osseuse bénigne
- tumeur osseuse maligne
- os fragilisés après immobilisation plâtrée
- os fragiles constitutionnels (paraplégie, Lobstein, Durante)
- os fragiles acquis (ostéoporose juvénile, hyperparathyroïdie)

Dans les cas particuliers de fractures pathologiques les temps de consolidation peuvent être plus longs que la norme [12].

Selon Gustillo [30], pour les fractures ouvertes :

Stades:

- I : fracture avec plaie ouverte de moins de 1 cm de diamètre et sans contamination importante.
- II : avec plaie entre 1 cm et 10 cm de diamètre.
- IIIa : fracture avec plaie de plus de 10 cm recouverte par du tissu mou malgré la lacération, ou: traumatisme à haute énergie, indépendamment de la taille de la plaie.
- IIIb : grande plaie avec arrachement du périoste et exposition de l'os.
- IIIc : fracture ouverte avec lésion artérielle qui nécessite réparation.

g. Epidémiologie des fractures du fémur de l'enfant

Cette fracture est la troisième par ordre de fréquence chez l'enfant. Trois fois plus fréquente chez le garçon que chez la fille. Deux tranches d'âge sont particulièrement exposées : les enfants entre 3-5 ans et entre 15-16 ans (Clavert [9]).

Elle représente le 4-6% des fractures mais il s'agit de celle dont la durée du traitement est la plus invalidante [6]. L'indisponibilité temporaire mais assez longue chez un enfant d'âge scolaire est un des problèmes posé par cette fracture.

Rare chez le nouveau-né elle est liée à un traumatisme obstétrical et touche généralement le tiers moyen de la diaphyse. Chez le nourrisson, elle est secondaire à un traumatisme modéré comme une chute de la table à langer.

Chez l'enfant plus grand, les accidents de la voie publique représentent l'étiologie la plus fréquente avec 60% des cas. La deuxième cause étant les jeux avec 18% et la troisième avec 8% les sports [9].

La localisation la plus fréquente est le tiers moyen du fémur (60-70%) suivie par la localisation sous-trochantérienne (20%) [9].

3. TRAITEMENTS DES FRACTURES DU FÉMUR DE L'ENFANT

a. Traitement orthopédique

Longtemps proposé comme la seule voie thérapeutique pour les fractures chez l'enfant, le traitement orthopédique présente énormément d'avantages. Cependant, cette méthode a des limites et n'est pas exempte d'inconvénients. Si ceux-ci ont été longtemps tolérés, c'est essentiellement en raison de la mauvaise réputation du traitement chirurgical.

Il est particulièrement intéressant de comparer notre série avec celle de D. Vaucher, réalisée à Lausanne une décennie auparavant avec les mêmes patients [1].

Avantages :

Le traitement orthopédique respecte le foyer fermé, donc préserve l'hématome fracturaire, précurseur du cal. Le risque infectieux par inoculation directe n'existe pas. Sur le plan mécanique, le plâtre ou la traction ne constituent jamais une immobilisation stricte. Il persiste toujours dans le foyer une certaine mobilité dont le rôle favorable pour la consolidation est également connu [31, 32].

On peut ajouter à ces avantages, l'absence de cicatrice et de matériel d'ostéosynthèse à retirer.

Inconvénients :

Le principal inconvénient est la durée d'immobilisation avec une traction ou un grand plâtre difficile à manipuler avec pour corollaire l'absentéisme scolaire. Une absence de trois mois se solde souvent par le redoublement d'une classe donc la perte d'une année scolaire.

Le syndrome de Volkman est rare, mais ses séquelles sont graves. Cette complication existe au niveau des membres inférieurs également. A côté de ce risque rare mais majeur, d'autres complications moins sérieuses peuvent survenir : le cal vicieux est fréquent. Heureusement, la plupart du temps, le défaut est peu prononcé et il sera remodelé par la croissance. Mais il reste toujours un certain pourcentage d'anomalies définitives et préjudiciables à la fonction (cals vicieux rotatoires, ou cals vicieux situés dans un plan autre que celui de fonction de l'articulation adjacente) [33].

Enfin, certains états pathologiques particuliers contre-indiquent l'utilisation du traitement orthopédique. Entrent dans cette catégorie tous les enfants nécessitant un nursing particulier (polyfracturés, polytraumatisés) ou ne pouvant supporter une longue immobilisation en raison d'un trouble de l'ossification (Lobstein, paraplégiques, spina bifida, myopathes ...).

b. Traitement par vis et plaque

L'école suisse de Davos, sous l'impulsion de Müller et Boitzy, a particulièrement bien étudié les caractéristiques de la consolidation par fusion corticale per primam spécifique au montage rigide par plaque.

Malheureusement, si ces techniques ont eu des succès considérables chez l'adulte, chez l'enfant, la fixation rigide inhibe le cal périosté dont l'importance est prépondérante. Sa réalisation à foyer ouvert comporte un dépériostage, ou du moins une lésion partielle du périoste, sous-jacent à la plaque, qui est une structure de croissance en volume de la diaphyse. A long terme plus rigide que l'os, ce matériel dévie à son profit les forces axiales et supprime leur effet bénéfique sur la consolidation. La plaque ne permet pas l'épaississement des corticales et peut dans certains cas provoquer leur amincissement qui potentialise le risque de fracture itérative [6].

La plaque constitue un important matériel étranger qui augmente l'hypervascularisation et par-là, accroît le risque d'hyperallongement pouvant atteindre, voire dépasser 3 cm. L'ablation du matériel qui nécessite une seconde intervention peut redonner un coup de fouet à la croissance et ajouter quelques millimètres à une inégalité déjà préoccupante.

Les petites plaques théoriquement conçues pour l'enfant ne sont adaptées qu'à la taille de l'os et non à sa biologie. De solidité insuffisante, elles nécessitent une immobilisation plâtrée complémentaire et cumulent les inconvénients des deux méthodes, chirurgicale et orthopédique [32].

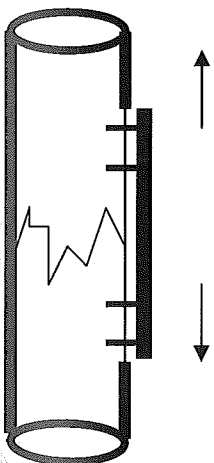


Fig. 4 : Dépériostage lors d'ostéosynthèse par plaque

Le périoste représente une structure de croissance pédiatrique importante. Un dépériostage assez important peut mener à une inégalité de longueur ou à une déviation axiale de l'os. La réduction anatomique et la réaction d'un corps étranger peut mener à l'hyperallongement.

Enfin il ne faut pas passer sous silence la rançon cosmétique de l'ostéosynthèse par plaque ni le risque infectieux encouru.

c. Traitement par clou

Les travaux d'Ender ont bien défini les bénéfices de l'enclouage centromédullaire de l'adulte.

Ce matériel mis en place à ciel fermé présente l'avantage de respecter le foyer de fracture et de ne pas vider l'hématome fracturaire. Ses inconvénients restent cependant nombreux chez l'enfant. Sans alésage, il laisse des possibilités de compression axiale dans le foyer mais contrôle mal la rotation. Avec alésage, il risque d'affaiblir considérablement les corticales déjà fines de l'enfant.

Enfin et surtout, le clou fémoral est fait pour être introduit par le grand trochanter qui est une structure de croissance chez l'enfant. Ainsi, outre le risque de lésion de l'artère circonflexe postérieure lors de l'introduction du clou, et par ce biais de nécrose de la tête et du col fémoral, on court un risque de valgisation par épiphysiodèse iatrogène du cartilage trochantérien. [34, 35, 36].

d. Fixateur Externe Dynamisable

Le fixateur externe a fait l'objet de plusieurs publications démontrant son utilité dans la population pédiatrique. Après les techniques "classiques" de fixateurs stables de type Hoffmann et Ilizarov, qui avaient donné des résultats satisfaisants (Stilli, Gregory, van Tets, Schranz, Sigulier, Levy [3, 8, 37, 38, 39, 40]), l'évolution s'est faite vers les fixateurs avec possibilité de dynamisation comme l'Orthofix (Probe, Weinberg, Davis [41, 42, 43]). Le fixateur externe a la caractéristique de permettre un repositionnement indirect des fragments principaux et l'avantage de stabiliser la fracture sans interférence avec l'hématome périfracturaire et sans toucher le périoste ou le cartilage de croissance. Le fixateur externe dynamisable correspond davantage que les techniques précédemment décrites, à la spécificité pédiatrique favorisant les micromouvements qui, perpendiculaires au foyer de fracture, stimulent le cal périosté.

Avantages Selon Weinberg [42]:

- intervention définitive qui garantit la mobilité précoce, et une bonne mobilité du genou.
- pas de reprise chirurgicale pour un éventuel repositionnement.
- pas toujours de deuxième narcose pour l'ablation.
- réalisation simple et rapide, ne lèse pas les structures de réparation fracturaire de l'enfant.
- peut être utilisé pour chaque groupe d'âge.

Nous y ajouterons le fait qu'il ne concerne pas le foyer de fracture, puisque les fiches sont placées à distance de celui-ci.

Le Fixateur externe peut être considéré comme insatisfaisant du point de vue du confort du patient, en raison de la présence d'un montage extérieur encombrant (Oetiker [44]), s'il est comparé à des techniques d'ostéosynthèse interne comme l'ECMES, le clou intramédullaire ou la plaque. Il sera peu toléré lors d'activité scolaire et pour d'autres activités extrascolaires.

e. ECMES

(1) Principe de l'ECMES

L'embrochage centromédullaire a depuis longtemps été préconisé comme moyen d'ostéosynthèse adulte. On améliorait la stabilité des montages en multipliant le nombre de broches (Hackethal [45]), l'objectif étant une réduction stable. Cette technique était la plupart du temps considérée comme une solution d'appoint, mais avait l'avantage d'être peu invasive. Firica [46], en 1978, avait décrit un type d'ostéosynthèse du fémur avec des clous métalliques courbes et flexibles, montage en « Tour Eiffel ». Ces résultats expérimentaux [31] indiquent la supériorité d'un assemblage non parallèle de deux broches intramédullaires, posant les bases pour le concept d'ostéosynthèse stable et élastique par cette voie.

Pour réaliser un montage conforme à la spécificité de l'enfant, il a fallu développer une technique qui, tout en gardant une certaine élasticité dans le sens longitudinal par rapport à l'axe osseux, stabilise la fracture dans le sens latéral et rotatoire, ceci en épargnant les structures de croissance et conservant l'hématome périfracturaire. Le principe élaboré par Métaizeau en 1983 part d'un concept biomécanique d'ostéosynthèse à la fois stable et élastique, utilisant de fines broches courbes en matériel biocompatible (titane ou acier inox spécial) qui introduites dans le canal médullaire appuient chacune sur trois points corticaux.

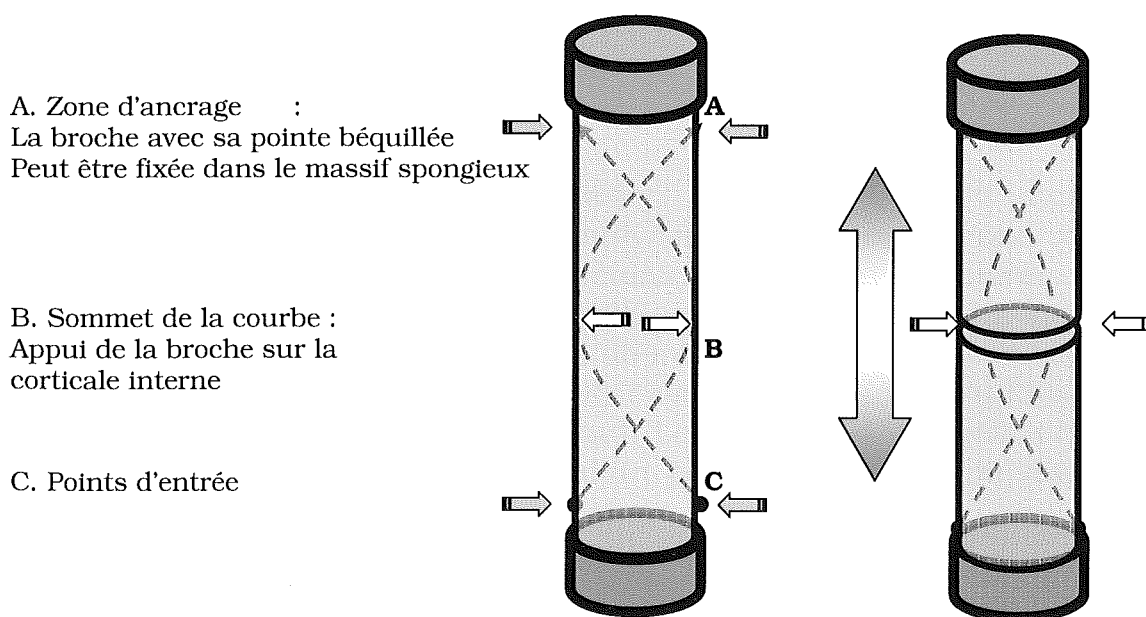


Fig. 5 : Concept biomécanique permettant des micromouvements

L'os est schématisé par un cylindre creux dont les deux extrémités représentent le massif spongieux métaphysaire. Le cartilage conjugal et l'épiphyse se trouvent au-delà de chacune des bases du cylindre n'étant donc pas touchés. Le périoste et l'hématome périfRACTURAIRE ne sont pas touchés.

Les broches permettent des petits mouvements perpendiculaires au trait de fracture le stabilisant dans le sens latéral et rotatoire, stimulant ainsi l'ostéogénèse [9, 47, 48].

(2) Description de la technique

L'enfant sous narcose, est installé sur table orthopédique ou table normale. Ceci peut varier selon l'âge et la taille de l'enfant et selon le degré de dislocation de la fracture. Certains considèrent une traction préopératoire nécessaire chez l'enfant plus âgé [49]. Il est important d'effectuer des radiographies de contrôle de la réduction dans 2 plans orthogonaux (face et profil).

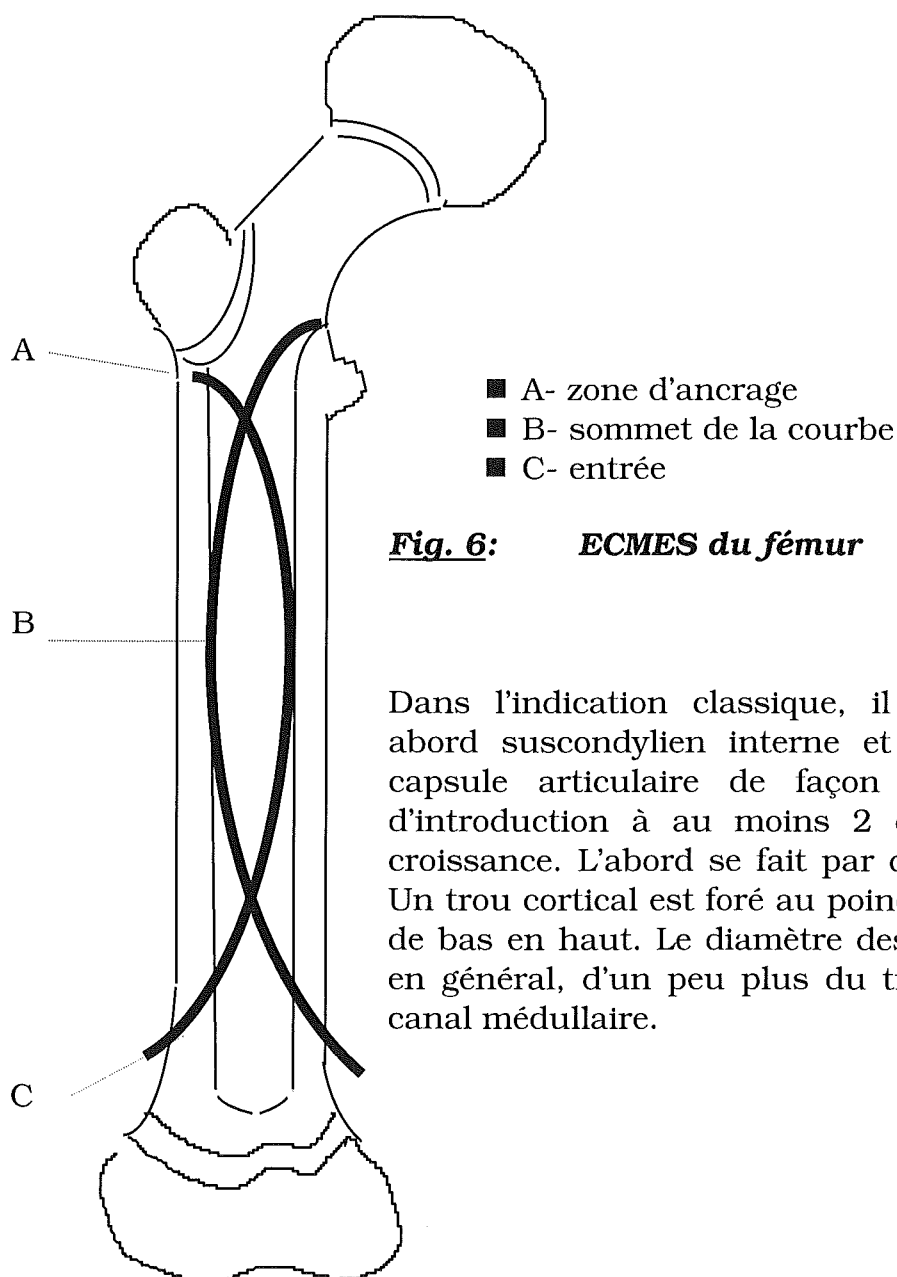


Fig. 6: ECMES du fémur

Dans l'indication classique, il s'agit d'un double abord suscondylien interne et externe, évitant la capsule articulaire de façon à placer le point d'introduction à au moins 2 cm du cartilage de croissance. L'abord se fait par de incisions courtes. Un trou cortical est foré au poinçon de façon oblique de bas en haut. Le diamètre des broches choisi est, en général, d'un peu plus du tiers du diamètre du canal médullaire.

Le montage se fait en introduisant les broches dans le canal médullaire traversant le trait de fracture avec les pointes béquillées qui, après réduction de la fracture sont ancrées dans la corticale proximale ou dans le massif spongieux réalisant un montage en double arc sécant. Il est préférable de commencer par monter la broche qui est du côté du chevauchement interfragmentaire. Lorsque la réduction est difficile, due à l'interposition de fragments, la pointe de la broche peut aider à manipuler ces fragments contribuant au repositionnement.

