

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Faculté de Médecine B.BENSMAIL

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Dr KHENFRI Mohammed

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTEUR EN SCIENCES MEDICALES

Thème

Les fractures diaphysaires des deux os de l'avant-bras
chez l'enfant et l'adolescent : Facteurs prédictifs d'échec du
traitement orthopédique

Directrice de thèse : Pr. BENHABILES Assya

Membres du jury :

Président	M ^r BOUZITOUNA Mahdjoub	Professeur	Univ. Constantine 3
Membre	M ^{me} ZIDANI Houria	Professeur	Univ. De Sétif
Membre	M ^{me} LEMAI Soumaya	Maître de conférence	Univ. Constantine 3
Membre	M ^r OTHMANI-MARABOUT Nadjib	Maître de conférence	Univ. Constantine3

2019/2020

DEDICACES

À ma mère qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, que Dieu la garde ;

À mon père qui m'a aidé à devenir ce que je suis aujourd'hui, que Dieu le garde et le protège ;

À ma femme à qui je dois beaucoup pour son aide, son affection et ses sacrifices ;

À mes enfants : Mouad, Anes, Aroua et Ahmed.

REMERCIEMENTS

A mon maître et directrice de thèse

Madame la professeure

BENHABILES Assya

Médecin chef de service de chirurgie orthopédique et
traumatologique A CHU Constantine

Vous avez accepté de diriger ce travail, je vous en serais toujours reconnaissant. Vos connaissances, vos qualités scientifiques et votre rigueur sont pour nous un exemple. Nous vous sommes reconnaissant de l'intérêt que vous avez toujours porté à notre enseignement et notre progression.

Veillez trouver dans ce travail, l'expression de ma profonde gratitude et de mon respectueux dévouement.

REMERCIEMENTS

A mon maitre et président de jury

Monsieur le professeur

BOUZITOUNA Mahdjoub

Doyen de la faculté de médecine université Constantine 3

Médecin chef de service de chirurgie orthopédique et
traumatologique B CHU Constantine

Nous vous remercions de nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette thèse. Nous vous sommes reconnaissant de l'intérêt que vous avez toujours porté à notre enseignement et notre progression.

Veillez trouver, dans ce travail, l'expression de notre profonde et respectueuse gratitude.

REMERCIEMENTS

A mon maître et juge Madame la professeure

ZIDANI Houria

Médecin chef de service de chirurgie orthopédique et traumatologique
CHU Sétif

Vous me faites un grand honneur d'avoir accepté de juger mon travail. J'ai toujours apprécié vos qualités humaines, votre rigueur professionnelle et votre sagesse. Je vous exprime, à travers ce travail, toute ma gratitude et ma considération.

A mon maître et juge Madame la professeure

LEMAI Soumaya

Médecin chef de service de médecine physique et réadaptation CHU
Constantine

Vous me faites un grand honneur d'avoir accepté de juger mon travail. J'ai toujours apprécié vos qualités humaines, votre rigueur professionnelle et votre sagesse. Je vous exprime, à travers ce travail, toute ma gratitude et ma considération.

A mon maître et juge Monsieur le professeur

OTHMANI-MARABOUT Nadjib

Chirurgie orthopédique et traumatologie CHU Constantine

Vous me faites un grand honneur d'avoir accepté de juger mon travail. J'ai toujours apprécié vos qualités humaines, votre rigueur professionnelle et votre sagesse. Je vous exprime, à travers ce travail, toute ma gratitude et ma considération.

REMERCIEMENTS

A tous les médecins des services de chirurgie orthopédiques A & B du CHU Constantine.

A tout le personnel des services de chirurgie orthopédiques A & B et des urgences chirurgicales du CHU Constantine.

A tout le personnel de la consultation externe

A tous les enfants et adolescent de cette étude et leurs parents.

Veillez trouver ici le témoignage de ma reconnaissance et ma considération

Plan du travail

PLAN DU TRAVAIL	7
ABREVIATIONS	10
1. INTRODUCTION	11
PARTIE THEORIQUE	15
2. EMBRYOLOGIE	16
3. DEVELOPPEMENT DU SQUELETTE DE L'AVANT-BRAS	20
4. RAPPEL ANATOMIQUE DE L'AVANT-BRAS	21
4.1. OSTEOLOGIE	21
4.1.1. <i>Le radius</i>	21
4.1.2. <i>L'ulna</i>	22
4.2. LES ARTICULATIONS DE L'AVANT-BRAS	23
4.2.1. <i>L'articulation radio-ulnaire proximale ou supérieure</i>	23
4.2.2. <i>L'articulation radio-ulnaire distale ou inférieure</i>	23
4.2.3. <i>La membrane interosseuse ou ligament interosseux (MIO)</i>	24
4.3. LES MUSCLES DE L'AVANT-BRAS	25
4.3.1. <i>Les muscles antérieurs de l'avant-bras</i>	25
4.3.2. <i>Les muscles postérieurs de l'avant-bras</i>	31
4.3.3. <i>Actions musculaires et déplacement des fractures</i>	36
5. BIOMECANIQUE DE L'AVANT-BRAS	37
5.1. MOUVEMENTS	37
5.2. TRANSMISSION DES FORCES	41
6. LA CONSOLIDATION OSSEUSE	42
6.1. CONSOLIDATION DIRECTE (PRIMAIRE) DES FRACTURES	42
6.2. CONSOLIDATION INDIRECTE (SECONDAIRE) DES FRACTURES	43
6.2.1. <i>La phase inflammatoire</i>	43
6.2.2. <i>Formation du cal mou</i>	44
6.2.3. <i>Formation du cal dur</i>	46
6.2.4. <i>Remodelage osseux</i>	47
7. MECANISMES DES FRACTURES	49
8. ÉTUDE CLINIQUE	51
9. IMAGERIES	53
9.1. LA RADIOGRAPHIE STANDARD	53
9.2. TOMODENSITOMETRIE ET IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE	56

10.	ANATOMIE PATHOLOGIQUE	57
11.	TRAITEMENT.....	63
11.1.	BUT	63
11.2.	MOYENS THERAPEUTIQUES.....	64
11.2.1.	<i>Traitement orthopédique.....</i>	<i>64</i>
11.2.1.1.	Réduction	64
11.2.1.2.	Contention.....	65
11.2.1.3.	Surveillance post-réduction.....	67
11.2.1.4.	Les indices de plâtres.....	67
11.2.2.	<i>Traitement chirurgical</i>	<i>69</i>
11.2.2.1.	Fixation intramédullaire	69
11.2.2.2.	Fixation par plaque et vis.....	72
11.2.2.3.	Fixation externe.....	72
11.3.	INDICATIONS	73
12.	COMPLICATIONS.....	74
12.1.	SYNDROME DES LOGES.....	74
12.2.	LESIONS VASCULAIRES.....	75
12.3.	LESIONS NEUROLOGIQUES	75
12.4.	DEPLACEMENT SECONDAIRE ET CAL VICIEUX.....	75
12.5.	RETARD DE CONSOLIDATION ET PSEUDARTHROSE.....	76
12.6.	RAIDEUR	77
12.7.	FRACTURE ITERATIVE	77
12.8.	SYNOSTOSES	78
PARTIE PRATIQUE		79
13.	MATERIELS ET METHODES	80
13.1.	TYPE D'ETUDE	80
13.2.	POPULATION D'ETUDE	80
13.2.1.	<i>Critères d'inclusion.....</i>	<i>80</i>
13.2.2.	<i>Critères de non inclusion.....</i>	<i>80</i>
13.2.3.	<i>Déroulement de l'étude</i>	<i>81</i>
13.3.	RECUEIL DE DONNEES ET ANALYSES STATISTIQUES	86
14.	RESULTATS.....	88
14.1.	DONNEES EPIDEMIOLOGIQUES	88
14.1.1.	<i>Caractéristiques de la population étudiée</i>	<i>88</i>
14.1.2.	<i>Circonstances du traumatisme</i>	<i>89</i>
14.2.	DONNEES CLINIQUES	90
14.2.1.	<i>Côté traumatisé et dominance</i>	<i>90</i>
14.2.2.	<i>Signes cliniques</i>	<i>90</i>

Déformation du membre	90
Œdème du membre	91
Signes vasculonerveux.....	91
14.3. DONNEES RADIOGRAPHIQUES	92
14.3.1. <i>Os fracturé</i>	92
14.3.2. <i>Type de trait</i>	93
14.3.3. <i>Localisation du trait</i>	94
14.3.4. <i>Déplacements</i>	95
Déplacements du radius.....	95
Déplacement de l'ulna	98
14.3.5. <i>Classification</i>	100
14.4. DONNEES THERAPEUTIQUES.....	101
14.4.1. <i>Traitement orthopédique initial</i>	101
14.4.2. <i>Radiographie de contrôle et indices de plâtres</i>	102
14.4.3. <i>Déplacements secondaires des fractures</i>	104
14.4.4. <i>Durée de l'immobilisation plâtrée</i>	105
14.4.5. <i>Complications</i>	105
14.4.6. <i>Évaluation clinique au recul</i>	106
14.5. ÉTUDE COMPARATIVE ENTRE LES DEUX GROUPES	108
14.5.1. <i>Répartition des patients selon le traitement final</i>	108
14.5.2. <i>Répartition selon le sexe</i>	109
14.5.3. <i>Répartition selon l'âge</i>	109
14.5.4. <i>Comparaison des données radiographiques avant réduction</i>	110
14.5.4.1. Type de trait du radius	110
14.5.4.2. Siège du trait du radius.....	110
14.5.4.3. Déplacement du radius	111
14.5.4.4. Type de trait de l'ulna.....	114
14.5.4.5. Siège du trait de l'ulna.....	115
14.5.4.6. Déplacement de l'ulna.....	115
14.5.4.7. les indices de plâtres	118
14.5.5. <i>Pronosupination</i>	119
14.6. REGRESSION LOGISTIQUE MULTIVARIEE	120
15. DISCUSSION	121
16. CONCLUSION	144
BIBLIOGRAPHIE	150
ANNEXES.....	169

ABREVIATIONS

BMP : Bone Morphogenetic Proteins

BMU : bone modelizing unit

CSM : cellules souches mésenchymateuses

ECMES : enclouage centromédullaire élastique stable.

IL-1 : interleukine-1

IL-6 : interleukine-6

MMP : matrix metalloproteinase

MIO : membrane interosseuse

PCCF : AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures

SDF-1: stromal cell-derived factor-1

TNF- α : tumor necrosis factor- α

1. INTRODUCTION

Introduction

Les fractures de l'avant-bras de l'enfant et de l'adolescent représentent une cause fréquente de consultation en traumatologie pédiatrique (23 à 40 %) [1–3]. Les fractures des diaphyses des deux os de l'avant-bras constituent environ 3,34 à 13,36 % de toutes les fractures de l'enfant [1,3,4].

Les fractures de siège diaphysaire sont toutes les fractures qui siègent sur la zone comprise entre les deux métaphyses proximale et distale. Ces fractures diaphysaires présentent un défi de gestion en raison de leur instabilité [5,6]. Il s'agit de l'une des rares fractures pédiatriques présentant un réel risque de complications et de morbidité prolongée [7].

Les limitations fonctionnelles séquellaires des fractures des deux os de l'avant-bras sont directement liées à la perte de la forme adaptée du radius et / ou de l'ulna ; car sans une forme adaptée des diaphyses, en particulier la courbure pronatrice du radius, l'enroulement du radius autour de l'ulna n'est pas possible [8–10].

L'avant-bras est formé par le radius et l'ulna qui sont liés par les deux articulations radio-ulnaires proximale et distale [11]. Le reste de l'avant-bras, entre ces deux articulations, est constitué par les diaphyses radiale et ulnaire liées par la membrane interosseuse. Ce segment de l'avant-bras, classiquement considéré comme un segment intermédiaire, est récemment présenté comme une troisième articulation unissant les deux os [12,13]. Les fractures diaphysaires de l'avant-bras siégeant au niveau du 1/3 moyen sont les plus difficiles à gérer [14]. Le succès du traitement de ces fractures réside dans la restauration de l'alignement anatomique des deux os avec une récupération complète de la mobilité [15].

Le traitement orthopédique, par réduction et contention plâtrée, est la méthode thérapeutique la plus utilisée chez l'enfant [16–22]. Une réduction anatomique n'est pas toujours nécessaire pour récupérer à terme une fonction correcte. Certains défauts résiduels après réduction sont tolérables et vont être corrigés par le phénomène de remodelage. Ce remodelage, propre à l'os en croissance, dépend du potentiel de croissance de l'os impliqué et de la distance entre le cal et le cartilage de croissance [23,24]. La détermination du seuil de tolérance de déplacements résiduels dépend de trois facteurs : l'âge , le sexe et le siège du trait de fracture [23–27].

Le traitement orthopédique expose au risque de déplacement secondaire pouvant nécessiter une reprise de la réduction voire une conversion vers un traitement chirurgical ; le plus souvent un enclouage centromédullaire élastique stable (ECMES) [28–33]. Le déplacement secondaire survient dans 7 à 13% des cas [34,35] avec un maximum pouvant aller jusqu'à 62 % pour les enfants plus âgés [35]. Davis rapporte un taux de reangulation dans les fractures complètes [36]. Ces déplacements secondaires sont repris par un traitement orthopédique ou un traitement chirurgical (ECMES) [23,34]. Les facteurs conduisant à cette complication peuvent être largement divisés en 2 groupes: des facteurs liés à la fracture et des facteurs liés à la qualité de la réduction initiale et la qualité du plâtre [37,38].

Franklin et al, ont démontré que la conversion vers un traitement chirurgical était plus fréquente chez des patients plus âgés avec des angulations plus importantes dans le plan coronal, un plus faible déplacement de l'ulna et une localisation proximale de la fracture du radius [39]. Basavarajanna et al, ont trouvé que le déplacement secondaire était associé à un indice de plâtre (cast index) plus élevé [37]. Dans une méta-analyse

de la littérature faite en 2006, Ploegmakers et Verheyen ont conclu que la décision d'accepter, de réduire ou d'opérer les fractures de l'avant-bras de l'enfant est rarement basée sur des critères objectifs. La décision thérapeutique est souvent basée sur l'intuition et l'expérience du chirurgien [40].

C'est dans cette perspective , de déterminer les différents facteurs qui interviennent dans le déplacement secondaire des fractures , que ce travail a été élaboré .

L'objectif principal est de déterminer les facteurs prédictifs d'échec du traitement orthopédique des fractures diaphysaires des deux os de l'avant-bras chez l'enfant et l'adolescent et valider dans ces circonstances, le passage ou non à un traitement chirurgical d'emblée.

Les objectifs secondaires sont :

- De réaliser une étude épidémiologique des fractures diaphysaires de l'avant-bras chez l'enfant et l'adolescent au CHUC.
- D'établir un protocole de prise en charge et de suivi des fractures traitées orthopédiquement.
- D'évaluer les résultats du traitement orthopédique des fractures diaphysaires de l'avant-bras au CHUC.

PARTIE THEORIQUE

2. Embryologie

L'étude de l'embryologie permet de comprendre l'origine des différents tissus constituant de l'avant-bras et l'origine des cellules qui interviennent dans le processus d'ossification enchondrale et membraneuse.

La morphogenèse des membres a lieu pendant une période de 4 semaines entre la 5^{ème} et la 8^{ème} semaine de gestation [41,42]. À la fin de la quatrième semaine de développement, les bourgeons des membres apparaissent sur les parois latérales de l'embryon (Fig.1) [43]. Les ébauches des membres apparaissent suite à la prolifération des cellules sous forme d'un axe mésenchymateux recouvert d'un feuillet ectoblastique. Cet axe mésenchymateux est issu d'une prolifération du mésoblaste latéral ou somatopleure et sera à l'origine des os et des parties molles des membres [41,43].

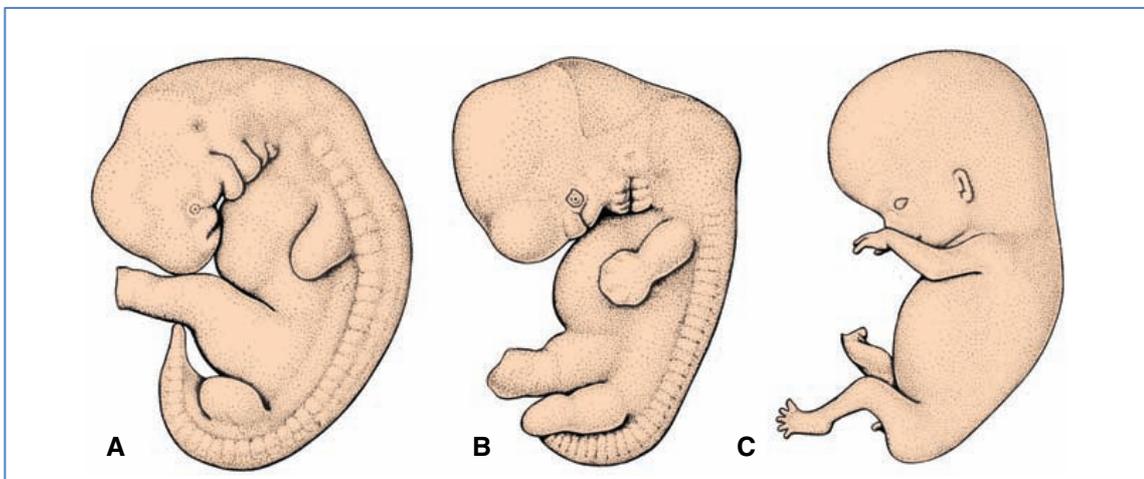


Figure 1: Développement des bourgeons des membres chez l'embryon humain. [44]

A. à 5 semaines.

B. à 6 semaines .

C. à 8 semaines

Chaque bourgeon présente deux faces latérale et médiale et deux bords pré-axial et post-axial. Le pouce et l'hallux se développent sur le bord pré-axial. L'ectoderme situé à l'apex de chaque bourgeon s'épaissit et forme la crête ectodermique apicale (Fig.2) [44]. Cette crête exerce une action inductive mitogénique sur le mésenchyme

adjacent, formant une population de cellules indifférenciées et à prolifération rapide.

Les cellules mésoblastiques profondes commencent à se différencier en cartilage et muscle.

1. Face latérale
2. Crête ectodermique apicale
3. Centre de chondrification
4. Face médiale
5. Tube neural
6. Notochorde
7. Aorte primitive
8. Cœlome interne
9. Intestin primitif

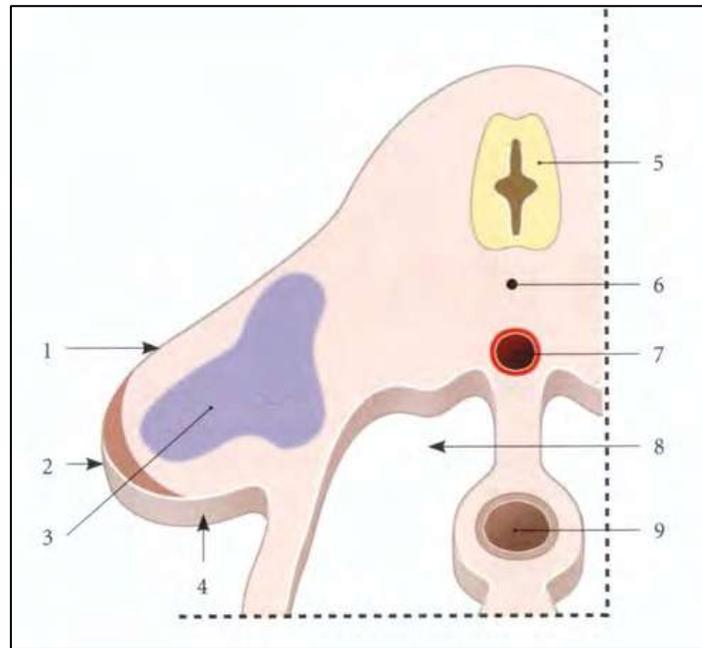


Figure 2: Coupe transversale partielle d'un bourgeon des membres. [44]

Le développement du membre se poursuit de la partie proximale à l'extrémité distale [41,43–45]. À la fin de la sixième semaine, chaque ébauche de membre supérieur comprend un segment proximal (stylo-pode), un segment intermédiaire (zeugopode) et un segment distal (autopode) [41,42,46] (Fig.3). Le stylo-pode donnera l'humérus, le zeugopode formera le radius et l'ulna alors que l'autopode formera les os du carpe, les métacarpiens et les phalanges des doigts [42].

Le développement des membres supérieurs et inférieurs est similaire, sauf que la morphogénèse du membre supérieur précède de 1 à 2 jours celle du membre inférieur. De plus, au cours de la septième semaine de gestation, les membres tournent dans des directions opposées autour de l'axe proximo-distal. Le membre

supérieur tourne à 90° latéralement avec une flexion qui fait saillir les coudes en direction caudale alors que la paume de la main est ramenée sur la ligne médiane par une pronation [41,43,44].

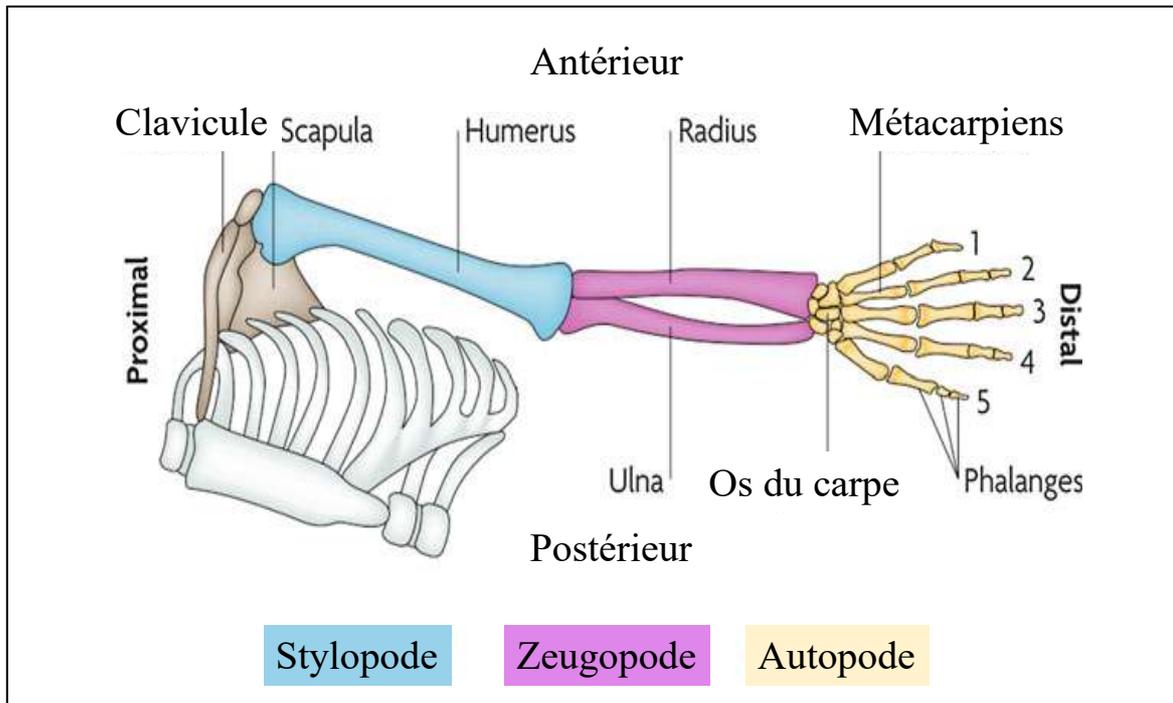


Figure 3: Anatomie du membre en développement. [46]

Au début de la 5^{ème} semaine et par un processus de condensation, les cellules du mésoblaste des bourgeons se différencient en chondrocytes. Ces chondrocytes forment les premiers modèles de cartilage hyalin, qui vont s'ossifier par la suite.

Lorsque la chondrogenèse est arrêtée, une interzone articulaire est induite. Les cellules de cette région augmentent en nombre et en densité. La mort des cellules de cette zone donnera naissance à une cavité articulaire. Les cellules environnantes se différencient en une capsule articulaire [43,45].

L'ossification endochondrale est un processus lent qui progresse à partir des centres d'ossification primaire vers les extrémités du modèle cartilagineux. Les centres

d'ossification primaire sont présents dans tous les os longs des membres dès la 12^{ème} semaine de développement. À la naissance, la diaphyse de l'os est complètement ossifiée, mais les deux extrémités, les épiphyses, sont toujours cartilagineuses. Peu de temps après, des centres d'ossification apparaissent dans les épiphyses qui restent séparées de la diaphyse par le cartilage de croissance [41,43].

Les muscles des membres dérivent de la différenciation en myoblastes des cellules mésoblastiques d'origine somatique organisées en deux condensations. La masse myogène ventrale est à l'origine des muscles fléchisseurs et pronateurs du membre supérieur et des muscles fléchisseurs et adducteurs du membre inférieur. La masse myogène dorsale est à l'origine des muscles extenseurs et supinateurs du membre supérieur et les muscles extenseurs et abducteurs du membre inférieur. L'innervation du membre supérieur est assurée par des branches ventrales des nerfs spinaux de C5 à D1 qui convergent à la racine du membre pour former le plexus brachial [43,44].

3. Développement du squelette de l'avant-bras

La prévision des capacités de correction des cals vicieux des deux os de l'avant-bras et de la croissance restante est nécessaire pour guider le choix thérapeutique en fonction de l'âge de l'enfant.

Les os de l'avant-bras continuent à se développer et à croître après la naissance [47]. La croissance osseuse se produit par une ossification endochondrale et membraneuse (périostée). Il existe plusieurs segments anatomiques dans les os de l'avant-bras de l'enfant, la physse est la structure principale synthétisant un nouvel os par ossification endochondrale [47]. Le centre d'ossification secondaire à la partie distale du radius, au niveau de l'épiphyse radiale devient visible vers l'âge d'un an à deux ans. Il peut y avoir un centre d'ossification séparé à l'extrémité du processus styloïde radial vers 10 à 12 ans. En proximal, l'épiphyse radiale proximale apparaît entre 4 – 7 ans [48]. La fusion du cartilage de croissance proximal survient vers l'âge de 14 à 17 ans alors que la fusion du cartilage distal survient entre 20 et 25 ans. 75% de la croissance du radius se produit au niveau du cartilage de croissance distal [25].

Le centre d'ossification secondaire distal de l'ulna commence à apparaître vers l'âge de 4 à 7 ans. En proximal, le centre d'ossification de l'olécrane apparaît vers l'âge de 9 à 10 ans. La fusion se fait précocement en proximal par rapport au cartilage distal, 80 % de la croissance de l'ulna se produit au niveau du cartilage de croissance proximal [25].

4. Rappel anatomique de l'avant-bras

L'étude de la forme et de la courbure des os, l'action des muscles et leur rôle dans les déplacements des fractures est indispensable pour la réussite du traitement des fractures diaphysaires de l'avant-bras.

4.1. Ostéologie

Le squelette de l'avant-bras est constitué par deux os longs disposés l'un à côté de l'autre, le radius en latéral et l'ulna en médial. Ils sont réunis par deux articulations, l'une proximale et l'autre distale [11,44].

4.1.1. Le radius

C'est un os long qui s'articule en haut avec le condyle huméral ; en bas avec le carpe et médialement avec l'ulna. Il présente une diaphyse et deux épiphyses (Fig.4) [49].

La diaphyse du radius (corps) : occupe la partie latérale de l'avant-bras en position de supination et devient antérieure lors de la pronation. Elle est de forme prismatique triangulaire, plus volumineuse en bas ; avec trois faces antérieure, postérieure et latérale et trois bords antérieur, postérieur et interosseux. Elle présente deux courbures : l'une médiale ; la plus prononcée appelée courbure pronatrice ; l'autre antérieure , moins marquée correspondant à la face antérieure.

L'épiphyse proximale comprend trois parties la tête le col et la tubérosité radiale. La tête est un segment de cylindre imparfait dont la face supérieure régulièrement excavée répond au capitulum et le rebord médial à la zone capitulo-trochléaire. Le col est une portion rétrécie. La tubérosité radiale (bicipitale) est une saillie antéro-médiale située sous le col donnant insertion au muscle biceps brachial.

L'épiphyse distale volumineuse et quadrangulaire présente cinq faces : antérieure, postérieure, latérale, médiale et inférieure.

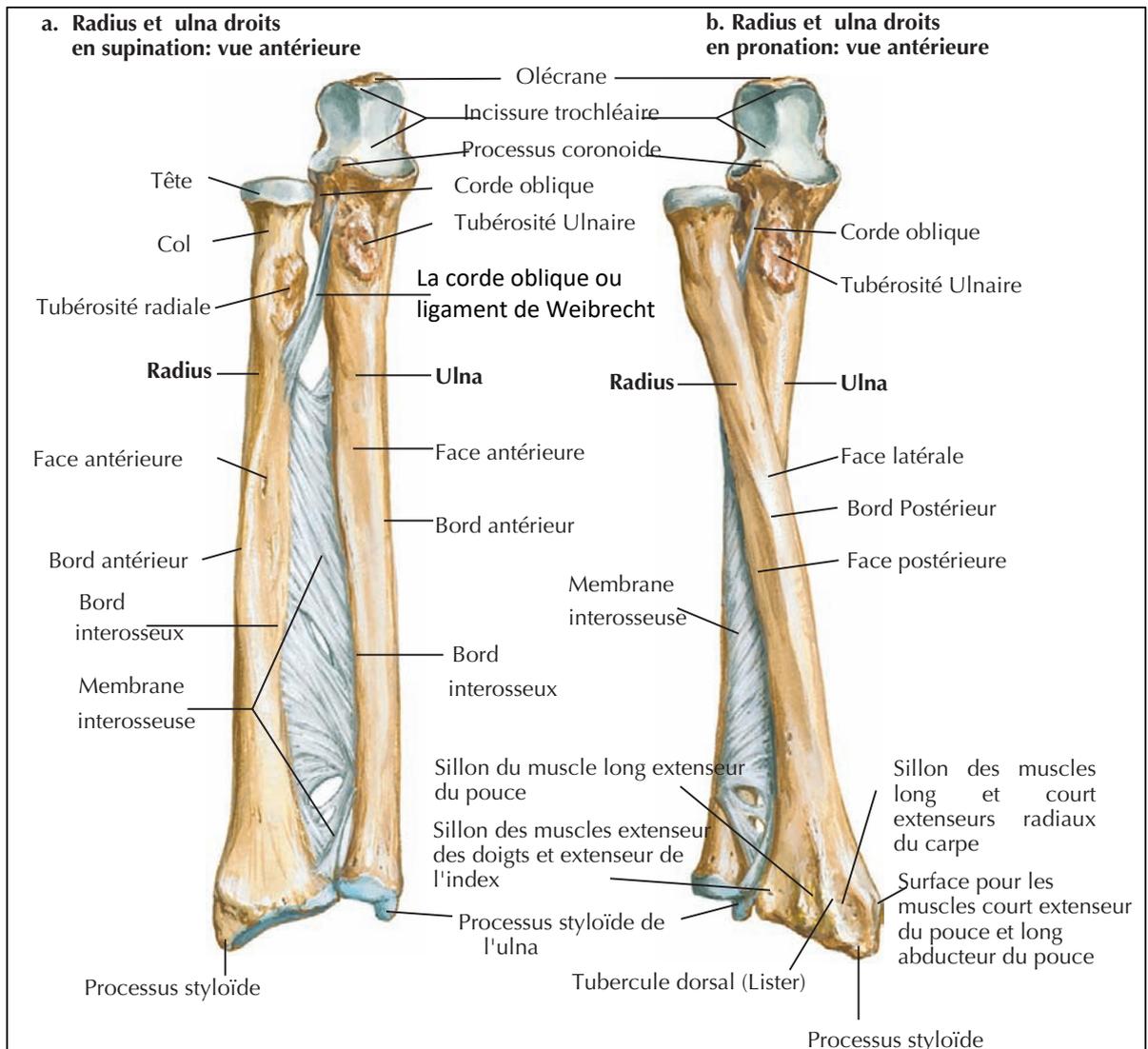


Figure 4: Les deux os de l'avant-bras . [49]

a. En supination b. En pronation

4.1.2. L'ulna

C'est un os long qui occupe la partie médiale de l'avant-bras. Il s'articule en haut avec l'humérus, latéralement avec le radius et en bas avec le disque de l'articulation radio-ulnaire distale. L'ulna présente une diaphyse et deux épiphyses proximale et distale (Fig.4)[49].