La procédure est contrôlée par amplificateur de brillance. La rotation est appréciée cliniquement et peut être, si nécessaire, corrigée à l'aide de manœuvres de rotation des broches. La broche ne doit jamais être tournée de plus de 180° pour éviter un effet en tournevis. Une fois le montage désiré atteint, les broches sont recoupées au contact de l'os et la plaie chirurgicale refermée.

Lorsque une fracture est très distale ou très proximale et donc proche des cartilages de croissance, la pointe béquillée va être ancrée tout près du cartilage mais sans le traverser. Les broches sont fines et pourraient même traverser le cartilage de croissance sans risque d'épiphysiodèse [6], mais il est préférable de ne pas courir ce risque.

Les caractéristiques viscoélastiques du matériel permettent au chirurgien de modeler les broches à sa guise en cintrant la broche pour obtenir la courbure désirée. Une fois dans cette position, le métal maintient ses caractéristiques élastiques [6]. Ce cintrage n'est à notre avis plus nécessaire. Nous ne l'avons plus utilisé depuis 1991.

(3) Indications à l'ECMES

Avant que les techniques de traitement spécifiques à l'enfant apparaissent, l'indication opératoire pour de nombreux auteurs était posée si l'enfant était polytraumatisé, traumatisé crânien, spastique, ou s'il s'agissait de fractures multiples, ouvertes, ou par des fractures impossibles à réduire orthopédiquement [3, 36, 48, 49]. Le développement d'ECMES a permis de combler un vide entre les indications au traitement orthopédique et les fixations conventionnelles. En général, avec l'apparition de méthodes spécifiques pour l'enfant, on peut remarquer une tendance croissante à l'ostéosynthèse, en particulier là où d'autres types d'ostéosynthèse seraient beaucoup trop agressives et donc injustifiées [42].

Pour Métaizeau [6], les indications étaient limitées à un âge supérieur à sept ans, aux fractures transverses et obliques courtes, diaphysaires et métaphysaires. Les facteurs qui mènent au choix de cette technique plutôt qu'au traitement orthopédique sont, depuis l'apparition de cette technique:

- enfant lourd ou musclé
- contre-indication à l'immobilisation
- pas d'accrochage maintenu lors de reposition
- fragilité osseuse constitutionnelle
- polytraumatisme
- problèmes scolaires
- raisons économiques

Âge :

Le problème de la tranche d'âge à laquelle la technique de l'ECMES s'adresse, ne fait pas l'objet d'un consensus.

Tab . 1 : Pose d'ECMES selon l'âge de l'enfant

<i>AUTEUR :</i>	<i>A partir de :</i>	<i>Jusqu'à l'âge de:</i>
Métaizeau [6] 1988	6-7 ans	fin de croissance
Bourdelat [49] 1989	6-7 ans	15 ans
Rehli [52] 1993	3-4 ans	fin de croissance
Keller [53] 1993	4 ans	12 ans
Oetiker [44] 1996	2 ¼ ans	11 ¼ ans
Vrsansky[54] 2000	5 ans	17 ans
Schmittenebecher [12] 1996, [13] 2001	1 ½ ans	16 ans
Flynn[55] 2001	4 ans	16 ans
Slongo[56] 2005	2 ans	15 ans

L'évolution et l'expérience de cette technique ont conduit à élargir les indications chez des enfants plus jeunes : Oetiker, Slongo et Schärli [44, 56, 57] définissent l'ECMES comme le traitement de choix pour les petits enfants en raison de la reposition quasiment exacte, des temps d'hospitalisation brefs, des résultats de guérison supérieurs aux techniques conservatrices.

Type de fracture :

L'usage de l'ECMES dépend également du type de fracture. Non seulement la fracture transverse et oblique, mais toute forme de trait peut bénéficier d'une réduction et stabilisation par cette technique (Bourdelat [49]).

Localisation haute :

En 1994, Reinberg, puis Oetiker en 1996 décrivent que la méthode semble avantageuse pour les fractures per- et sous-trochantériennes [44, 7]. Pour Blanquart [58], elle est indiquée pour la plupart des fractures cervico-trochantériennes entre 5 et 17 ans.

Localisation basse :

Keller [53] admet la technique pour des fractures proches des articulations, bien que cela nécessite une perforation du cartilage de croissance. Les fractures très distales et multifragmentaires en raison du risque de dislocation secondaire et des risques de défaut de rotation sont des contraindications relatives (Rehli [52]).

Blanquart [58] préconise la technique jusqu'à la localisation supracondylienne. La proximité des épiphyses contre-indique l'utilisation de l'ECMES selon Dietz [13].

Dans notre service, cette technique représente désormais le traitement chirurgical standard pour les fractures fémorales avec dislocation importante, diaphysaires ou même per- et soustrochantériennes, quand le traitement orthopédique ne donnerait pas de résultats satisfaisants ou pour permettre une reprise rapide de la mobilisation.

(4) Traitement postopératoire de l'ECMES

Tab. 2 : Délai de mise en charge décrit par les auteurs

AUTEUR :	Déambulation : [jours]	appui partiel : [jours]	appui total : [semaines]
Métaizeau [6] 1988	Non spécifié	15-20	6
Bourdelat [49] 1989	Non spécifié	10-15	4
Clavert [9] 1990	Non spécifié	15-20	non spécifié
Prévot [14] 1989 [16] 1993	8	10-15	6
Reinberg [7] 1994	3- 5	14-21	6
Cristinaz [10] 1994	Non spécifié	10-15	3
Vrsansky[60] 2000	10	15	3-4
Flynn[55] 2001	9	non spécifié	8.5
Métaizeau [59] 2004	3-5	15-20	6

La déambulation doit se faire au plus tôt, après quelques jours d'alitement permettant aux tissus de désenfler et à l'enfant ainsi qu'aux parents d'être

bien instruits sur le type de mobilisation qui va suivre, cela toujours sans appui.

L'association avec un plâtre est contre-indiquée, car on ne veut pas ajouter aux inconvénients d'une ostéosynthèse ceux d'une immobilisation [14].

Le début d'un appui avec mise en charge partielle se fait selon la progression de la consolidation de l'os et se situe entre 2 et 3 semaines postopératoires. Progressivement, la charge va être augmentée selon les douleurs, âge et poids de l'enfant et aussi selon le type de fracture et de montage.

Dans notre service, l'appui total, sport compris, est possible dès la 6^{ème} semaine après la fracture.

L'ablation du matériel (AMO) est faite après la consolidation complète clinique et radiologique. Le matériel pourrait être laissé jusqu'à la guérison ou même plus longtemps, car il n'a pas d'influence sur la croissance osseuse.

(5) Comparaison des techniques

D'après Dietz [13], il existe des situations dans lesquelles l'utilisation de l'ECMES est contre-indiquée et il semble préférable d'utiliser des techniques telles que le FED ou le traitement orthopédique. Ce sont:

- les ostéopathies infectieuses (pour éviter un corps étranger métallique dans la région infectée)
- les tumeurs malignes osseuses (pour éviter tout risque de contamination)
- la proximité des épiphyses (pas de contre-indication absolue, le traitement par ECMES ne peut comporter de dommage même lorsque le cartilage de croissance est traversé)
- Fractures ouvertes (pas de contre-indication absolue)

Certains auteurs préfèrent l'ECMES au FED (Dietz, Keller [13,53]) ne voyant aucun avantage à l'application du FED plutôt que de l'ECMES au fémur, sauf pour les contre-indications susmentionnées.

L'ECMES présente un risque infectieux faible (plaie chirurgicale fermée par rapport au FED [7, 9, 14, 48]. Keller [53] déplore les infections sur les broches et les retards de consolidation lorsqu'il utilise le FED.

Les deux techniques, FED et ECMES, présentent l'avantage d'un accès opératoire par des incisions très petites. Elles respectent les structures de croissance et la spécificité de réparation osseuse pédiatrique. D'autres techniques plus invasives devraient être utilisées uniquement dans de rares cas, ou si la croissance osseuse est terminée.

Le clou centromédullaire de type adulte resterait une option de traitement chez l'adolescent à qui il resterait moins d'un an de croissance fémorale potentielle pour Mc Cartney [50].

Pour certains auteurs, le traitement par plaque semblerait trouver une justification chez les enfants entre 12 et 16 ans du fait que les modifications possibles dans les 3 plans à cet âge sont réduites et qu'une reposition "exacte" de la fracture aurait ses avantages. Cette indication est peut-être due aussi au manque d'expérience avec la technique ECMES comme l'admet Meuli [47].

La plaque est de moins en moins utilisée chez l'enfant étant donné la longue cicatrice, les retards de consolidation ou les fractures secondaires liées au déperiostage et aussi à la lésion d'une structure de croissance.

f. Equivalents d'ECMES :

Une technique ressemblant à l'ECMES s'est répandue aux États Unis. Il s'agit de l'enclouage centromédullaire flexible (ECMF) appelé FIMN « flexible intramedullary nailing » (Mc Cartney [50]) ou CFIMN « closed flexible intramedullary nailing » (Fein [23]).

Comme l'ECMES, il s'agit d'une modification de la « Bündelnagelung » de Hackethal décrite en 1961 [45] se basant aussi sur les travaux d'Ender. C'est une technique utilisable pour l'enfant, mais qui, dans les détails, répond peut-être moins aux spécificités pédiatriques : elle diffère de l'ECMES sur le principe que le bout de la broche n'est pas construit pour se fixer dans la corticale osseuse ce qui permet moins de stabilité rotatoire comme dans la technique à 2 broches décrite par Métaizeau. Le nombre de broches utilisées est celui nécessaire pour « remplir » la cavité médullaire, comme c'était le cas pour Hackethal. Enfin, l'incision cutanée est plus grande.

Mc Cartney [50] résume les indications au FIMN par rapport aux autres techniques et à l'âge. Celles-ci sont comparables aux indications généralement utilisées pour l'ECMES :

Tab. 3 : Indications au FIMN

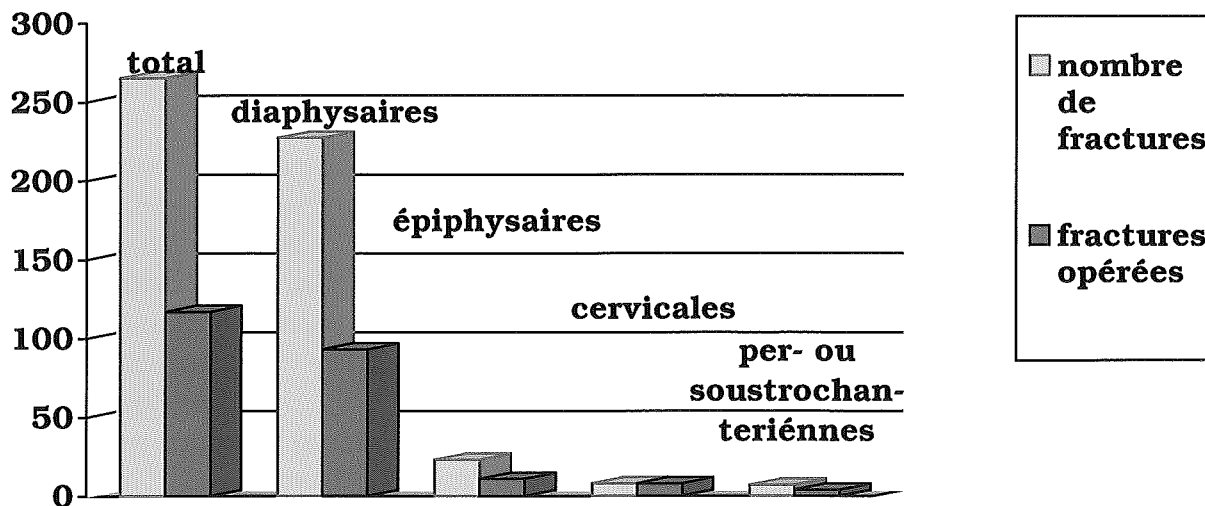
<i>ÂGE :</i>	<i>TRAITEMENT PRIMAIRE :</i>	<i>SECONDAIRE :</i>
0-2 ans	Traction et plâtre	
3-5 ans	Fixateur externe	FIMN
6-9 ans	FIMN multiples (ECMF)	fixateur externe
10-12 ans	FIMN multiples (ECMF)	fixateur externe ou clou centromédullaire
13-fermeture du cartilage	FIMN multiples ou clou	fixateur externe

4. MATÉRIEL ET MÉTHODES

a. Matériel d'étude

Entre 1988 et 1996 nous avons recensé, dans le Service de chirurgie pédiatrique du CHUV de Lausanne, 265 cas de fractures fémorales chez des enfants âgés de 0 à 15 ans. 227 étaient diaphysaires, 23 épiphysaires, 8 cervicales et 7 per- ou soustrochantériennes.

Tab. 4 : fractures opérées par rapport au collectif de fractures traitées



Le traitement a été conservateur dans 56 % des cas.

Parmi le collectif, certaines des fractures ont bénéficié d'un traitement chirurgical : 94 fractures diaphysaires, 11 épiphysaires, 4 trochantériennes et toutes les cervicales.

b. Critères d'inclusion

Nous étudions rétrospectivement les 96 fractures, chez 94 patients opérés par ECMES pendant la période de 1988 à 1996 dont l'évaluation du résultat opératoire et du suivi a été possible dans notre service.

Deux d'entre-eux avaient subi un deuxième traumatisme causant des nouvelles fractures du même os considérées comme fractures à part (Le suivi à long terme n'a pu être retenu que pour les deux fractures du deuxième traumatisme).

Ce traitement a été appliqué par nos chirurgiens aux fractures comprenant les localisations diaphysaires pour 87 cas (91%), soustrochantériennes pour 6 cas (6%), pertrochantériennes pour 1 cas (1%), métaphysaires pour 2 cas (2%) lorsque le traitement orthopédique a été jugé insuffisant.

Le traitement a été appliqué pour des fractures fémorales transverses, obliques, spiroïdes, comminutives. Le 65% des patients présentait des lésions associées importantes.

Pour la suite du travail, lorsque pour des résultats particuliers le collectif sera inférieur à 96, ceci sera mentionné.

c. Critères d'exclusion

Basé sur les 117 cas opérés pendant la période étudiée, toutes les fractures fémorales ayant bénéficié d'un traitement chirurgical autre que l'ECMES ont été exclues:

- 8 fractures cervicales
- 4 traitements par vissage ou plaque et vis dont 2 fractures respectivement de Salter III et II distales, ainsi que 2 fractures suscondyliennes comminutives ouvertes de Gustillo IIIa.
- 5 fixateurs externes ont été utilisés pour :
 - une fracture comminutive à 3 fragments du tiers proximal de la diaphyse.
 - Une fracture pathologique du tiers distal du fémur.
 - Un traitement secondaire d'une fracture médiodiaphysaire comminutive chez un patient avec fracture ouverte du tibia associée.
 - Fracture ouverte oblique métaphysaire. Un valgus excessif a ensuite été corrigé sous narcose.
 - Une fracture médiodiaphysaire du fémur droit chez une patiente avec syndrome de Leight.

De plus trois patients initialement traités par ECMES ont été exclus de l'étude, car il était impossible d'évaluer le résultat de guérison et le suivi lié à la technique pour les raisons suivantes :

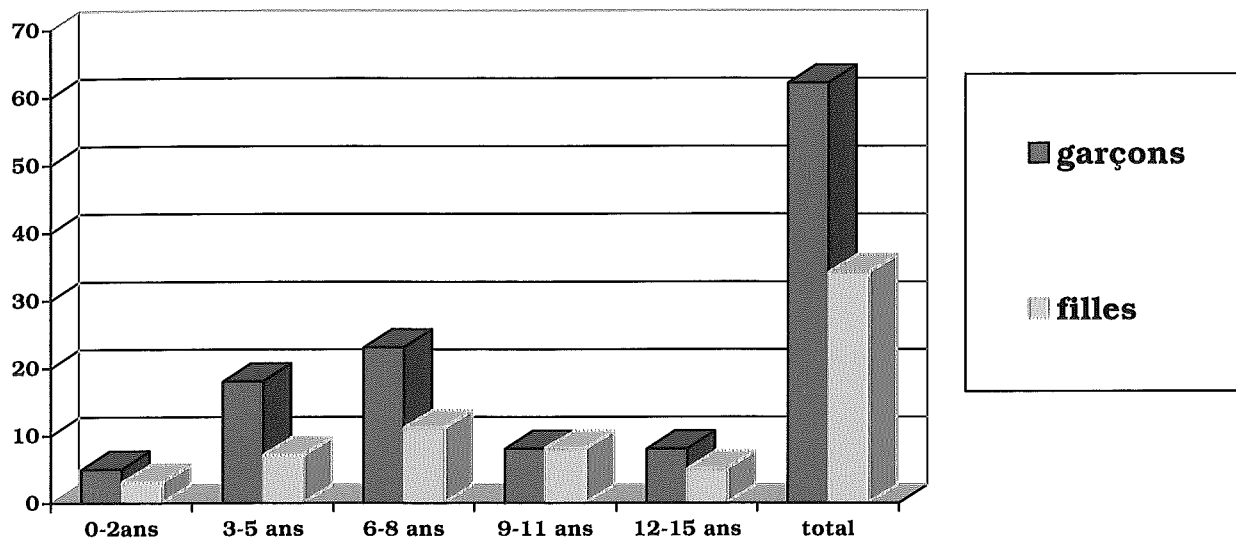
1. Un cas dont le traitement définitif a été effectué par fixateur externe deux semaines après une réduction insuffisante pratiquée avec ECMES. Il s'agissait d'une fracture spiroïde et comminutive à 4 fragments du tiers distal.

2. Un cas dont le traitement définitif a été par plaque et vis pour une instabilité et un déplacement secondaire une semaine après la tentative de pose ECMES dans une fracture spiroïde et comminutive à 4 fragments.

3. Le cas d'un patient dont les radiographies et protocole opératoire restent introuvables. Il s'agissait d'un patient avec une fracture bilatérale transverse du tiers moyen diaphysaire.

d. Répartition par âge et sexe

Tab. 5: Répartition des fractures par groupe d'âge et sexe

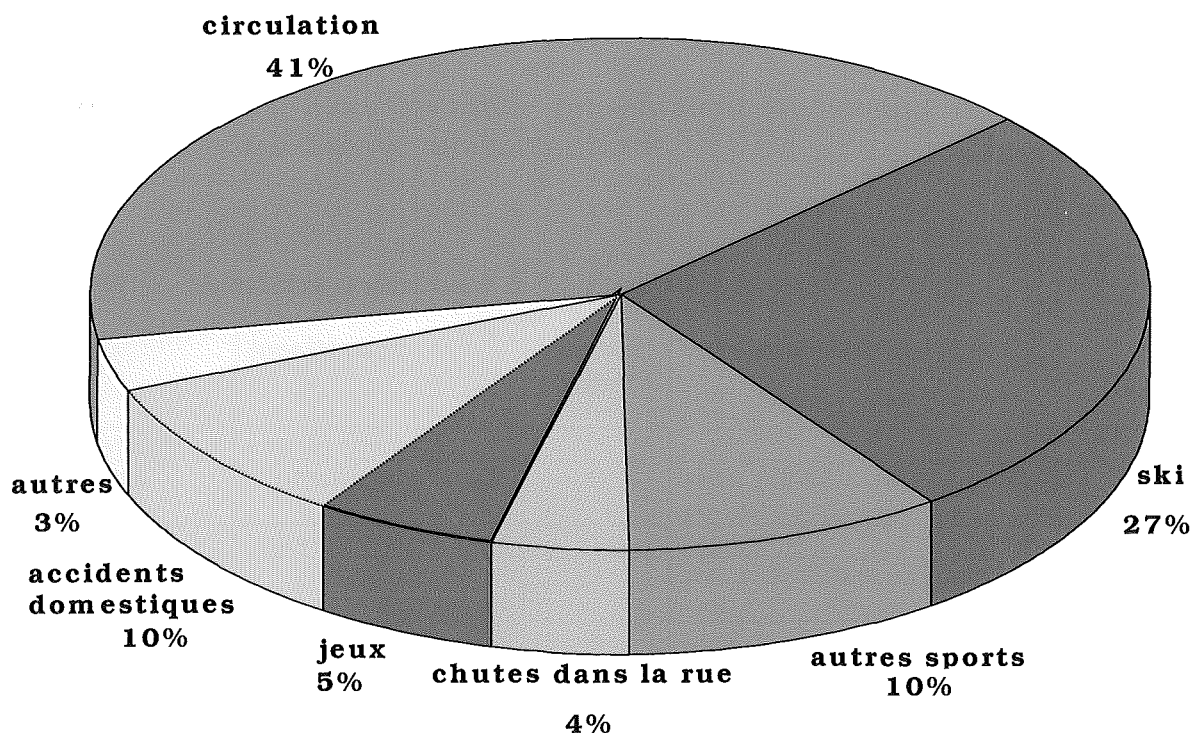


Les enfants traités ont été regroupés en 5 groupes d'âge, de 3 ans chacun. Le groupe le plus nombreux se situe entre 6-8 ans.

Au total, on remarque une nette prédominance de garçons (62) par rapport aux filles (34) traités par la méthode. Sex ratio m/f = 1,8/1.

e. Causes d'accidents

Tab. 6: Causes de fracture fémorale



Il faut un trauma à haute énergie pour fracturer un os tel que le fémur. La circulation est le premier pourvoyeur des fractures fémorales (41%), suivi par les accidents de ski (27%), domestiques (10%) et relatifs à d'autres sports (10%).

Spécifications :

- Les « accidents domestiques » comprennent un cas de *syndrome de West* avec retard staturo-pondéral et retard psychomoteur.
- La catégorie « chutes dans la rue » comprend une pseudarthrose survenue après une fracture itérative découlant des trous de vis d'une plaque d'ostéosynthèse utilisée auparavant chez l'enfant.
- Lors « d'accident de jeux », un fibrome non ossifiant du fémur a causé une fracture pathologique.
- Classé dans les « autres sports », un kyste osseux a provoqué une autre fracture pathologique.
- Le cas d'une dysplasie fibreuse a été traité préventivement par ECMES avant qu'une fracture ne se soit manifestée.

f. Lésions associées

Les 65% des enfants avec fracture fémorale opérées par ECMES n'ont pas présenté de lésion associée ou ont présenté des affections concomitantes mineures sans aucune relation avec le traumatisme.

Les 35% des patients restants présentaient au moins une des lésions associées décrites dans le tableau suivant:

Tab. 7: Lésions associées à la fracture fémorale

Lésion	localisation	nombre patients	particularités
Traumatisme	cranio-cérébral	18	
Contusion	thoraco-abdominale	6	rein, foie, rate, vésicule biliaire, poumons
Contusion	colonne vertébrale	1	
Dermabrasions et plaies		9	mentionnées seulement si importantes
Fracture	crâne ou face	8	dont une fracture de la base du crâne, une pariétale, plusieurs de l'orbite, os zygomatique, maxillaire, mandibulaire.
Fracture	clavicule ou côtes	2	
Fracture	bassin (instable)	1	
Fracture	membre supérieur	6	radius, humérus, olécrâne

Ces associations lésionnelles contre-indiquent le traitement orthopédique.

Une autre raison pour le choix d'une opération consiste en la présence de fractures associées du même membre ou du membre controlatéral. L'appui sur le membre traité sera plus précoce permettant une remobilisation.

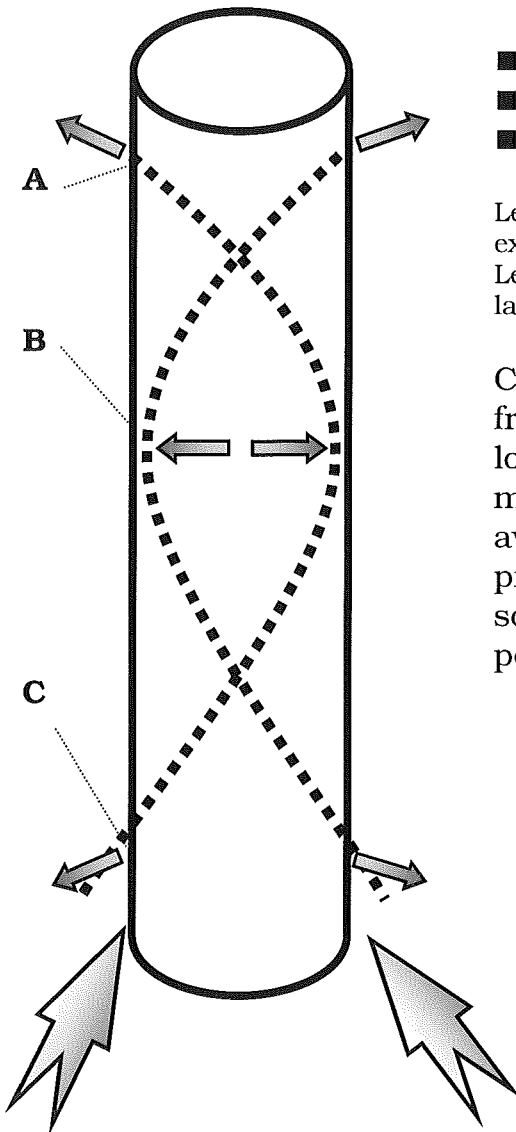
Tab. 8: Fractures des membres inférieurs associées à la fracture fémorale:

Côté	localisation	nombre patients	particularités
Controlatérale	Tibia (Salter II)	1	
	Tibia + péroné	1	traitement par ECMES
	astragale et cuboïde	1	
	Calcanéum	1	
Homolatérale	Tibia	1	traitement par ECMES

5. TECHNIQUE ET RÉALISATION

a. Montage ascendant classique

Nous considérons comme « classique » la première technique décrite par Métaizeau [6]. Il s'agit d'un double abord suscondylien interne et externe au moyen de 2 broches. Un trou est foré au poinçon de façon oblique de bas en haut pour permettre à la broche une remontée vers la cavité réalisant un montage en double arc sécant. Voir aussi chapitre 4e (2).



- A- zone d'ancrage
- B- sommet de la courbe
- C- entrée

Les petites flèches indiquent les vecteurs de forces exercées par les broches.
Les grandes flèches indiquent le sens d'introduction de la broche.

Ce montage est utilisé pour toutes sortes de fractures courantes comme pour les localisations du tiers moyen - *L'exemple* (D) montre une fracture diaphysaire transverse avec les résultats à trois mois (E, F) - et tiers proximal, comme pour les fractures soustrochantériennes voire pertrochantériennes.

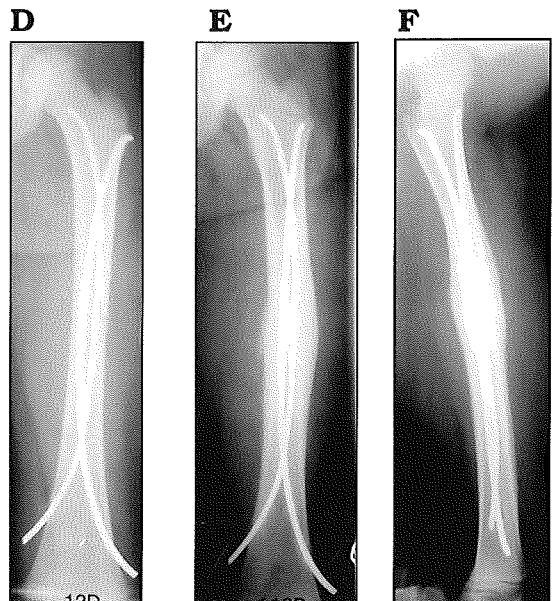
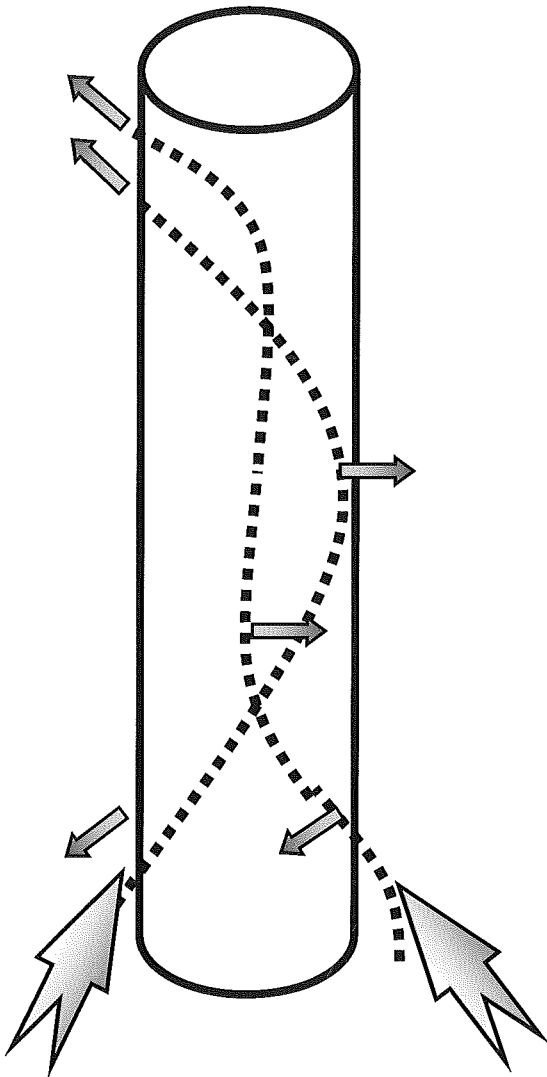


Fig. 7 : Montage ascendant classique

Dans notre service, le montage ascendant classique représente la technique la plus largement utilisée avec 89 des 96 fractures soignées de cette manière (93%).

b. Variations de la technique

- **Tripolaire déséquilibré [6]:** réalisé après introduction distale des 2 broches, tout comme lors du montage classique, mais en appliquant une torsion de 180° sur l'une des deux précintrée. De cette façon, les forces résultantes de chaque broche ne seront plus, comme dans le montage classique, opposées mais agiront dans le même sens (fig. n°8).



Les petites flèches indiquent les vecteurs de forces exercées par les broches.

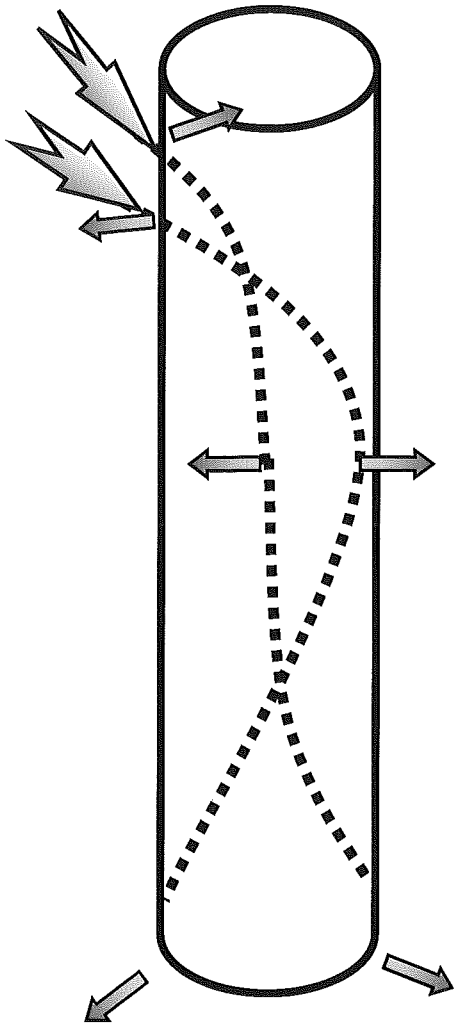
Les grandes flèches indiquent le sens d'introduction de la broche.

Ce montage peut être utilisé lorsque le chirurgien a besoin d'une force pour repositionner une fracture fortement déplacée. Ce montage n'est utilisé que très rarement

Fig. 8: Montage tripolaire déséquilibré

Dans notre série d'observations aucune fracture n'a été traitée de cette façon.

- **Tripolaire équilibré [6]:** même principe qu'une broche tordue de 180°, mais l'introduction des broches survient par des orifices contigus. Généralement, on choisira la voie soustrochantérienne descendante. Les forces résultantes agiront de façon opposée, créant ainsi un équilibre stable.



Les petites flèches indiquent les vecteurs de forces exercées par les broches.

Les grandes flèches indiquent le sens d'introduction de la broche.

Les fractures du tiers distal et susmétaphysaires sont l'indication typique de cette technique, car on arrive à orienter de façon optimale les fragments distaux avec l'extrémité béquillée.

Certains soutiennent que cette variante est plus simple, car il s'agit d'une seule voie d'abord, loin du genou et des axes artériels. (Bourdelat [49, 60]).

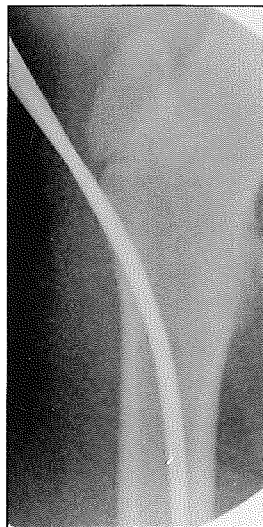
Fig. 9 : Montage tripolaire équilibré et exemple de fracture du tiers distal (A, B) traitée par voie soustrochantérienne (C) et montage tripolaire équilibré (D).



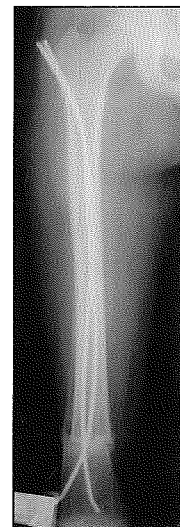
A



B



C



D

Dans notre série d'observations 4% des fractures ont bénéficié d'un montage descendant équilibré. Il s'agissait de localisations fracturaires entre le tiers moyen et le niveau susmétaphysaire distal.

c. Montage combiné

Dans 3 cas, nous avons choisi un traitement peu décrit dans la littérature, pour des nécessités pratiques et afin de réaliser un montage stable dans des cas particuliers:

(1). ascendant et descendant

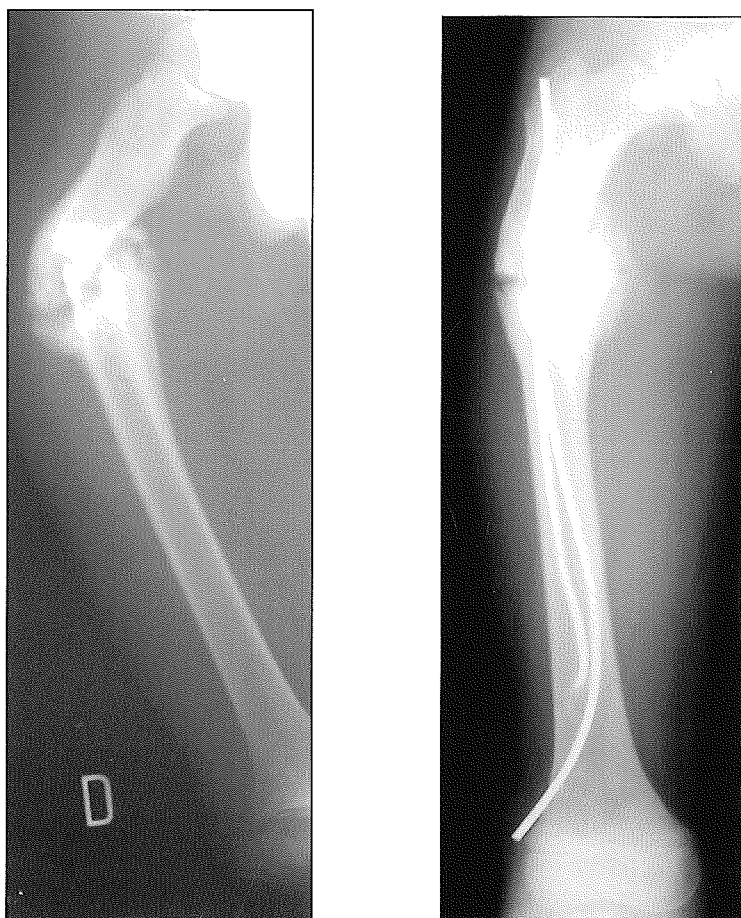


Fig. 10 : Montage combiné pour pseudarthrose

Dans le cas d'une fracture mal consolidée, avec pseudarthrose préexistante et déviation axiale à 60°, la dureté du cal endomédullaire a rendu impossible l'introduction de la 2^{ème} broche par voie distale (montage avec 2 broches en titane 3,0). La première image montre la pseudarthrose avec une forte déviation axiale à 60°.

À 3 mois, le patient avait une déviation réduite à 25° quasiment sans plainte fonctionnelle. Il s'agit cependant d'une consolidation susceptible d'entraîner une dégradation du genou.

(2). ascendant et descendant



Fig. 11 : Montage combiné pour fracture spiroïde distale

Dans le cas d'un long biseau fracturaire médial et plurifragmentaire descendant jusqu'au cartilage de conjugaison, il était impossible d'obtenir un point d'entrée stable pour une broche par la voie distale médiale (1^{ère} broche par condyle externe, 2^{ème} trochantérienne, montage avec 2 broches en titane 3,5 montage en double « S »).