La diaphyse (ou corps) : prismatique triangulaire et volumineuse en haut, elle devient arrondie en bas et beaucoup plus grêle. Elle présente trois faces (antérieure, postérieure et médiale) et trois bords (antérieur, postérieur et interosseux).

L'épiphyse proximale : volumineuse, est constituée par deux apophyses. L'une verticale postérieure prolongeant la diaphyse ; l'olécrane , l'autre antérieure et horizontale ; l'apophyse coronoïde. Ces deux apophyses circonscrivent l'incisure trochléaire.

L'épiphyse distale comprend deux parties : la tête ulnaire dont la partie latérale arrondie s'articule avec l'incisure ulnaire du radius et le processus styloïde ulnaire qui est une petite saillie conique postéro-médiale.

4.2. Les articulations de l'avant-bras

Les deux os de l'avant-bras sont unis par les deux articulations radio-ulnaires proximale et distale et la membrane interosseuse (Fig.4) [49].

4.2.1. L'articulation radio-ulnaire proximale ou supérieure

Est une articulation de type trochoïde permettant un mouvement de rotation qui met en contact la circonférence articulaire de la tête radiale avec l'incisure radiale de l'ulna située sur la face latérale du processus coronoïde et la face interne du ligament annulaire.

4.2.2. L'articulation radio-ulnaire distale ou inférieure

Est une articulation de type trochoïde qui unit la face latérale de la tête cubitale avec la face médiale de l'extrémité distale du radius et le disque articulaire radio-ulnaire triangulaire.

4.2.3. La membrane interosseuse ou ligament interosseux (MIO)

Est une membrane fibreuse qui comble l'espace interosseux séparant le radius et l'ulna en s'insérant sur leurs bords interosseux respectifs. Le bord supérieur de cette membrane est à 2cm environ au-dessous de la tubérosité bicipitale du radius. Il est mince et présente une concavité supérieure. Les vaisseaux interosseux postérieurs l'enjambent pour gagner la région postérieure de l'avant-bras [44]. Le bord inférieur de la membrane interosseuse s'étend jusqu'à l'articulation radio-ulnaire distale.

La MIO est formée par deux groupes de fibres dirigées de l'ulna vers le radius. Les fibres du premier groupe ont une direction de bas en haut (en haut et en dehors). Les fibres du deuxième groupe se dirigent de haut en bas (en bas et en dehors) [50]. La longueur moyenne de la MIO est de 10,6 cm [51]. Les fibres du premier groupe sont les plus importantes du point de vue de leur structure et de leur fonction. Elles peuvent être subdivisées en trois parties. Deux parties proximale et distale dite membraneuse et une partie centrale, la plus importante appelée bande centrale [12,50,52]. Cette bande centrale s'insère à $57 \pm 3\%$ de la hauteur du radius en partant de l'épiphyse distale et à la jonction un tiers inférieur à un tiers moyen sur l'ulna ($34 \pm 4\%$) formant ainsi un angle d'environ 24 ± 4 degrés par rapport à l'axe ulnaire [53]. Les propriétés mécaniques de la bande centrale sont comparables à celles du ligament patellaire et du ligament croisé antérieur [13,54].

La membrane interosseuse présente sur toute sa surface de multiples orifices qui livrent passage aux vaisseaux interosseux [44].

La corde oblique ou ligament de Weibrecht : puissant ligament oblique qui se dirige en bas et latéralement du versant inféro-latéral du processus coronoïde vers le radius au-

dessous de sa tubérosité en continuité avec l'insertion du muscle long fléchisseur du pouce. La corde oblique est considérée comme une partie de la membrane interosseuse [52,54,55].

4.3. Les muscles de l'avant-bras

Les muscles de l'avant-bras sont constitués par deux groupes antérieur et postérieur entourés par le fascia antébrachial [11,44].

Le fascia antébrachial est plus épais en arrière et dans ses deux tiers supérieurs, il s'insère sur l'olécrane et le bord postérieur de l'ulna. Il se continue avec le fascia ulnaire en haut et les rétinaculum des fléchisseurs et des extenseurs en bas.

Le septum intermusculaire antébrachial latéral part de la face profonde du fascia antébrachial et se fixe sur le bord postérieur du radius. Il délimite avec la membrane interosseuse les régions antérieure et postérieure de l'avant-bras.

Le septum intermusculaire antébrachial antérieur est une lame qui sépare les deux plans des muscles fléchisseurs. Le septum est mince et celluleux en haut, il devient épais et fibreux en bas. Il s'insère sur le bord antérieur du radius et le bord postérieur de l'ulna.

4.3.1. Les muscles antérieurs de l'avant-bras

Les muscles antérieurs de l'avant-bras sont tendus de l'extrémité distale de l'humérus, du radius et de l'ulna, aux os de la main, à l'exception des muscles supinateurs, rond pronateur et carré pronateur. Ils sont organisés en quatre plans :

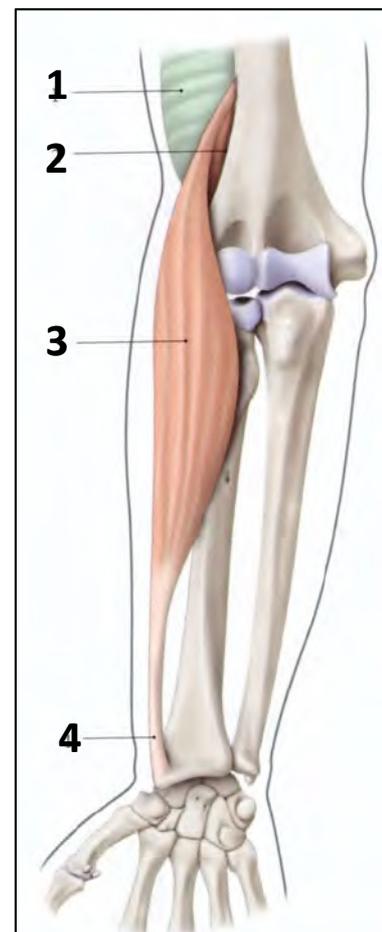
- Le plan superficiel comprenant les muscles brachioradial, rond pronateur, fléchisseur radial du carpe, long palmaire et fléchisseur ulnaire du carpe ;
- Le plan du muscle fléchisseur superficiel des doigts ;

- Le plan des muscles fléchisseurs profond des doigts et long fléchisseur du pouce ;
- Le plan profond comprenant les muscles supinateur et carré pronateur.

Le muscle brachioradial s'insère sur le tiers inférieur du bord latéral de l'humérus et sur le septum intermusculaire latéral du bras. Il se termine sur la face latérale de la base du processus styloïde du radius (Fig.5) [44].

Figure 5: Muscle brachioradial (Vue antérieure). [44]

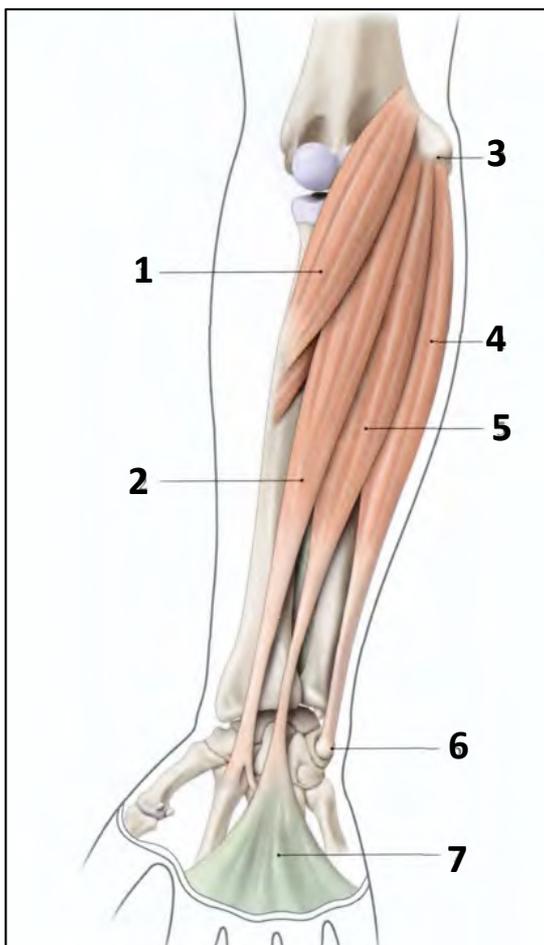
1. septum intermusculaire brachial latéral
2. bord latéral de l'humérus
3. ventre musculaire
4. processus styloïde du radius



Le muscle rond pronateur se compose en haut de deux chefs, l'un huméral qui s'insère sur l'épicondyle médial et le fascia antébrachial, l'autre ulnaire, s'attache sur le bord médial de l'apophyse coronoïde. Les deux chefs, en se réunissant, délimitent une boutonnière dans laquelle passe le nerf médian. Le muscle se porte en bas et en dehors

et se termine par un tendon aplati sur le tiers moyen de la face latérale du radius (Fig.6)[44].

Le muscle fléchisseur radial du carpe s'insère en haut sur la face antérieure de l'épicondyle médial et le fascia antébrachial, et se termine en bas sur la face palmaire de la base du 2^{ème} métacarpien (Fig.6) [44].



1. m. rond pronateur
2. m. fléchisseur radial du carpe
3. épicondyle médial
4. m. fléchisseur ulnaire du carpe
5. m. long palmaire
6. os pisiforme
7. aponévrose palmaire

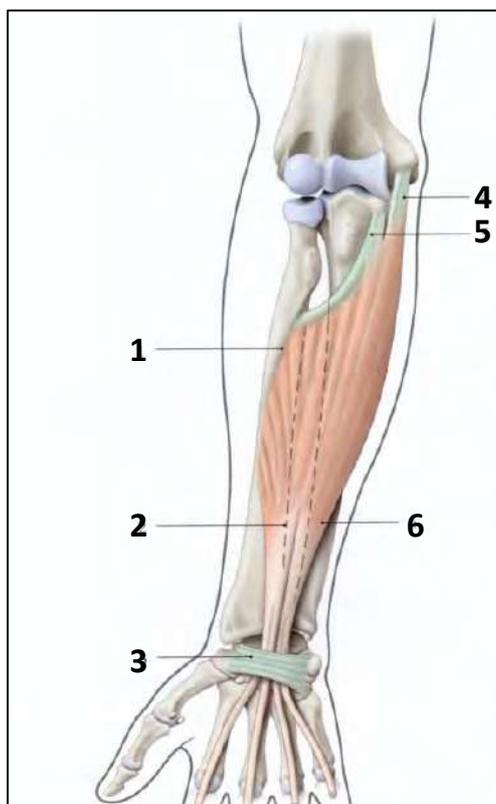
Figure 6: Muscles superficiels de l'avant-bras. [44]

Le muscle long palmaire s'insère sur la face antérieure de l'épicondyle médial et le fascia antébrachial et se termine en bas en éventail sur l'aponévrose palmaire superficielle et sur le ligament annulaire antérieure du carpe (Fig.6) [44].

Le muscle fléchisseur ulnaire du carpe se compose de deux chefs, un chef huméral qui naît du sommet de l'épicondyle médial de l'humérus et un chef ulnaire attaché à

l'olécrane et sur les deux tiers supérieurs du bord postérieur de l'ulna. Entre les deux chefs est tendue une arcade fibreuse sous laquelle passent le nerf ulnaire et l'artère récurrente ulnaire postérieure. Il se termine par un tendon sur la face antérieure du pisiforme et ses ligaments (Fig.6) [44].

Le muscle fléchisseur superficiel des doigts s'insère en haut par deux chefs : l'un huméro-ulnaire, l'autre radial. Le chef huméro-ulnaire naît de la face antérieure de l'épicondyle médial, de l'apophyse coronoïde et du ligament interosseux. Le chef radial s'insère sur la face antérieure du radius, au-dessous de la tubérosité bicipitale. Les deux chefs, en se réunissant, forment une arcade sous laquelle passent le nerf médian et l'artère ulnaire. En bas, ce muscle se termine par quatre tendons destinés aux quatre derniers doigts où ils s'insèrent, par deux languettes chacun, sur les bords collatéraux de la 2^{ème} phalange (Fig.7) [44].



1. bord antérieur du radius
2. chef radial
3. rétinaculum des fléchisseurs
4. épicondyle médial
5. processus coronoïde de l'ulna
6. chef huméro-ulnaire

Figure 7: Muscle fléchisseur superficiel des doigts. [44]

Le muscle fléchisseur profond des doigts s'insère sur les deux tiers supérieurs de la face antérieure de l'ulna et sur la membrane interosseuse et au-dessous de la tubérosité du radius. Il se divise en bas en quatre tendons qui vont s'insérer sur la 3^{ème} phalange des quatre derniers doigts (Fig.8) [44].

1. membrane interosseuse
2. m. long fléchisseur du pouce
3. rétinaculum des fléchisseurs
4. m. fléchisseur profond des doigts
5. m. lombricaux

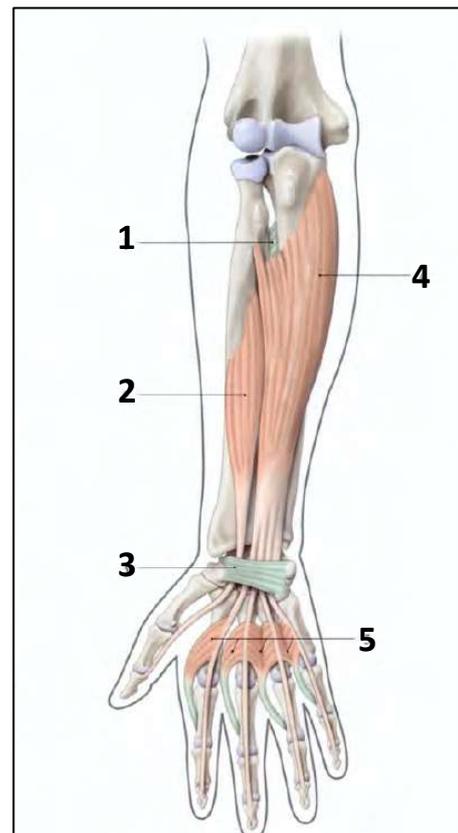
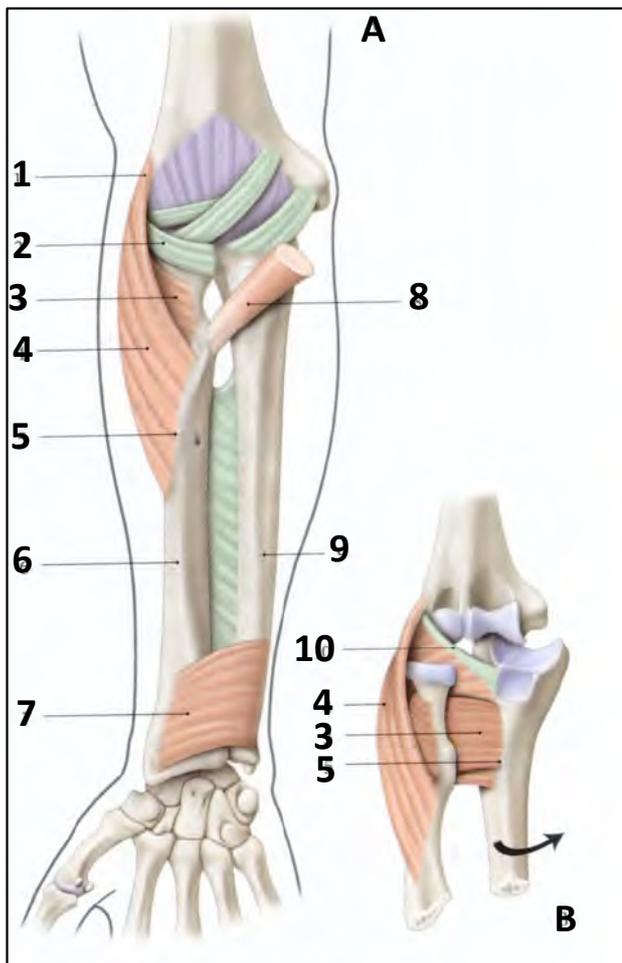


Figure 8: Muscles profonds de la loge antérieure de l'avant-bras. [44]

Le muscle long fléchisseur du pouce s'insère sur la face antérieure du radius et la membrane interosseuse et se termine en bas sur la phalange distale du pouce (Fig.8)[44].

Le muscle supinateur se compose de deux chefs, l'un superficiel ou huméral et l'autre profond ou ulnaire. Le chef huméral s'attache sur la partie inférieure de l'épicondyle latéral de l'humérus, du ligament collatéral radial (faisceau moyen) et sur

la crête du muscle supinateur de l'ulna. Le chef ulnaire naît dans la fosse supinatrice. Il contourne en arrière l'extrémité supérieure du radius. Les deux portions se terminent, étalées, sur les faces latérale et antérieure du radius (Fig.9) [44].



- A. Vue antérieure
- B. Vue latérale : les os sont écartés les uns des autres
- 1. Épicondyle latéral
- 2. Ligament annulaire du radius
- 3. Chef profond du m. supinateur
- 4. Chef superficiel du m. supinateur
- 5. Crête du m. supinateur
- 6. Radius
- 7. m. carré pronateur
- 8. m. biceps brachial
- 9. Ulna
- 10. Ligament collatéral radial

Figure 9: Muscles supinateur et carré pronateur. [44]

Le muscle carré pronateur s'insère sur la face antérieure du quart distal de l'ulna. Il se termine sur la face antérieure et le bord médial du quart distal du radius (Fig.9) [44].

Les muscles antérieurs de l'avant-bras sont innervés essentiellement par le nerf médian (5 / 10). Le reste des muscles sont innervés par les nerfs radial et ulnaire.

(Tableau.1)

Tableau 1: Innervation et action des muscles antérieurs de l'avant-bras

Muscle	Innervation	Action
Brachioradial	Radial	Fléchisseur de l'avant-bras lorsque celui-ci est en position fonctionnelle et supinateur lorsque la main est en pronation forcée.
Rond pronateur	Médian	Pronateur.
Fléchisseur radial du carpe	Médian	Fléchisseur du poignet sur l'avant-bras. et accessoirement, abducteur de la main.
Long palmaire	Médian	Tenseur de l'aponévrose palmaire et fléchisseur du poignet sur l'avant-bras.
Fléchisseur ulnaire du carpe	Ulnaire	Fléchisseur et adducteur de la main.
Fléchisseur superficiel des doigts	Médian	Fléchisseur de la 2ème phalange des doigts longs.
Fléchisseur profond des doigts	Ulnaire (1/2 médiale) Médian (1/2 latérale).	Fléchisseur de la 3ème phalange des doigts longs
Long fléchisseur du pouce	Médian	Fléchisseur de la dernière phalange du pouce.
Supinateur	Radial.	Supinateur de l'avant-bras.
Carré pronateur	Interosseux antérieur (branche du médian)	Pronateur.

4.3.2. Les muscles postérieurs de l'avant-bras

Les muscles postérieurs de l'avant-bras sont tendus de l'extrémité distale de l'humérus, du radius et de l'ulna, aux os de la main, à l'exception du muscle anconé. Ils sont organisés selon deux plans, superficiel et profond

Le plan superficiel comprend les muscles long extenseur radial du carpe, court extenseur radial du carpe, extenseur commun des doigts, extenseur du petit doigt, extenseur ulnaire du carpe et anconé (Fig.10) [44].

Le plan profond destiné essentiellement au pouce, est formé des muscles long abducteur du pouce, court extenseur du pouce, long extenseur du pouce et extenseur de l'index (Fig.8) [44].

Le muscle long extenseur radial du carpe s'insère sur la crête supracondyloire latérale de l'humérus et sur le septum intermusculaire latéral du bras. Il se termine sur la face dorsale de la base du 2^{ème} métacarpien (Fig.10) [44].

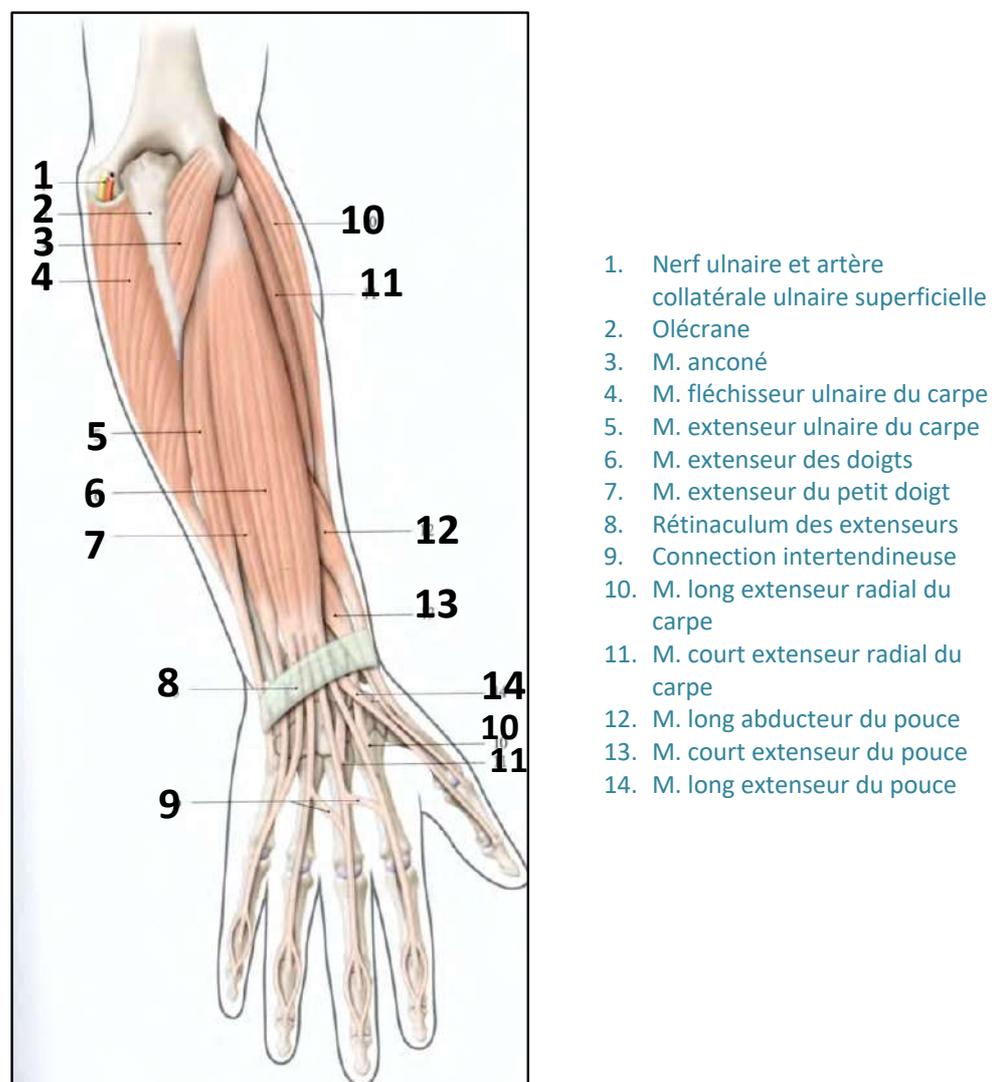


Figure 10: Muscles superficiels de la loge postérieure de l'avant-bras. [44]

Le muscle court extenseur radial du carpe s'insère sur la face antérieure de l'épicondyle latéral de l'humérus et se termine sur la face dorsale de la base du 3^{ème} métacarpien (Fig.10) [44].

Le muscle extenseur des doigts s'insère sur les faces antérieure et inférieure de l'épicondyle latéral de l'humérus et le fascia antébrachial. Il se termine en distal par quatre tendons destinés aux quatre derniers doigts. Chaque tendon se termine sur la face dorsale des trois phalanges du doigt (Fig.10) [44].

Le muscle extenseur du petit doigt s'insère en haut sur l'épicondyle latéral de l'humérus et le fascia antébrachial et se termine en se fusionnant avec le tendon du muscle extenseur des doigts destiné au 5^{ème} doigt (Fig.10) [44].

Le muscle extenseur ulnaire du carpe s'insère en haut sur l'épicondyle latéral de l'humérus, le versant latéral du bord postérieur de l'ulna et la face profonde du fascia antébrachial et se termine en bas sur la base du 5^{ème} métacarpien (Fig.10) [44].

Le muscle anconé s'insère sur la face postérieure de l'épicondyle latéral de l'humérus et se termine sur la face postéro-latérale de l'olécrane et le bord postérieur du quart proximal de l'ulna (Fig.10) [44].

Le muscle long abducteur du pouce s'insère sur les faces postérieures de l'ulna et du radius et sur la membrane interosseuse. Il se termine sur la base du 1^{er} métacarpien (Fig.11) [44].

Le muscle court extenseur du pouce s'insère sur les faces postérieures du radius, de l'ulna et du ligament interosseux. Il se termine en bas sur la base de la 1^{ère} phalange du pouce (Fig.11) [44].

Le muscle long extenseur du pouce s'insère au-dessous et en dedans du muscle court extenseur et sur les faces postérieures de l'ulna et de la membrane interosseuse. Il se termine sur la face dorsale de la base de la 2^{ème} phalange du pouce (Fig.11) [44].

1. Olécrane
2. Nerf ulnaire et artère collatérale ulnaire superficielle
3. M. anconé
4. M. fléchisseur ulnaire du carpe
5. M. extenseur du petit doigt
6. M. extenseur ulnaire du carpe
7. M. extenseur de l'index
8. Os pisiforme
9. Tête du 3^{ème} métacarpien
10. Septum intermusculaire brachial latéral
11. M. brachioradial
12. M. long extenseur radial du carpe
13. M. court extenseur radial du carpe
14. M. extenseur des doigts
15. M. supinateur
16. M. long abducteur du pouce
17. M. long extenseur de l'index
18. M. court extenseur du pouce
19. Tête du 2^{ème} métacarpien
20. Tendon du m. extenseur des doigts destinés à l'index

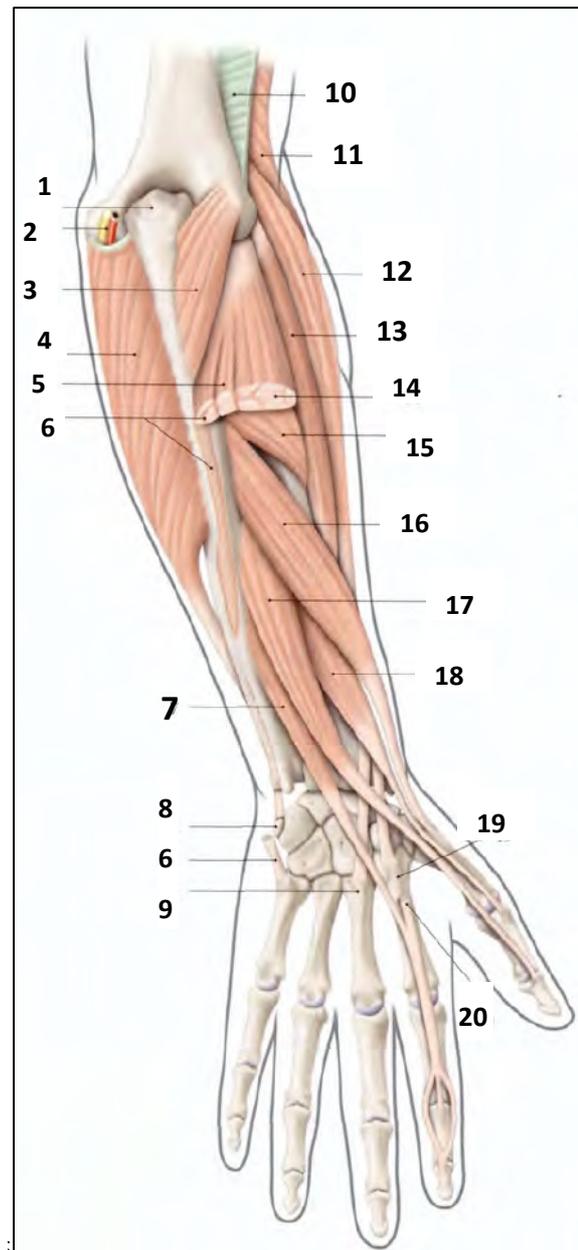


Figure 11: Muscles profonds de la loge postérieure de l'avant-bras. [44]

Le muscle extenseur de l'index s'insère sur les faces postérieures de l'ulna et de la membrane interosseuse et se termine en bas en se fusionnant avec le tendon du muscle extenseur commun destiné au 2^{ème} doigt (Fig.11)[44].

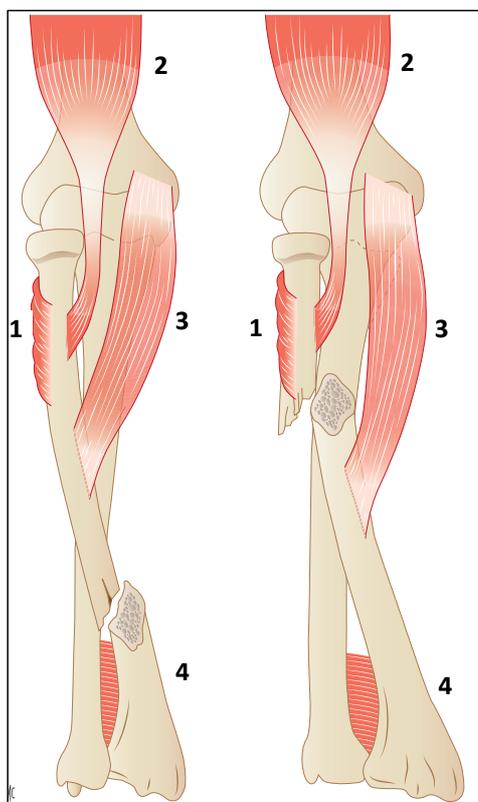
Les muscles postérieurs de l'avant-bras sont innervés par le nerf radial (Tableau.2).

Tableau 2: Innervation et action des muscles postérieurs de l'avant-bras.

Muscle	Innervation	Action
Long extenseur radial du carpe	Radial	Extenseur et abducteur de la main.
Court extenseur radial du carpe	Radial	Extenseur et abducteur de la main.
Extenseur des doigts	Radial	Extenseur des doigts
Extenseur du petit doigt	Radial	Extenseur du 5 ^{ème} doigt
Extenseur ulnaire du carpe	Radial	Extenseur et adducteur de la main.
Le muscle anconé	Radial	Extenseur accessoire de l'avant-bras
Long abducteur du pouce	Radial	Abducteur et extenseur du pouce. Participe à l'abduction de la main.
Court extenseur du pouce	Radial	Extenseur et abducteur du pouce, puis du premier métacarpien.
Le muscle long extenseur du pouce	Radial	Extenseur de la 2 ^{ème} phalange du pouce.
Extenseur de l'index	Radial	renforce, pour l'index, l'action de l'extenseur commun des doigts.

4.3.3. Actions musculaires et déplacement des fractures

Une bonne compréhension des déplacements existants est essentielle pour faciliter les manœuvres de réduction. Le niveau de la fracture peut aider à déduire l'action musculaire et les déplacements qui en résultent. Dans les fractures du tiers supérieur, au-dessus de l'insertion du rond pronateur, le biceps et le supinateur placent le fragment proximal en supination et flexion tandis que le fragment distal est en pronation sous l'action du rond pronateur et carré pronateur. Dans les fractures du tiers moyen (au-dessous de l'insertion du rond pronateur), l'action du biceps est opposée à celle du rond pronateur ; le fragment proximal reste en position neutre tandis que le fragment distal se met en pronation et amené vers l'ulna par le carré pronateur (Fig.12) [56].