Le résultat à 14 mois montrait une déviation axiale à 20° peut-être due en partie à un défaut technique : La théorie des vecteurs de force des broches aurait requis un montage tripolaire équilibré ou un montage ascendant en « C » et descendant en « S ».

(3). à trois broches



Fig. 12 : Montage combiné à trois broches

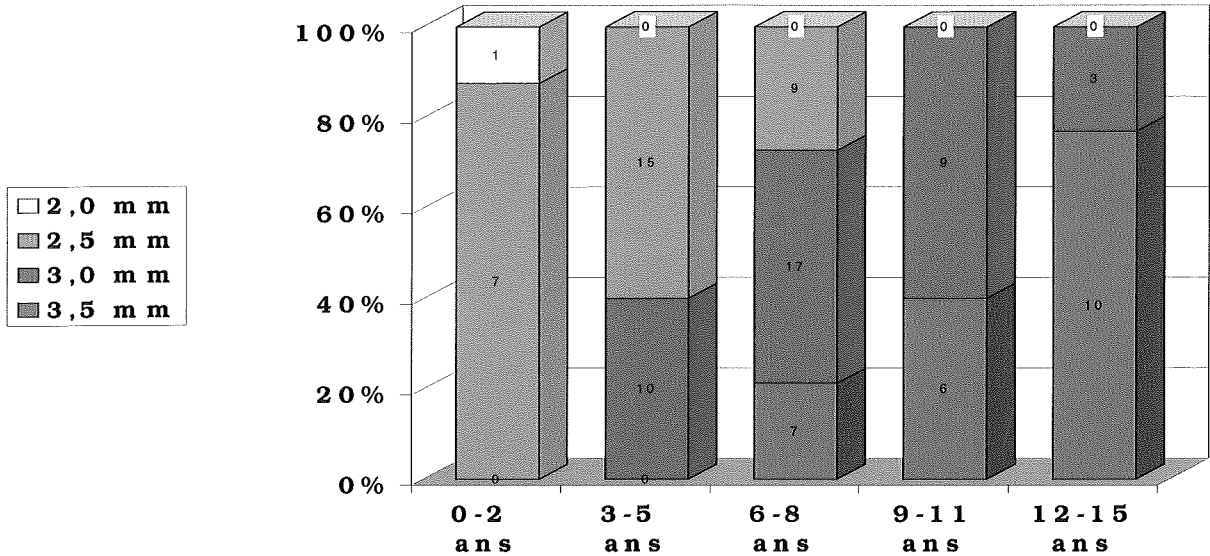
Après torsion de broches suite à une rechute survenant après la pose d'un montage ascendant classique avec deux broches en titane 3,5, on a procédé à l'adjonction d'une broche en en posant une 3^{ème}, cette fois descendante pour assurer une stabilité satisfaisante (2 broches ascendantes et 1 descendante).

Le montage était stable, la guérison rapide et sans séquelles.

d. Matériel d'ostéosynthèse en fonction de l'âge et du poids

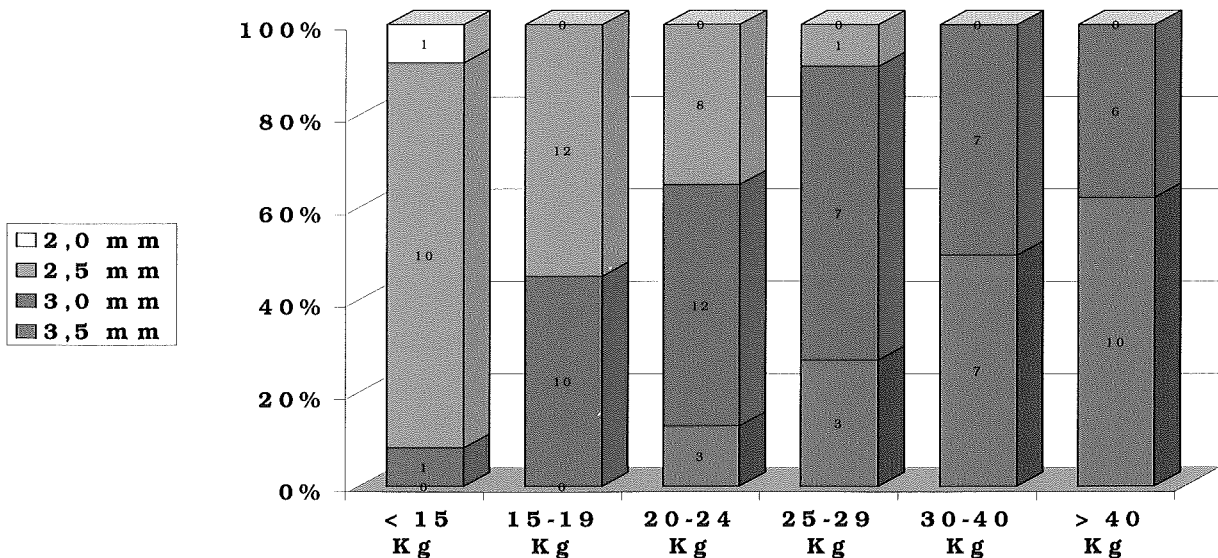
Tab.9: *Diamètre des broches en fonction de l'âge*

Le graphique montre quelle épaisseur de broche a été utilisée selon les différentes catégories d'âge.



Tab. 10: *Diamètre des broches en fonction du poids*

Le graphique montre quelle épaisseur de broche a été utilisée selon le poids des enfants.



Aucune broche de 2 mm n'est utilisée au-delà d'un âge de 3 ans ou au-delà d'un poids de 15 Kg.

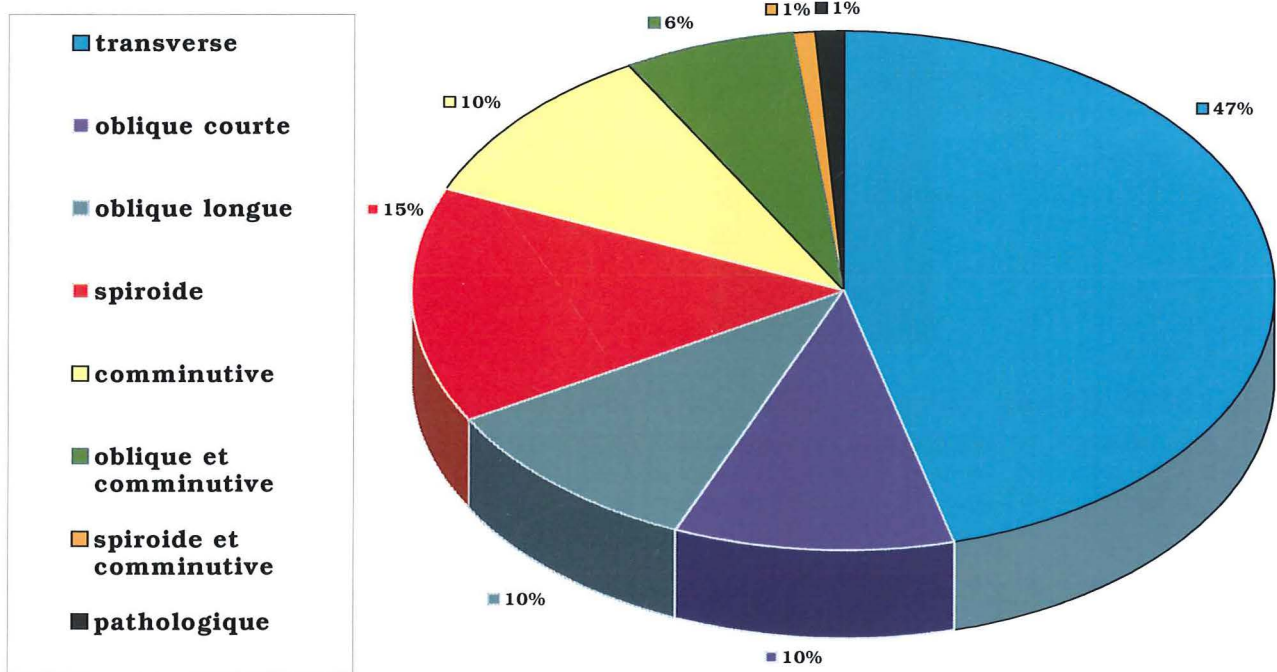
Aucune broche de 3,5 mm n'est utilisée en-dessous de 6 ans ou en-dessous de 20 Kg.

Un 3^{ème} critère pour le choix des broches est le diamètre du canal endoméduillaire dont l'épaisseur de la broche doit faire un peu plus qu'un tiers et forcément moins que la moitié.

6. RÉSULTATS

Pour mieux définir la population étudiée, nous allons identifier les différentes répartitions par types, hauteurs de fracture, et nombres de fragments.

a. Répartition par type de fracture

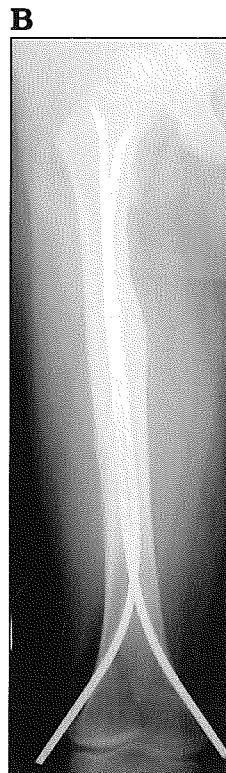
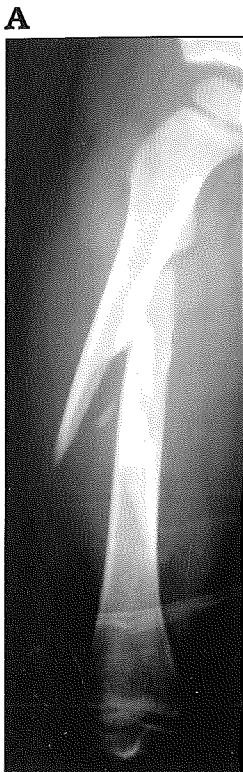


Tab. 13: *Type de fracture*

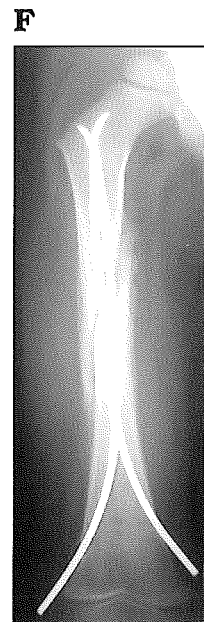
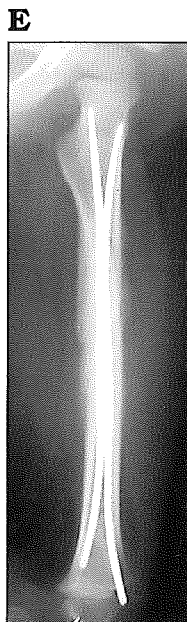
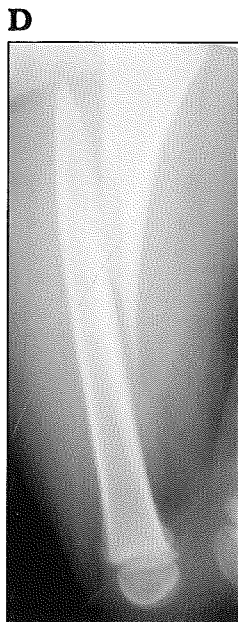
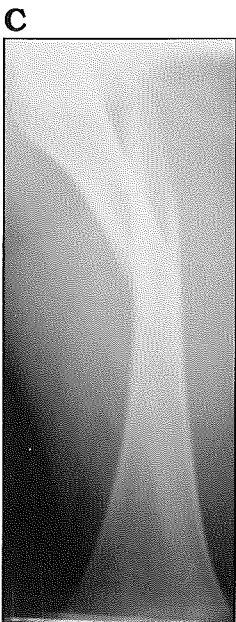
Par ordre décroissant de fréquences, les fractures sont: transverses (47%), obliques courtes et à long biseau (20%), spiroïdes (15%), comminutives (10%), les fractures combinées entre ces types sont plutôt rares (oblique et comminutive ou spiroïde et comminutive 7% au total), 1 fracture pathologique (1%) et pour 1 enfant avec dysplasie fibreuse et kyste fémoral, un enclouage préventif a été réalisé (donc non inclu sous fractures).

Nombres de fragments

76 patients (79%) présentaient une fracture simple, 15 (16%) une fracture à 3 fragments, 4 patients (4%) présentaient une fracture à 4 fragments ou plus.

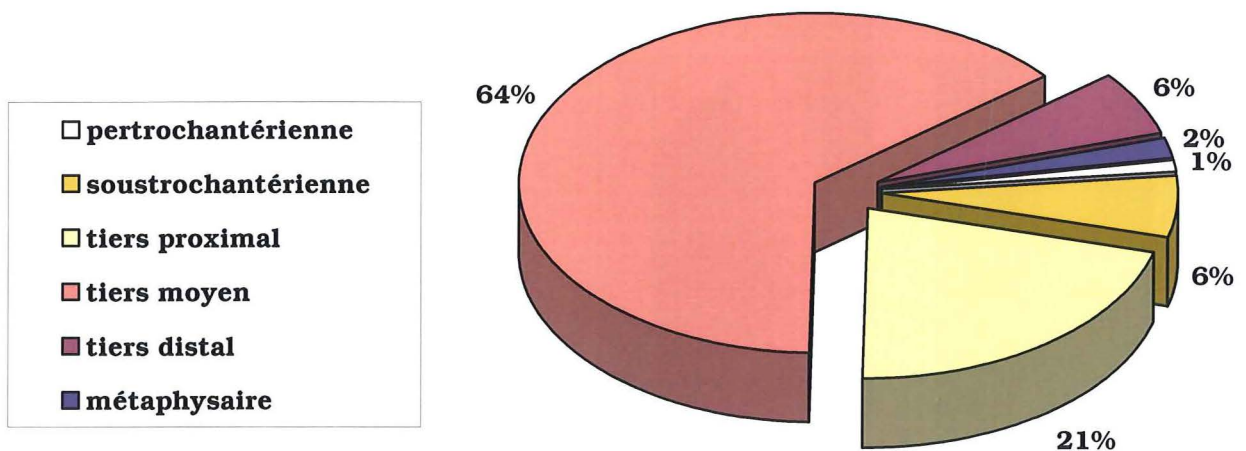


Exemple de fracture spiroïde avec 3 fragments chez un garçon de 4 ans (A). Résultat 3 mois après un montage classique et mobilisation rapide (B).



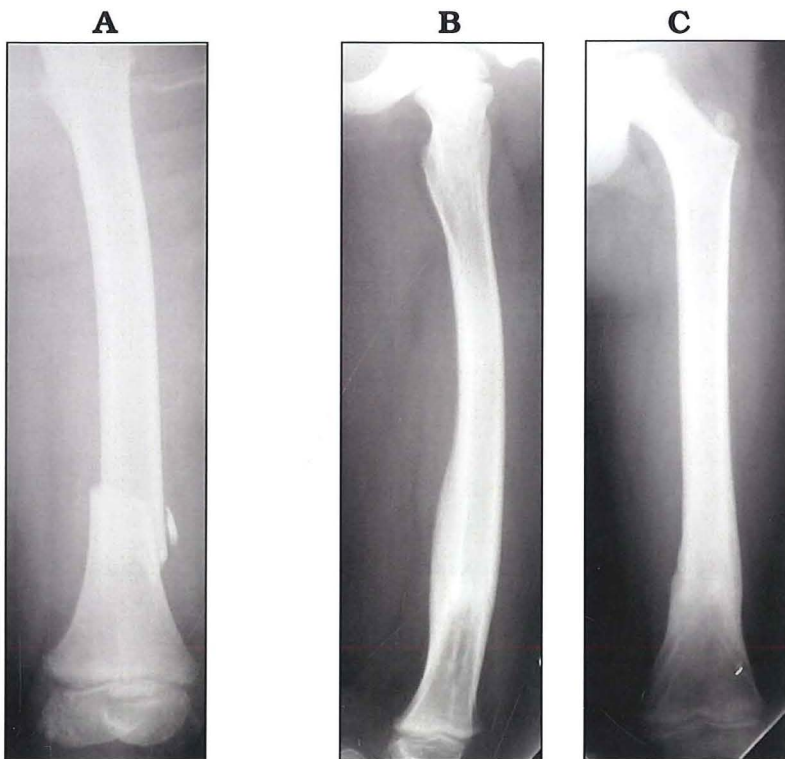
Exemple de fracture oblique à long biseau chez un garçon de 2 ½ ans (C, D). A remarquer l'absence d'un trait de fracture longitudinal, qui aide à différencier ce type de fracture du type spiroïde. L'image, après une mobilisation et une charge totale, montre un résultat satisfaisant à 4 semaines (E, F) qui correspond au résultat clinique.

b. Répartition selon localisation de la fracture

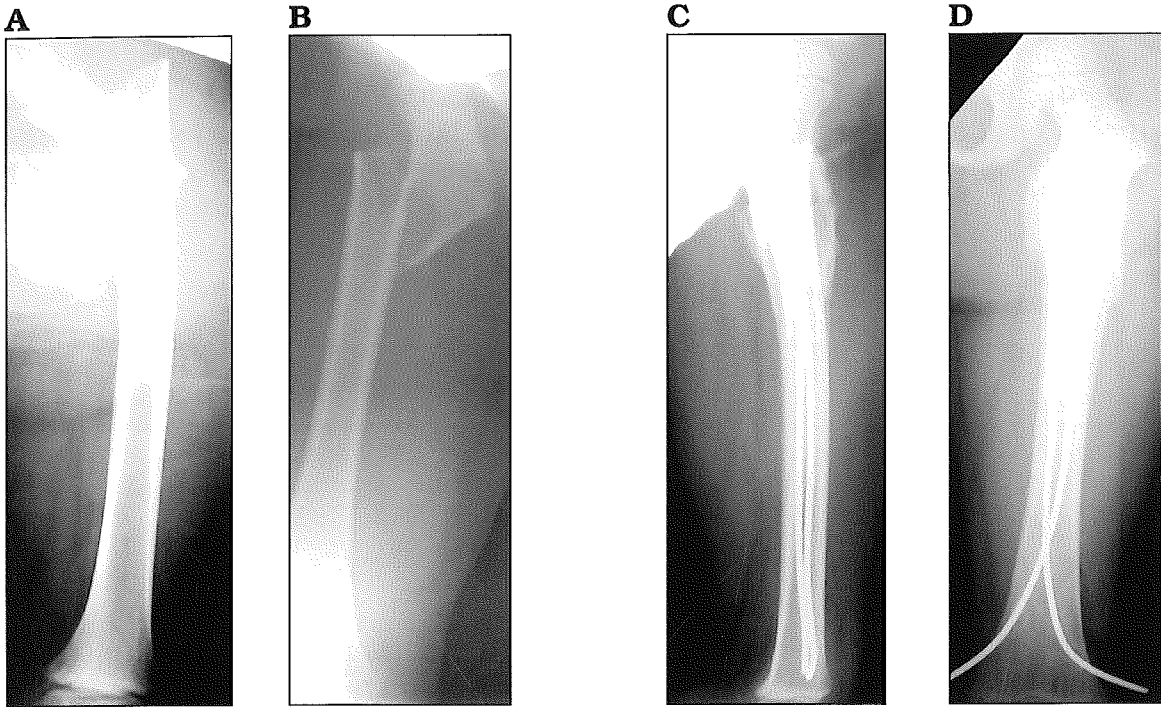


Tab. 12: Localisation de la fracture

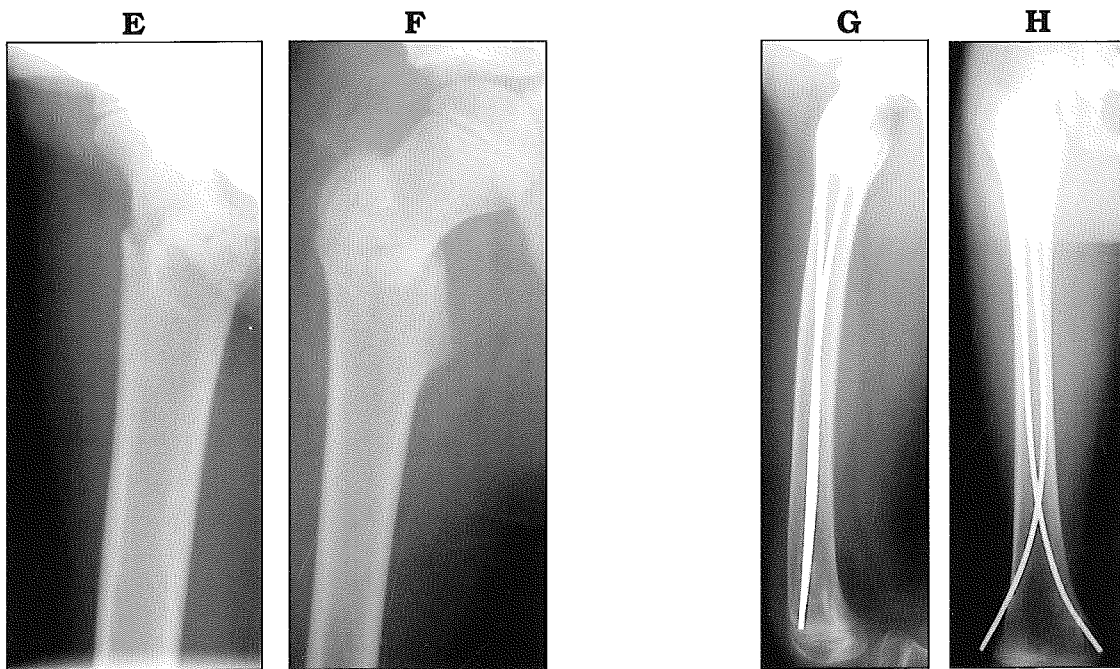
La plupart des fractures se situent au niveau diaphysaire moyen (64%). Ensuite, nous trouvons le tiers proximal diaphysaire (21%), le tiers distal (6%) et les fractures soustrochantériennes (6%). Les fractures métaphysaires (2%) ou pertrochantérienne (1%) sont rarement traitées par cette méthode.



Exemple de fracture transverse du tiers distal (A) traitée par un montage ascendant. On observe d'excellents résultats cliniques et radiologiques après AMO à 5 mois (B, C).



Exemple de fracture soustrochantérienne et dislocation importante chez un enfant de 4 ans (A, B). Résultat du montage à 6 semaines (C, D).



Le seul **exemple de fracture pertrochantérienne** (E, F) chez une fille de 7 ans traitée par montage ascendant classique dans notre série d'observations. Les radiographies à 3 mois (G, H) montrent que la jeune-fille présente un hyperallongement de 1 cm, un défaut de rotation de 15° et une limitation modérée dans les mouvements de la hanche, ceci pendant une année. Ces symptômes deviennent infracliniques par la suite. Nous considérons la fracture pertrochantérienne comme la limite proximale pour le traitement par ECMES.

c. Durée du traitement et attitude postopératoire

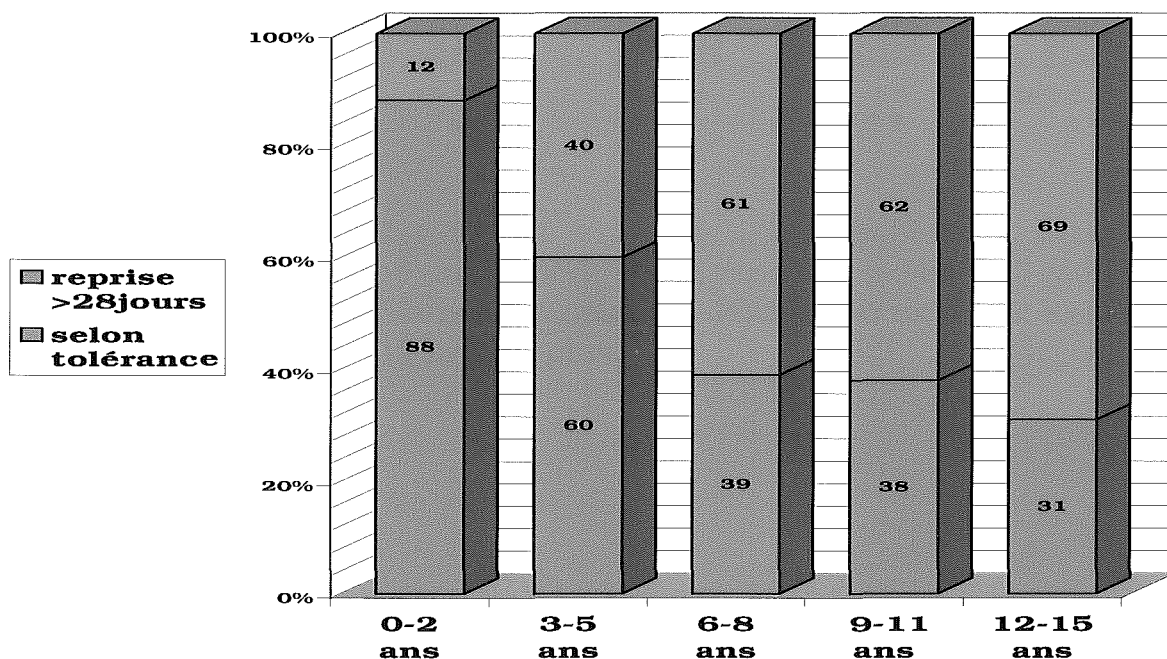
Dans le tableau suivant nous décrivons le délai moyen jusqu'à la mobilisation en position « debout » et la durée de l'hospitalisation de l'enfant. Les chiffres entre parenthèse représentent la déviation standard relative à chaque résultat.

Tab. 13: mobilisation et durée d'hospitalisation

	0-2 ans	3-5 ans	6-8 ans	9-11 ans	12-15 ans	total
début de mobilisation debout [jours]	2,6 (1,5)	10,8 (9,4)	5,4 (5,8)	11,3 (21,0)	7,4 (7,0)	7,9
durée moyenne d'hospitalisation [jours]	6,8 (5,4)	12,5 (10,1)	9,6 (6,7)	18,6 (29,9)	15,2 (13,2)	12,4

Dans ce tableau, nous avons inclu les enfants polytraumatisés et ceux qui avaient des fractures associées. C'est par la présence de quelques cas complexe dans le groupe d'âge 9-11 ans que la durée moyenne de mobilisation et d'hospitalisation est très longue (voir une déviation standard élevée).

Tab. 14: Mise en charge totale



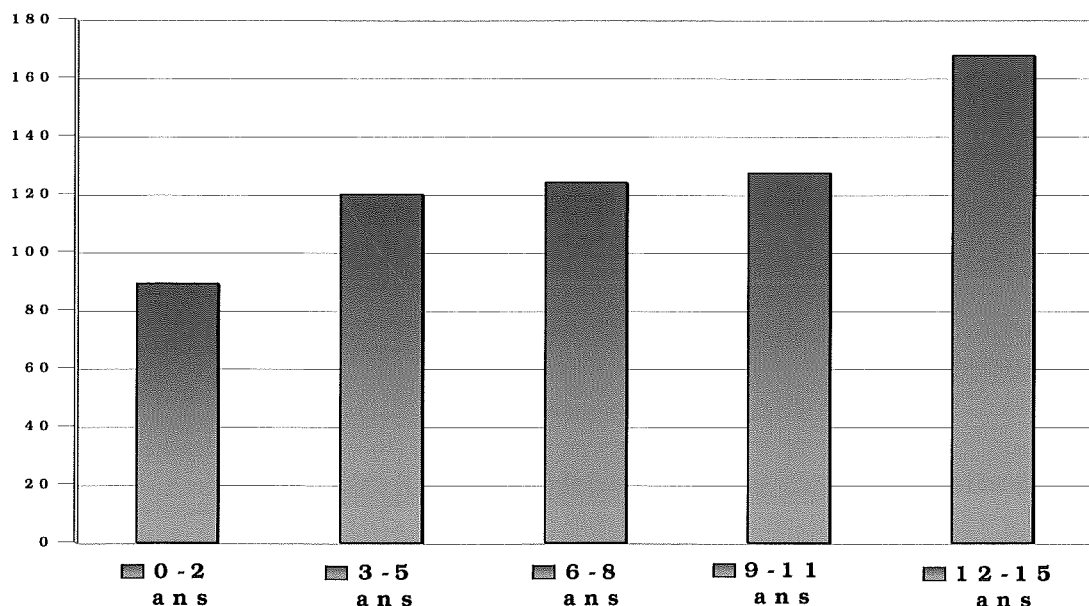
Sous « reprise >28jours » sont englobés les cas de mise en charge totale réalisée au-delà de 4 semaines après l'intervention. « Selon tolérance » signifie que les patients ont été autorisés à charger complètement avant 4 semaines. Dans ce diagramme, on remarque que la mise en charge des enfants les plus jeunes a été très rapide, les plus âgés n'ayant chargé que beaucoup plus tard.

d. Ablation du matériel d'ostéosynthèse

Tab. 15: *Durée moyenne entre pose d'ECMES et AMO*

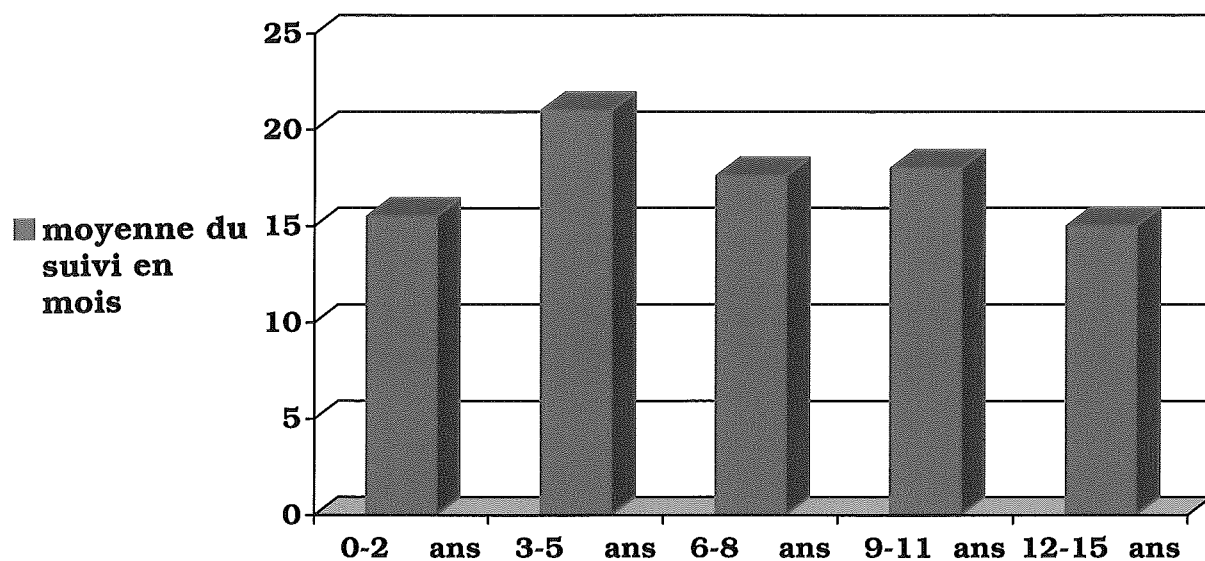
Ce graphique montre la moyenne des jours passés entre la pose d'ECMES et l'ablation du matériel d'ostéosynthèse. Les valeurs sont dans l'ordre 91, 121, 124, 128 et 169 jours selon une classe d'âges croissants.

moyenne du
délai en jours



On remarque que le délai d'AMO augmente considérablement avec l'âge, passant progressivement d'une période en moyenne de moins de 3 mois pour les enfants de moins de 3 ans à un délai qui dépasse en moyenne les 5 mois pour les enfants qui ont 12 ans ou plus.

e. Suivi



Tab. 16 : *Délai du suivi par catégorie d'âge*

Le suivi moyen par rapport aux classes d'âge est de 16 à 21 mois. A remarquer que le graphique, et donc la moyenne, inclut 22 cas avec suivi bien plus court qu'un an, car leurs contrôles ont été poursuivis à l'étranger, dans un autre canton ou n'ont pas eu lieu. Effectivement assez souvent l'enfant et ses parents ne se sont plus présentés malgré une convocation. (L'étude des complications (Tab.18-20) à 1 an et plus exclut ces 22 cas, car ils ne se sont pas présentés au contrôle à 1 an. En excluant ces 22 patients la moyenne du suivi tout âge confondu est de 22,5 mois)

A noter qu'un certain nombre de patients n'a pas encore terminé la période du suivi au moment de la récolte des données.

Les enfants entre 3-5 ans obtiennent le suivi le plus long. Ceux de 0-2 ans et de 12-15 ans ont le suivi le plus court.

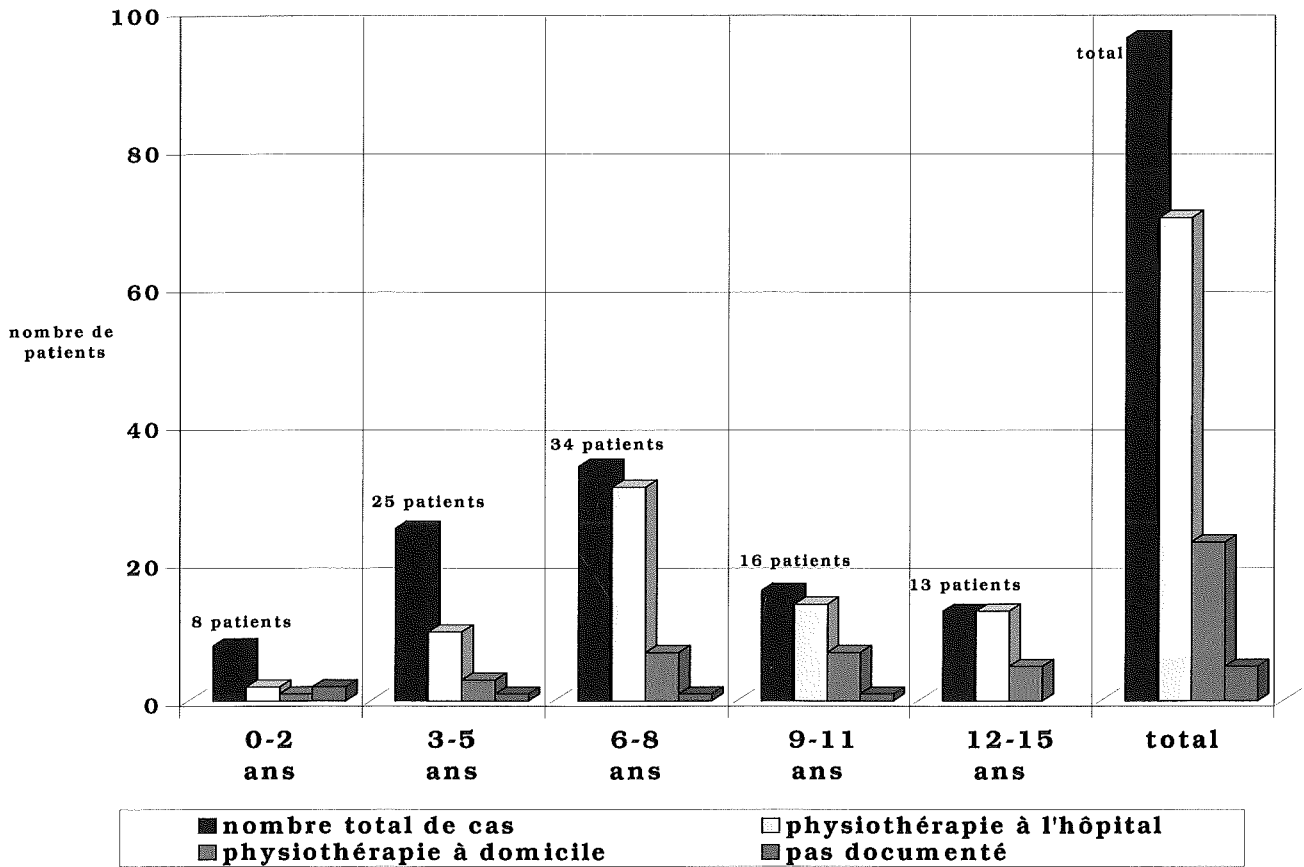
Les enfants jusqu'à 3 ans ont présenté une guérison très rapide. C'est probablement pour cela que les parents ne voyaient pas toujours la nécessité de se rendre à l'hôpital quand il n'y avait pas de plainte.

Le suivi le plus long pour les enfants de 3-5 ans est vraisemblablement en relation avec une préoccupation et une discipline importante des parents persistant jusqu'à l'âge préscolaire. Ensuite on observe un suivi décroissant avec l'âge, probablement dû à l'autonomie croissante de l'enfant, moins enclin à se présenter aux contrôles quand il n'a pas de gêne fonctionnelle.

Le graphique résume 91 fractures contrôlées. 5 enfants ont été exclus de la population, car le suivi a été, depuis le tout début, effectué dans un autre service que le nôtre (3 départs dans un autre canton, 2 à l'étranger).

f. Réhabilitation fonctionnelle

Le graphique montre combien de patients ont bénéficié de réhabilitation fonctionnelle pendant leur séjour à l'hôpital et, après leur retour, à domicile.