1. Supinateur
2. biceps
3. rond pronateur
4. carré pronateur

Figure 12: Insertions musculaires expliquant les déplacements des fractures du tiers proximal et du tiers distal du radius. [56]

5. Biomécanique de l'avant-bras

La compréhension de la physiologie des mouvements de l'avant-bras est essentielle

5.1. Mouvements

La rotation est un mouvement important pour diverses activités de la vie quotidienne telles que l'alimentation et l'hygiène personnelle [13]. Il existe deux types de rotation de l'avant-bras, la première est une rotation de l'avant-bras entier « radius + ulna » grâce à la mobilité du membre supérieur au niveau des articulations de l'épaule, cette rotation se fait avec un ulna mobile. La deuxième est une rotation de l'unité « main-radius » autour d'un ulna immobile donnant le mouvement de pronosupination [57]. La rotation de l'avant-bras autour de son axe longitudinal permet de placer la paume de la main vers le bas (pronation) ou vers le haut (supination) [58]. L'axe de cette rotation s'étend entre le centre de la tête radiale et le centre de la tête ulnaire, sortant près de la styloïde ulnaire (Fig.13)[57], il est constant et ne dépend pas de la flexion ou l'extension du coude [55,57].

La rotation de l'avant-bras fait intervenir trois articulations : la radio-ulnaire proximale, la radio-ulnaire distale et l'huméro-radiale entre le capitulum huméral et la cupule radiale.

En position de supination, les deux diaphyses parallèles délimitent un espace interosseux. En pronation, cet espace s'efface du fait du contact entre les deux diaphyses.

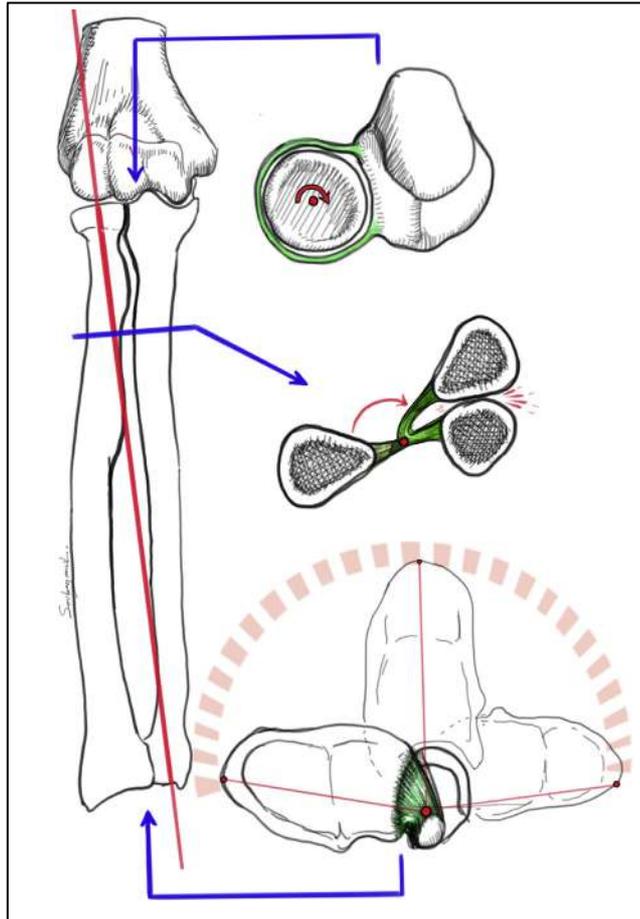


Figure 13: Axe de rotation de l'avant-bras. [57]

La rotation de l'avant-bras fait intervenir trois articulations : la radio-ulnaire proximale, la radio-ulnaire distale et l'huméro-radiale entre le capitulum huméral et la cupule radiale.

En position de supination, les deux diaphyses parallèles délimitent un espace interosseux. En pronation, cet espace s'efface du fait du contact entre les deux diaphyses.

Dans le plan frontal, la diaphyse radiale est concave en dedans, donnant la courbure pronatrice du radius, courbure indispensable à l'enroulement du radius autour de l'ulna

lors de la pronation. Les deux os ne doivent entrer en contact l'un avec l'autre, en « collision », qu'en fin de mouvement [58]. La forme du radius peut être comparée à une « manivelle ». La rotation du radius dans l'articulation radio-ulnaire proximale entraîne dans l'articulation radio-ulnaire distale une rotation de l'épiphyse radiale distale autour de la tête ulnaire. En effet, il subit une translation circonférentielle décrivant, sans aucune rotation longitudinale, une trajectoire en arc de cercle associant une composante d'extension et un mouvement de latéralité en abduction [59].

L'académie américaine des chirurgiens orthopédistes a défini une pronation normale à un angle de 71° et une supination normale à un angle de 84° [15]. Chez les enfants, l'arc de rotation normal de l'avant-bras est d'environ 170° [60]. Le mouvement de pronation est d'environ 80° et la supination d'environ 90° chez les enfants et les adolescents [61].

En perturbant les différentes courbures, un cal vicieux de la diaphyse radiale ou de la diaphyse ulnaire, peut provoquer une collision prématurée des deux os de l'avant-bras (Fig.14)[23], et limiter ainsi l'amplitude de la pronosupination [23,59]. La pronosupination peut être également perturbée par atteinte des rotateurs de l'avant-bras [57,58].

Pour tourner la manivelle, il existe deux moyens : Soit dérouler un tracteur enroulé sur l'une des branches, soit tirer sur le sommet de l'une des courbures. Tel est le mode d'action des muscles de la pronosupination. Ces muscles sont attachés à des sites précis de cet os «en forme de manivelle», produisant leurs forces de rotation [58].

A la partie supérieure, le muscle supinateur agit par déroulement et le muscle biceps brachial agit par traction. A la jonction du 1/3 proximal et 1/3 moyen le muscle rond

pronateur agit par traction sur l'angle inférieur de la manivelle. En distal sur le radius est attaché le muscle carré pronateur, enroulé autour de l'extrémité inférieure de l'ulna. Il agit par déroulement de l'ulna par rapport au radius [57,58].

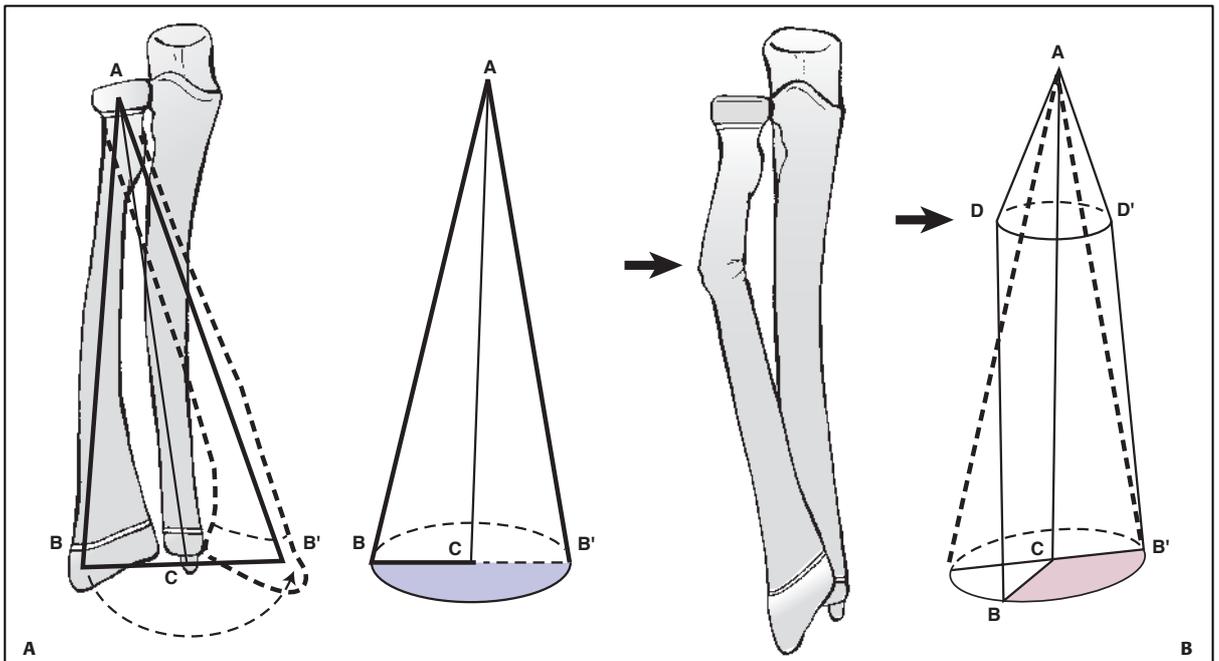


Figure 14: Effet du cal vicieux sur la rotation de l'avant-bras. [23]

Le brachioradial a un rôle accessoire dans la pronosupination . En pronation complète il est supinateur jusqu'à la position zéro (neutre) et en supination complète il est pronateur jusqu'à la position zéro (neutre) [58].

la pronation est plus facilement perdue que la supination vu qu'elle dépend d'un seul nerf qui est le nerf médian tandis que la supination est assurée par deux nerfs; le radial pour le supinateur et le musculo-cutané pour le biceps brachial [57,58].

5.2. Transmission des forces

La transmission des forces longitudinales de la main au coude est une interaction complexe qui implique le radius , la membrane interosseuse et l'ulna. Dans les conditions normales d'un poignet en position neutre, 80% des charges axiales sont transmises à travers l'articulation radiocarpienne alors que 20% seulement sont transmises à travers l'articulation ulno-carpienne [50,62,63]. En raison de sa structure oblique de la partie distale de l'ulna à la partie proximale du radius, la membrane interosseuse transmet les forces de compression reçues par la main et le radius à l'ulna pour une transmission ultérieure vers l'humérus[50,62]. 60 à 70% de la charge axiale est supportée par l'articulation radio-capitulaire et 30 à 40% par l'articulation ulno-humérale [50,51,62].

6. La consolidation osseuse

La connaissance des signes d'une consolidation normale ou pathologique est indispensable pour la gestion des fractures.

La consolidation osseuse est un processus de réparation tissulaire unique. Elle doit être considérée comme un processus de régénération plutôt que de guérison, car la partie lésée est remplacée par un nouveau tissu osseux (cal) au lieu d'un tissu cicatriciel. Il s'agit d'un processus complexe de recrutement et de différenciation cellulaire, dirigé par des médiateurs locaux qui envoient des signaux physiques et chimiques particuliers aux cellules de la région fracturaire [64,65].

La survenue d'une fracture est suivie par une réponse tissulaire qui touche quatre tissus : la corticale osseuse, la moelle osseuse, le périoste et les parties molles environnantes [66].

Histologiquement, la consolidation des fractures a été divisée en deux types : une consolidation primaire dite directe et une consolidation secondaire dite indirecte.

6.1. Consolidation directe (primaire) des fractures

La consolidation directe ou primaire régénère l'os lamellaire à travers la fracture sans formation de pont cartilagineux. Elle nécessite une fixation interne rigide avec une réduction anatomique des fragments osseux, réduisant ainsi la contrainte interfragmentaire [67].

Les espaces doivent être petits, inférieurs à 1 mm . Ce type de consolidation est rarement observé dans le processus naturel de consolidation mais principalement après fixation chirurgicale [68]. la participation du périoste dans cette consolidation est faible voir absente [69].

6.2. Consolidation indirecte (secondaire) des fractures

La consolidation indirecte des fractures est la forme la plus répandue des consolidations. Elle consiste en une consolidation enchondrale et intramembraneuse [70]. Elle ne nécessite pas de réduction anatomique ou de stabilisation rigide. Elle peut être améliorée par les micromouvements et la mise en charge. C'est le mécanisme prédominant dans les fractures traitées par des moyens non opératoires et à la suite de traitements chirurgicaux qui laissent persister une certaine mobilité du foyer fracturaire comme l'enclouage centromédullaire et la fixation externe [71,72].

Le processus de consolidation comporte quatre phases : l'inflammation, la formation d'un cal mou, la formation d'un cal dur, le remodelage osseux.

6.2.1. La phase inflammatoire

Elle débute immédiatement après la fracture et dure environ quatre jours [73]. Elle est caractérisée par un saignement des extrémités osseuses et des tissus mous aboutissant à la formation d'un hématome local et d'un caillot riche en fibrine. Les parties molles de la région fracturaire présentent des signes d'une inflammation aiguë avec une vasodilatation et exsudation de plasma et de leucocytes. La rupture des vaisseaux endostés et périostés au niveau de la fracture entraîne une hypoxie locale, une acidose et une nécrose des extrémités fracturaires pouvant aller jusqu'à un centimètre de part et d'autre de la fracture [65,68,74].

L'hématome fracturaire joue deux rôles importants dans la consolidation osseuse. Il contient des cellules souches, des cytokines et des facteurs de croissance qui participent directement au processus de consolidation. Il constitue une charpente physique pour une occupation ultérieure par les cellules ostéoprogénitrices et le tissu de granulation [75,76]. Mizuno et al ont démontré expérimentalement le pouvoir ostéogénique de l'hématome fracturaire au quatrième jour. La greffe d'hématome fracturaire dans des sites sous-périostés et musculaires a déclenché la production

osseuse au site périosté le deuxième jour postopératoire et au niveau des deux sites le quatrième jour [77].

La réponse inflammatoire initiale se produit immédiatement après la lésion et dure plusieurs jours. Elle est marquée par une infiltration de macrophages, de plaquettes, de leucocytes de polynucléaires neutrophiles et de lymphocytes dans le site fracturaire. Ces cellules sont attirées par des prostaglandines. Elles secrètent un certain nombre de cytokines stimulant les macrophages et les ostéoclastes : interleukine-1 (IL1), interleukine-6 (IL-6) et le tumor necrosis factor- α (TNF- α). La libération des facteurs de croissance plaquettaires : Plaquet-derived Growth Factor (PDGF) ; Transforming Growth Factor β (TGF β) et de facteurs de croissance osseux matriciels : TGF β , basic Fibroblast Growth Factor(FGFb) ; insulin-like Growth Factor (IGF) va permettre de recruter d'autres cellules inflammatoires, favoriser l'angiogenèse, recruter des cellules souches ostéoprogénitrices et induire leur différenciation [73].

6.2.2. Formation du cal mou

Cette phase de trois à quatre semaines, est caractérisée par le dépôt de matrice extracellulaire aboutissant à la formation d'un un cal osseux autour et entre les extrémités osseuses, réduisant ainsi la mobilité du foyer.

Cette phase commence par le recrutement de cellules souches mésenchymateuses (CSM). Le recrutement de CSM est un élément essentiel dans la consolidation des fractures. Les CSM résident dans tout le corps, y compris le périoste, la moelle osseuse, l'os trabéculaire, le muscle et la circulation systémique [78]. Les CSM dérivées de la moelle épinière et du périoste étaient considérées comme les principales sources de cellules ostéoprogénitrices dans la réparation précoce d'une fracture [79].

Cependant, les données actuelles suggèrent que d'autres sources de CSM, provenant notamment de la circulation musculaire et systémique, pourraient également contribuer à la population de cellules ostéoprogénitrices.

L'inflammation qui succède à la fracture, libère un certain nombre de cytokines, de facteurs de croissance et de signaux pour recruter des CSM et d'autres cellules inflammatoires. Dans la phase précoce, le TNF- α , l'IL-1 et l'IL-6 jouent un rôle clé dans le chimiotactisme, le recrutement des CSM et la différenciation ostéogénique et chondrogénique [80]. Les pics d'IL-1 et d'IL-6 sont atteints au cours des premières 24h, puis diminuent rapidement après 72h. L'IL-1 et l'IL-6 favorisent l'angiogenèse par stimulation de la production de facteur de croissance endothélial vasculaire (vascular endothelial growth factor :VEGF)[81]. Le TNF- α et l'IL-6 favorisent le recrutement et la différenciation des cellules stromales dérivées du muscle. Le TNF- α , à de faibles concentrations, stimule également la différenciation chondrogénique et ostéogénique. L'injection in vivo de TNF- α accélère la consolidation des fractures et la minéralisation des cals [82]. À l'inverse, l'absence de signal TNF- α semble retarder à la fois la différenciation chondrogénique et la résorption endochondrale [76,80,84].

Une autre molécule : le facteur dérivé de cellules stromales (stromal cell-derived factor (SDF-1) joue un rôle crucial dans la consolidation des fractures. C'est un puissant chimio-attractant exprimé sur le site de la lésion pour recruter des CSM provenant de sources locales ou en circulation. Kitaori a démontré que la sécrétion du SDF-1 est régulée dans le périoste du foyer de fracture et recrute des CSM ayant participé au processus de consolidation. De plus, le blocage de la fonction du SDF-1 réduit considérablement la formation osseuse [68,85].

À ce stade, l'hématome fracturaire a été transformé en tissu de granulation, contenant des cytokines inflammatoires et des facteurs de croissance qui stimulent la différenciation, la prolifération et la production de matrice extracellulaire des CSM.

Les cellules ostéoprogénitrices se différencient en deux types cellulaires différents, distincts selon leur site. À une distance de quelques millimètres du site de fracture au niveau de chaque fragment, les cellules se différencient en ostéoblastes, qui produisent à leur tour une matrice organique (substance ostéoïde contenant des fibres de collagène sans arrangement spatial organisé. Charnley compare la structure de la substance ostéoïde qui se forme à celle du feutre. « Les fibres collagènes sont disposées en filets irréguliers où les ostéocytes paraissent disposés au hasard » [64].

Au niveau du foyer de fracture, les cellules ostéoprogénitrices se différencient en chondrocytes, qui produisent une matrice cartilagineuse riche en collagène de type II. La pénétration vasculaire favorise la maturation du cal cartilagineux qui subit une minéralisation, une résorption et finalement son remplacement par un cal dur [65].

6.2.3. Formation du cal dur

Cette phase débute à la quatrième semaine et dure deux à trois mois en fonction de l'âge. La matrice cartilagineuse est progressivement remplacée par une matrice osseuse lamellaire, qui va unir les extrémités fracturaires et se minéraliser de proche en proche. Ce processus est médié par les MMP (matrix metalloproteinase), les BMP (Bone Morphogenetic Proteins), les ostéoclastes, les chondroblastes et les ostéoblastes [86–88].

Les ostéoclastes ont toujours été considérés comme le type de cellule clé dans la résorption des cals mous. Des preuves plus récentes suggèrent la participation de plusieurs lignées cellulaires y compris des ostéoclastes et des chondroclastes, ainsi que par l'expression de MMP [86,87]. La matrice cartilagineuse est progressivement remplacée par une matrice osseuse lamellaire, qui va unir les extrémités fracturaires et se minéraliser de proche en proche. Les ostéoblastes matures sécrètent de l'ostéoïde, une combinaison de collagène de type I, d'ostéocalcine et de sulfate de chondroïtine.

Les fibrilles de collagène sont orientées de manière aléatoire, produisant une structure irrégulière appelée os tissé [73,86].

6.2.4. Remodelage osseux

Le remodelage rétablit lentement la structure osseuse normale, en passant par les étapes de l'os lamellaire primaire (avec ostéons d'orientation multidirectionnelle) à l'os lamellaire secondaire (avec ostéons d'orientation longitudinale). Le remodelage est basé sur l'action d'unités spéciales décrites par Frost connues sous le nom d'unités de modélisation osseuse (bone modeling unit : BMU) [89]. Chaque unité, dans laquelle la résorption et l'apposition osseuses sont coordonnées dans le temps et dans l'espace, est histologiquement constituée d'une « tête » formée par un vaisseau capillaire recouvert par des ostéoclastes résorbant le tissu osseux dur. Les ostéoclastes coiffent un capillaire qui les suit dans leur progression à l'intérieur de l'os compact. Ce capillaire est accompagné par des ostéoblastes. Ils produisent un nouvel os en lamelles concentriques sur les parois des canaux de résorption, créant ainsi une structure de Havers. Le fonctionnement se fait suivant une séquence répétitive appelée ARF : activation-résorption-formation. Le temps de vie d'un BMU est de 2 à 3 mois.

La phase de remodelage est remarquablement longue (plus d'un an) [64,90].

La croissance osseuse restante chez les enfants reflète un potentiel ostéogène et une capacité de remodelage élevés [91]. Le remodelage se poursuit après la guérison de la fracture jusqu'à la fermeture des physes [92,93]. Il est donc important de déterminer le stade de fermeture des plaques de croissance pour déterminer les déplacements de fracture acceptables [94].

Le remodelage au niveau du foyer fracturaire se produit par résorption de l'os du côté convexe et génération d'un nouvel os du côté concave. Ceci s'explique par une pression accrue (compression) du côté concave stimulant ainsi la formation de nouvel os par apposition intramembraneuse. Respectivement, du côté convexe, l'os est sous tension,

ce qui stimule la résorption [93]. De plus, le remodelage peut se produire au niveau de la physe en modifiant la direction de la croissance osseuse afin de devenir perpendiculaire aux forces qui agissent à travers elles[93–95]. À l'avant-bras, la capacité de remodelage est meilleure dans la partie distale par rapport à la médio-diaphyse. L'os de la diaphyse est un os cortical compact, rigide et relativement avasculaire. La consolidation des fractures diaphysaires est plus longue que celles des autres parties des os longs [93]. Au niveau des diaphyses des deux os de l'avant-bras, la correction spontanée des angulations des cals vicieux est d'environ un degré par an [96]. Cette correction spontanée est d'environ un degré par mois pour le radius distal[97]. Les cals vicieux rotatoires ne se corrigent pas par le remodelage [18].

Il faut bien différencier modelage et remodelage [64]. Le modelage concerne la forme générale de l'os. C'est un processus de sculpture de l'os qui tend à rendre à l'organe son aspect initial. Le modelage comporte la résorption du cal externe et la restauration du canal médullaire perturbé par la fracture. Ce processus dure plusieurs années. Il peut être complet chez l'enfant. Il est partiel chez l'adolescent et limité chez l'adulte, en particulier lorsque la fracture s'est consolidée avec un déplacement notable. Le mécanisme du modelage n'est pas connu en détail [73].

7. Mécanismes des fractures

Les diaphyses des deux os de l'avant-bras sont composées d'os cortical solide qui nécessite un traumatisme avec une grande énergie pour être endommagées par rapport à la métaphyse [23]. Les fractures des 2 os de l'avant-bras surviennent fréquemment par un mécanisme indirect suite à des chutes. Lorsque les enfants tombent, ils se protègent en étirant le membre supérieur [18,23]. Dans ce cas, la main est généralement en pronation lors de l'atterrissage et le talon de la main prend le premier coup contre le sol. Cela conduit à la supination rapide de l'avant-bras qui était en pronation. Dans ce traumatisme, le radius absorbe la charge la plus élevée et se fracture en premier par rapport à l'ulna[23,98].

Souvent le traumatisme est associé à une composante rotatoire causant des fractures du radius et de l'ulna à des niveaux différents. Une faible torsion est à l'origine des traits radial et ulnaire qui sont presque sur le même niveau. Les forces d'hyperpronation sont responsables d'une fracture de l'un de des 2 os , le radius ou l'ulna avec luxation de l'articulation radio-ulnaire proximale ou distale. Un traumatisme par choc direct sur l'avant-bras peut fracturer l'un des 2 os de l'avant-bras, l'ulna le plus souvent sans atteinte aux articulations radio-ulnaires proximale et distale [18,23].

Le mécanisme des courbures traumatiques ou déformations plastiques est le résultat des propriétés anisotropes de l'os. Ce dernier se comporte différemment en fonction de la direction des forces qui lui sont appliquées. Il est plus résistant aux forces axiales qu'aux forces de flexion et de rotation. L'os de l'enfant est beaucoup plus poreux que celui de l'adulte et absorbe beaucoup plus d'énergie avant de se fracturer. De nombreuses microfractures se produisent sur la longueur de l'os suite à l'application lente des forces longitudinales de flexion conduisant à une déformation macroscopique sans trait de fracture perceptible radiologiquement.



Figure 15: Fractures des deux os de l'avant-bras en supination à sommet ventral.

Les fractures en bois vert représentent une étape intermédiaire entre la déformation plastique et les fractures complètes [23]. Dans les fractures en supination à sommet ventral qui sont les plus fréquentes (Fig.15) , la partie distale de l'avant-bras est en supination et le sommet de l'angulation est antérieur. Les fractures en pronation qui ont une angulation à sommet postérieur (Fig.16) sont moins courantes [19].



Figure 16: Fracture des deux os de l'avant-bras en pronation à sommet dorsal.

8. Étude clinique

l'interrogatoire précise l'heure et les circonstances de l'accident. L'examen est souvent évocateur, l'enfant se présente selon le tableau classique du traumatisé du membre supérieur, le membre sain soutenant le membre fracturé douloureux et impotent. Une déformation visible apparente, des douleurs exquises émanant de la zone concernée et une diminution des mouvements de supination et de pronation sont les meilleurs prédictors cliniques des fractures diaphysaires des 2 os de l'avant-bras chez l'enfant[60]. Une crépitation osseuse peut être ressentie [18]. Les enfants plus jeunes et non verbaux sont moins faciles à enquêter et peuvent ne montrer qu'une gêne liée aux mouvements et une activité limitée [18].

l'examineur doit avoir une vue circonférentielle de l'avant-bras afin de chercher des ecchymoses, des abrasions ou des plaies. L'examen doit inclure l'ensemble du membre ipsilatéral car des lésions simultanées peuvent survenir [18,99]. Un examen vasculonerveux minutieux est ensuite effectué . Le pouls radial est pris et le temps de recoloration cutanée est apprécié . La sensibilité est testée par un léger toucher. Une hypoesthésie ou une anesthésie du côté ulnaire du 5^{ème} doigt témoigne d'une atteinte du nerf ulnaire. L'atteinte du côté palmaire de l'index et du pouce renseigne sur une atteinte du nerf médian et celle et du dos de la 1^{ère} commissure interdigitale d'une atteinte du nerf radial. La motricité est testée en demandant au patient de réaliser des gestes précis dont chacun teste un nerf moteur. Le nerf interosseux postérieur est testé par le «pouce levé». Le signe de «O» qui nécessite la flexion de l'articulation interphalangienne du pouce pour le réaliser et dont le déficit est un signe d'une paralysie du nerf interosseux antérieur (Fig.17. C). Le nerf médian est testé par une résistance à

l'abduction du pouce. Le nerf ulnaire est testé en demandant au patient de croiser l'index avec le 3^{ème} doigt et de fléchir l'articulation interphalangienne distale du 5^{ème} doigt . Ces résultats doivent être clairement mentionnés sur l'observation médicale du patient avant toute tentative de manipulation et de plâtre. Un examen approfondi peut être difficile en raison de l'anxiété et du niveau de la douleur de l'enfant [99].

Davidson a suggéré d'utiliser le jeu «Rock-Paper-scissors » (Pierre – papier – ciseaux) pour tester les nerfs médian, radial et ulnaire [100] . Le poing en pronation est la pierre et teste la fonction du nerf médian (Fig.17 . A). Les doigts et le poignet étendus représentent le papier et testent la fonction du nerf radial (Fig.17 . B). Le 4^{ème} et 5^{ème} doigts entièrement fléchis, un pouce en adduction, ainsi que le 2^{ème} et 3^{ème} doigts écartés simulent un ciseau et testent la fonction du nerf ulnaire (Fig.17 . C)

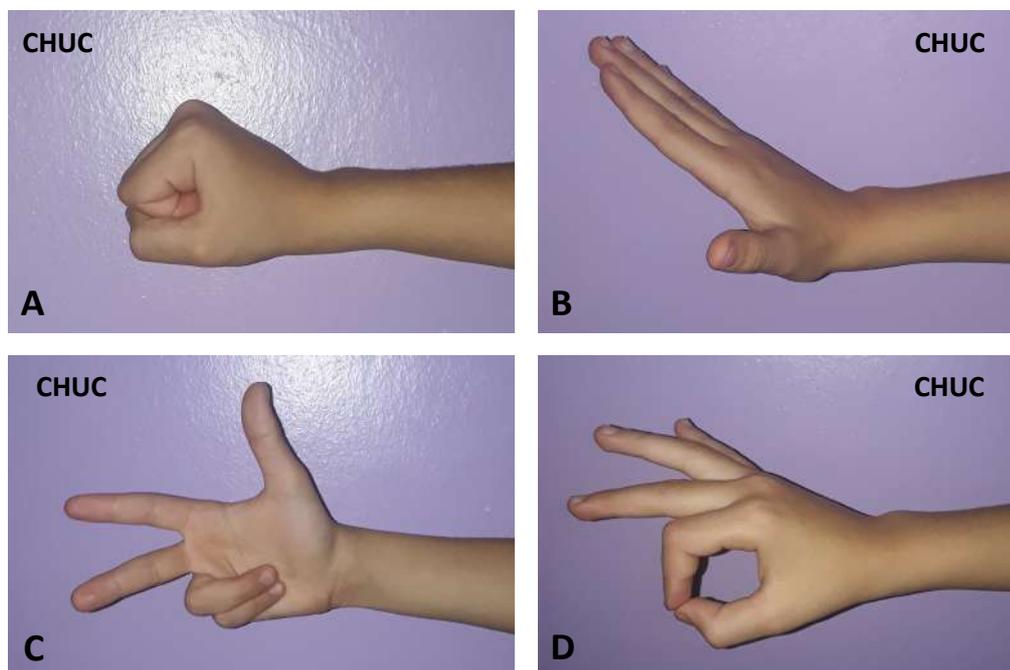


Figure 17: Examen clinique des nerfs moteurs du membre supérieur.

A : Position « Pierre » montrant les fonctions motrices du nerf médian.

B : Position « Papier » montrant les fonctions motrices du nerf radial.

C : Position « Ciseau » montrant les fonctions motrices du nerf ulnaire.

D : Position « OK » montrant les fonctions motrices du nerf interosseux antérieur.

9. Imageries

9.1. La radiographie standard

Les radiographies standards permettent de diagnostiquer les fractures de l'avant-bras. Le bilan radiographique doit comporter une radiographie de l'avant-bras en entier sur deux incidences orthogonales prenant les articulations sus et sous-jacentes afin d'évaluer le type et le siège de la fracture. Les déformations plastiques, les fractures en bois vert et les fractures complètes (transversale, oblique, spiroïde ...) représentent les types de fractures retrouvés chez l'enfant. Elles peuvent être distinguées selon leur siège en fractures du tiers moyen, proximal ou distal. Les fractures du tiers moyen (médio-diaphysaire) se situent souvent légèrement au-dessus du milieu de la diaphyse. Les fractures du tiers proximal (diaphysaires hautes) siègent à l'union du tiers supérieur et des deux tiers inférieurs. Les fractures du tiers distal (diaphysaires basses) se localisent à l'union des deux tiers supérieurs et du tiers inférieur.

L'appréciation des déplacements est un temps essentiel dans l'analyse radiographique permettant de faciliter les manœuvres de réduction à travers une bonne compréhension des déplacements existants.

L'analyse radiographique doit comporter également une évaluation de l'angulation, le chevauchement et la translation entre les deux fragments diaphysaires pour chaque os.

L'angulation est mesurée par le degré total de déviation du fragment distal par rapport au fragment proximal pour chaque os et sur les deux incidences de face et de profil (Fig.18) [25]. Si l'angulation est visible sur les deux incidences radiographiques, l'angulation réelle est en dehors du plan des radiographies et sa valeur réelle est

supérieure à celle mesurée sur les radiographies [101,102]. Bär et Breitfuss ont établi un tableau pour prédire la valeur de l'angulation réelle en se basant sur les valeurs des angulations mesurées sur les deux incidences radiographiques orthogonales [102].



Figure 18: Radiographies d'une fracture des 02 os de l'avant-bras chez un patient âgé de 14 ans . a. Face , b. Profil

Le poignet et le coude doivent être pris sur le même film pour permettre l'évaluation de la déformation rotationnelle [23,27]. La rotation n'est pas toujours simple à déterminer. Elle est fréquemment évidente sur les radiographies initiales en reconnaissant une possible inadéquation des diamètres de l'os au niveau du foyer de fracture. La diaphyse radiale n'est pas circulaire à la coupe et toute rotation va se traduire par une différence de diamètre de la projection radiologique des deux fragments [23].