Tab. 17 : Réhabilitation fonctionnelle à l'hôpital et à domicile

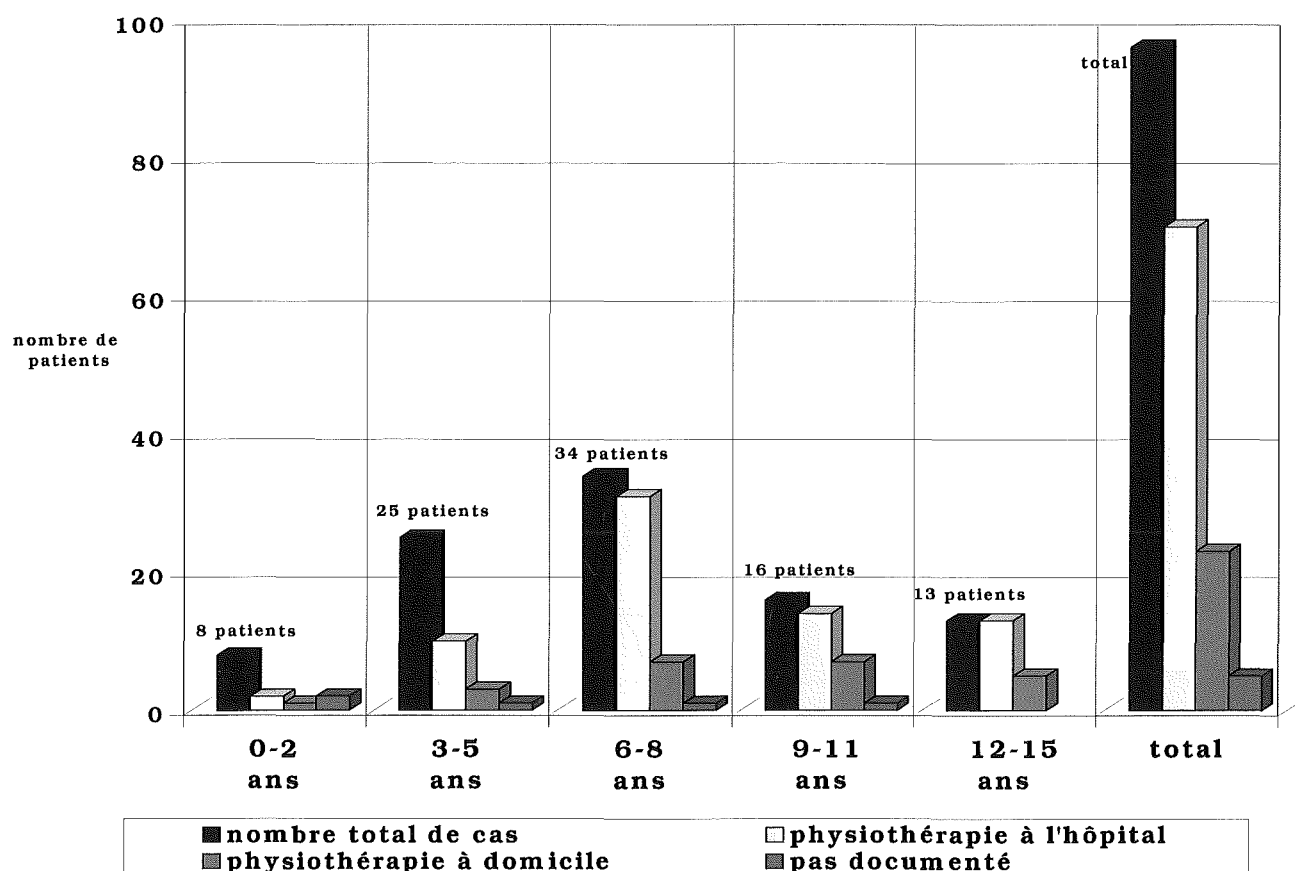
La physiothérapie à l'hôpital a été initiée chez 70 patients (72%). Parmi ces 70 enfants, 23 (24% du total) ont poursuivi le traitement à domicile.

La fréquence du traitement physiothérapeutique varie avec l'âge. Les enfants les plus grands sont ceux qui ont régulièrement suivi un traitement en milieu hospitalier, parfois poursuivi à domicile. Tous les enfants de plus de 12 ans ont suivi cette thérapie qui reste fréquente entre 6 et 11 ans.

Les enfants jusqu'à 5 ans ont rarement bénéficié de réhabilitation particulière. Leur traitement est difficile. Nos physiothérapeutes considèrent que les petits enfants font leur « physiothérapie » spontanément, sans nécessité d'instruction. On renonce donc souvent au traitement dans cette population.

f. Réhabilitation fonctionnelle

Le graphique montre combien de patients ont bénéficié de réhabilitation fonctionnelle pendant leur séjour à l'hôpital et, après leur retour, à domicile.



Tab. 17 : Réhabilitation fonctionnelle à l'hôpital et à domicile

La physiothérapie à l'hôpital a été initiée chez 70 patients (72%). Parmi ces 70 enfants, 23 (24% du total) ont poursuivi le traitement à domicile.

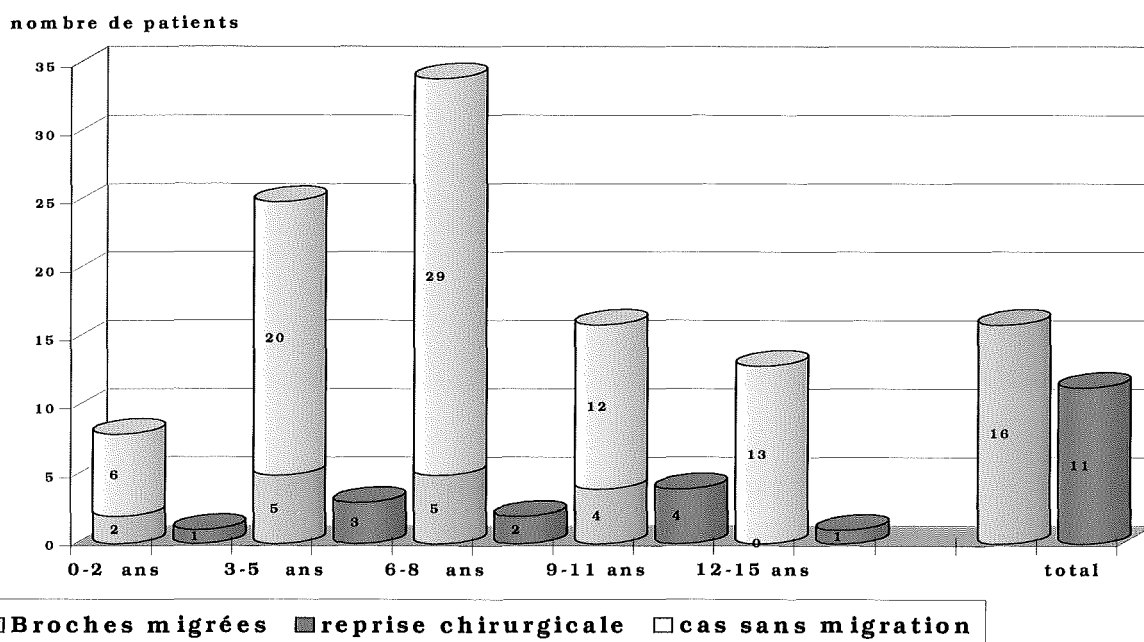
La fréquence du traitement physiothérapeutique varie avec l'âge. Les enfants les plus grands sont ceux qui ont régulièrement suivi un traitement en milieu hospitalier, parfois poursuivi à domicile. Tous les enfants de plus de 12 ans ont suivi cette thérapie qui reste fréquente entre 6 et 11 ans.

Les enfants jusqu'à 5 ans ont rarement bénéficié de réhabilitation particulière. Leur traitement est difficile. Nos physiothérapeutes considèrent que les petits enfants font leur « physiothérapie » spontanément, sans nécessité d'instruction. On renonce donc souvent au traitement dans cette population.

Complications

La complication la plus fréquente, spécifique à cette technique, est la migration de broches. Habituellement, il s'agit d'une instabilité partielle du montage dans le sens vertical. Avec la technique ascendante, les broches vont sortir vers le bas et pointer, en dessous de la peau, médialement ou latéralement par rapport au genou. Ceci va engendrer une gêne ou une douleur lors de la mobilisation voir même une sortie des broches à travers la peau. Souvent, les migrations ont rendu nécessaire un repositionnement ou une recoupe de broches.

g. Migration de broches

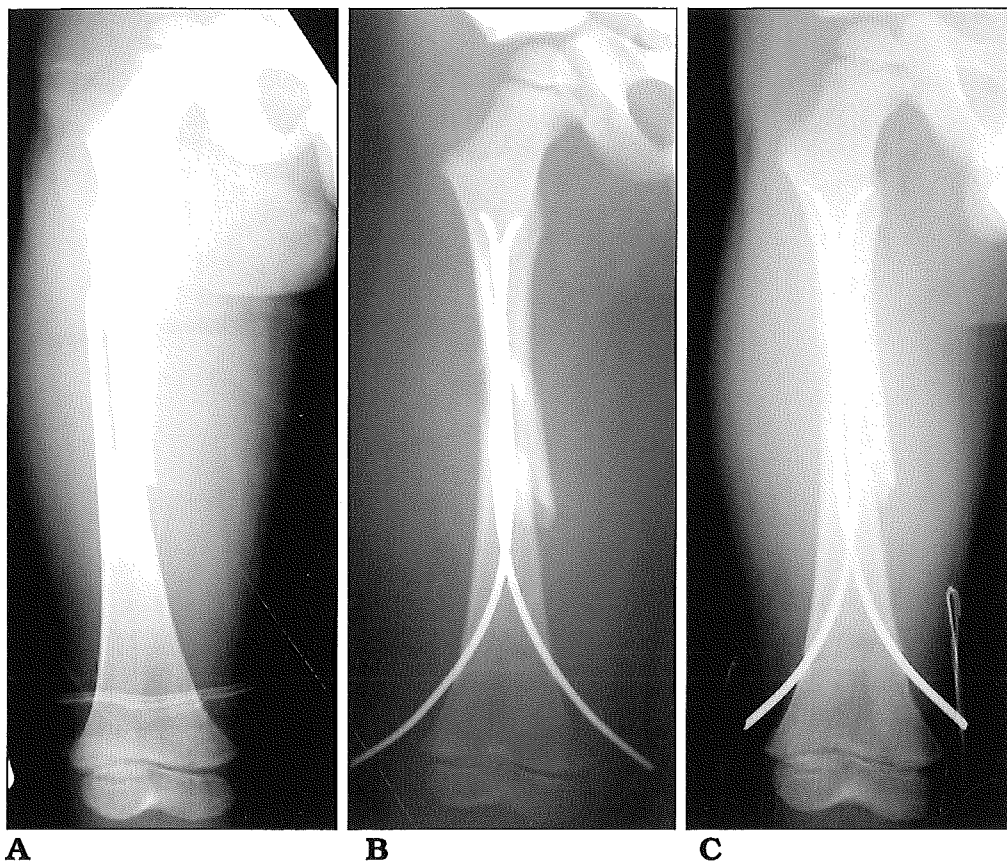


Tab. 18 : Migration de broches et reprise chirurgicale

Ce graphique montre la fréquence de migration de broches selon l'âge. En orange le nombre d'enfants chez lesquels il y a eu migration des broches. En rouge, dans chaque classe d'âge, le nombre d'enfants ayant subi une réintervention pour repositionner ou recouper une ou plusieurs broches. Dans la classe des 12-15 ans, il n'y a eu qu'un seul cas de broches recoupées car déjà laissées trop longues lors de l'opération, mais sans déplacement secondaire. La raison des autres recoupes était un déplacement secondaire. Lorsque le déplacement était peu important, peu gênant pour la peau et avec un axe fracturaire tolérable nous avons renoncé à une reprise opératoire.

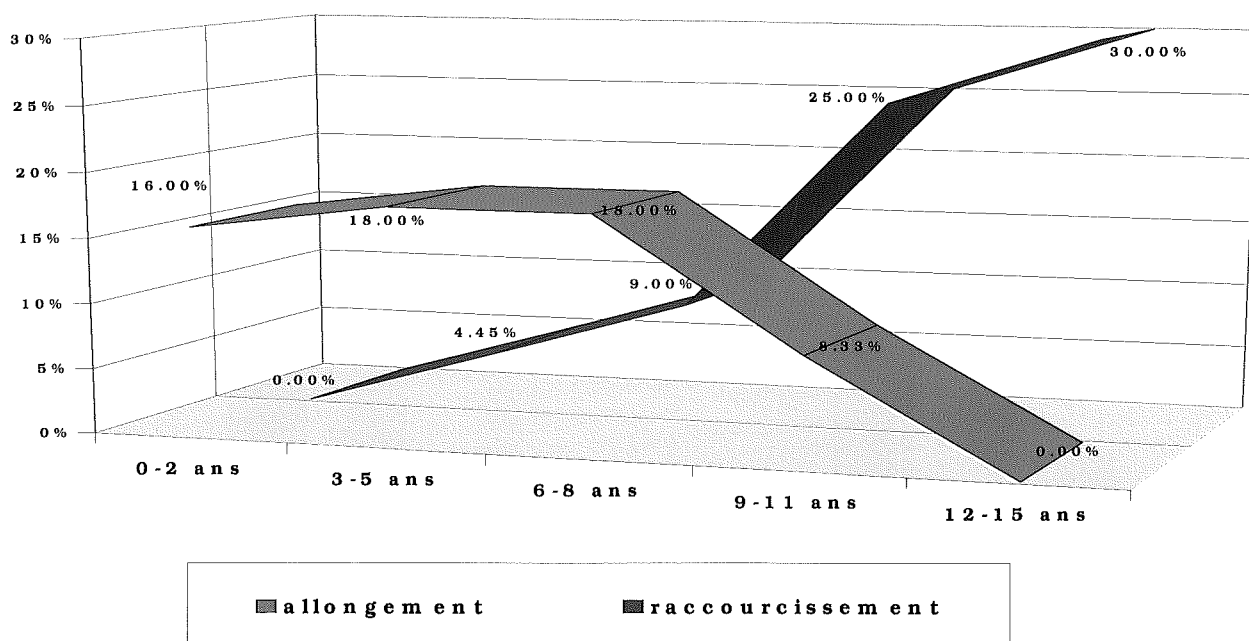
En résumé, chez 16 (16,7 %) des 96 enfants, il y a eu une migration de broches. Chez 11 (11,4 %) enfants, il y a eu une reprise chirurgicale. À remarquer qu'avant l'âge de 8 ans, la moitié des cas avec migration ont été repris chirurgicalement, tandis que tous les cas plus âgés de 8 ans ont subi une correction chirurgicale.

Fig. 13 : Migration de broches



Exemple de migration de broches chez un garçon de 4 ans. La première image décrit une fracture oblique à long biseau et fragment supplémentaire (A). L'image (B) montre une migration des 2 broches avec déplacement en raccourcissant l'os, après une mobilisation sans charge. L'image de droite (C) montre le résultat postopératoire après un repositionnement et une recoupe des broches.

h. Inégalité de longueur



Tab. 19 : *Fréquence d'un hyperallongement et d'un raccourcissement selon la classe d'âge*

Le graphique décrit le pourcentage d'enfants ayant le membre inférieur opéré hyperallongé ou raccourci après au moins un an postopératoire. Dans cette population, nous avons pu constater un certain nombre de défauts de longueur du membre atteint.

Nous avons considéré uniquement des défauts à partir de 10 mm, car les inférieurs n'ont pas d'importance clinique [21, 52, 53, 57, 60].

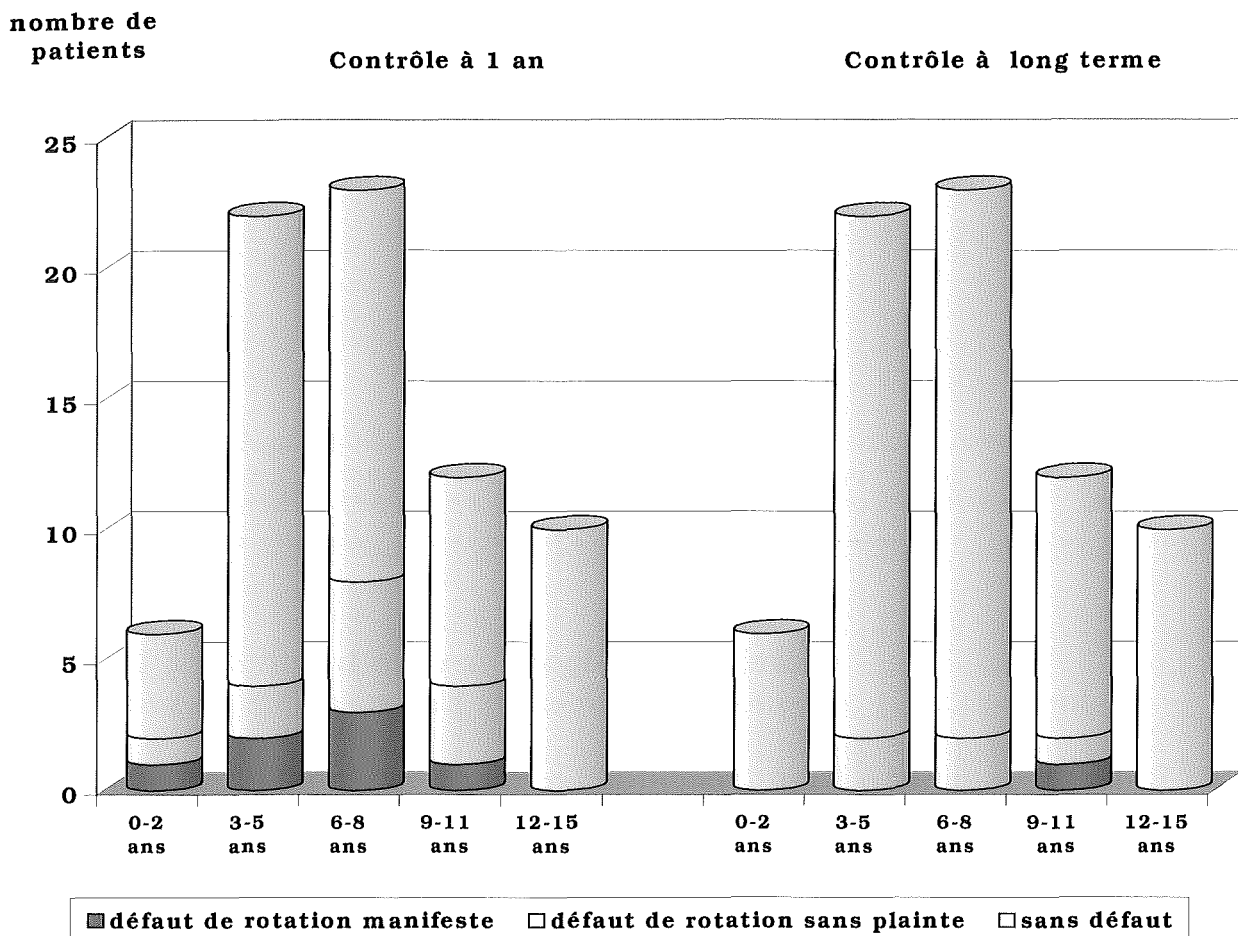
Les cas avec un suivi plus court qu'un an, malgré des convocations, et ceux partis à l'étranger ou dans un autre canton ont été exclus du collectif :

0-2 ans	3-5 ans	6-8 ans	9-12 ans	12-15 ans	Total
3 cas	3 cas	9 cas	4 cas	3 cas	22 cas exclus

En résumé, l'étude de cette complication compte 74 fractures dont 10 (13,5 %) montraient un hyperallongement moyen de 1,2 cm. Neuf fractures (12,2 %) montraient un raccourcissement moyen de 1,6 cm.

Pour les défauts de longueur ce graphique met en évidence les différences de résultats selon l'âge du patient. Les hyperallongements affectent plus fréquemment les enfants jeunes (0-8 ans). Par contre, les raccourcissements concernent les enfants plus âgés (9-15 ans).

i. Défaut de rotation



Tab. 20 : Défaut de rotation

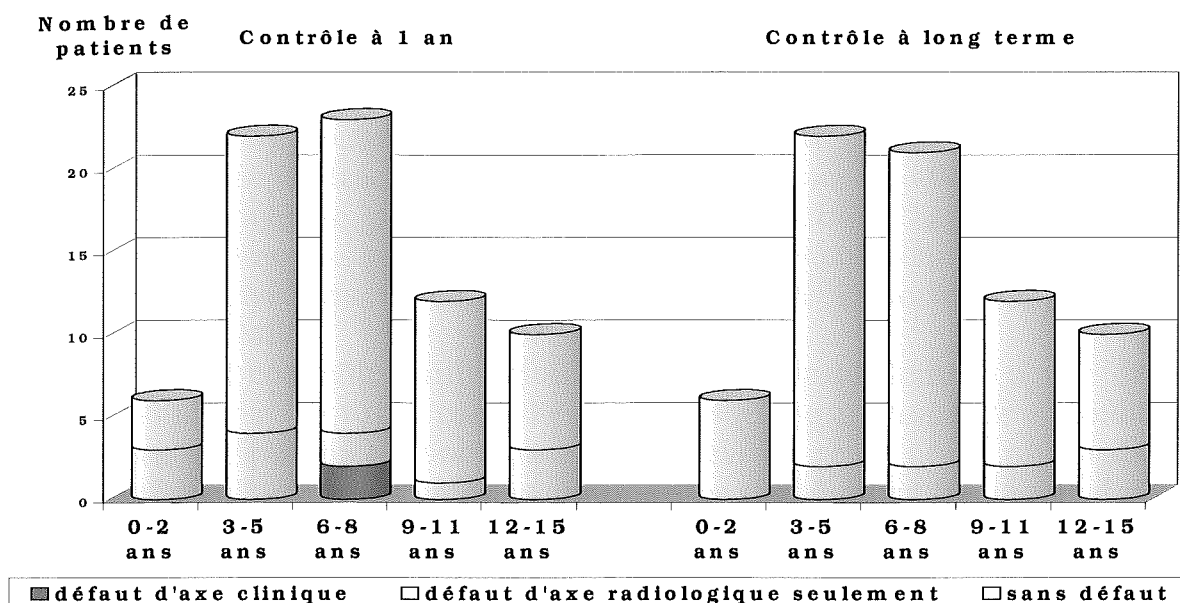
Ce graphique montre la présence d'un défaut de rotation d'au moins 10° à l'examen clinique, avec ou sans gêne fonctionnelle, au contrôle à 1 an et lors du dernier contrôle effectué.

Les critères d'exclusion sont les mêmes que pour tab. 19 (22 patients).

Lors du contrôle à 1 an, nous avons pu remarquer une certaine gêne fonctionnelle chez les enfants présentant un léger défaut de rotation. Il s'agissait souvent d'enfants avec une mauvaise compliance aux exercices. Tous les cas avec défaut de rotation à 1 an ont été recontrôlés. Il s'est avéré que, pour la plupart, la gêne disparaissait par la suite.

Au total des 73 fractures contrôlées à 1 an, 15% présentaient un défaut de rotation entre 10° et 30° et 9,5% présentaient une gêne fonctionnelle. Lors du contrôle à long terme (durée moyenne du suivi tout âge confondu 22,5 mois), 14% ont montré un défaut de rotation inférieur à 15° et 1 seul patient (1,4%), avec défaut majeur, présentait des troubles fonctionnels à long terme: il s'agissait d'un problème survenant après une migration de broches.

j. Défaut d'axe



Tab. 21 : Défaut d'axe radiologique et clinique

Les critères d'exclusion sont les mêmes que pour tab. 19 (22 patients).

Ce graphique montre la fréquence d'un défaut axial égal ou supérieur à 10° visible radiologiquement et la fréquence d'un défaut cliniquement manifeste. Ceci s'observe lors du contrôle après 1 an et lors du dernier contrôle.

Tous les cas avec défaut axial à 1 an ont été recontrôlés et il s'est avéré qu'aucune gêne clinique n'a été mise en évidence, en particulier pour les défauts en anté- et rétrocurvation (les plus fréquentes dans cette série d'observation) car situées dans l'axe de mouvement de l'articulation.

La catégorie des enfants entre 6 et 8 ans comprend les 2 uniques cas avec défaut cliniquement manifeste à 1 an qui ont été exclus du contrôle ultérieur en raison de leur départ:

- un enfant de 8 ans qui présentait une grave pseudarthrose suite à une fracture ostéosynthésée par plaque (voir image chap. 6c(1)), chez qui nous avons réalisé un montage ascendant et descendant qui avait permis de réduire le défaut à 25° de varus. Au dernier contrôle clinique à moins d'1 an le défaut clinique et radiologique persistait mais la fracture était stable. Nous avons procédé à l'AMO. L'enfant quitta ensuite le pays, donc nous ne disposons pas de résultats à long terme.
- une fille de 8 ans avec fracture spiroïde du tiers distal opérée avec la technique ascendante et descendante (voir chap. 6c(2)). Le contrôle à 1 an montre un varus de 20° , un défaut axial visible cliniquement, sans gêne à la marche, mais avec une amyotrophie modérée ipsilatérale. Nous ne disposons, malheureusement, pas de résultats à plus long terme.

7. DISCUSSION

Dans notre collectif de fractures fémorales, nous avons principalement traité des fractures diaphysaires fémorales, ce qui représente les cas les plus fréquents. Des fractures soustrochantériennes, ainsi que pertrochantériennes ou métaphysaires distales peuvent également être traitées par cette technique (Tab. 14). Métaizeau [6] considérait comme contre-indiquées les fractures cervicotrochantériennes. Oetiker [11] trouve la méthode avantageuse pour les fractures soustrochantériennes. Blanquart [58] opère même la plupart des fractures cervicotrochantériennes. Les fractures épiphysaires et cervicales ne devraient, à notre avis, pas être traitées par ECMES.

Christinaz [10] conseille l'utilisation de l'ECMES parallèlement à une attelle plâtrée pour des fractures condyliennes, lorsque le manque de stabilité ne permet pas de traitement fonctionnel. Ceci devrait, selon nous, plutôt mener à l'utilisation d'autres techniques pour éviter de sommer les inconvénients des deux options, l'une invasive et l'autre orthopédique. Rappelons que l'avantage de l'ECMES est de permettre une réduction satisfaisante et une mobilisation précoce par le biais d'une ostéosynthèse peu invasive.

Âge

Vrsansky [54] prévoit une traction collée postopératoire pendant 10 jours pour sa population des 5-17 ans. Ceci n'a pas été réalisé dans notre collectif en moyenne plus jeune et car nous croyons contradictoire combiner traitement orthopédique et ostéosynthèse. Peut être que cela pourrait être bénéfique pour les enfants plus grands avec fractures très instables, sujets au risque de raccourcissement. Cela n'est certainement pas indiqué pour les petits enfants en-dessous de 8 ans.

Momberger [61] préconise le clou centromédullaire chez les enfants de 10-16 ans, décrivant d'excellents résultats fonctionnels lorsqu'on utilise un point d'entrée latéropostérieur de la fosse piriforme, diminuant beaucoup la lésion vasculaire artérielle rétinaculaire, au détriment d'une lésion cartilagineuse de l'apophyse trochantérienne, ce qui mènerait à une valgisation (risque peu marqué après 10 ans)

Nous pensons que grâce aux techniques d'ostéosynthèse biologique (ECMES, FED), il est plus simple d'éviter ces complications. La technique est moins invasive. L'AMO peut être plus précoce. Les enfants récupèrent plus rapidement.

Le clou centromédullaire verrouillé reste un moyen de traitement chez l'adolescent chez qui il reste moins d'1 an de croissance fémorale pour McCartney [50]. Nous y ajouterons que nous recommandons ce choix pour les enfants particulièrement lourds avec des fractures instables, lorsqu'on ne souhaite pas faire d'ECMES.

La limite d'âge inférieure ne fait pas l'objet d'un consensus. Vrsansky [54] propose une limite d'âge à 5 ans, en raison du petit volume intramédullaire. Avec l'utilisation de petites broches, ceci ne pose, dans notre expérience, aucun problème et la technique mène à d'excellents résultats même chez les petits enfants à partir d'1 ¼ an.

Alitement, durée d'hospitalisation et mise en charge

La déambulation se fait en moyenne à 8 jours (moyenne incluant les polytraumatisés). Les enfants en-dessous de 3 ans débutent la déambulation, en moyenne, avant le troisième jour (Tab.13). Cela correspond au traitement fonctionnel postopératoire pour l'ECMES préconisé par Slongo [56]. La comparaison de notre série avec un collectif correspondant et précédant (Vaucher [1]) montre une différence importante pour la durée moyenne d'alitement lors de traitement orthopédique qui, avec 7,6 semaines, est environ 7 fois plus longue qu'en cas d'ECMES. La durée moyenne d'hospitalisation pour l'ECMES passe de 8,3 semaines à 12,4 jours. C'est presque 5 fois plus court ce qui comporte des avantages évidents pour le confort du patient et des parents, les coûts de la santé et la présence scolaire.

La moitié de nos patients peuvent charger totalement à 4 semaines. La mise en charge peut être d'autant plus précoce chez le jeune enfant. En comparaison le traitement orthopédique n'avait permis de charge complète qu'après 6-12 semaines [1].

Hyperallongement /raccourcissement

Comme nous le montrons dans un graphique (Tab.19), le raccourcissement augmente avec l'âge et l'hyperallongement diminue avec l'âge. Ce phénomène nous semble logique et a certainement été assumé par d'autres mais n'avait pas encore été clairement décrit dans la littérature spécialisée. Vaucher [1], dans une étude sur l'allongement secondaire après fracture fémorale et traitement orthopédique, ne constate pas de différence d'hyperallongement selon l'âge. Dans beaucoup de séries aucun hyperallongement n'a été décrit au delà de 13 ans, ce qui correspond à nos résultats pour l'ECMES.

Le raccourcissement prophylactique, parfois préconisé, est donc absolument à éviter chez les grands enfants. Von Laer [11], en 1994, parle aussi de persistance du raccourcissement chez les enfants de plus de 10 ans, si un raccourcissement prophylactique a été effectué. Il accepte des raccourcissements mineurs chez les grands, car jusqu'à 1 cm, il sera bien toléré.

Le fait qu'un raccourcissement prophylactique soit utile pour les petits enfants reste à prouver. Le défaut de translation a été évoqué comme un des facteurs stimulant l'hyperallongement qui dépasserait ainsi le raccourcissement provoqué [11]. Corry [27] accepte le raccourcissement prophylactique chez les enfants de moins de 4 ans. Nous rappelons que le

maximum d'hyperallongement se fait en 18 mois et s'achève après 3 ans [49, 50]. Vaucher [1] dit que le fait d'avoir corrigé le plus possible les défauts d'axe augmente le risque d'hyperallongement. Dans notre collectif, avec une correction d'axe par ECMES, nous avons vu un hyperallongement supérieur à 1 cm seulement dans 13,5% des cas. Il reste moindre que pour le traitement orthopédique (16%) [1].

Migration de broches

La complication la plus fréquemment rencontrée est la migration de broches. Sa fréquence varie entre 8% des enfants de plus de 12 ans et 25% des catégories de 0-2 et de 9-11 ans. Dans la moitié des cas de moins de 8 ans, nous avons procédé à une recoupe des broches ou, s'il y a eu un déplacement majeur à un repositionnement. Pour les enfants de cet âge le raccourcissement n'est pas un problème (tab.19). Le montage est repris dans tous les cas de migration de broches chez les enfants de plus de 9 ans ce qui nous semble important dans l'optique d'éviter le risque d'un raccourcissement.

La comparaison avec la littérature est difficile, car les indications des auteurs ne distinguent pas entre migration de broches, gêne sous-cutanée ou raccourcissement de la fracture. Les résultats préliminaires d'une étude multicentrique (Flynn [55]) n'ont montré que 9% de cas de migration ou gêne liée à la broche. Téot [32] décrit une migration et une reprise des broches dans 10% des cas, contre nos 11% traités par recoupe ou repositionnement.

Défaut d'axe

Comme nous pouvons le constater (Tab. 21), il est rare qu'un défaut d'axe même supérieur à 10°, puisse créer une gêne fonctionnelle à long terme, selon Slongo et Schärli [56, 57] particulièrement s'il se situe dans la partie proximale du fémur. On explique cela par le remodelage du cal (apposition osseuse du côté concave de la fracture qui subit une compression majeure) et par la modification de la direction de croissance au niveau du cartilage de conjugaison, perpendiculaire aux forces de réaction [9], La croissance est donc augmentée là où le cartilage est le plus stimulé (coté concave) ce qui tend à redresser l'axe.

En effet, nos résultats à long terme montrent une réduction nette des séquelles par rapport aux cas avec manifestation clinique constatée à 1 an. De plus, nous remarquons une bonne tolérance clinique des petits défauts radiologiques déjà lors du contrôle à 1 an: moins de la moitié des défauts axiaux égaux ou supérieurs à 10° sont symptomatiques à 1 an, et encore moins à long terme.

Le traitement orthopédique avait montré 9% de cas avec angulation majeure après plus de 4 ans [1]. Nos 8% de cas avec défaut d'axe (Tab. 21) à moins de 2 ans nous font affirmer que les résultats de l'ECMES sont au moins aussi bons que ceux du traitement orthopédique pour cette complication, ce qui nous semble logique pour une méthode permettant une meilleure réduction de la fracture.

Défaut de rotation

Nous avons constaté une tolérance remarquable aux défauts de rotation détectés par l'examen clinique. Ils n'ont, qu'une seule fois, posé problèmes à long terme, alors que 18 cas étaient détectés lors du contrôle à 1 an. On sait qu'il n'existe pas de véritable correction du défaut de rotation avec le temps. Cependant, le pourcentage de patients avec gêne due au défaut de rotation s'est considérablement réduit dans le temps (Tab. 20). Si une véritable correction anatomique n'est pas possible, il existe au moins une correction fonctionnelle au niveau de la hanche ou adaptation au trouble rotatoire.

L'étude de la série de Vaucher [1] nous décrit 10% de cas avec défauts de rotation plus grand que 10° contre nos 8% de cas (seul 1,4% avec gêne fonctionnelle). La réduction par broches entraîne donc des résultats comparables, voire meilleurs, que le traitement orthopédique.

Cal périosté et solidité osseuse

Comme nous le démontrons (Tab. 15), le délai de l'AMO augmente avec l'âge. Ceci pourrait s'expliquer ainsi: la biomécanique de la réparation osseuse chez le petit enfant permet une certaine stabilité due à la formation précoce d'un gros cal périosté. Le plus grand enfant, en revanche, présente une réparation plus proche de celle de l'adulte, avec un cal périosté moindre. On attend donc, chez le grand enfant, un meilleur cal endosté que chez l'enfant plus jeune où la formation du cal périosté favorise la solidité mécanique.

Stabilité du montage

Basé sur l'analyse du collectif et sur notre expérience depuis les tous premiers cas en 1986, y compris sur l'examen critique des détails de chaque montage, nous recommandons quelques points techniques importants, afin d'éviter des problèmes d'instabilité fracturaire, tout en respectant les principes de fonctionnement du montage.

Le choix de la taille des broches doit se faire en tenant compte de l'âge et du poids de l'enfant (Chap. 6d). Le diamètre doit être compris entre le tiers et la moitié du diamètre du canal médullaire. Les deux broches doivent être de la même taille. Pour les enfants âgés, en particulier, les broches ne doivent pas être trop fines.

Les points d'entrée doivent être symétriques et de taille correcte par rapport à la broche, pour diminuer le risque de migration des broches. Ceci est confirmé par les résultats récents de Slongo [56].

Il faut considérer les vecteurs de forces agissant à travers les broches, et leur effet sur l'angle fracturaire immédiatement après l'opération, en particulier dans le cas d'un montage déséquilibré. La rotation doit être recontrôlée soigneusement après une réduction de la fracture et avant l'ancrage définitif. Le bout recoupé de la broche doit être bien impacté.

Comparaison à d'autres techniques

Etude lausannoise des traitements orthopédiques :

Entre 1975 et 1985, 79 cas traités dans notre service avaient été étudiés. Le traitement était orthopédique dans 77% des cas, 16 % avaient été opérés par plaque AO et vis en raison d'échec du traitement conservateur, au-delà des 10 ans [1].

[* = les valeurs indiquées entre parenthèse indiquent la casuistique correspondante, basée sur la population de notre étude actuelle (traitement par ECMES)]

- Le sex ratio était de 3,4/1. Le rapport entre garçon et fille était donc différent que dans notre étude (1,8/1)*.
- L'âge moyen était de 7,7 ans contre (7,4)* ans dans notre série d'observations.
- Les causes d'accident étaient la circulation dans 51% (45%)*, le sport 21,5% (37%)*, les accidents domestiques et autres 27,5% (18%)*.
- Le type de fracture était transverse ou comminutive dans 61% (57%)*, oblique 23% (20%)* et spiroïde 16% (15%)*.
- Les fractures étaient du tiers proximal dans 10% (28%)*, du tiers moyen dans 82% (67%)* et du tiers distal dans 8% (8%)* des cas.