Les déplacements en rotation peuvent être appréciés en comparant la projection de la tubérosité bicipitale et de la styloïde radiale sur la radiographie standard telle que décrite par Evans [103]. Sur une radiographie de face d'un avant-bras non fracturé en supination la tubérosité bicipitale et la styloïde radiale se trouvent à 180 ° l'une de l'autre. La tubérosité bicipitale se projette en dedans. En position de pronation complète, la tubérosité bicipitale se projette en dedans et la styloïde radiale en dehors (Fig.19) [23]. La courbure radiale est estimée sur la radiographie de face antéro-postérieure de l'avant-bras [104]. Tout redressement de la courbure radiale va aboutir à un allongement du radius avec possibilité de limitation des mouvements de rotation [101].

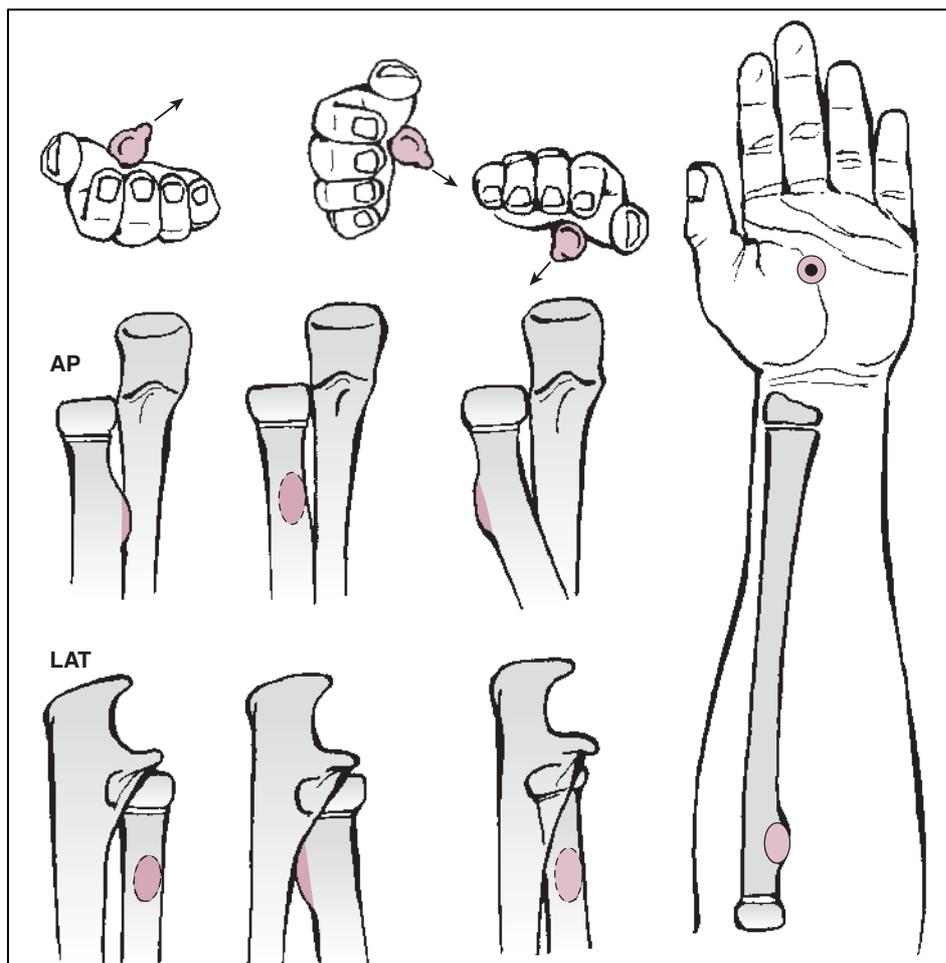


Figure 19: Position de la tubérosité bicipitale en fonction la pronosupination. [23]

9.2. Tomodensitométrie et Imagerie par résonance magnétique

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) et la tomodensitométrie (TDM) peuvent être utilisées pour évaluer en détail le squelette de l'avant-bras. Des coupes passant par la tubérosité bicipitale et la styloïde radiale permettent une meilleure recherche des troubles rotationnels. Des coupes comparatives entre le membre fracturé et le membre sain passant par le processus coronoïde et la styloïde ulnaire permettent de rechercher les troubles rotationnels ulnaires. Similairement à la tubérosité bicipitale et à la styloïde radiale, le processus coronoïde et la styloïde ulnaire font un angle de 180° entre l'un et l'autre [23].

L'IRM et la TDM reste exceptionnellement utilisées en phase aigüe, elles sont indiquées surtout dans l'exploration des fractures consolidées avec limitation de la pronosupination pour la planification de l'excision d'une synostose ou d'une ostéotomie de correction[23,105].

10. Anatomie pathologique

Les fractures diaphysaires du radius et de l'ulna sont souvent décrites avec les termes « fracture des deux os de l'avant-bras » et « fracture en bois vert ». Les radiographies standards confirment le diagnostic de fracture diaphysaire et sont à la base de la plupart des systèmes de classification.

La classification des fractures de l'avant-bras adoptée par l' « Orthopedic Trauma Association (OTA) » a été utilisée par certains auteurs chez l'enfant bien qu'elle ait été décrite pour les fractures de l'avant-bras de l'adulte [106].

Une classification des fractures des os longs chez l'enfant a été publiée en 2007 par L'AO (Association suisse pour l'étude de l'ostéosynthèse) avec une série d'études qui ont été menées pour soutenir le développement et la validation d'un système complet de classification des fractures des os longs chez les enfants appelé « AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF) » [107–112].

La terminologie et le codage de la PCCF sont basées sur les principes de la classification des fractures de Müller. Le radius est désigné par « 2r » et l'ulna par « 2u ». L'os long est divisé en trois segments : l'extrémité proximale désignée par le chiffre « 1 », le segment diaphysaire désignée par le chiffre « 2 » et l'extrémité distale désignée par le chiffre « 3 ».

Les extrémités proximales et distales comprennent chacune une métaphyse et une épiphyse. La métaphyse est définie par un carré dont les côtés ont la même longueur que la partie la plus large de la plaque de croissance épiphysaire visible sur la radiographie. Pour le radius et l'ulna, la largeur des deux os doit être prise dans le carré.

Chaque extrémité comprend deux sous-segments : l'épiphyse « E » et la métaphyse « M ». Le segment diaphysaire comprend un seul sous-segment « D » (Fig.20)[112].

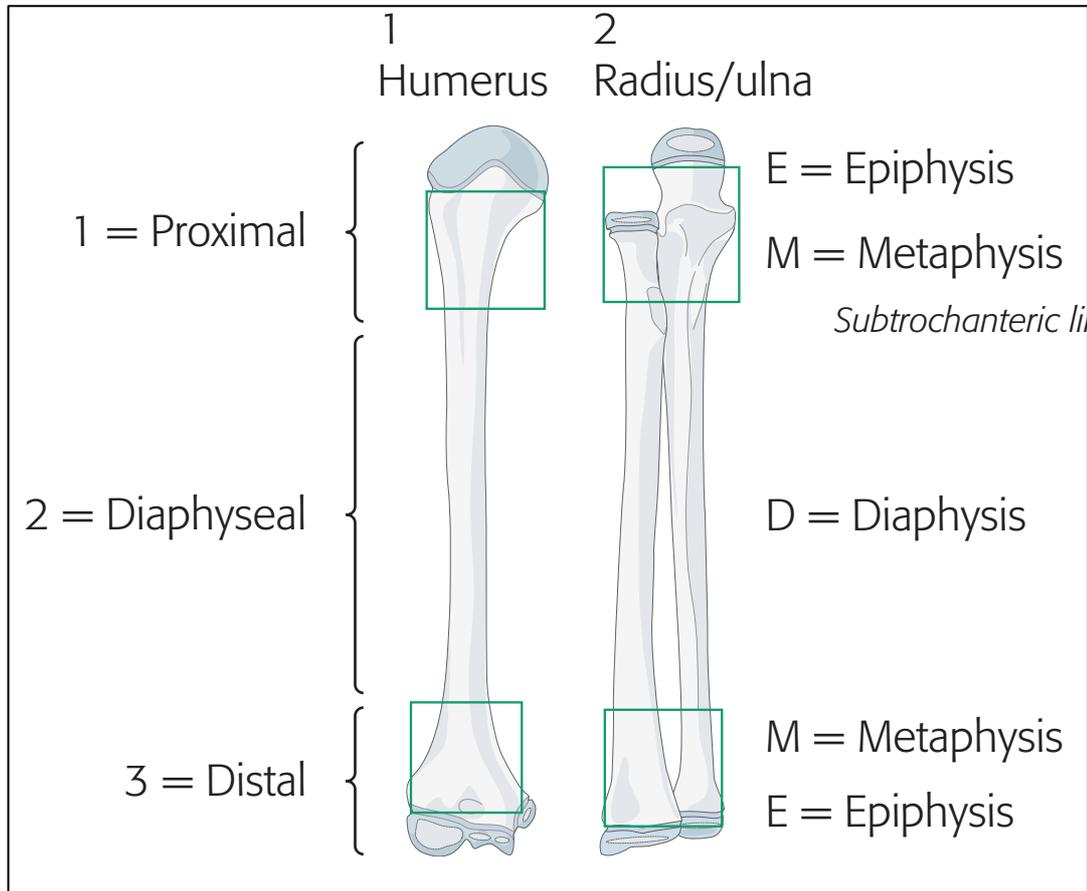


Figure 20: Définition des segments des os longs (humérus, radius, ulna)[112].

Pour les fractures diaphysaires des 2 os de l'avant-bras :le type de fracture est désigné par un chiffre de 1 à 9 . (Tableau 3)

La sévérité de la fracture est désignée par deux codes :

le « 1 » pour la fracture simple et le code « 2 » pour la fracture multifragmentaire

Tableau 3: Désignation des types de fractures diaphysaires de l'avant-bras.

Type de fracture	Désignation
Déformation plastique	D/1
Fracture en bois vert	D/2
Fracture sous-périostée (ou fracture du « tout petit »)	D/3
Fracture complète transversale $\leq 30^\circ$	D/4
Fracture complète oblique / spiroïdal $>30^\circ$	D /5
Lésion de Monteggia	D/6
Lésion de Galeazzi	D/7
Autres fractures	D/9

Ainsi la classification des fractures des os de l'avant-bras est la suivante [112]:

- **Fractures des 2 os de l'avant-bras** (Fig.21) :

- Déformation plastique (simple) : 22-D/1.1
- Fractures en bois vert (simple) : 22-D/2.1
- Fracture complète transversale ($<30^\circ$) :
 - Simple : 22-D/4.1
 - Multifragmentaire : 22-D/4.2
- Fracture complète oblique ou spiroïde : ($\geq 30^\circ$) :
 - Simple : 22-D/5.1
 - Multifragmentaire : 22-D/5.2

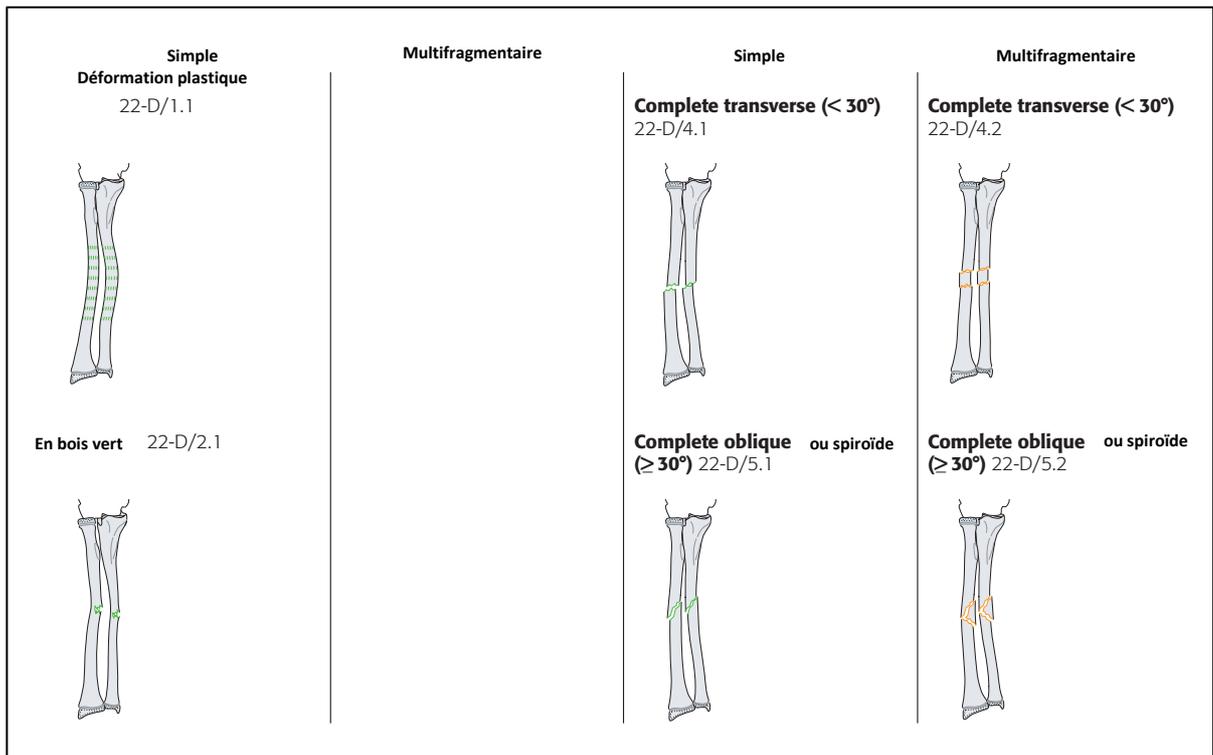


Figure 21: Fractures des 2 os de l'avant-bras . AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF)[112]

- **Fracture isolée du radius (Fig. 22) :**

- Déformation plastique (simple) : 22r-D/1.1
- Fractures en bois vert (simple) : 22r-D/2.1
- Fracture complète transversale (<30°) :

Simple : 22r-D/4.1

Multifragmentaire : 22r-D/4.2

- Fracture complète oblique ou spiroïde : (>=30°) :

Simple : 22r-D/5.1

Multifragmentaire : 22r-D/5.2

- Fracture de Galeazzi :

Simple : 22r-D/7.1

Multifragmentaire : 22r-D/7.2

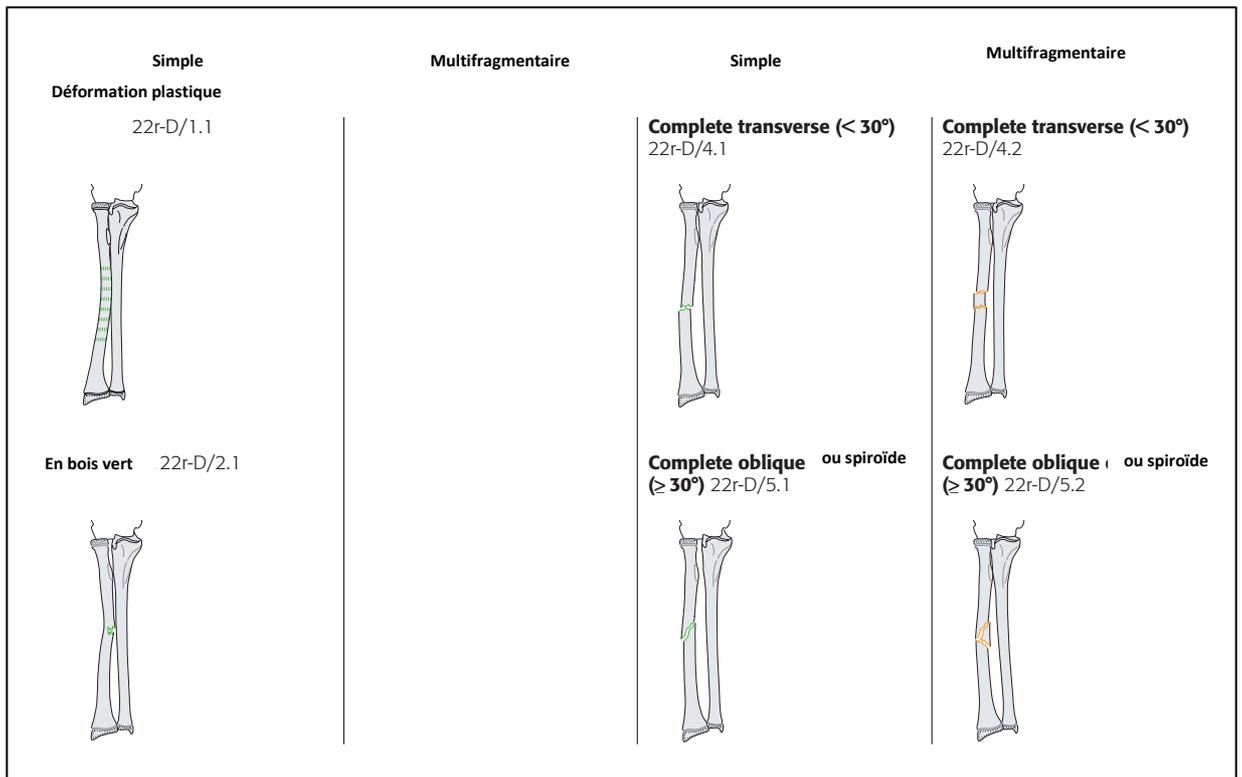


Figure 22: Fracture isolée du radius. AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF)[112]

- Fracture isolée de l'ulna (Fig. 23) :

- Déformation plastique (simple) : 22u-D/1.1
- Fractures en bois vert (simple) : 22u-D/2.1
- Fracture complète transversale (<30°) :
 - Simple : 22u-D/4.1
 - Multifragmentaire : 22u-D/4.2
- Fracture complète oblique ou spiroïde (≥30°) :
 - Simple : 22u-D/5.1
 - Multifragmentaire : 22u-D/5.2
- Fracture de Monteggia :
 - Simple : 22u-D/7.1
 - Multifragmentaire : 22u-D/7.2

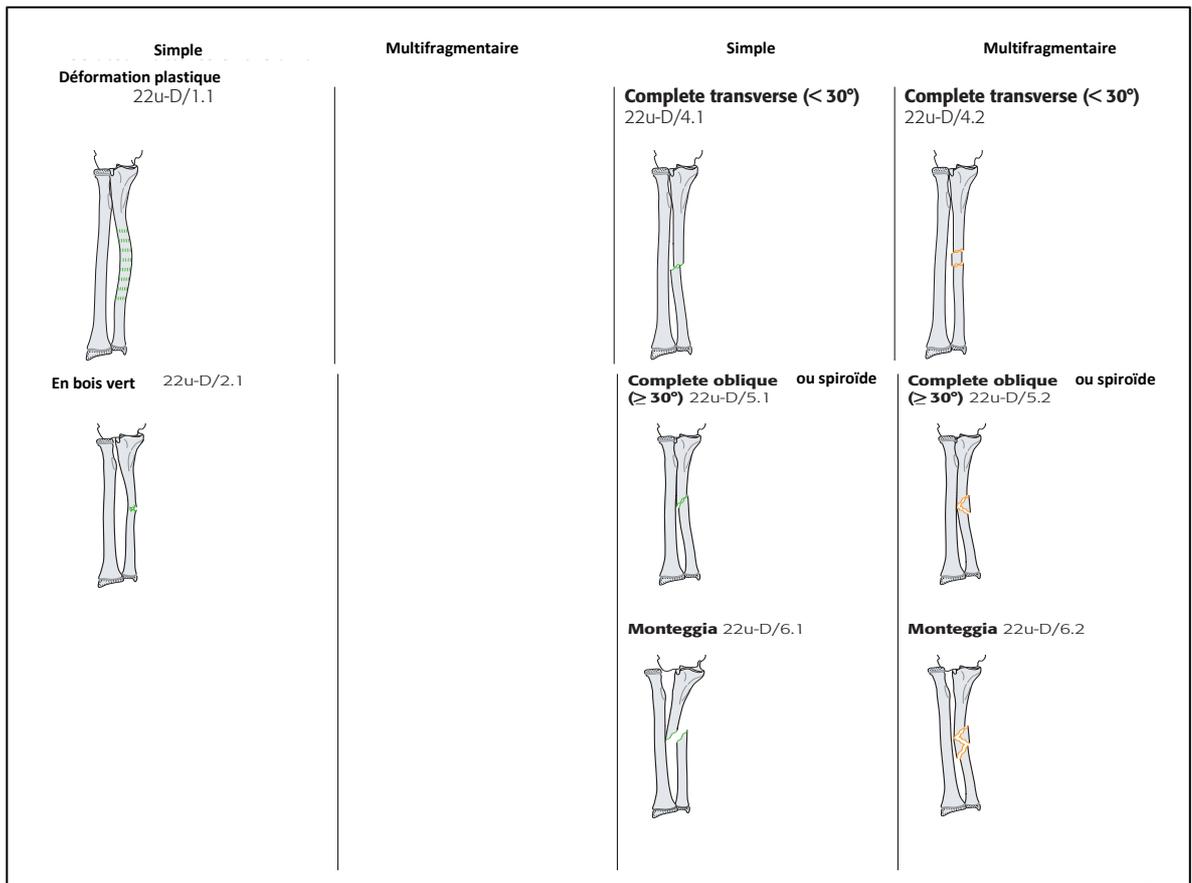


Figure 23: Fracture isolée de l'ulna. AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF)[112]

Comme celle de l'adulte, cette classification reste d'utilisation difficile en routine, de plus elle ne tient pas compte du siège de la fracture sur le tiers distal, moyen ou proximal de la diaphyse [23].

Une autre approche plus pratique classe les fractures des deux os de l'avant-bras en fonction de l'atteinte d'un ou des deux os, du siège du trait sur la diaphyse (1/3 proximal, 1/3 moyen, 1/3 distal) et du type de fracture (déformation plastique, en bois vert, complète ou comminutive) [23,113,114].

11. Traitement

11.1. But

Le traitement des fractures de l'avant-bras vise à atteindre et à maintenir une réduction acceptable jusqu'à la consolidation des os [23,114,115]. En raison de la particularité de l'avant-bras, les fractures du radius et de l'ulna doivent être traitées comme des fractures articulaires [104]. Les déplacements résiduels acceptables varient en fonction des auteurs. Pour Price et al [24], l'angulation acceptable est fonction de l'âge de l'enfant mais également de la localisation de la fracture. Pour les fractures du tiers inférieur ou du tiers moyen chez des enfants de moins de 8 ans, l'angulation doit être inférieure à 15°. En revanche, si la fracture siège dans le tiers supérieur ou encore si l'enfant est âgé de plus de 8 ans, l'angulation doit être inférieure à 10°. Pour Bowman et al [25], le sexe intervient également dans la décision thérapeutique. L'angulation tolérable se discute autour d'une limite d'âge de 8 ans chez la fille contre 10 ans chez le garçon. Ainsi, ils retiennent une angulation maximale de 10° chez les garçons de plus de 10 ans et chez les filles de plus de 8 ans. Pour Mehlman CT et al [23], l'angulation maximale dépend également de la localisation du trait de fracture, avec une limite à 10° pour les fractures du tiers proximal, contre 15° pour les fractures du tiers moyen et 20° pour celles du tiers distal avec au moins deux ans restant de croissance. Pour Lascombes [26], l'angulation maximale est de 10° chez l'enfant âgé de 10 ans.

Quant au défaut de rotation tolérable, il est fixé à moins de 45° chez l'enfant moins de 8 ans et à moins de 30° chez l'enfant dont l'âge est égal ou supérieur à 8 ans [27]. une translation de 100 % est tolérable de même qu'un chevauchement inférieur à 1 cm [23].

L'objectif principal des traitements à long terme est de permettre une récupération complète de l'amplitude des mouvements de pronosupination et de minimiser les complications [15,116].

Cet objectif ne sera atteint qu'à travers une consolidation de la fracture avec un alignement acceptable [23–25].

11.2. Moyens thérapeutiques

11.2.1. Traitement orthopédique

Le traitement orthopédique est la méthode la plus utilisée dans le traitement des fractures diaphysaires des deux os de l'avant-bras chez l'enfant et doit être privilégié chaque fois que possible [29,115]. Ce traitement comprend deux parties distinctes : la réduction et la contention. Au bloc opératoire, le patient est installé en décubitus dorsal, et sous contrôle radiologique avec un amplificateur de brillance.

11.2.1.1. Réduction

La réduction des fractures déplacées se fait sous analgésie appropriée [117]. Différents types d'anesthésie peuvent être utilisés [118–127].

La manœuvre de réduction des déformations plastiques consiste à réaliser une hypercorrection par une force graduelle (20 à 30 kg) appliquée pendant 2 à 3 minutes, parfois un craquement de la corticale est perçu [23,128]. L'application de cette force de réduction peut être faite sur une serviette roulée ou le genou du chirurgien suivi d'un plâtre bien moulé. Ces fractures plastiques ont une forte tendance à la récurrence de la déformation [23].

Dans les fractures en bois vert, il est important de reconnaître les déformations angulaires et rotationnelles, qui doivent toutes être réduites [18,19]. Comme le type de fracture est fréquemment en «supination à sommet antérieur», le fragment distal est réduit par un mouvement de pronation, ce qui corrige la déformation angulaire également [19]. En cas de déformation en «pronation à sommet postérieur», la mise en position de supination du fragment distal est réalisée. Une force de manipulation à trois points est utilisée pour assurer l'alignement [19]. Noonan et Price ont observé qu'il est

difficile de se rappeler s'il fallait utiliser des forces réductrices de pronation ou de supination et ont suggéré que la plupart des fractures soient réduites en tournant la paume vers la déformation. Ils ont également noté que la plupart des fractures en bois vert sont des lésions en supination avec angulation à sommet antérieur et peuvent donc être réduites par un mouvement de pronation [129].

La manœuvre de réduction des fractures complètes doit corriger le déplacement de la fracture. Une bonne compréhension des déplacements de la fracture est indispensable [18]. La réduction se fait habituellement par une traction sur la main avec le coude fléchi à angle droit. L'aide exerce une contre traction sur le bras [130]. Ces fractures sont souvent responsables d'un raccourcissement du fait du chevauchement interfragmentaire. Une traction longitudinale douce et durable (5 à 10 minutes) permet de contrôler ce raccourcissement et diminue la contraction musculaire, ce qui facilite la réduction [23]. La traction peut également entraîner une réduction spontanée d'éventuels déplacements en rotation [18,36].

Les formes les plus difficiles à réduire sont celles pour lesquelles les deux traits de fractures ne se situent pas au même niveau pour chaque os. Il s'agit en fait d'un équivalent de fracture spiroïde. Il faut alors reproduire le mouvement de pronation ou de supination inverse à celui qui a eu lieu lors de l'accident. En général, les fractures du 1/3 proximal se réduisent mieux en supination, celles du 1/3 moyen en position neutre et celles du 1/3 distal en pronation [18,23]. La qualité de réduction est vérifiée par un contrôle radioscopique [129].

11.2.1.2. Contention

Le membre supérieur est immobilisé dans un plâtre brachio-antébrachio-palmaire [24]. Le plâtre doit être bien moulé afin de maintenir l'alignement de la fracture en neutralisant les forces musculaires déformantes autour de la fracture jusqu'à sa guérison [115]. Il existe plusieurs méthodes de confection d'un appareil

d'immobilisation. Il peut être fait d'une attelle assez large ou le plus souvent d'un plâtre circulaire pour couvrir les côtés palmaire et dorsal de l'avant-bras (Fig.24). Ce plâtre circulaire permet d'appliquer une pression corrective appropriée contre le déplacement [115]. Il permet également d'obtenir un écartement des deux os en ovalisant le plâtre par un moulage antéro-postérieur [18]. Le plâtre doit être plus grand dans le sens latéro-médial que dans le sens antéro-postérieur [23].

La position neutre de l'avant-bras est la position d'immobilisation pour Rang et al [131]. Pour d'autres auteurs, les fractures du tiers proximal doivent être immobilisées en



Figure 24: Contention par un plâtre circulaire brachio-antébrachio-palmaire.

a : mise en place d'un jersey doublé,

b : réalisation du plâtre avec moulage,

c : aspect final du plâtre.

position de supination, les fractures du tiers moyen en position neutre et celles du tiers distal en position de pronation [18,23,115]. Le plâtre est fait coude en flexion [19]. L'immobilisation de l'avant-bras avec le coude en position de flexion ou d'extension a été débattue. Il a été postulé qu'un plâtre sur le coude fléchi ne prend pas le contrôle de la partie proximale de la fracture. Le moulage avec le coude en extension complète peut éliminer la force de supination du biceps et la force de déformation par gravité [132–134].

Le plâtre de Paris est le matériau le plus universel disponible [19]. Il est facile à rouler et il se moule à la forme souhaitée, étant relativement confortable pour le patient [19]. Le problème est qu'il perd sa forme lorsqu'il est mouillé. Plusieurs matériaux de moulage synthétiques sont utilisés [135]. La résine (fibre de verre) est légère mais elle devient dure et les bords peuvent être suffisamment coupants pour irriter la peau, en plus la rigidité de la résine rend son ablation difficile avec abîmement des scies à plâtre [19,135]. Il existe une forme plus développée de fibre de verre "Soft Cast" qui est semi-rigide et plus facile à appliquer [19].

11.2.1.3. Surveillance post-réduction

Après la réduction et l'immobilisation, une réévaluation de l'état vasculonerveux est effectuée. Une surveillance rigoureuse est nécessaire pour dépister et prévenir un syndrome des loges. Il convient de surélever la main, de contrôler la mobilité active et passive des doigts, de tester la sensibilité des extrémités pulpaire. Toute douleur sous plâtre doit faire évoquer un syndrome des loges. Les patients qui présentent un œdème important du membre ou un examen anormal après réduction et plâtre doivent être hospitalisés pour surveillance [18].

Un contrôle clinique et radiologique hebdomadaire pendant les 3 à 4 premières semaines permettent de rechercher un éventuel déplacement secondaire sous plâtre[18,23].

L'immobilisation plâtrée est maintenue pendant une durée qui va de 6 à 8 semaines jusqu'à 3 mois [18,26,129].

11.2.1.4. Les indices de plâtres

Le déplacement secondaire sous plâtre est une complication fréquente du traitement orthopédique des fractures diaphysaires des deux os de l'avant-bras chez l'enfant. Les facteurs qui contribuent à la survenue de cette complication peuvent être subdivisés en deux types : des facteurs liés à la fracture elle-même (siège du trait de fracture, importance du déplacement initial) et des facteurs liés à la qualité de la réduction et du plâtre [38].

Pour une évaluation objective de la qualité et du moulage du plâtre un certain nombre de mesures radiologiques sont actuellement utilisées.

Cast index : rapport entre la largeur interne du plâtre mesuré sur l'incidence de profil et la largeur interne du plâtre mesuré sur l'incidence de face au même niveau que la fracture (Fig. 25)[136]. La valeur normale est inférieure ou égale à 0,8 [137,138].

Padding index ou indice de rembourrage : rapport entre l'épaisseur du rembourrage sous le plâtre moulé sur l'incidence de profil , au même niveau que la fracture et la distance interosseuse maximale sur l'incidence de face (Fig.26) [136]. La valeur normale est inférieure ou égale à 0,3 [137,138].

Canterbury index est la somme du Cast index et du Padding index, la valeur normale est inférieure à 1,1 [137–139].