A part une augmentation de fréquence des fractures proximales, une augmentation de l'étiologie sportive, une diminution des accidents domestiques, et une diminution du sex ratio, on peut considérer comme tout à fait comparables les 2 populations étudiées par les 2 études consécutives dans notre service.

Un résultat particulièrement intéressant et très différent pour les deux études est le suivant: pour le traitement conservateur, la durée de l'alitement varie entre 6 et 11 semaines (3-12 jours)* et la durée d'hospitalisation entre 6,5 et 12 semaines (7-19 jours)* croissant avec l'âge [1]. L'ECMES permet donc un alitement et une durée d'hospitalisation nettement plus courts que le traitement orthopédique.

L'hyperallongement supérieur à 1 cm pour le traitement orthopédique était à 16% contre (13,5%)*.

L'angulation mesurant plus de 10° était à 9% contre (8%)*.

Le défaut de rotation mesurant plus de 10° comprenait le 10% des cas contre (8%)*.

Le traitement par ECMES semblerait supérieur au traitement orthopédique, présentant moins d'hyperallongement, moins de défaut d'angulation et moins de défaut de rotation.

Slongo [56] argumente pour le décrit fixateur externe dynamisable (FED), disant qu'il est utilisable dans toute situation clinique (par exemple aussi dans les fractures infectées) tandis qu'il affirme que l'ECMES poserait problème avec les enfants lourds et grands aux fractures instables. Dans ses cas entre 5 et 15 ans, il utilise l'ECMES même combiné avec le FED qui sera ôté après 3 semaines au maximum. Chez les enfants lourds entre 14 et 16

ans et tous les plus grands que 15 ans, il préconise une plaque (LCDCP-MIPO) plutôt que l'ECMES. Nous ne voyons pas de nécessité pour l'utilisation conjointe d'un FED, ce dernier ayant le potentiel d'augmenter le risque infectieux. Cependant, nous considérons le traitement par FED comme une alternative pour certaines fractures ouvertes en particulier.

Le traitement par clou ou plaque LIS peut être envisagé si taille, poids et morphologie osseuse ont pratiquement atteint un âge adulte. Ainsi on pourra s'attendre à une bonne solidité osseuse par cal endosté uniquement, sans léser le périoste si important chez l'enfant. Lorsqu'on voudrait éviter l'ECMES pour atteindre plus de stabilité chez l'enfant âgé et lourd, avec un type de fracture instable, on utilisera plutôt le clou centromédullaire.

Dans la seule étude prospective, Bar-On [62] préfère l'ECMES au FED, car ce dernier aurait montré plus de cal, un délai de charge totale prolongé, une mobilisation plus limitée, plus d'amyotrophie du quadriceps, un retour scolaire retardé et une moindre satisfaction du patient. Il préconise l'utilisation de l'ECMES comme traitement standard et le FED pour les fractures ouvertes et comminutives sévères seulement.

L'utilisation systématique du FED comporte un risque d'infection de broches dans 10% des cas (Gregory [8]) et comporte certainement un confort moindre pour l'enfant et son entourage, comparé à l'ECMES.

8. RECOMMANDATIONS

En conclusion nous trouvons que L'ECMES et le FED représentent des techniques valables et de réalisation simple que l'on peut appliquer à l'ensemble des fractures diaphysaires fémorales pédiatriques. L'ECMES assure une fixation stable suffisante, une bonne réduction de la fracture par des incisions minimales et surtout autorise une mobilisation précoce évitant une longue hospitalisation et permettant à l'enfant un retour rapide à l'école et aux activités normales.

Les fractures à proximité des épiphyses sont à traiter par FED ou par traitement orthopédique. Les fractures métaphysaires ou de Salter ne représentent en général pas d'indication à l'ECMES.

Les fractures pertrochantériennes ne permettent d'effectuer un traitement par ECMES que dans de rares cas très sélectionnés. Pour les fractures sous trochantériennes l'ECMES reste une option thérapeutique valable.

Nous résumons les traitements recommandés pour fractures diaphysaires et soustrochantériennes fémorales selon âge et type de fracture :

Fracture		0-2 ans	3-5 ans	6-11 ans	12-15 ans
Transverse	Tiers proximal	Traction Plâtre ECMES poss.*	ECMES Traction	ECMES FED poss.	ECMES FED poss. Ostéosynthèse adulte selon stade de croissance
	tiers moyen				
	tiers distal				
Oblique	tiers proximal	Traction Plâtre ECMES poss.*	ECMES Traction	ECMES FED poss.	ECMES FED poss. Ostéosynthèse adulte selon stade de croissance
	tiers moyen				
	tiers distal				
Spiroïde	tiers proximal	Traction Plâtre ECMES poss.*	ECMES Traction	ECMES FED poss.	ECMES Clou poss.** selon stade de croissance
	tiers moyen				ECMES FED poss. Clou poss. ** selon stade de croissance
	tiers distal				ECMES Fix Ex poss.
Complexe	tiers proximal	Traction Plâtre ECMES poss.*	FED ECMES Traction	FED ECMES	clou ** Ostéosynthèse adulte selon stade de croissance
	tiers moyen				FED ECMES clou **
	tiers distal				FED ECMES

* = ECMES possible à partir de 1 ¼ ans

** = seul chez les enfants très lourds, à croissance quasi terminée et avec fracture instable et comminutive

Premier choix en **gras**

9. BIBLIOGRAPHIE

1. Vaucher D. Allongement secondaire après fracture de la diaphyse fémorale chez l'enfant: nécessité ou non d'une surveillance à long terme. Thèse en Médecine. Université de Lausanne 1991. p.26-33.
2. Kaelin L, Freiburghaus U, von Laer L, Lampert C. Extension oder Osteosynthese kindlicher Oberschenkelfrakturen - Erfahrungen mit dem Fixateur Externe [Extension or osteosynthesis of juvenile femoral shaft fractures--experiences with the external fixator]. Z Unfallchir Versicherungsmed. 1990;83(1):30-7.
3. Stilli S, Sabetta E, Marchiodi L, Donzelli O. Il fissatore esterno nelle fratture diafisarie chiuse dell'arto inferiore in traumatologia pediatrica. Indicazioni e limiti. The external fixator in the treatment of closed diaphyseal fractures of the lower limb during childhood. Indications and limits. Chir Organi Mov. 1992;77(2):159-65.
4. Tolo VT. External skeletal fixation in children's fractures. J Pediatr Orthop. 1983 Sep;3(4):435-42.
5. Von Laer L. Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. Stuttgart, New York. Georg Thieme-Verlag, 3^{ème} édition 1996.
6. Métaizeau JP. L'ostéosynthèse chez l'enfant par Enclouage Centro-Médullaire Élastique Stable. Montpellier, Sauramps Médical: diffusion Vigot, 1988.
7. Reinberg O, Frey P, Meyrat BJ. Traitement des fractures de l'enfant par enclouage centro-médullaire élastique stable (ECMES) [Treatment of pediatric fractures by intramedullary stable elastic pinning]. Z Unfallchir Versicherungsmed. 1994 Jul;87(2):110-8; discussion 118-9.
8. Gregory RJ, Cubison TC, Pinder IM, Smith SR. External fixation of lower limb fractures in children. J Trauma. 1992 Nov;33(5):691-3.
9. Clavert JM, Métaizeau JP. Les fractures des membres chez l'enfant, Montpellier, Sauramps médical: diffusion Vigot, 1990.
10. Christinaz D. Embrochage élastique stable pour les fractures de l'enfant [Stable elastic nailing of fractures in children]. Rev Med Suisse Romande. 1994 Apr;114(4):319-26.
11. Von Laer L. Spontanverläufe nach Frakturen im Wachstumsalter [Natural course following fractures during the growth years]. Orthopade. 1994 Jun;23(3):211-9.
12. Knorr P, Schmittenebecher PP, Dietz HG. Die Behandlung pathologischer Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter

mittels elastisch stabiler Markraumschienung [Treatment of pathological fractures of long tubular bones in childhood using elastic stable intramedullary nailing]. Unfallchirurg. 1996 Jun;99(6):410-4.

13. Dietz HG, Joppich I, Marzi I, Parsch K, Schlickewei W, Schmittenebecher PP. Behandlung der Femurfrakturen im Kindesalter [Treatment of femoral fractures in childhood. Consensus Report of the 19th Meeting of the Child Traumatology Section of the DGU, Munich, 23-24 June 2000]. Unfallchirurg. 2001 Aug;104(8):788-90.
14. Prevot J. L'embrochage elastique stable [Stable elastic nailing. Z Unfallchir Versicherungsmed Berufskr. 1989;82(4):252-60.
15. Goodship AE, Kenwright J. The influence of induced micromovement upon the healing of experimental tibial fractures. J Bone Joint Surg Br. 1985 Aug;67(4):650-5.
16. Prévot J, Lascombes P, Ligier JN. L'ECMES comme procédé d'ostéosynthèse des fractures des membres chez l'enfant. Principe, application sur le fémur. A propos de 250 fractures suivies depuis 1979 [The ECMES [Centro-Medullary Elastic Stabilising Wiring] osteosynthesis method in limb fractures in children. Principle, application on the femur. Apropos of 250 fractures followed-up since 1979]. Chirurgie. 1993-1994; 119(9):473-6.
17. Terjesen T. Healing of rabbit tibial fractures using external fixation. Effects of removal of the fixation device. Acta Orthop Scand. 1984 Apr;55(2):192-6.
18. Saxer U. Fractures of the shaft of the femur. In: Weber BG, Brunner C, Freuler F, eds : Treatment of fractures in children and adolescents. Berlin, Springer, 1980.
19. Piroth P, Bliesener JA. Rotationsfehlstellung nach konservativer Behandlung kindlicher Oberschenkelschaftfrakturen. Zeitschrift für Kinderchirurgie und Grenzgebiete. 1977; 20: 172-180.
20. Karaoglu S, Baktir A, Tuncel M, Karakas ES, Sakir TM. Closed Ender nailing of adolescent femoral shaft fractures. Injury. 1994 Oct;25(8):501-6.
21. Shapiro F. Developmental patterns in lower-extremity length discrepancies. J Bone Joint Surg Am. 1982;64(5):639-51.
22. Stephens MM, Hsu LC, Leong JC. Leg length discrepancy after femoral shaft fractures in children. Review after skeletal maturity. J Bone Joint Surg Br. 1989 Aug; 71(4):615-8.

23. Fein LH, Pankovich AM, Spero CM, Baruch HM. Closed Flexible Intramedullary nailing of adolescent femoral shaft fractures. *J Orthop Trauma*. 1989;3(2):133-41.
24. Mann DC, Weddington J, Davenport K. Closed Ender nailing of femoral shaft fractures in adolescents. *J Pediatr Orthop*. 1986 Nov-Dec;6(6):651-5.
25. Heinrich SD, Drvaric D, Darr K, MacEwen GD. Stabilization of pediatric diaphyseal femur fractures with flexible intramedullary nails (a technique paper). *J Orthop Trauma*. 1992;6(4):452-9.
26. Kissel EU, Miller ME. Closed Ender nailing of femur fractures in older children. *J Trauma*. 1989 Nov;29(11):1585-8.
27. Corry IS, Nicol RO. Limb length after fracture of the femoral shaft in children. *J Pediatr Orthop*. 1995 Mar-Apr;15(2):217-9.
28. Boitzy A. La fracture du col du femur chez l'enfant et l'adolescent. Paris, Masson, 1971.
29. Boitzy A. Fractures of the proximal femur. In: Weber BG, Brunner C, Freuler F, eds : Treatment of fractures in children and adolescents. Berlin, Springer, 1980.
30. Gustillo RB, Mendoza RM, Williams DN. Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures. *J Trauma*. 1984 Aug;24(8):742-6.
31. Firica. A, Popescu R, Scarlet M, Dimitriu M, Ionescu V, Protopescu C, Buga M, Constantinescu I, Iliescu N. L'ostéosynthèse stable élastique, nouveau concept biomécanique. Etude expérimentale. *Rev Chir Orthop* 1981; 67 (suppl II) :82-92.
32. Téot L. L'enclouage centromédullaire élastique stable chez l'enfant. Cahier d'enseignement de la SOFCOT. Conférences d'enseignement 1987:71-90.
33. Thompson GH, Wilber JH, Marcus RE. Internal fixation of fractures in children and adolescents. A comparative analysis. *Chir Orthop Relat Res*. 1984 Sep;(188):10-20.
34. Astion DJ, Wilber JH, Scoles PV. Avascular necrosis of the capital femoral epiphysis after intramedullary nailing for a fracture of the femoral shaft. A case report. *J Bone Joint Surg Am*. 1995 Jul;77(7):1092-4.

58. Blanquart D. L'embrochage élastique stable des fractures du fémur chez l'enfant. Thèse de médecine. Université de Nancy 1987.
59. Métaizeau JP. Stable elastic intramedullary nailing for fractures of the femur in children. *J Bone Joint Surg Br.* 2004 Sep;86(7):954-7.
60. Bourdelat D, Sanguina M. Fracture de la diaphyse fémorale chez l'enfant. Embrochage centro-médullaire ascendant ou descendant? Un choix de principe ou de nécessité? [Fracture of the femoral diaphysis in children. Ascending or descending centro-medullary nailing? A choice of principle or of necessity?]. *Ann Radiol (Paris).* 1991;34(5):338-43.
61. Momberger N, Stevens P, Smith J, Santora S, Scott S, Anderson J. Intramedullary nailing of femoral fractures in adolescents. *J Pediatr Orthop.* 2000 Jul-Aug;20(4):482-4.
62. Bar-On E, Sagiv S, Porat S. External fixation or flexible intramedullary nailing for femoral shaft fractures in children. A prospective, randomised study. *J Bone Joint Surg Br.* 1997 Nov;79(6):975-8.

35. O'Malley DE, Mazur JM, Cummings RJ. Femoral head avascular necrosis with intramedullary nailing in an adolescent. *J Pediatr Orthop*. 1995 Jan-Feb;15(1):21-3.
36. Mileski RA, Garvin KL, Huurman WW. Avascular necrosis of the femoral head after closed intramedullary shortening in an adolescent. *J Pediatr Orthop*. 1995 Jan-Feb;15(1):24-6.
37. Van Tets WF, van der Werken C. External fixation for diaphyseal femoral fractures: a benefit to the young child? *Injury*. 1992;23(3):162-4.
38. Schranz PJ, Gultekin C, Colton CL. External fixation of fractures in children. *Injury*. 1992;23(2) :80-2.
39. Siguier T, Glorion C, Langlais J, Rouvreau P, Pouliquen JC. La fixation externe dans les fractures des membres inférieur de l'enfant [External fixation in fractures of the lower limb in children]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1995;81(2):157-62.
40. Levy J, Ward T. Pediatric femur fractures: an overview of treatment. *Orthopedics*. 1993 Feb;16(2):183-90.
41. Probe R, Lindsey RW, Hadley NA, Barnes DA. Refracture of adolescent femoral shaft fractures: a complication of external fixation. A report of two cases. *J Pediatr Orthop*. 1993 Jan-Feb;13(1):102-5.
42. Weinberg AM, Reilmann H, Lampert C, von Laer L. Erfahrungen mit dem Fixateur externe bei der Behandlung von Schaftfrakturen im Kindesalter [Experience with external fixation in treatment of shaft fractures in childhood]. *Unfallchirurg*. 1994 Mar;97(3):107-13.
43. Davis TJ, Topping RE, Blanco JS. External fixation of pediatric femoral fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1995 Sep;(318):191-8.
44. Oetiker J, Komorek W, Meyer RP, Kappeler U. Die Prevot-Nagelung, eine elegante Methode. Erfahrungen mit 38 eigenen Fällen [Prévot nailing, an elegant method. Experiences with 38 personal cases]. *Unfallchirurg*. 1996 May;99(5):327-31.
45. Hackethal KH. *Die Bündel-Nagelung*. Berlin. Springer-Verlag 1961.
46. Firica A, Troianescu O, Petre M. Osteosynthesis of fractures of the femur with flexible metallic intramedullary nails. *Ital J Orthop Traumatol*. 1978 Apr;4(1):23-9.

47. Meuli M, Stauffer UG. Behandlung der Oberschenkel- und Unterschenkelschaftfrakturen beim Jugendlichen [Treatment of femoral and lower leg shaft fractures in adolescents]. *Z Unfallchir Versicherungsmed Berufskr.* 1989;82(4):227-35.
48. Ligier JN, Metaizeau JP, Prévot J. L'embrochage stable à foyer fermé en traumatologie infantile [Closed flexible medullary nailing in pediatric traumatology]. *Chir Pédiatr.* 1983; 24(6); 383-5.
49. Bourdelat D, Ghazal J, Gross P. Fracture de la diaphyse fémorale de l'enfant. Traitement par Embrochage Elastique Interne et modifications de cette technique [Fracture of the femoral diaphysis in children. Treatment using flexible internal nailing and changes in this technic]. *Chir Pédiatr.* 1989;30(1):54-7.
50. McCartney D, Hinton A, Heinrich SD. Operative stabilization of pediatric femur fractures. *Orthop Clin North Am.* 1994 Oct;25(4):635-50.
51. Ziv I, Rang M. Treatment of femoral fractures in the child with head injury. *J Bone Joint Surg Br.* 1983 May;65(3):276-8.
52. Rehli V, Slongo T. Operative Therapiemöglichkeiten bei Kinderschaftfrakturen mittels endomedullärer Nagelung [Surgical therapeutic possibilities in pediatric shaft fractures using intramedullary nailing]. *Helv Chir Acta.* 1994 Dec;60(6):991-6.
53. Keller HW, Huber R, Rehm KE. Die Intramedulläre Schienung von Frakturen im Wachstumsalter mit einem neuen Implantat [Intramedullary nailing of fractures during the growth period with a new implant]. *Chirurg.* 1993 Mar;64(3):180-4.
54. Vrsansky P, Bourdelat D, Al Faour A. Flexible stable intramedullary pinning technique in the treatment of pediatric fractures. *J Pediatr Orthop.* 2000 Jan-Feb;20(1):23-7.
55. Flynn JM, Hresko T, Reynolds RA, Blasier RD, Davidson R, Kasser J. Titanium elastic nails for pediatric femur fractures: a multicentersStudy of early results with analysis of complications. *J Pediatr Orthop.* 2001 Jan-Feb;21(1):4-8.
56. Slongo TF, Zachariou Z. Treatment of femoral fractures in children. *AO Dialogue.* 2005;2:15-26.
57. Schärli AF, Winiker H. Schaftfrakturen des Kleinkindesalters [Shaft fractures in infancy]. *Z Unfallchir Versicherungsmed Berufskr.* 1989;82(4):216-26.