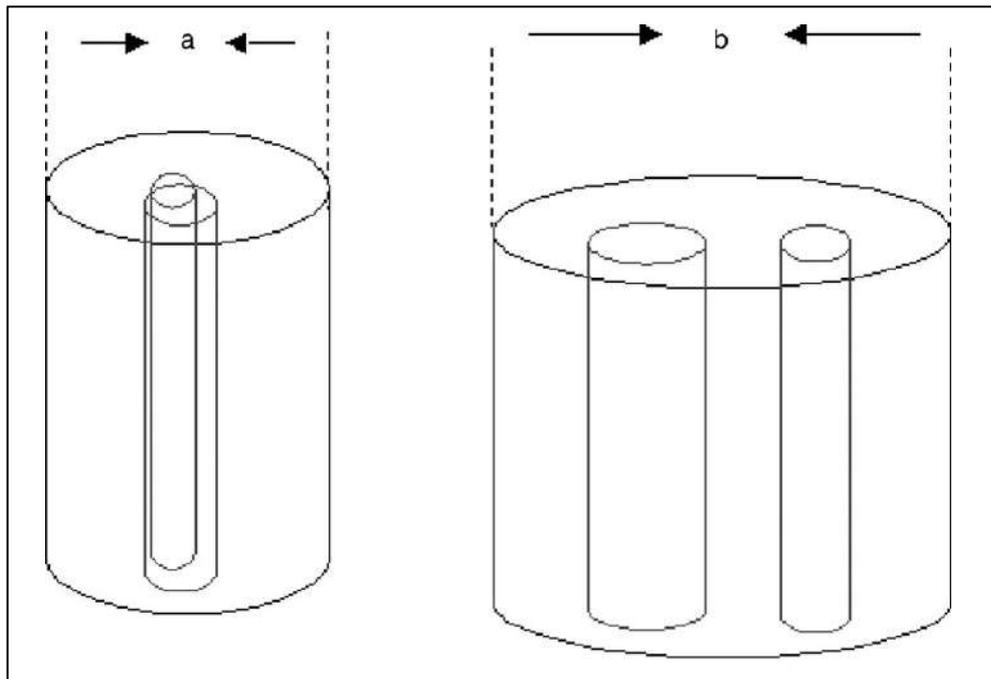


Figure 25: Cast index (a/b). [136]

a: Largeur interne du plâtre mesuré sur l'incidence de profil.

b : Largeur interne du plâtre mesuré sur l'incidence de face.

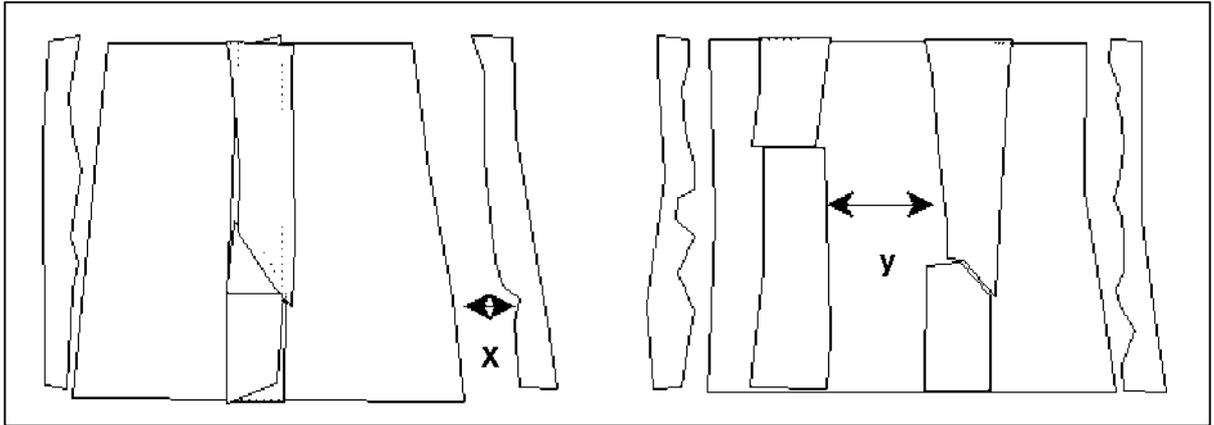


Figure 26: Padding index (x/y). [136]

x : Épaisseur du rembourrage sous le plâtre sur l'incidence de profil ,

y : Distance maximale de l'espace interosseux sur l'incidence de face

11.2.2.Traitement chirurgical

11.2.2.1.Fixation intramédullaire

L'enclouage centromédullaire élastique stable (ECMES), utilisant des clous élastiques en titane ou en acier, est devenu la principale méthode de stabilisation chirurgicale des fractures diaphysaires des deux os de l'avant-bras chez l'enfant [18,20,140,141]. Ses résultats dans le traitement des fractures instables sont aussi bons que les résultats de la fixation par plaque et vis [142,143], avec plusieurs avantages par rapport à elles [101,140,144,145].

En théorie, l'ECMES est basé sur une stabilisation en trois points au moyen d'une tension opposée de deux implants parallèles dans le même canal médullaire [6]. Au niveau de l'avant-bras, les deux os sont fixés séparément avec un clou pour chaque os. Ces deux clous séparés dans deux os séparés forment deux concavités élastiques opposées au niveau du foyer de fracture[96]. Pour cette raison, l'enclouage des deux os est indispensable pour certains auteurs[141,146], alors que d'autres auteurs soutiennent l'enclouage d'un seul os [129,147,148].

L'ECMES ne remplit pas le canal médullaire, contrairement aux implants intramédullaires rigides. La flexibilité de l'ECMES facilite la formation du cal en permettant un mouvement minimal dans le foyer de fracture . Il est encore suffisamment solide pour maintenir un alignement satisfaisant [24]. Le contrôle de la rotation n'est pas garanti [149].

Deux clous d'un diamètre d'environ 40% du diamètre minimum du canal intramédullaire sont utilisés [96]. L'os le plus déplacé est encloué en premier[23,150]. Le plus souvent, le radius est plus déplacé et plus difficile à enclouer que l'ulna situé superficiellement[6,32]. Le point d'entrée du clou du radius est situé sur la face latérale de la métaphyse distale, à 10–20 mm au-dessus du cartilage de croissance distal, c'est-à-dire à 30 mm au-dessus de la pointe de la styloïde radiale, entre l'insertion du tendon brachioradial (long supinateur) en postérieur , et la face antérieure du radius où se situe l'artère radiale. Cela évite les dommages potentiels à la veine radiale ou aux branches sensorielles du nerf radial lors de la dissection. Le clou ne doit pas passer entre les tendons extenseurs[32].

Le point d'entrée du clou ulnaire est situé sur la face postérolatérale de l'olécrane. L'insertion du clou par le sommet de l'olécrane est déconseillée car elle entraîne une proéminence douloureuse de la pointe du clou et même une saillie à travers la peau à chaque fois que le coude est fléchi. Les clous sont coupés sous la peau, mais le clou radial doit rester suffisamment proéminent pour éviter d'endommager le tendon de l'extenseur du pouce [150]. L'ECMES présente plusieurs avantages. L'insertion des implants est faite à distance des foyers de fracture permettant ainsi de conserver l'hématome fracturaire et d'éviter de causer d'autre dommage [151]. La procédure est peu invasive et relativement simple à appliquer [152]. La disponibilité de clou de différentes tailles permet à cette technique d'être utilisée dans toutes les tranches d'âge de l'enfant [33]. Le retrait du matériel est souvent fait après le 6^{ème} mois sans complication et plus facilement que le retrait d'une plaque [6,32,152]. Une mobilisation

précoce peut être autorisée sans immobilisation plâtrée complémentaire pour certains [96,145,153]. D'autres recommandent d'associer à l'ECMES une immobilisation plâtrée en raison de l'activité physique relativement importante des enfants [20,32].

L'ECMES devient plus difficile avec le vieillissement de la fracture, vu l'obstruction du canal médullaire par un cal osseux plus important et plus dur [25,154,155]. L'autre inconvénient est la nécessité parfois de l'abord du foyer de fracture pour permettre une exposition directe de la fracture afin d'obtenir sa réduction. La conversion d'un traitement à foyer fermé en un traitement à foyer ouvert ne doit être envisagée qu'au bout de dix minutes de manipulation ou après 2 à 3 tentatives infructueuses d'enclouage de la fracture [18,32,150]. Cette conversion vers un traitement à foyer ouvert après échec de la réduction à foyer fermé semble être plus fréquente dans les fractures d'un seul os par rapport à la fracture des deux os de l'avant-bras [156]. Si une réduction ouverte est requise, le radius est abordé par une voie d'abord antérolatérale d'environ 4 cm entre le compartiment ventral et le compartiment latéral. Dans les fractures du tiers distal, l'incision est de préférence située sur la face ventrale de l'os (voie de Henry). Dans les fractures du tiers proximal, en raison de la position profonde du radius. L'os doit également être abordé entre le compartiment ventral et le compartiment latéral pour éviter de léser le nerf radial. L'ulna est beaucoup plus facile à aborder, directement sur son bord postéro-médial par un abord de 4 cm entre le fléchisseur ulnaire et l'extenseur ulnaire du carpe [157]. Le résultat fonctionnel de l'ECMES est bon ou excellent [158] malgré le besoin possible d'une ouverture (minimale) [152]. Le taux de toutes les complications est d'environ 30% mais elles sont généralement mineures [159]. Le retard de consolidation et les complications neurovasculaires sont rares (0,5 à 2%) [155,160] et la pseudarthrose (0,5 à 1%) est rarement observée et touche souvent l'ulna [151,161,162].

11.2.2.2.Fixation par plaque et vis

La réduction après ouverture du foyer fracturaire avec stabilisation par une plaque et fixation par vis est une technique efficace pour stabiliser les fractures des deux os de l'avant-bras chez l'enfant [163]. Elle offre une stabilité totale si elle est effectuée correctement et permet une mobilisation précoce [152] . La méthode a été rapportée comme un choix réalisable chez les adolescents se rapprochant de la maturité osseuse . Elle est également utile en cas de fracture itérative car le canal intramédullaire peut être obstrué [116,152] .

Deux incisions sont recommandées pour les deux os pour éviter la survenue de synostose radio-ulnaire [164,165]. La stabilisation est faite avec une plaque à quatre vis, deux de chaque côté du foyer de fracture [23,152]. Les inconvénients de la fixation par plaques et des vis sont liés à l'abord chirurgical avec risque d'atteinte neurovasculaire [166], des cicatrices inesthétiques et des infections [167]. L'évacuation de l'hématome fracturaire important pour la consolidation expose aux risques de retard de consolidation et de pseudarthrose [166,168]. Il existe un risque de lésion nerveuse lors du retrait de l'implant car le tissu cicatriciel peut rendre difficile l'identification des nerfs [169]. La nécessité de faire l'ablation de la plaque est controversée [170–172].

11.2.2.3.Fixation externe

L'utilisation du fixateur externe dans les fractures de l'avant-bras de l'enfant n'est pas une attitude fréquente [173,174]. Cette indication est réservée en particulier aux cas compliqués de lésions sévères des tissus mous ou de fractures complexes ou avec perte de substance osseuse[152,175]. Une méthode particulière a été décrite dans laquelle des broches seules, sans aucune barre, ont été utilisées avec un plâtre pour construire un système de fixation externe[176].

11.3.Indications

Le traitement orthopédique est l'indication de choix dans le traitement des fractures des diaphyses des os de l'avant-bras de l'enfant, cependant il laisse sa place au traitement chirurgical dans les situations suivantes [18,23,177]:

- Les fractures ouvertes
- Les fractures associées à des lésions vasculonerveuses ou un syndrome des loges.
- Les fractures étagées du membre supérieur.
- Les fractures irréductibles par manœuvres orthopédiques
- Les déplacements secondaires sous plâtres, dans ce cas le traitement chirurgical est réalisé en première intention ou après échec d'une nouvelle réduction.
- Les fractures pathologiques.

12. Complications

Les fractures des deux os de l'avant-bras ont un taux élevé de complications.

12.1. Syndrome des loges

L'augmentation de la pression dans une loge (compartiment) musculaire de l'avant-bras est une urgence qui menace la perfusion tissulaire et peut aboutir à une ischémie justifiant un geste chirurgical d'aponévrotomie urgente[178].

Le diagnostic du syndrome des loges aigu est un diagnostic clinique. Les signes cliniques signalés par les patients jouent un rôle crucial dans la reconnaissance d'un syndrome des loges en voie de constitution. L'anxiété potentielle de l'enfant jeune lors de l'examen clinique et ses capacités limitées à communiquer clairement rendent difficile l'identification d'un syndrome des loges [179].

La douleur, l'œdème et la tension sont trouvées à l'examen physique du membre touché. La recherche des 5 P est classique (pain, paresthesia, paralysis, pallor, and pulseness) (douleur, paresthésie, paralysie, pâleur, pouls) dans le syndrome des loges. Une douleur intense avec exacerbation de la douleur à l'extension passive des doigts constituent les premiers signes qui apparaissent, mais l'examen clinique et l'évaluation de la douleur sont difficiles chez le jeune enfant agité [178–180].

La mesure de la pression dans la loge peut être utile dans la décision thérapeutique dans certaines situations particulières. Elle est utile chez l'enfant avec trouble mental ou chez l'enfant obnubilé. Une pression supérieure à 30–40 mm Hg justifie une fasciotomie instantanée [181,182].

Au niveau de l'avant-bras, le syndrome des loges est plus fréquent après une fracture ouverte ou en postopératoire d'une fracture traitée par ECMES [182–184]

12.2. Lésions vasculaires

Des pouls distaux absents, une froideur cutanée , une cyanose cutanée avec allongement du temps de recoloration cutanée sont des signes de lésion vasculaire de l'avant-bras [185]. Elles sont exceptionnelles[186]. L'intervention principale consiste à réduire et à stabiliser la fracture instable, protégeant ainsi davantage des lésions des tissus mous . Par rapport aux adultes, les enfants présentent une meilleure cicatrisation des lésions vasculaires [177,185].

12.3. Lésions neurologiques

Les complications neurologiques après fracture des 2 os de l'avant-bras sont rares [186,187]. Les atteintes du nerf médian sont les plus fréquentes . Le plus souvent la lésion neurologique type neurapraxie survient lors du traumatisme et ne nécessite aucun traitement spécifique. La récupération est généralement complète en moins de 3 mois [23,36,185]. Les lésions du nerf ulnaire surviennent souvent après ECMES. Certains nerfs sensitifs peuvent également être menacés lors du traitement chirurgical des fractures de l'avant-bras notamment la branche sensitif du nerf radial[188].

12.4. Déplacement secondaire et cal vicieux

La complication la plus courante à court terme du traitement orthopédique des fractures des deux os de l'avant-bras est le déplacement secondaire, d'une fracture précédemment bien réduite et bien alignée. Complication qui survient chez 10 à 25% des patients[5,36,189]. Les radiographies de suivi sont un test de dépistage visant à identifier le déplacement secondaire[190].

Le cal vicieux est une complication fréquente car la réduction peut être facilement perdue et peut être difficile à réobtenir [21,36]. Le cal vicieux peut perturber la géométrie du squelette de l'avant-bras, entraînant une limitation du mouvement [14,104]. Les chirurgiens ont tendance à accepter une réduction moins adéquate des

fractures de l'avant-bras en raison de leurs confiance dans les grandes capacités de remodelage des fractures chez l'enfant, mais cela peut parfois conduire à des résultats défavorables[14,185]. Les résultats primaires doivent être assez bons, car la correction tardive est difficile et incertaine[185]. Le remodelage est moins bon dans le tiers moyen que dans le tiers distal de l'avant-bras [21]. La déformation rotationnelle ne s'améliore pas par les processus de remodelage[185]

12.5.Retard de consolidation et pseudarthrose

Un cal périosté au niveau du radius ou de l'ulna est présent quatre semaines après une fracture chez l'enfant [191,192]. Son importance dépend du siège de la fracture et de l'âge du patient [162]. Les fractures de l'avant-bras présentent un cal complet sur les quatre corticales du site fracturaire sur les deux incidences radiographiques orthogonales après deux à trois mois [23,162,185].

La terminologie des troubles de la consolidation est diverse et il n'y a pas de critères objectifs pour les troubles de la consolidation des fractures chez l'enfant [191,193]. Un retard de consolidation peut être défini comme un échec à avoir une consolidation complète (quatre corticales) sur des radiographies séquentielles 12 semaines après le traumatisme. Ce délai dépasse la limite supérieure de consolidation normale d'environ 1 mois.

La pseudarthrose peut être définie comme l'absence de consolidation osseuse complète 6 mois après le traumatisme [23,151,162]. La pseudarthrose est rare chez l'enfant [194,195].

Les retards de consolidation et les pseudarthroses sont rares dans les fractures diaphysaires fermées des deux os de l'avant-bras chez l'enfant avec un taux inférieur à 0,5% [23,194,196]. Elles sont surtout observées après une réduction de la fracture avec ouverture du foyer de fracture et une ostéosynthèse interne (3% de pseudarthrose après stabilisation par une plaque) ou après une fracture ouverte (5% de retard de

consolidation et 1% de pseudarthrose) [23,163,197]. La survenue d'une pseudarthrose chez l'enfant et vu qu'elle est très rare doit faire rechercher un diagnostic possible de neurofibromatose [198,199].

12.6. Raideur

L'avant-bras est considéré comme une articulation non synoviale avec une grande amplitude de mouvement [12]. La raideur des mouvements de l'avant-bras constitue une complication courante à long terme du traitement des fractures diaphysaires. Elle intéresse essentiellement la pronosupination [116,200–203]. Cette raideur peut être liée à une perturbation de la longueur des os, un excès d'angulation résiduelle ; un cal avec un trouble de rotation et un rétrécissement de l'espace interosseux[185]. Une perte de pronation ou de supination se produit parfois malgré des radiographies d'apparence parfaitement normales[23]. Elle peut être causée par la cicatrisation des tissus mous, qui produit une tension sur la membrane interosseuse[116]. Les fractures diaphysaires sont plus souvent associées à une perte de distance que les fractures de la partie distale de l'avant-bras [94]. Près des deux tiers (60%) des enfants atteints d'une fracture de l'avant-bras au tiers moyen peuvent présenter une perte résiduelle de mouvement dans l'avant-bras [201].

12.7. Fracture itérative

Une fracture itérative peut être définie comme une deuxième fracture qui survient sur le même site fracturaire que la première fracture dans un délai inférieur à 18 mois[204]. La re-fracture ou fracture itérative est une complication bien connue de l'avant-bras. Les deux os de l'avant-bras représentent le siège le plus touché par les fractures itératives [7]. Son incidence sur l'avant-bras est d'environ 6 à 10% [205]. Elle touche plus fréquemment les garçons que les filles [98]. Elle survient fréquemment 4 à 6 mois après l'ablation du plâtre [23,206]. Elle peut survenir même un an après le traumatisme initial [185]. Les fractures médio-diaphysaires et celles du tiers proximal sont les plus

pourvoyeuses de fractures itératives par rapport aux fractures du tiers distal [204]. Une consolidation incomplète des fractures en bois vert , une angulation résiduelle et une durée d'immobilisation inférieure à 6 semaines ont été incriminés dans la survenue de ces fractures itératives [206,207]. Elles peuvent également survenir après l'ablation d'une ostéosynthèse interne (plaque, ECMES)[23].

La réduction de ces fractures est souvent difficile sans ouverture du foyer de fracture mais reste possible [207]. Un abord chirurgical peut être nécessaire pour avoir une bonne réduction et une stabilisation interne [206–208].

12.8. Synostoses

La synostose entre le radius et l'ulna est une complication rare des fractures diaphysaires des deux os de l'avant-bras. La conséquence de cette synostose est une perte totale de la rotation de l'avant-bras[23]. Cette complication grave est souvent secondaire à un traumatisme de haute énergie, ou un traitement chirurgical des fractures des deux os de l'avant-bras. En cas de traitement chirurgical, quand une réduction à foyer ouvert est requise, elle doit être effectuée via deux voies d'abord distinctes, afin d'éviter une synostose[164]. Une synostose peut également suivre un enclouage centromédullaire élastique stable[209]. Les autres facteurs prédisposant à la survenue de synostose sont : un déplacement initial important, un déplacement résiduel après réduction, une interposition périostée, une intervention chirurgicale retardée, une remanipulation ou une localisation sur le même niveau des fractures du radius et de l'ulna [164].

La résection du pont de synostose ne doit être faite que 6 à 12 mois après le traumatisme et après avoir vérifié la maturation du pont osseux par scintigraphie [164,185]. La résection doit emporter le pont osseux avec son périoste en bloc avec une interposition des tissus mous pour diminuer les chances de récurrence [23,164,209].

PARTIE PRATIQUE

13. MATERIELS ET METHODES

13.1.Type d'étude

C'est une étude prospective longitudinale monocentrique descriptive et analytique non randomisée. Elle a été effectuée entre Janvier 2017 et Décembre 2018, soit sur une période de 24 mois.

13.2.Population d'étude

L'étude a concerné une population d'enfants et d'adolescents traités pour des fractures diaphysaires du radius et /ou de l'ulna au CHU de Constantine.

13.2.1.Critères d'inclusion

Tous les enfants et les adolescents de moins de 16 ans, avec cartilage de croissance encore ouvert, qui ont présenté une fracture diaphysaire de l'un ou des deux os de l'avant-bras.

13.2.2.Critères de non inclusion

- Les patients présentant des fractures du quart inférieur de l'avant-bras.
- Les patients présentant des fractures diaphysaires associées à une fracture de l'olécrane et/ ou de la tête radiale.
- Les patients présentant des fractures diaphysaires de l'avant-bras et dont la prise en charge a été effectuée directement par un traitement chirurgical.
- Les patients présentant des lésions de Monteggia ou de Galeazzi.
- Les patients présentant des fractures pathologiques.
- Les patients présentant des fractures secondaires aux traumatismes balistiques.
- Les patients présentant des fractures ouvertes.
- les patients présentant des fractures étagées du membre supérieur.

13.2.3.Déroulement de l'étude

La prise en charge des malades a commencé dès leur réception au service des urgences chirurgicales. Une démarche diagnostique a été entamée, par un interrogatoire, un examen clinique et des explorations radiologiques afin de confirmer le diagnostic de fracture diaphysaires de l'avant-bras.

Les données démographiques et épidémiologiques, à savoir l'âge et le sexe des patients, le mécanisme et les circonstances du traumatisme, le côté atteint et son caractère dominant ou non ont été recueillies sur le dossier médical.

L'évaluation clinique a été faite par l'appréciation de la douleur, la recherche d'œdème et de déformation du membre ainsi que la recherche de lésions cutanées. L'état vasculo-nerveux du membre a été vérifié par la recherche des pouls distaux et d'un examen neurologique de la main et des doigts.

Un bilan radiographique standard constitué de deux incidences orthogonales, l'une de face antéro-postérieure et l'autre de profil, prenant le coude et le poignet sur le même film a été réalisé.

Après cette démarche diagnostique anamnétique, clinique et radiologique, les fractures ont été réduites par les différents membres des équipes de garde sous anesthésie. Le protocole le plus utilisé a été une sédation sous propofol.

La réduction des fractures a été réalisée par manœuvres externes sans amplificateur de brillance. L'immobilisation a été faite par un plâtre brachio-antébrachio- palmaire placé sur un jersey tubulaire doublé avec un coude à 90° de flexion et une pronosupination neutre. La fente du plâtre a été faite de façon systématique. Des radiographies de contrôle ont été réalisées après séchage du plâtre. La qualité de la réduction a été

appréciée en mesurant, pour chaque os fracturé, les angulations des axes, le chevauchement et la rotation entre les deux fragments proximal et distal. Les déplacements résiduels acceptés ont été :

- les angulations qui ne dépassaient pas 10°, 15° et 20° pour respectivement les fractures diaphysaires du 1/3 proximal, 1/3 moyen et 1/3 distal chez les filles dont l'âge était inférieur à 8 ans et les garçons dont l'âge était inférieur à 10 ans (Fig.27).

- les angulations qui ne dépassaient pas 10° pour tous les niveaux diaphysaires chez la fille âgée plus de 8 ans et le garçon âgé de plus de 10 ans.

- la translation jusqu'à 100%

- le chevauchement inférieur à 1cm

- la rotation jusqu'à 45° chez les enfants dont l'âge était inférieur à 8 ans et jusqu'à 30° chez les enfants dont l'âge était égal ou supérieur à 8 ans quelque soit le sexe.



Figure 27: Angulation résiduelle sagittale de 10° du radius et l'ulna chez un enfant âgé de 9 ans. A+B : radiographies initiales, D+E : radiographies de contrôle

Quand la réduction de la fracture était non satisfaisante, une réduction avec stabilisation par ECMES sous amplificateur de brillance était réalisée dans les jours suivants au niveau du bloc du service de chirurgie orthopédique.

Quand la fracture a été bien réduite, le traitement orthopédique a été maintenu avec un suivi régulier hebdomadaire pendant les quatre premières semaines pour déceler les éventuels déplacements secondaires.

La qualité de l'immobilisation plâtrée a été évaluée par la mesure des indices de plâtres : le Cast index, le Padding index et le Canterbury index sur les radiographies de contrôles.

Les déplacements secondaires des fractures ont été traités soit par reprise de la réduction et de l'immobilisation plâtrée soit par un traitement chirurgical (ECMS).

L'appréciation de la consolidation a été basée sur la visualisation des quatre corticales au niveau du foyer de fracture sur les deux incidences radiographiques. L'ablation du plâtre a été faite après consolidation de la fracture . Une évaluation clinique de la pronosupination et une évaluation radiographique de l'alignement osseux ont été réalisées à 6 mois après la fracture.

Deux groupes se sont constitués selon le traitement et l'évolution :

Groupe 1 : groupe des patients qui ont eu un traitement orthopédique initial avec maintien du traitement jusqu'à la consolidation de la fracture.

Groupe 2 : groupe des patients qui ont eu un échec de réduction ou bien un déplacement secondaire de la fracture au cours de leur suivi. La reprise a été faite soit par une réduction et immobilisation plâtrée soit par un traitement chirurgical.

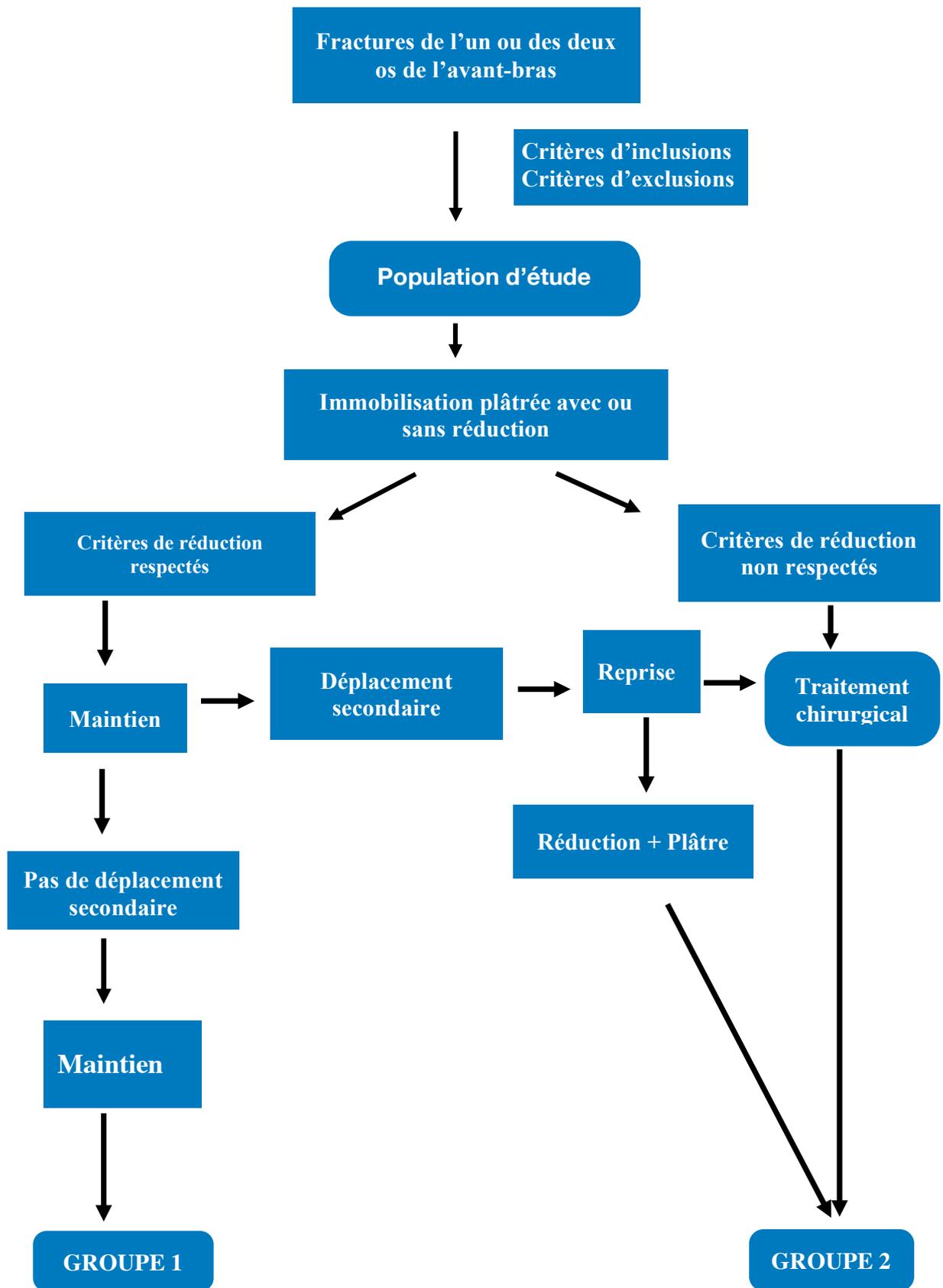


Figure 28: Schéma de déroulement de l'étude et la constitution des deux groupes

Au dernier recul, une évaluation clinique a été faite. Elle était basée sur l'évaluation des amplitudes de mouvement de pronation et de supination de l'avant-bras, la flexion-extension du coude, la flexion-extension et inclinaison du poignet (Fig.29). Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un goniomètre transparent universel. L'examen de la pronosupination a été fait sur un membre supérieur en adduction plaqué au corps, coude à 90° de flexion, avant-bras en position neutre avec le pouce dirigé vers le haut. Cette mesure a été réalisée de façon comparative avec le membre supérieur controlatéral pour apprécier la perte de la pronosupination. Les résultats ont été classés selon les critères de Price [116] en excellent, bon, faible et mauvais (Tableau.4).

Tableau 4: Évaluation de la pronosupination

Amplitudes de mouvements selon Price

Excellent	Pas de gêne avec les activités physiques intenses et / ou perte de 10° de rotation de l'avant-bras
Bon	Légère gêne avec les activités physiques intenses et / ou perte de 11°-30° de rotation de l'avant-bras
Faible	légère gêne subjective avec les activités physiques intenses et / ou perte de 31°-90° de rotation de l'avant-bras
Mauvais	Tous les autres résultats



Figure 29: Évaluation clinique des amplitudes de mouvements au dernier recul chez un enfant de 9 ans.

13.3. Recueil de données et analyses statistiques

Une fiche technique de suivi (annexe 3) a été établie et sur laquelle ont été reportées les données démographiques du patient ainsi que les constatations cliniques et radiologiques au fur et à mesure de la prise en charge de la fracture. Les données ont été portées sur une version électronique (masque de saisie).

Le masque de saisie et l'analyse ont été faits avec le logiciel SPSS version 26. Les

statistiques descriptives ont été rapportées sous formes de moyenne \pm écart- type pour les variables continues, et sous forme de fréquences et pourcentages pour les variables catégorielles.

Les comparaisons entre deux groupes ont été effectuées par ANOVA pour les variables quantitatives. Le test de chi-deux et le test exact de Fisher ont été utilisés pour les variables qualitatives.

Les différences ont été considérées comme significatives quand le p-value était inférieur à 0,05. La détermination des facteurs de risque par la recherche des facteurs prédictifs d'échec du traitement orthopédique ont été identifiés en utilisant l'analyse des régressions logistiques univariée et multivariée.

14. RESULTATS

14.1. Données épidémiologiques

14.1.1. Caractéristiques de la population étudiée

Tenant compte des critères d'inclusion et de non inclusion, 215 cas ont été retenus.

La série a comporté 178 garçons (82,8,4%) et 37 filles (17,2%) (figure. 30). Le sexe ratio a été de 5 garçons pour 1 fille.

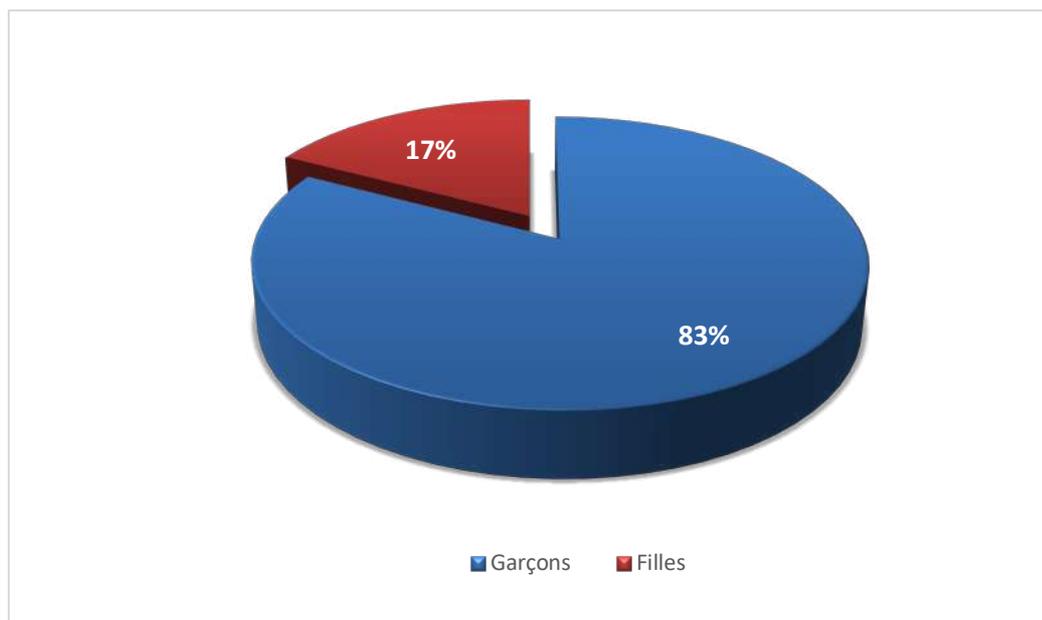


Figure 30: Répartition des patients selon le sexe

L'âge moyen des patients de l'étude était de 8.1ans [l'âge minimum était de 1 an et l'âge maximum était de 16 ans]. L'âge moyen était de $8,5 \pm 3.7$ ans pour les garçons et de $6,5 \pm 3.1$ ans pour les filles ($p = 0.02$).

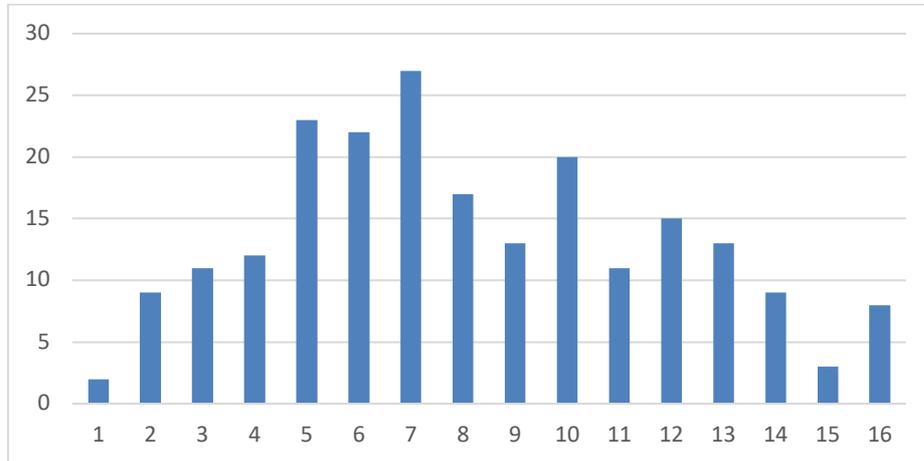


Figure 31: Répartition des patients selon l'âge

14.1.2. Circonstances du traumatisme

Trois étiologies ont été principalement retrouvées: 151 enfants ont chuté de leur hauteur soit 70%, 53 enfants ont chuté d'une hauteur élevée soit 24,7 %, et 6 ont eu un traumatisme pendant des activités sportives soit 4%. Les accidents de circulation n'ont été responsables que dans 2 cas (1%).

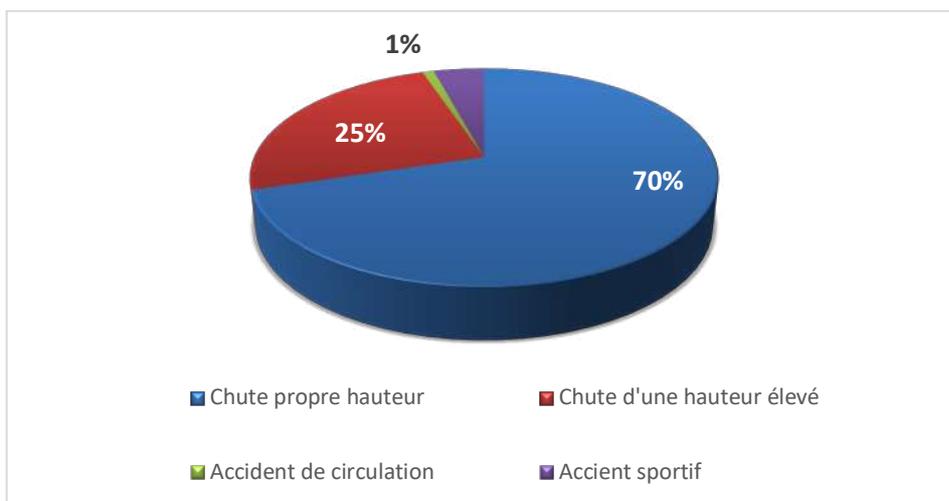


Figure 32: Circonstances de traumatisme

14.2.Données cliniques

14.2.1.Côté traumatisé et dominance

La série a comporté au total 215 fractures d'avant-bras, dont 96 côtés droits (44,6%) et 119 côtés gauches (55,3%). Il y avait 89 patients droitiers et 16 gauchers.

Le côté dominant était atteint dans 48, 8 % des cas. Aucun cas de fracture bilatérale n'a été retrouvé dans notre série.

Tableau 5: Répartition des patients selon le côté traumatisé et la dominance

Côté traumatisé	Dominant	Non dominant	Total
Côté Droit	89	7	96
Côté gauche	16	103	119
Total	105	110	215

14.2.2.Signes cliniques

Déformation du membre

Le signe clinique le plus fréquent à l'admission du patient était la déformation du membre qui était présente chez 180 patients (83,7%°).

Tableau 6: Déformation du membre à l'admission

Déformation	Nombre	Fréquence (%)
Oui	180	83,7
Non	35	16,3
Total	215	100

Œdème du membre

un œdème de l'avant-bras a été constaté chez 58 patients (26,9%).

Tableau 7: Œdème du membre à l'admission

Œdème	Nombre	Fréquence (%)
Oui	58	27
Non	157	73
Total	215	100

Signes vasculonerveux

L'examen clinique n'a révélé aucun déficit neurologique ni trouble vasculaire.

14.3. Données radiographiques

14.3.1. Os fracturé

La fracture des deux os de l'avant-bras (Fig.33) a représenté la lésion la plus fréquente et a été retrouvée chez 200 patients (93 %) (Fig.34). La fracture isolée du radius a été retrouvée dans 12 cas et la fracture isolée de l'ulna a été retrouvée dans 3 cas.



Figure 33: Fracture complète des 2 os de l'avant-bras, A. face
B. profil

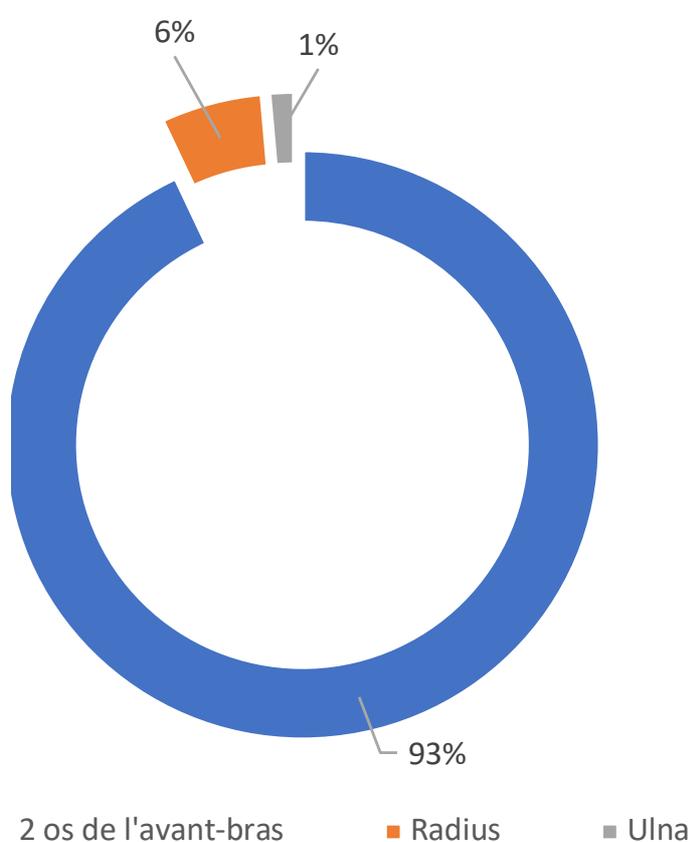


Figure 34: Répartition des patients selon l'os Fracturé

14.3.2.Type de trait

Les fractures en bois vert ont été retrouvées au niveau du radius dans 101 fractures (47,6%) et au niveau de l'ulna dans 119 fractures (58,9%) . Le trait de fracture transversal au niveau du radius a été retrouvé dans 31,1% des cas et le trait de fracture oblique dans 18,8%. Au niveau de l'ulna, le trait de fracture transversal a été retrouvé dans 19,3 % et le trait de fracture oblique dans 13,4%. Le trait de fracture spiroïde n'a été retrouvé que dans 1,9 % au niveau du radius et dans 5,4% au niveau de l'ulna.

Tableau 8: *Type anatomique de fracture de manière indépendante sur chaque os*

Trait	Radius	Ulna
Bois vert	101 (47,6%)	119 (58,9%)
transversal	66 (31,1%)	39 (19,3 %)
oblique	40 (18,8%)	27 (13,4%)
Spiroïde	4 (1,9%)	11 (5,4%)
Déformation plastique	1 (0,5%)	6 (3,0%)
Total	212 (100%)	202 (100 %)



Figure 35 :Fracture en bois vert du tiers moyen des 2 os de l'avant-bras

14.3.3.Localisation du trait

Les fractures médio-diaphysaires ont été retrouvées au niveau du radius dans 150 fractures (69,8 %) et au niveau de l'ulna dans 142 fractures (66 %).

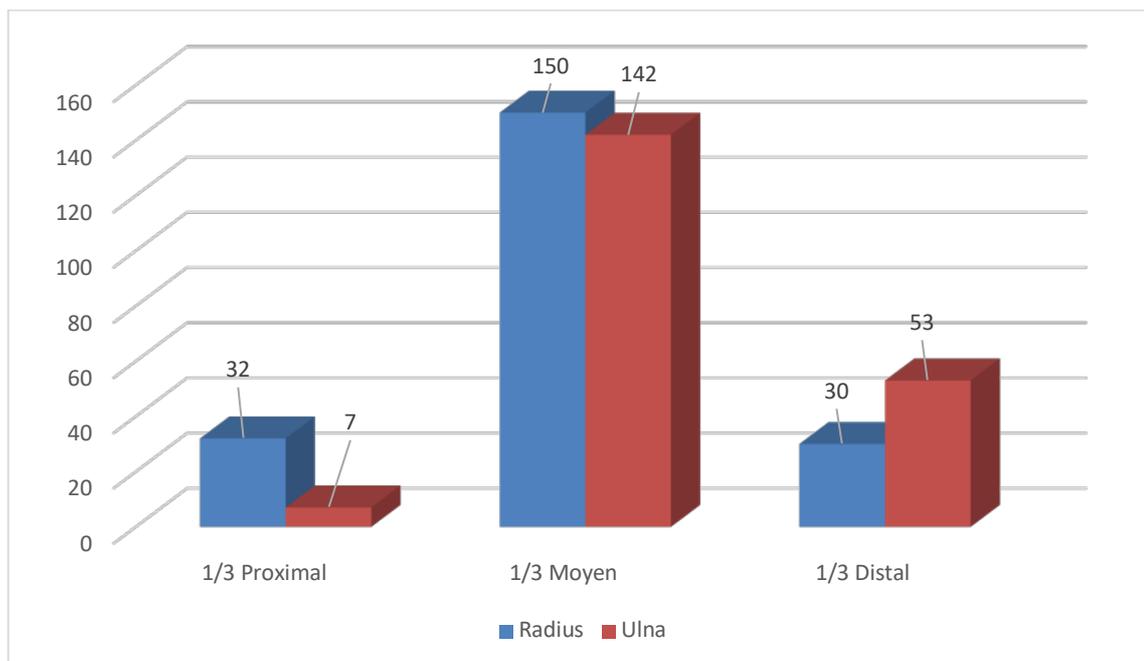


Figure 36: Localisation du trait sur le radius et l'ulna

14.3.4. Déplacements

Déplacements du radius

Les déplacements angulaires du radius étaient les déplacements les plus fréquents. Une angulation $> 15^\circ$ a été retrouvée dans 40 % des cas dans le plan frontal et dans 65 % des cas dans le plan sagittal.

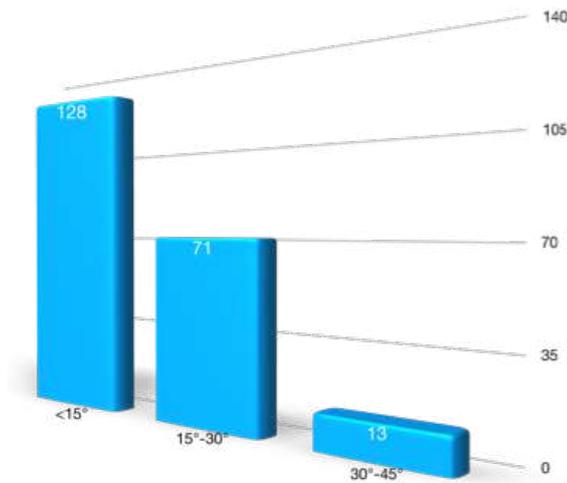


Figure 38: : Les déplacements angulaires du radius dans le plan frontal

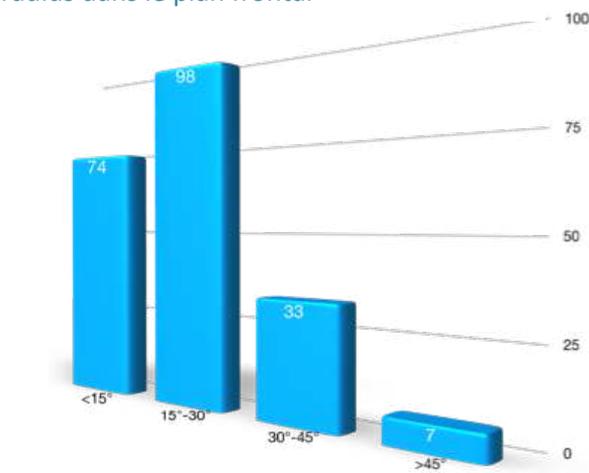


Figure 40: : Les déplacements angulaires du radius dans le plan sagittal



Figure 37: : Direction des angulations du radius dans le plan frontal
A . sommet radial, B. sommet ulnaire



Figure 39: : Direction des angulations du radius dans le plan sagittal
A . sommet postérieur, B. sommet antérieur

Une translation du fragment distal par rapport au fragment proximal a été constatée dans 77 cas ; elle a été complète à 100% du fût diaphysaire dans 44 cas.

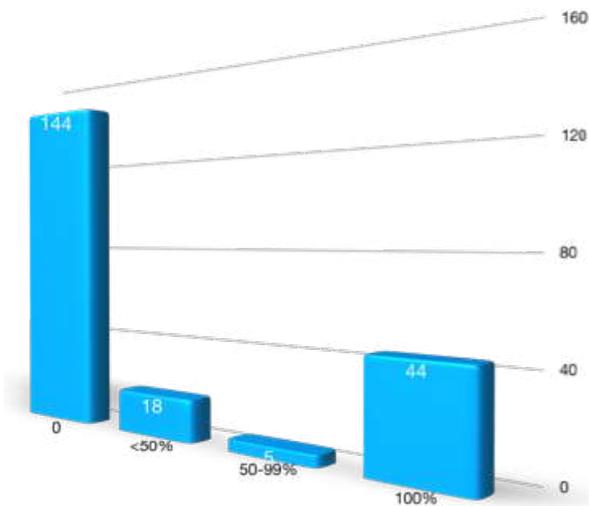


Figure 41: : Les déplacements en translation du radius

Un chevauchement des deux fragments a été retrouvé dans 38 cas; il était supérieur à 10 mm dans 12 cas.

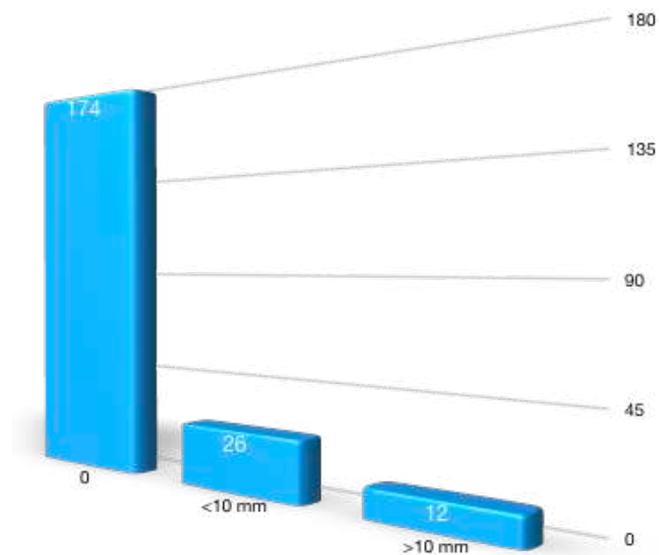


Figure 42: : Les déplacements en chevauchement du radius



Figure 43: : Translation complète du radius à 100% et chevauchement des
02 os

Le déplacement en rotation a été estimé supérieur à 45° chez 30 patients (14%) ; il était entre 30° et 45° chez 83 patients (47%).

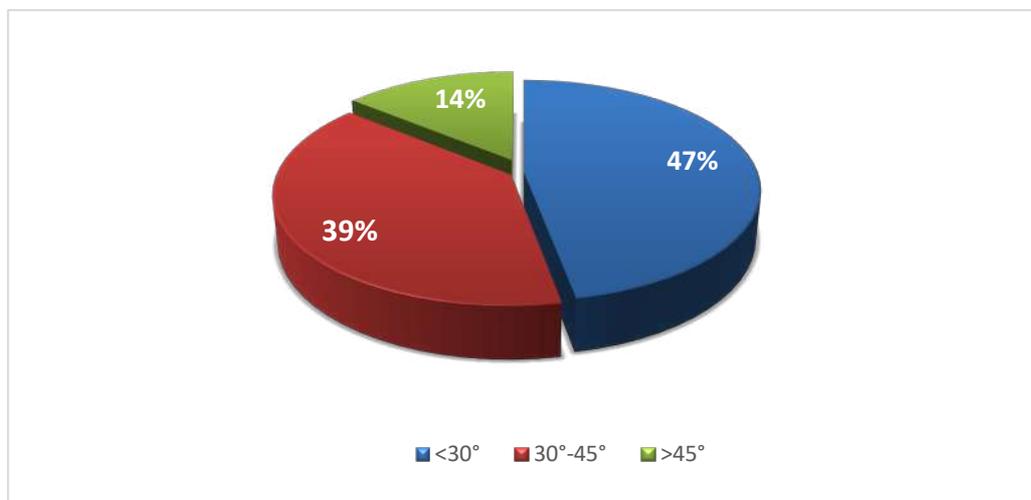


Figure 44: Les déplacements en rotation

Déplacement de l'ulna

Une angulation $> 15^\circ$ a été retrouvée dans 33 % des cas dans le plan frontal et dans 49 % des cas dans le plan sagittal.

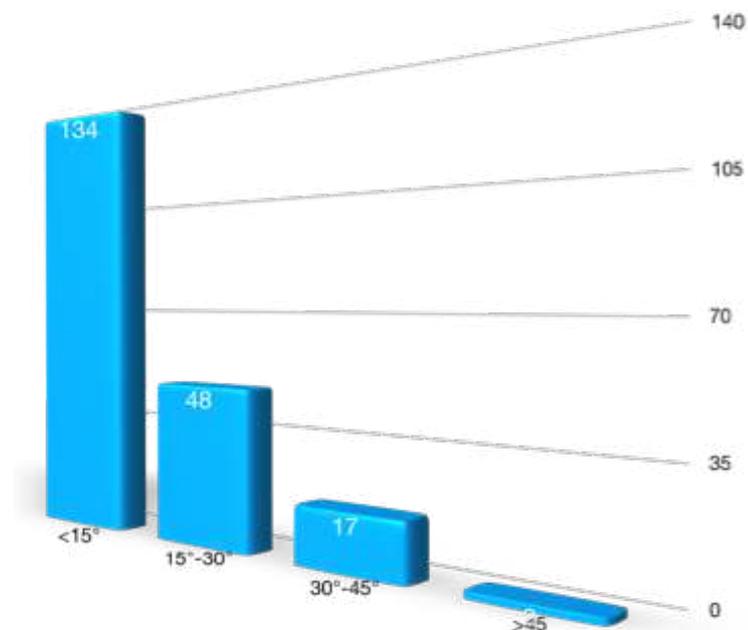


Figure 45: : Les déplacements angulaires de l'ulna dans le plan frontal

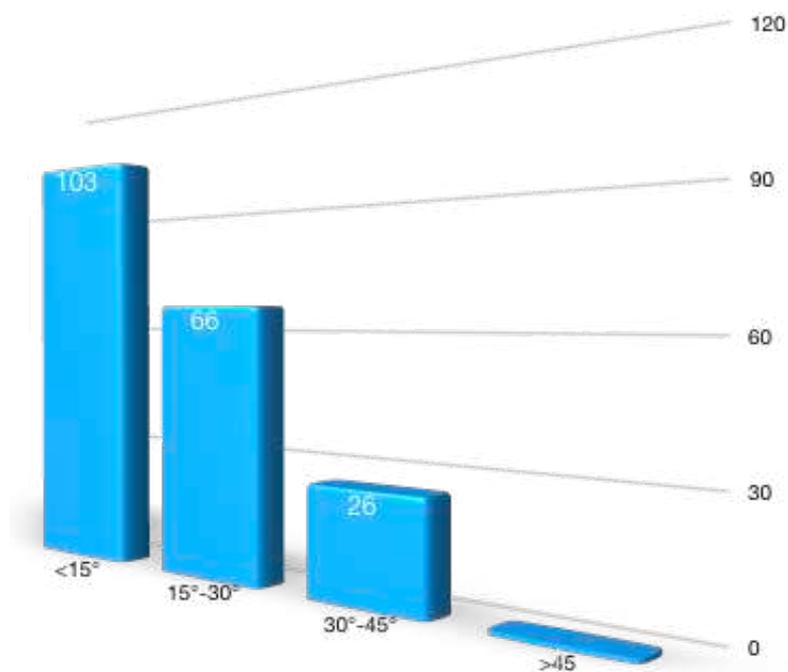


Figure 46: : Les déplacements angulaires de l'ulna dans le plan sagittal

Une translation du fragment distal par rapport au fragment proximal a été constatée dans 35 cas ; elle a été complète à 100% du fût diaphysaire dans 15 cas.

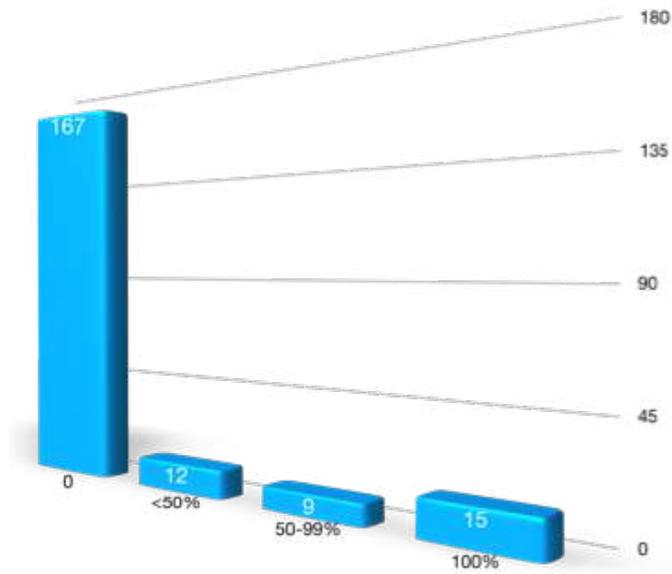


Figure 47: : Les déplacements en translation de l'ulna

Un chevauchement des deux fragments a été trouvé dans 23 cas; il était supérieur à 10 mm dans 11 cas.

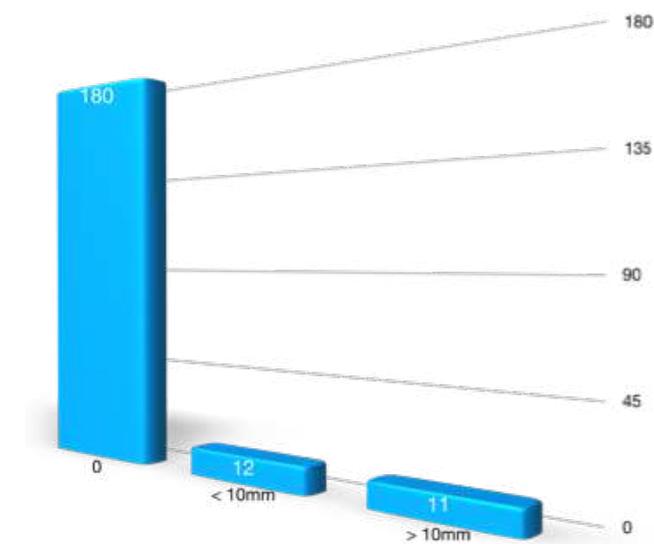


Figure 48: : Les déplacements en chevauchement de l'ulna

14.3.5. Classification

La fracture en bois vert des deux os de l'avant-bras (22.D/2.1) (Fig.47) a été retrouvée dans 90 cas (41,9%). Les fractures complètes des deux os de l'avant-bras (22.D/4.1 + 22.D /5.1) (Fig.50) ont été retrouvées dans 48,9 % des cas : fractures transversales 22.D/4.1 dans 52 cas (24,2%) et fractures obliques ou spiroïdes 22.D/5.1 dans 53 cas (24,7%).

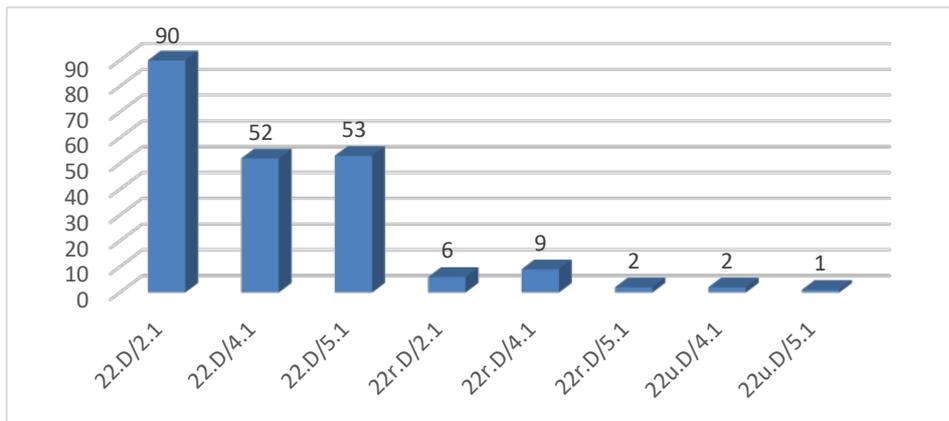


Figure 49: Répartition des patients selon la classification des fractures

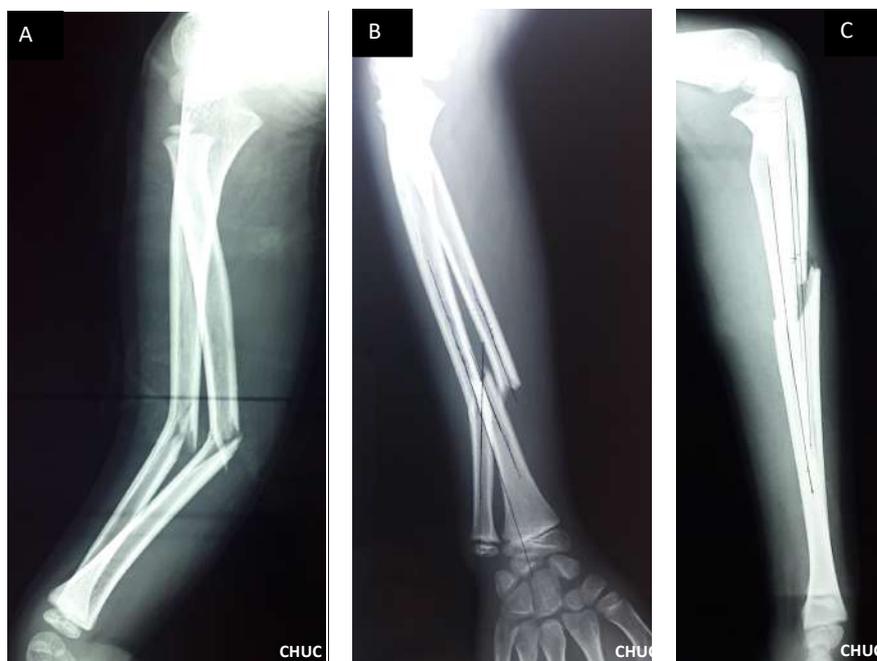


Figure 50: Type de fracture les plus fréquentes

A. 22.D/ 2.1 , B. 22.D/4.1, C. 22. D/ 5.1

14.4.Données thérapeutiques

14.4.1.Traitement orthopédique initial

La fracture a été jugée déplacée et une réduction a été réalisée chez 176 patients (82 %) sous une sédation au propofol. Cette réduction a été faite sans contrôle radioscopique par manque d'amplificateur de brillance au niveau du service des urgences chirurgicales. Toutes les fractures ont été immobilisées par un plâtre brachio-antébrachio-palmaire avec le coude à 90° de flexion et en position neutre de pronosupination quelque soit le siège du trait de fracture et les déplacements initiaux (Fig.52). Tous les plâtres ont été fendus.

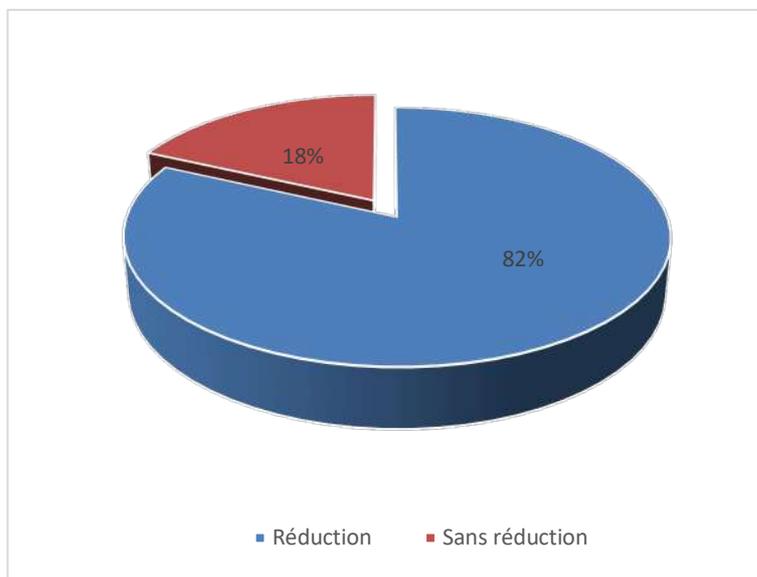


Figure 52: fréquence des fractures déplacées ayant nécessité une réduction



Figure 51: Plâtre brachio-antébrachio-palmaire

14.4.2. Radiographie de contrôle et indices de plâtres

La réalisation de radiographies de contrôle avec deux incidences face et profil a été systématique chez tous nos patients . La qualité de la réduction a été jugée non satisfaisante dans 04 cas.

La qualité de l'immobilisation plâtrée a été appréciée par la mesure des indices de plâtres (Fig.53, Fig.54). Cette mesure a été réalisée dans 183 cas. Dans le reste des cas un agrandissement disproportionné entre les deux incidences radiologiques a rendu cette mesure impossible.

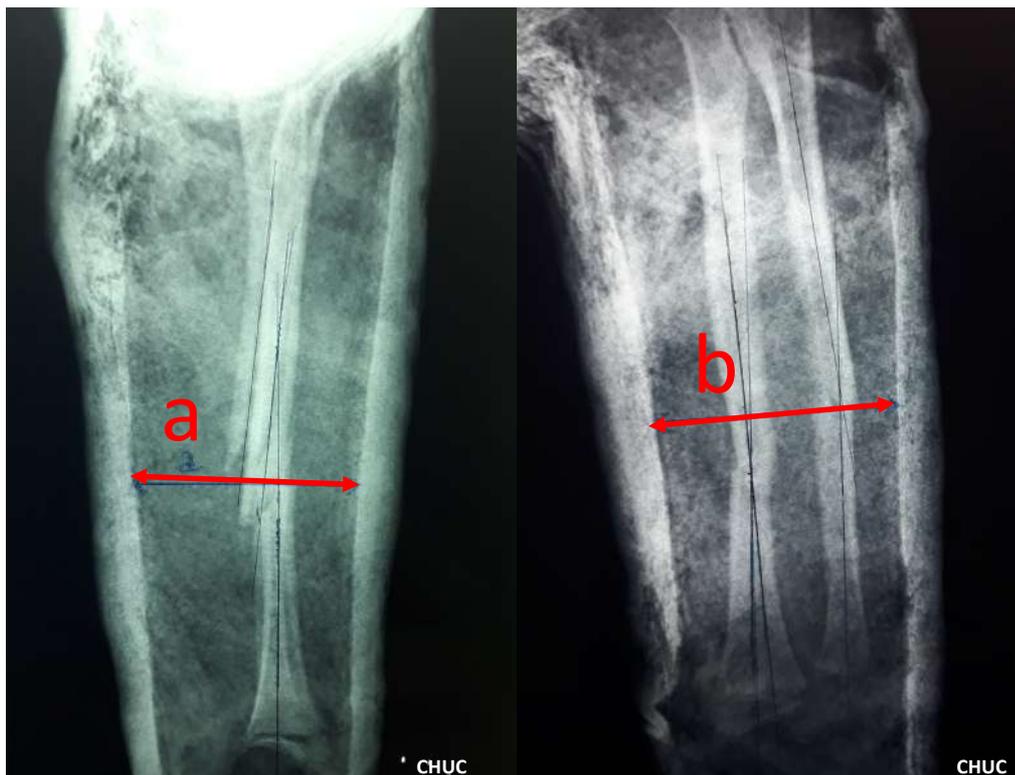


Figure 53: Mesure du Cast Index (a/b)

Tableau 9: Les indices plâtrés mesurés sur les radiographies de contrôle

	Moyenne	Nombre de patient	Écart-type	Médiane
Cast Index	0,95	183	0,10	0,95
Padding Index	0,11	183	0,09	0,10
Canterbury Index	1,06	183	0,18	1,06

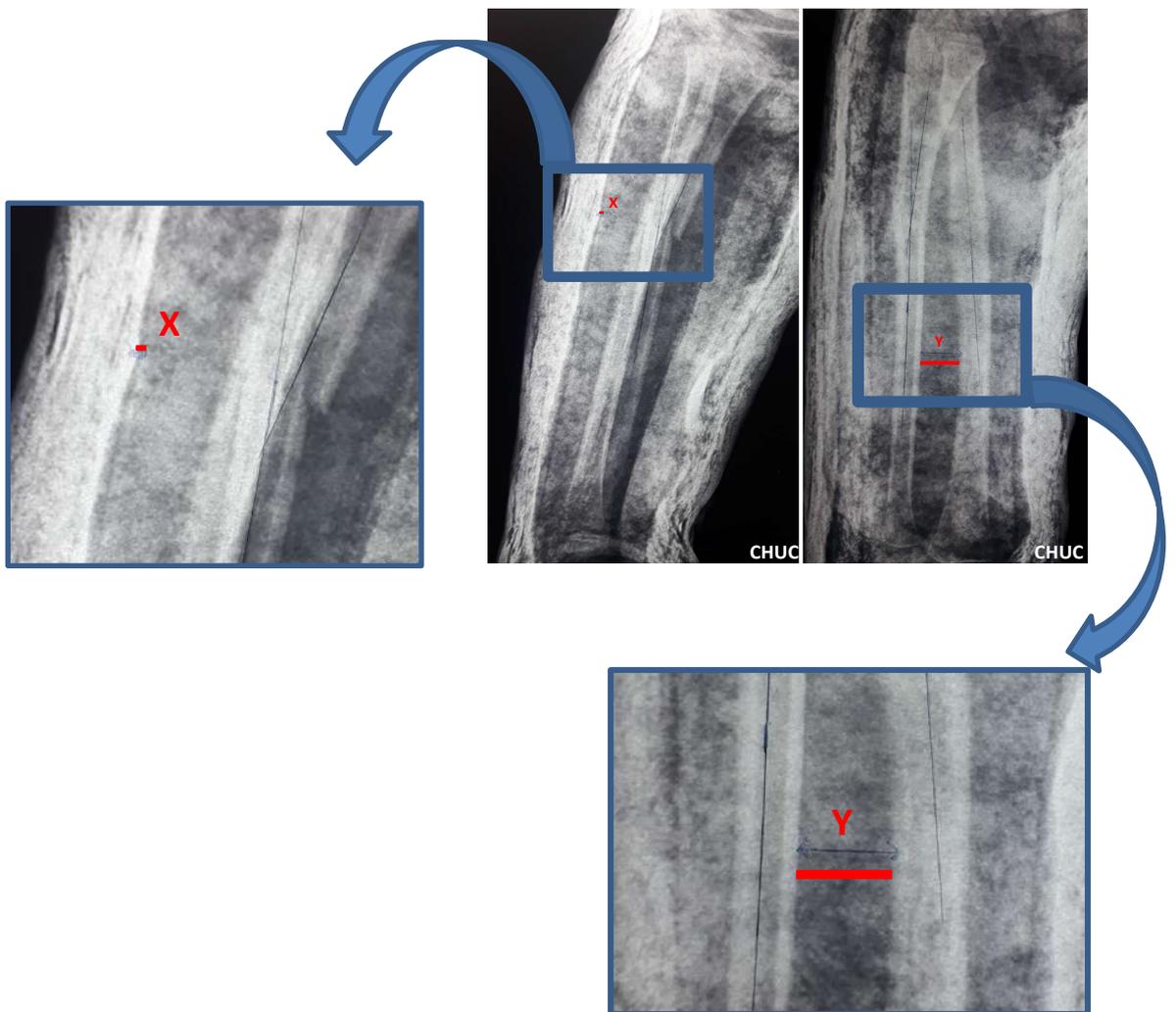


Figure 54: Mesure du Padding Index (X/Y)

14.4.3. Déplacements secondaires des fractures

Un déplacement secondaire de la fracture sous plâtre a été constaté chez 43 patients (20%) (Fig.52). Chez 05 patients, la fracture initiale était non déplacée ou à faible déplacement (tolérable) et n'a pas été réduite. Chez 35 patients, le déplacement secondaire est survenu durant les deux premières semaines.

Tableau 10: Délai de survenue des déplacements secondaires

Trait du radius	1-7 J	8-14 J	15-21 J	Total
1/3 Proximal	6	9	2	17
1/3 Moyen	8	10	2	18
1/3 Distal	2	0	4	6
Total	16	19	8	43



Figure 55: Déplacement secondaire d'une fracture du tiers moyen

Radiographies : A+B initial, C+D à J0 après réduction, E+F à J6 après réduction

14.4.4. Durée de l'immobilisation plâtrée

La durée moyenne de l'immobilisation a été de 70,33 jours. La durée minimum était de 42 jours et la durée maximum était de 98 Jours. Le plâtre brachio-antébrachio-palmaire a été maintenu durant toute la durée de l'immobilisation et n'a pas été remplacé par une manchette plâtrée.

Tableau 11 : Durée de l'immobilisation plâtrée

	Moyenne	Effectif	Écart type	Minimum	Maximum
Durée (Jours)	70,33	198	43,14	42	98

14.4.5. Complications

Les complications précoces ont été dominées par les déplacements secondaires. Des lésions cutanées secondaires ont été constatées dans 8 cas dont 3 étaient des lésions sous plâtres et 5 à type d'ulcération cutanée aux points d'insertion des broches (Fig.56). Les fractures itératives sont survenues chez 2 patients. Aucun syndrome des loges n'a été enregistré dans notre série.

Tableau 12 : Complications des fractures de l'avant-bras de la série

Complications	Nombre
Syndrome des loges	0
Lésions cutanées sous plâtre	3
Déplacements secondaires	43
Ulcération cutanée à l'insertion des broches	5
Fracture de broche à l'ablation	1
Fracture itérative	2



Figure 56: lésions cutanées à l'insertion des broches au niveau du coude et du poignet

14.4.6. Évaluation clinique au recul

L'évaluation au recul a retrouvé des amplitudes articulaires du poignet et du coude similaires au côté controlatéral. La mesure des amplitudes de la pronosupination a retrouvé une pronation moyenne de $81,67^\circ \pm 7,08^\circ$ et une supination moyenne de $87,53^\circ \pm 3,48^\circ$. Le déficit total de rotation était de $6,24^\circ \pm 8,25^\circ$.

Tableau 13 : Valeurs moyennes de la pronation et de la supination dans la série

	Moyenne	Écart type	Médiane	Minimum	Maximum
Pronation	81,67	7,08	85	30	90
Supination	87,53	3,48	90	60	90
Déficit	6,24	8,25	5	0	50

Une limitation des amplitudes de pronosupination a été constatée chez 104 patients (51,6%). La limitation était inférieure à 10° chez 57 patients et supérieure à 10° chez 47 patients. Les résultats de la pronosupination et de la gêne aux activités physiques ont

été jugés excellents chez 168 patients (78,1%) (Fig.58.A), bons chez 45 patients (20,9%) (Fig.58.B) et faibles chez 2 patients (1%)(Fig.58.C).

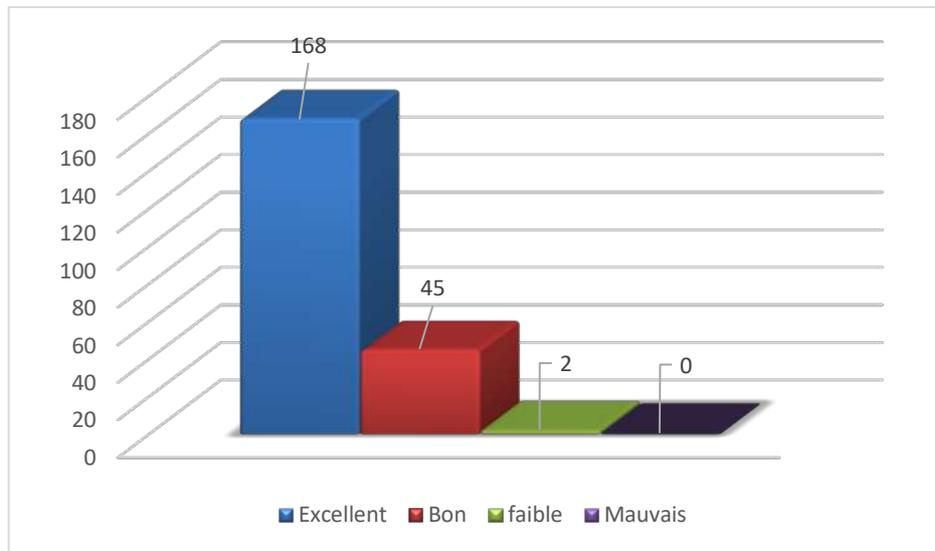


Figure 57: Résultats de la pronosupination selon le score de Price

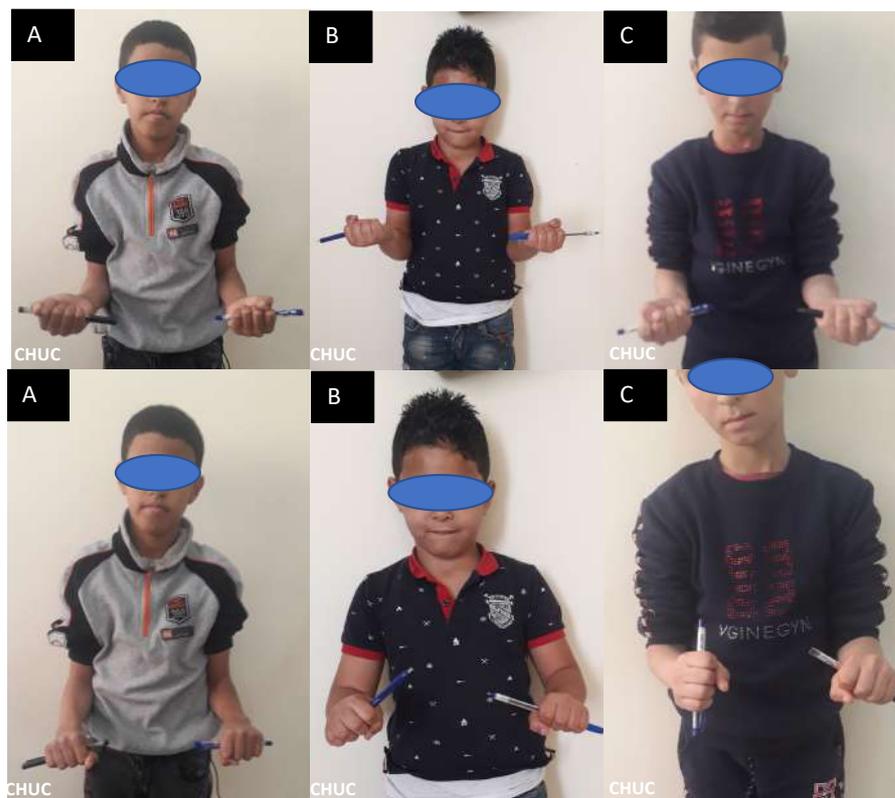


Figure 58: Résultats de la pronosupination :en excellent, bon et faible (A,B et C)

14.5. Étude comparative entre les deux groupes

14.5.1. Répartition des patients selon le traitement final

Les patients de la série ont été répartis en deux groupes

Groupe 1 : groupe des patients qui ont eu un traitement orthopédique initial avec maintien du traitement jusqu'à la consolidation de la fracture (159 patients).

Groupe 2 : groupe des patients qui ont eu un échec de réduction initial ou bien un déplacement secondaire de la fracture au cours de leur suivi. La reprise a été faite soit par une réduction et immobilisation plâtrée soit par un traitement chirurgical (56 patients).

Tableau 14: Répartition des patients en 2 groupes selon le traitement final

	Type de traitement	Nombre patients	Total
Groupe 1	Traitement orthopédique initial maintenu	159 (73,9 %)	159 (73,9 %)
Groupe 2	Traitement chirurgical après échec de réduction	13 (6%)	56 (26,1%)
	Traitement chirurgical après déplacement secondaire	4 (1,9%)	
	Reprise traitement orthopédique après déplacement secondaire	39 (18,1%)	
Total			215 (100%)

14.5.2. Répartition selon le sexe

Dans le groupe 2 « échec traitement orthopédique » les garçons ont été retrouvés dans 85,7% et les filles dans 14,3% , Cette prédominance masculine a été également retrouvée dans le groupe 1« réussite traitement orthopédique » avec 81,8% pour les garçons et 17,2% pour les filles. Cette différence est non significative car le p value est à 0,32.

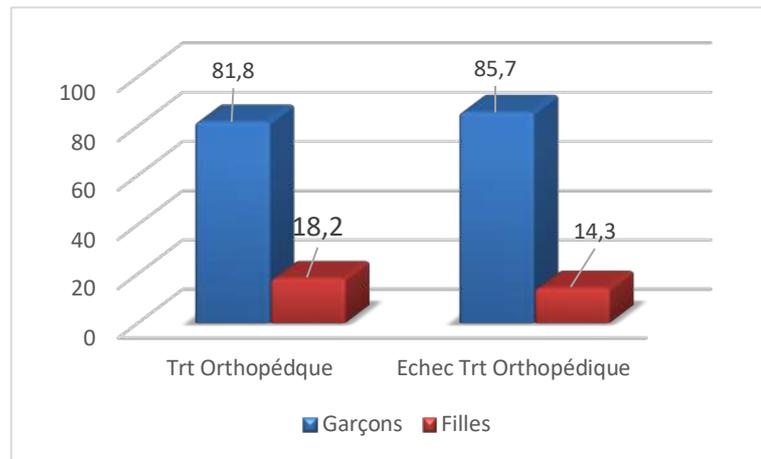


Figure 59: Répartition des patients des 2 groupes selon le sexe

14.5.3. Répartition selon l'âge

L'âge moyen des patients du groupes 2 était de $9,52 \pm 3,89$ ans . Il était plus élevé que l'âge moyen des patients du groupes 1 qui était de $7,71 \pm 3,53$ ans. Cette différence est significative car le p value de 0,042.

Tableau 15: Âge des patients des 02 Groupes

Groupe de patients	Moyenne	Nombre	Écart type	Médiane	Minimum	Maximum
Groupe 1	7,71	159	3,53	7,00	1	16
Groupe 2	9,52	56	3,89	10,00	1	16
Total	8,18	215	3,70	8,00	1	16

14.5.4. Comparaison des données radiographiques avant réduction

14.5.4.1. Type de trait du radius

Le trait transversal a été retrouvé dans 42,9% des cas et le trait oblique dans 26,8% des cas dans le groupe 2. Ces taux étaient de 26,9% des cas pour le trait transversal et de 16% des cas pour le trait oblique dans le groupe 1. Cette différence est significative car le p value est 0,014.

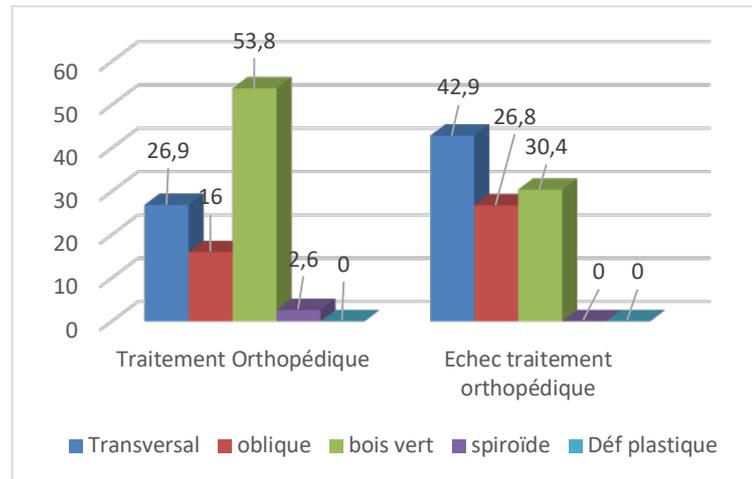


Figure 60: Type du trait du radius chez les patients des 02 groupes

14.5.4.2. Siège du trait du radius

Un trait siégeant au niveau du 1/3 proximal a été noté dans 28,6% des cas dans le groupe 2. Ce taux a été plus important que celui du même siège dans le groupe 1 qui était de 10,3%. La différence est significative car le p value est 0,004.

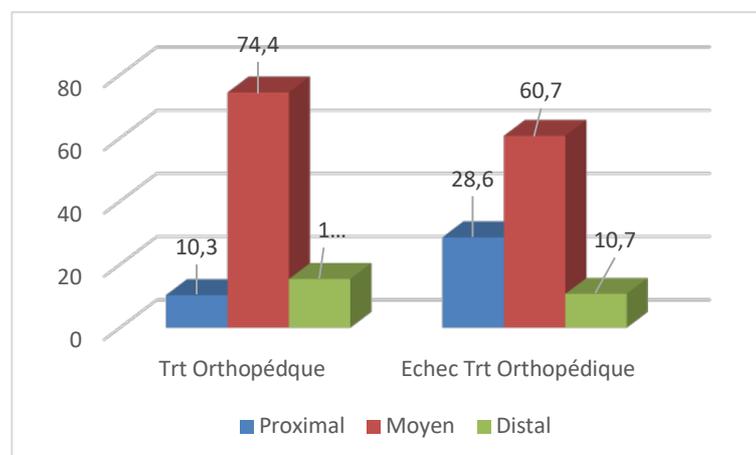


Figure 61: Siège du trait du radius chez les patients des 02 groupes

14.5.4.3. Déplacement du radius

Des angulations frontales de 15 à 30° ont été retrouvées dans 44,6% des cas dans le groupe 2. Ce taux a été de 29,5% dans le groupe 1. La différence est non significative car le p value est 0,119.

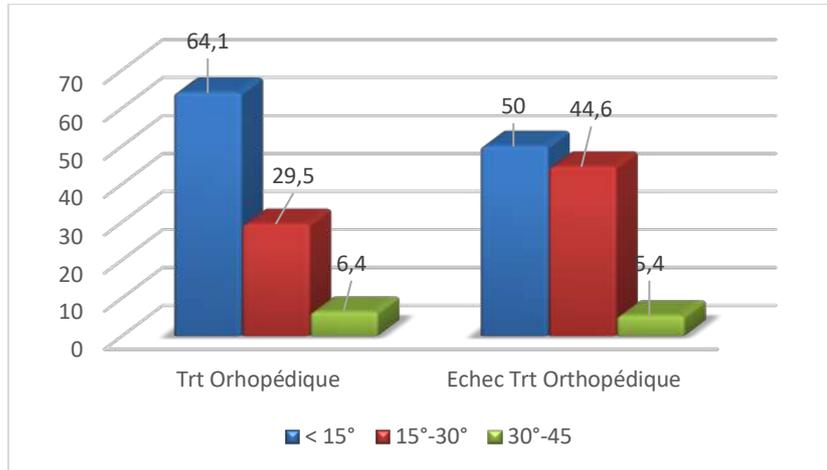


Figure 62: Angulations du radius dans le plan frontal (02 groupes)

Les angulations frontales à sommet ulnaire ont été plus fréquentes chez les patients du groupe 2 avec un taux de 42,9%. Ces angulations à sommet ulnaire ont été notées dans 31,4% des cas chez les patients du groupe 1 avec un p value à 0,035, la différence est significative.

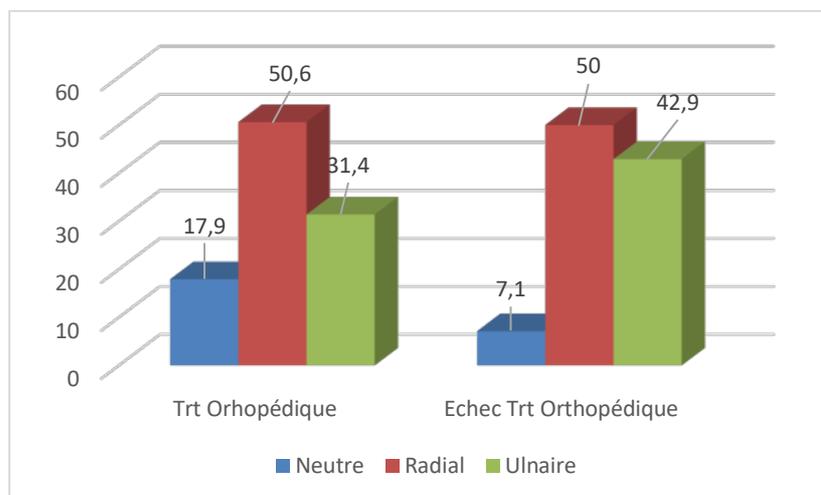


Figure 63: Direction de l'angulation du radius dans le plan frontal (02 groupes)

Les angulations sagittales < 15° ont été notées chez 41,1% des patients du groupe 2 et chez 32,7% des patients du groupe 1, sans signification (p value à 0,44).

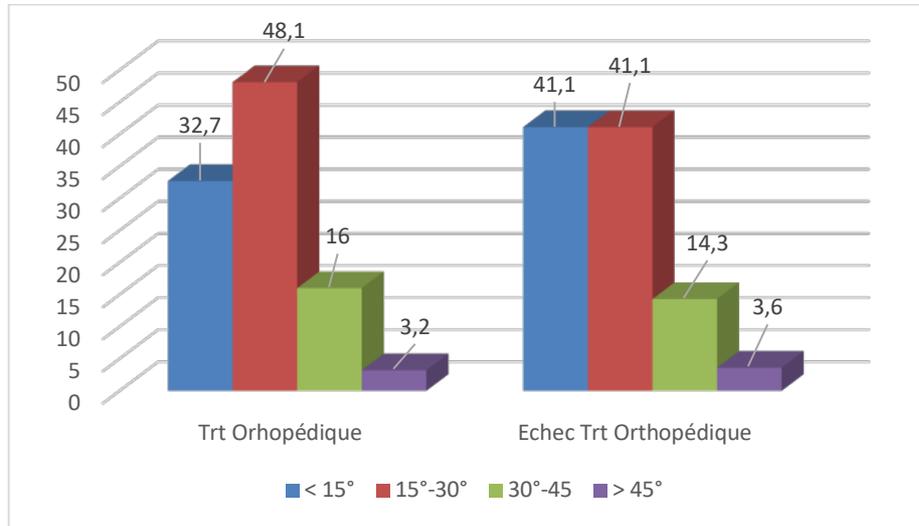


Figure 64: Angulations du radius dans le plan sagittal (02 groupes)

Dans le plan sagittal, la direction de déplacement des fractures du radius est similaire dans les deux groupes, p value à 0,61.

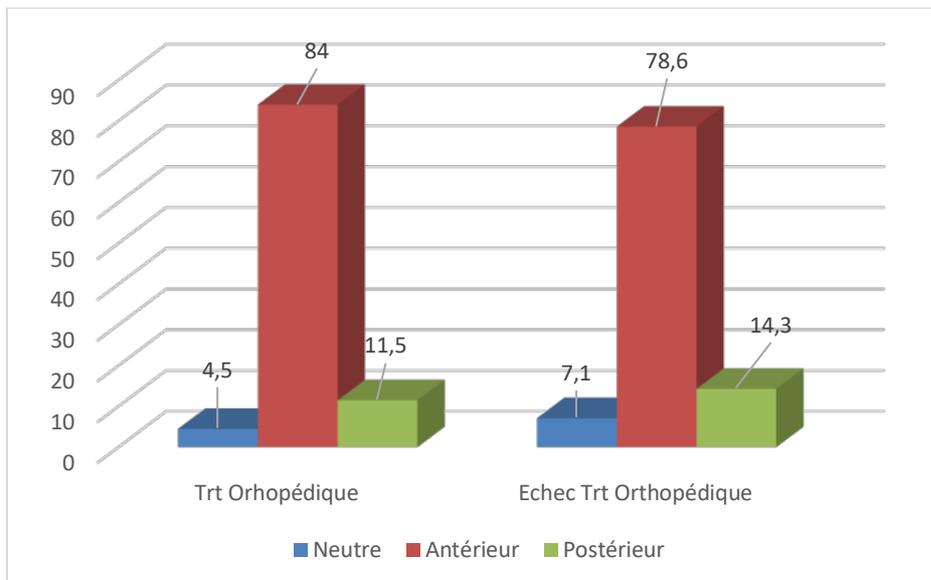


Figure 65: Direction de l'angulation du radius dans le plan sagittal (02 groupes)

Un chevauchement supérieur à 5mm a été retrouvé dans 15,9 % des radiographies des patients du groupe 2. Ce chevauchement n'était retrouvé dans le groupe 1 que dans 1,3%. La différence est significative avec un p value à 0,00.

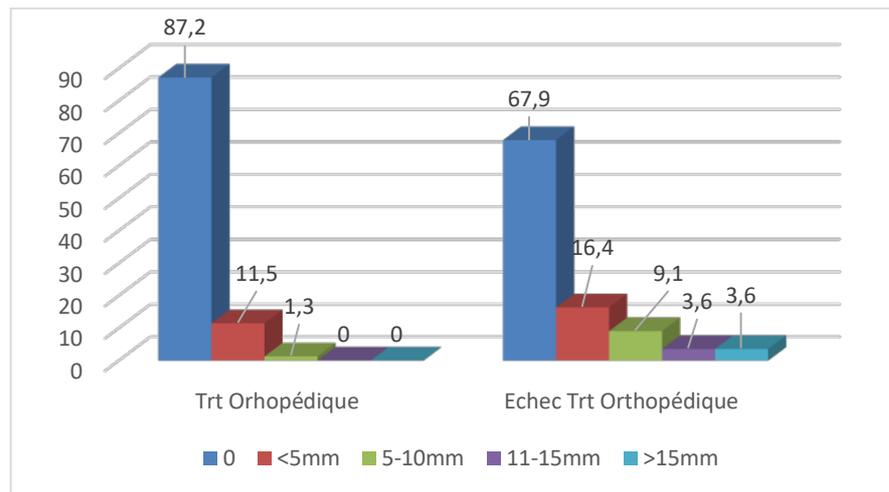


Figure 66: Déplacement en chevauchement du radius chez les patients des 02 groupes

Une translation à 100% a été trouvée chez 40% des patients du groupe 2 et elle n'a été constatée que dans 14,1 % des patients du groupe 1. Le p value est à 0,01.

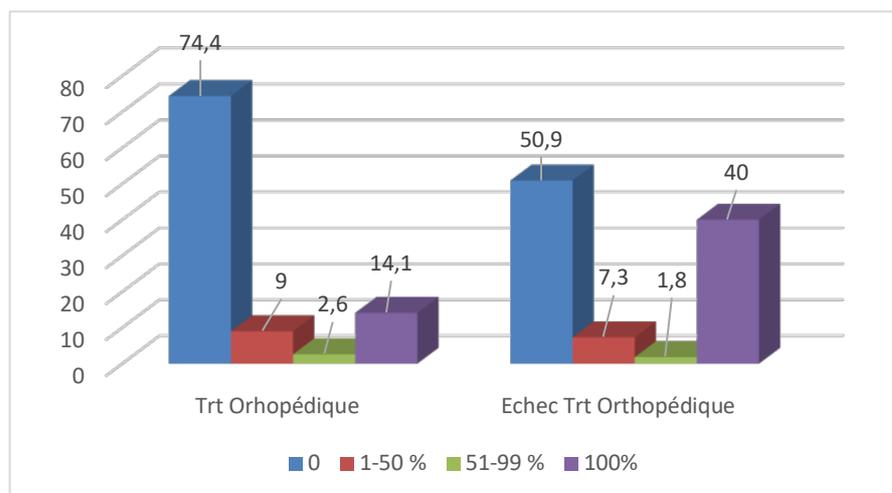


Figure 67: Déplacement en translation du radius chez les patients des 02 groupes

Les déplacements rotatoires entre 30 et 45° ont été plus fréquent chez les patients du groupe 2 (34,5%) alors que ceux > à 45° ont été notés dans 54,5%, moins que chez les patients du groupe 1. Sans signification car le p value est à 0,41.

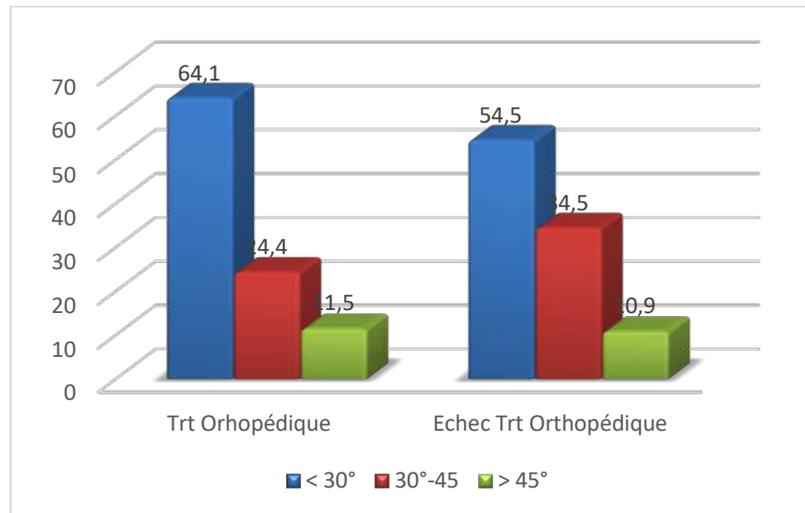


Figure 68: Déplacement en rotation du radius chez les patients des 02 groupes

14.5.4.4.Type de trait de l'ulna

Le trait transversal a été retrouvé dans 32,5 % des cas et le trait oblique dans 20,4% des cas dans le groupe 2. Ces taux étaient de 15 % des cas pour le trait transversal et de 11,1% des cas pour le trait oblique dans le groupe 1. Cette différence est significative car le p value est 0,007.

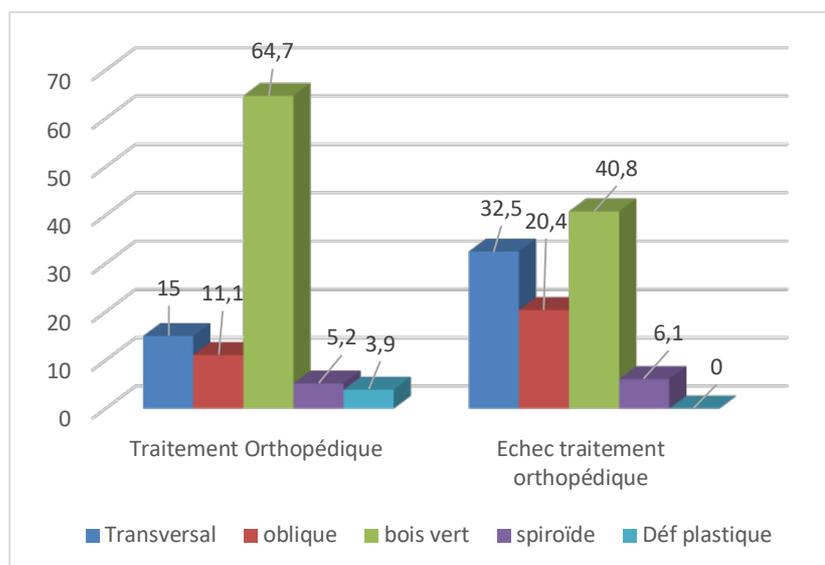


Figure 69: Type du trait de l'ulna chez les patients des 02 groupes

14.5.4.5. Siège du trait de l'ulna

Un trait qui siège sur le 1/3 proximal a été noté dans 8,2% dans le groupe 2. Ce taux a été de 2% dans le groupe 1. la différence est non significative car le p value est à 0,114.

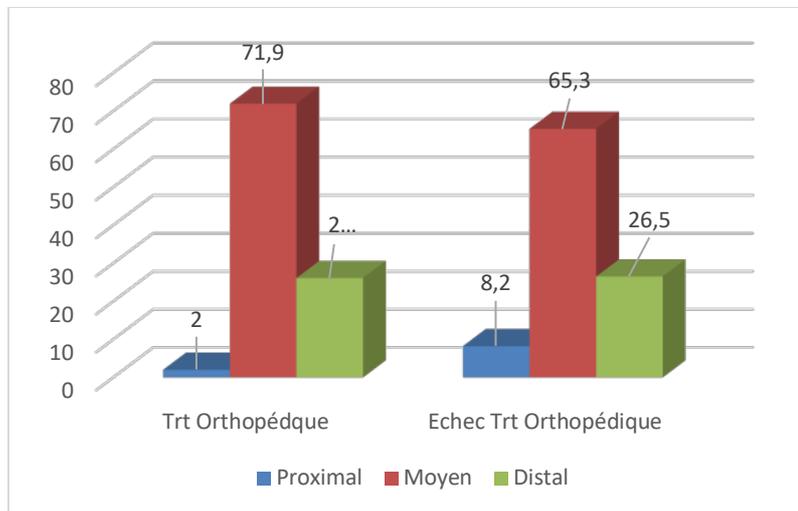


Figure 70: Siège du trait de l'ulna chez les patients des 02 groupes

14.5.4.6. Déplacement de l'ulna

Des angulations frontales de l'ulna ont été retrouvées dans les mêmes proportions dans les deux groupes avec des différences de 3 à 6 % qui ne sont pas significatives. Le p value est à 0,59.

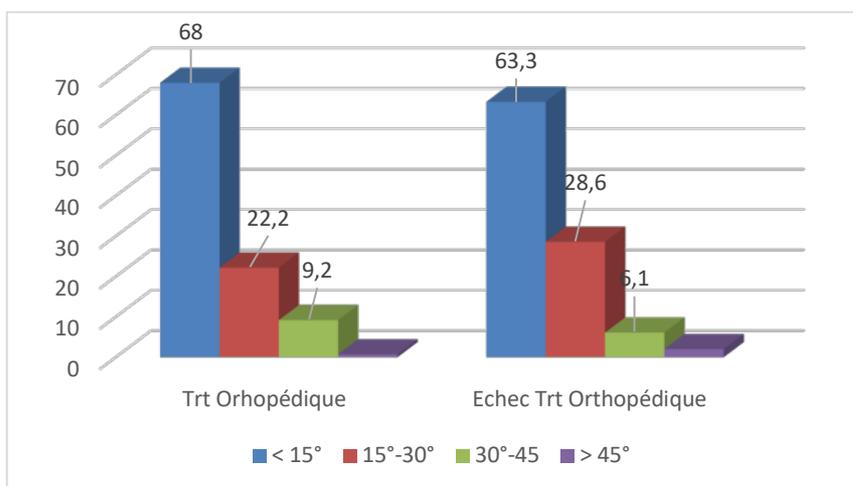


Figure 71: Angulations de l'ulna dans le plan frontal (02 groupes)

Les angulations frontales à sommet ulnaire ont été plus fréquentes chez les patients du groupe 2 avec un taux de 44,9%. Ces angulations à sommet ulnaire ont été notées dans 34,6% chez les patients du groupe 1. Avec un p value à 0,15, la différence est non significative.

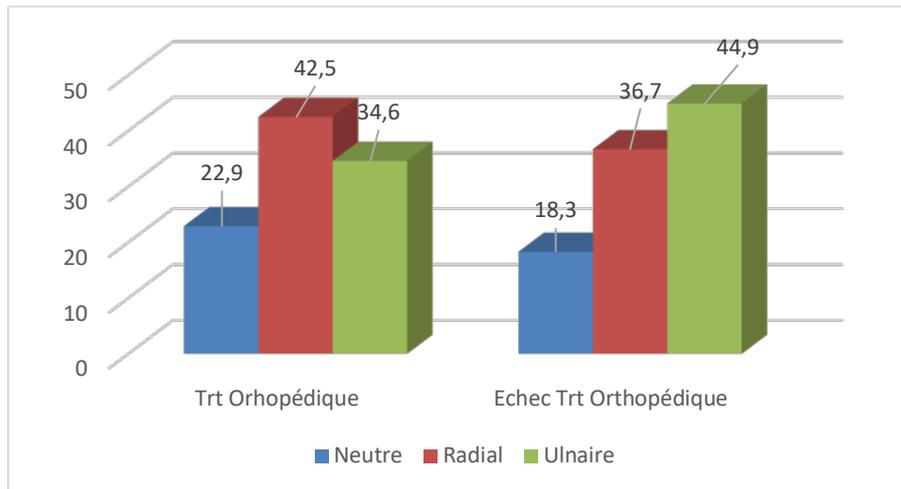


Figure 72: Direction de l'angulation de l'ulna dans le plan frontal (02 groupes)

Les angulations sagittales < 15° ont été notées chez 61,2% des patients du groupe 2 et chez 47,7% des patients du groupe 1, sans signification car p value à 0,56.

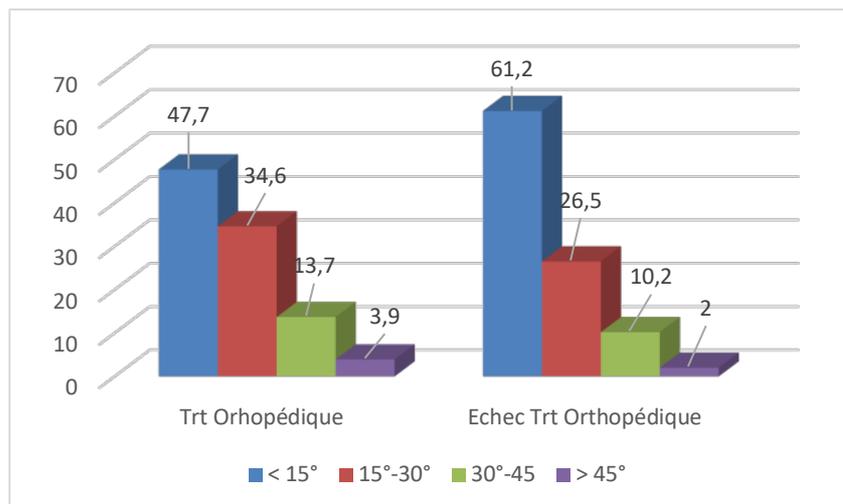


Figure 73: Angulations de l'ulna dans le plan sagittal (02 groupes)

Dans le plan sagittal, la direction de déplacement des fractures de l'ulna est similaire dans les deux groupes, p value à 0,45.

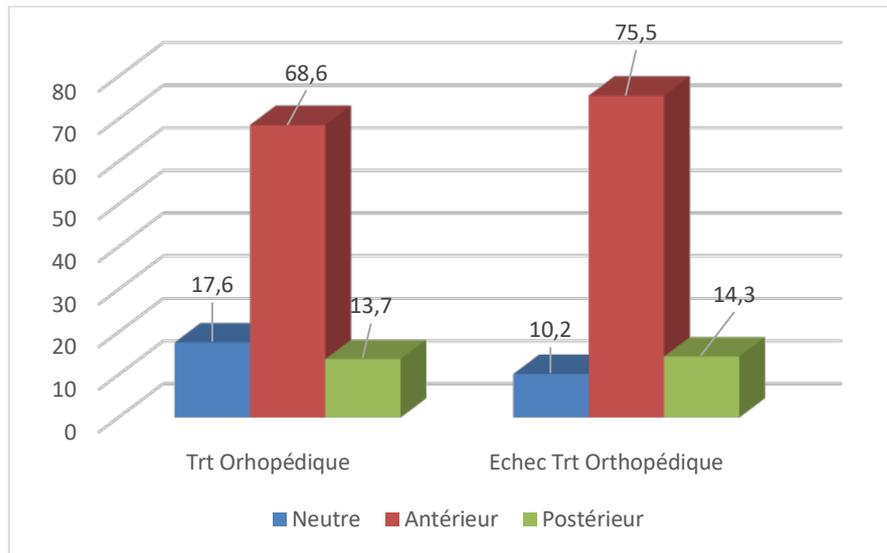


Figure 74: Direction de l'angulation de L'ulna dans le plan sagittal (02 groupes)

Un chevauchement supérieur à 5mm a été retrouvé dans 18,3 % des radiographies des patients du groupe 2. Ce chevauchement n'était retrouvé dans le groupe 1 que dans 1,4%. La différence est significative avec un p value à 0,00.

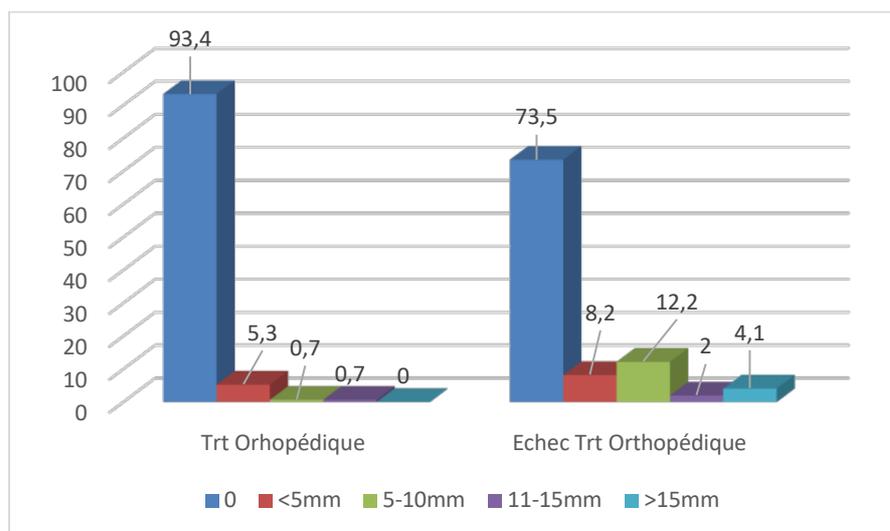


Figure 75: Déplacement en chevauchement de l'ulna chez les patients des 02 groupes

Une translation à 100% a été retrouvée chez 22,4% des patients du groupe 2 et elle n'a été constatée que chez 2,6 % des patients du groupe 1. Le p value est à 0,00.

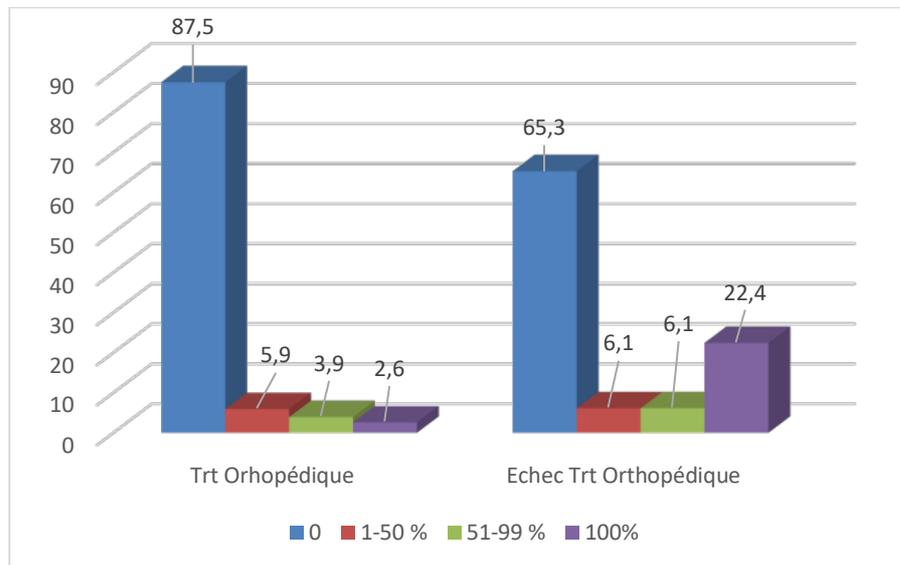


Figure 76: Déplacement en translation de l'ulna chez les patients des 02 groupes

14.5.4.7. les indices de plâtres

Cast index

Dans les deux groupes, le Cast index était supérieur à 0,8 et la différence n'était pas significative, p-value à 0,59.

Tableau 16: Cast index des deux groupes

Cast index	Moyenne	Écart type	Effectif	Médiane	Minimum	Maximum
Groupe 1	0,94	0,93	143	0,95	0,70	1,25
Groupe 2	0,98	0,12	39	0,95	0,70	1,45

Padding index

Le Padding index était inférieur à 0,11 avec une différence non significative. P-value à 0,68.

Tableau 17: Padding index des deux groupes

Padding index	Moyenne	Écart type	Effectif	Médiane	Minimum	Maximum
Groupe 1	0,11	0,10	143	0,10	0,01	0,09
Groupe 2	0,10	0,05	39	0,09	0,04	0,3

Canterbury index

Le Canterbury index était à 1,06 pour le groupe 1 et à 1,08 pour le groupe 2. La différence est non significative avec un p-value à 0,54.

Tableau 18: Canterbury index des deux groupes

Canterbury index	Moyenne	Écart type	Effectif	Médiane	Minimum	Maximum
Groupe 1	1,06	0,18	143	1,06	0,82	1,98
Groupe 2	1,08	0,15	39	1,06	0,82	1,98

14.5.5.Pronosupination

Les moyennes de pronation et de supinations ont été similaires dans les deux groupes.

P-value > 0,05.

Tableau 19: Pronation et supination des patients des 02 Groupes

	Pronation	Supination	Perte globale
Groupe 1	81,5 ± 7,5	87,9 ± 2,9	5,8 ± 7,8
Groupe 2	81,9 ± 5,5	86,2 ± 4,6	7,8 ± 9,6

14.6. Régression logistique multivariée

Une régression logistique multivariée a été réalisée en incluant plusieurs variables qui ont été sensibles. Les deux seuls facteurs qui ont été retenus étaient l'âge du patient et le chevauchement de la fracture du radius. L'Odds ratio pour l'âge était de 1,19 avec un intervalle de confiance entre 1,07 et 1,32 et p value à 0,01. L'Odds ratio pour le chevauchement était de 2,42 avec un intervalle de confiance entre 1,40 et 4,2 et p value à 0,02.

Tableau 20: Résultats du modèle de la régression logistique multivariée

Variables	Odds ratio	95 % CI	P-value
Sexe			0,27
Âge	1,19	[1,07 - 1,32]	0,01
Radius			
Type de trait			<u>0,074</u>
Siège trait			<u>0,045</u>
Angulation frontale			0,15
Direction angulation (Ulnaire ou radiale)			0,14
Translation			0,10
Chevauchement	2,42	[1,40 - 4,2]	0,02
Ulna			
Type de trait			<u>0,017</u>
Direction angulation (Ulnaire ou radiale)			0,18
Translation			<u>0,021</u>
Chevauchement			0,10

15.DISCUSSION

DISCUSSION

Il s'agit d'une étude prospective d'une série de 215 enfants et adolescents qui ont présenté une fracture diaphysaire de l'un ou des deux os de l'avant-bras. Tous les patients ont bénéficié d'un traitement orthopédique initial qui a consisté en une immobilisation par un plâtre brachio-antébrachio-palmaire avec ou sans réduction selon le déplacement de la fracture. Chez 13 patients, les radiographies de contrôle immédiat après réduction et plâtre ont montré que les déplacements résiduels n'étaient pas tolérables. Ces patients ont été traités chirurgicalement avec stabilisation par un ECMES des deux os de l'avant-bras. Le reste des patients a été suivi à la consultation externe avec un contrôle hebdomadaire clinique et radiographique. Les radiographies de contrôle ont décelé des déplacements secondaires chez 43 patients dont 39 ont été traités par reprise de la réduction et de l'immobilisation plâtrée et 4 ont été traités chirurgicalement par ECMES.

Le choix de ce travail a été dicté par la fréquence de ces fractures chez l'enfant dans notre société. Cette fréquence ne peut être estimée par manque d'étude épidémiologique nationale des fractures de l'enfant. À l'instar de la littérature, Vitale a estimé le risque de survenue d'une fracture de la naissance à l'âge de 16 ans à 42% pour les garçons et 27 % pour les filles [210]. Les fractures de l'avant-bras représentent une part importante de ces fractures [1–3]. Leur évolution peut être émaillée de complications qui risquent de compromettre la fonction sophistiquée et polyvalente de l'avant-bras [2,211]. Ces fractures sont difficiles à traiter et peuvent l'être même pour les chirurgiens orthopédistes les plus expérimentés [152]. Les fractures chez les enfants entraînent également des charges sociales pour toute la

famille et peuvent entraîner une diminution des revenus suite à un absentéisme répété des parents au travail [212,213].

Le point fort de notre étude est qu'elle est prospective monocentrique homogène, le suivi des patients a été réalisé par un seul observateur.

Le recul minimum a été de 12 mois. Il est suffisant pour apprécier l'évolution à court terme de ces fractures mais il reste insuffisant pour évaluer le devenir des angulations résiduelles et apprécier les capacités de remodelage chez ces enfants en croissance.

D'un point de vue pratique et didactique nous avons scindé notre série en 2 groupes. Le premier groupe était celui des patients qui ont eu un traitement orthopédique initial et qui a été mené jusqu'à consolidation. Le deuxième groupe était celui des patients qui ont eu un traitement chirurgical ou une reprise de la réduction et de l'immobilisation par plâtre.

Pour notre série nous avons colligé 215 patients dont 178 garçons (82,8%) et 37 filles (17,2%). Le sexe ratio était de 4,8. L'âge moyen des patients de l'étude était de $8,1 \pm 3,7$ ans [1-16 ans] . L'âge moyen était de $8,5 \pm 3,7$ ans pour les garçons et de $6,5 \pm 3,1$ ans pour les filles ($p = 0,02$).

La série est comparable en termes d'âge et de sexe ratio avec les différentes séries de la littérature (Tableau 21). Les fractures de l'avant-bras concernent plus les garçons que les filles ; probablement en rapport avec le caractère plus brutal des activités pratiquées par les garçons. Les enfants scolarisés en primaire sont les plus exposés avec une moyenne d'âge de 8,1 ans et deux pics de fréquence le premier entre 5 et 7 ans, et l'autre entre 10 et 12 ans.

Tableau 21: comparaison de la série aux séries de la littérature

Séries	Effectif	Garçons	Filles	Sexe Ratio	Âge
Yalcinkaya [28]	45	35 (78%)	10 (22%)	3,5	11,1 [5-16]
Fernandez [214]	553	354 (64%)	199 (36%)	1,8	9,1 [4-16]
Hassan [215]	181	127 (70%)	54 (30%)	2,35	8 [2-15]
Yung [216]	84	52 (62%)	32 (38%)	1,6	7,5 [2-14]
Jubel [217]	51	37 (73%)	14 (27%)	2,7	8 [3-13]
Lascombes [26]	80	60 (75%)	20 (25%)	3	11,4 [4-16]
Notre série	215	178 (82,8,4%)	37 (17,2%)	4, 8	8,1 [1-16]

La grande fréquence d'enfants fracturés entre 5 et 7 ans s'explique par la faible notion de danger alors que l'enfant est autonome et actif. La deuxième tranche correspond majoritairement à des traumatismes chez des garçons. Elle est liée au début des conduites à risques avec des activités physiques de plus en plus violentes.

Dans notre série 89% des enfants étaient droitiers. La majorité des fractures touchait le membre supérieur gauche (55,3%). Au total, 51% des fractures concernaient le membre non dominant. Cela est également constaté dans la littérature comme dans la série de Hassan et al, qui rapporte 90% d'enfants droitiers et 60% de fractures du côté gauche contre 40% du côté droit ($p=0,0029$) ; 56% des fractures concernaient le membre non dominant [215]. Les autres auteurs rapportent des résultats similaires, Yung 68%, Bochang 53%, Jubel 63%, Fernandez 59%, Lascombes 62% de fractures qui intéressent

le membre non dominant [26,190,214,216,217]. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que la main dominante est occupée lors du traumatisme (tenue d'un objet ou autre) et n'est pas le membre utilisé pour la réception lors de la chute [216].

Les circonstances du traumatisme ont été dominées par les chutes banales, 151 enfants ont chuté de leur hauteur soit 70 %. Cette cause est retrouvée également dans la littérature avec un taux de 52,4 % pour Hamel et al [218]. Dans une revue des fractures survenues entre 1993 et 2007, Hedström a trouvé que 72% des fractures de l'avant-bras ont été causées par des chutes [219]. Pour Worlock, dans une étude épidémiologique des fractures de l'enfant à Nottingham, la cause la plus fréquente de fracture était une chute dans la maison ou dans ses environs [220].

Dans notre série, la deuxième cause était la chute d'une hauteur élevée qui a été retrouvée chez 53 enfants (24,7 %). Il s'agissait le plus souvent d'une chute du lit. Rennie et al, ont rapporté un taux de fractures de 5,7 % suite à une chute d'un niveau inférieur à la hauteur du lit, et un taux de 9,1% suite à une chute d'un niveau supérieur à la hauteur du lit. Les chutes dans les escaliers ou autres pentes représentaient 11,5% [221]. Ce taux peut être expliqué par une insuffisance de vigilance des parents car ces fractures ont touché des enfants de bas âge.

Les accidents sportifs ont été responsables d'un faible taux de fractures dans notre série soit 4%. Dans la littérature, environ un tiers des fractures de l'avant-bras sont survenues suite à des activités sportives [218]. Ces traumatismes sont dominés par les accidents de bicyclettes. Puranik et al, ont étudié le profil des accidents de bicyclettes chez l'enfant sur une période de 4 ans. Ils ont trouvé à travers une série de 211 enfants victimes

d'accident de bicyclettes que ces accidents représentent 18 % de tous les traumatismes pédiatriques [222].

Dans notre série, les fractures simultanées des deux os étaient les plus fréquentes (93%) avec une fracture en bois vert des deux os (22.D/2.1) dans 41,9% des cas. Le trait de fracture était localisé au 1/3 moyen dans 69,8 % des cas pour le radius et dans 66 % des cas pour l'ulna. L'angulation était le déplacement le plus fréquent. Le chevauchement du radius a été retrouvé dans 38cas (18%) et le chevauchement de l'ulna dans 23 cas (11,3%). Ces résultats sont comparables à ceux de la littérature. Dans la série de Lascombes, les fractures des deux os étaient les plus fréquentes (89,5%) avec 30% de fractures en bois vert et une localisation majoritaire du trait de fracture dans le tiers moyen des deux os de l'avant-bras [26]. C'est également le cas dans les séries du symposium de la SOFCOT 2004 (86,8 % des fractures de la série rétrospective et 85,7 % de la série prospective). Les fractures étaient en bois vert au niveau des deux os de l'avant-bras dans 49,9 % des cas de la série rétrospective et 29,3 % de la série prospective. Dans les deux séries de la SOFCOT, 65 % des fractures du radius et 70 % des fractures de l'ulna étaient localisées au niveau de leur 1/3 moyen [218]. Les fractures étaient chevauchées dans 12,9 % des cas de la série rétrospective et dans 12% des cas de la série prospective. Certaines séries retrouvent un trait de fracture localisé plutôt dans le tiers distal [149,215]. Notons que nous avons exclu les fractures concernant le quart distal des 2 os de l'avant-bras, ce qui n'était pas le cas dans ces séries.

Pour la classification, les fractures de notre série ont été classées selon la classification de la PCCF, 41,9 % des fractures était de type 22.D/2.1 (Bois vert). Les types 22.D/4.1 (trait transversal) et 22.D/5.1 (trait oblique ou spiroïde) ont été retrouvés dans 24,2 %

et 24,7 % des cas. Une comparaison avec d'autres séries n'a pu être réalisée car cette classification récente (2007) est difficile et reste peu utilisée dans la littérature. Nous pensons que cette classification a deux limites. D'une part, elle ne tient pas compte du siège du trait sur la diaphyse, d'autre part dans les fractures des deux os de l'avant-bras, le trait du radius et de l'ulna ne sont pas toujours du même type (exemple d'un trait transversal du radius et d'un trait oblique de l'ulna). La classification n'a pas précisé sur lequel des deux traits doit se baser le choix du type de fracture.

Pour le volet thérapeutique, tous nos patients ont eu un traitement orthopédique initial. Il reste le traitement de première intention pour beaucoup d'équipes. La revue de la littérature n'a pas trouvé d'études qui montrent une supériorité des résultats du traitement chirurgical par rapport à ceux du traitement orthopédique car ces études sont rares [190].

Les échecs de réduction ont été traités chirurgicalement par ECMES. La cause de l'échec était un défaut d'alignement rotatoire dépassant 30° chez des patients âgés plus de 9 ans dans 2 cas. En fait, la bonne réduction du radius se traduit par l'alignement du radius proximal sur le radius distal et s'apprécie radiologiquement par la position de la tubérosité bicipitale. L'amplificateur de brillance est indispensable pour l'application de ce principe.

Chez 9 patients opérés nous avons objectivé une incarceration musculaire dans le foyer de fracture.

Dans notre série, la position d'immobilisation initiale était la position neutre. Notre attitude est similaire à celle admise par Rang et al [131]. Pour d'autres auteurs, les fractures du tiers proximal doivent être immobilisées en position de supination, les

fractures du tiers moyen en position neutre et celles du tiers distal en position de pronation [18,23,115]. Boyer et al ont réalisé une étude comparative de trois groupes de patients qui présentaient une fracture du tiers distal [223]. Le premier groupe comptait 38 patients qui ont été plâtrés en position neutre, le 2^{ème} groupe 26 patients qui ont été plâtrés en pronation et un 3^{ème} groupe de 35 patients qui ont été plâtrés en supination. Les résultats finaux n'ont montré la supériorité d'aucune position d'immobilisation par rapport aux autres.

Le plâtre a été fait coude en flexion [19]. L'immobilisation de l'avant-bras avec le coude en position de flexion ou d'extension a été débattue. Il a été démontré qu'un plâtre sur le coude fléchi ne prend pas le contrôle de la partie proximale de la fracture. Le moulage avec le coude en extension complète peut éliminer la force de supination du biceps et la force de déformation par la gravité [132–134].

La qualité du plâtre a été appréciée par le calcul des indices de plâtres. Trois indices ont été utilisés dans notre série. L'idée de l'utilisation du Cast index est issue du principe que le plâtre doit exercer un effet d'écartement des deux os en ovalisant le plâtre par un moulage antéro-postérieur. Le plâtre doit être plus grand dans le sens latéro-médial que dans le sens antéro-postérieur [23]. Sa valeur doit être inférieure à 0,8 au niveau de l'avant-bras. Dans notre série il a été évalué à 0,95 en moyenne. Sa valeur était de 0,77 pour Sheikh et al [224], qui ont signalé qu'il est difficile d'avoir un Cast index à 0,8 au niveau de la moitié proximale de l'avant-bras du fait de l'importance de la masse musculaire. Pour ces auteurs un Cast index supérieur à 0,8 ne doit pas faire reprendre l'immobilisation plâtrée. Un Cast index dont la valeur se rapproche de 1 est le témoignage d'une mauvaise qualité de moulage.

Le Padding index, indice qui apprécie la qualité du rembourrage, a été dans notre série inférieur à la valeur seuil de 0, 3. Cette valeur est le témoignage d'un rembourrage fin. En fait, nos plâtres ont été réalisés sur des membres qui ont été protégés seulement par un jersey doublé. Le rembourrage par du coton cardé n'a été fait qu'au niveau du coude. Le Canterbury index a été ,dans notre série , inférieur à la valeur seuil de 1,1.

Les valeurs des trois indices étaient similaires dans les deux groupes.

Bathia et al, ont retrouvés des déplacements secondaires dans 32% des cas avec une élévation significative des trois indices (Cast index, Padding index, et Canterbury index) dans le groupes des déplacements secondaires [138].

Le calcul de ces indices n'a été possible dans notre série que dans 183 cas du fait du traitement inadéquat de l'image radiographique. Cette dépendance de notre étude de la qualité des images radiographiques constitue un point de faiblesse car nos indications étaient basées sur l'appréciation de ces images. Les angulations mesurées sur les deux incidences constituent une projection sur deux plans d'une déformation tridimensionnelle. Si l'angulation est visible sur les deux incidences radiographiques, l'angulation réelle est en dehors du plan des radiographies et sa valeur réelle est supérieure à celle mesurée sur les radiographies [101,102]. En consultant le tableau établi par Bär et Breitfuss pour prédire la valeur de l'angulation réelle (en se basant sur les valeurs des angulations mesurées sur les deux incidences radiographiques orthogonales), une angulation de 14° dans les deux plans à une valeur réelle de 19,9° et le sommet de la déformation est situé à 45° par rapport au plan sagittal [102]. Cette angulation va encore changer avec une mauvaise incidence radiographique. Avec l'avènement des radiographies numérisées, la tâche est devenue plus difficile car

souvent nous avons été confrontés à deux incidences dont l'échelle d'agrandissement n'était pas la même rendant la mesure des indices plâtrés impossible.

Le déplacement secondaire a été constaté chez 43 patients (21,3%) dont 39 ont été traités par une reprise de la réduction et du plâtre et 4 ont été traités par ECMES. Ce taux de déplacement secondaire est similaire à ceux retrouvés dans la littérature qui sont estimés entre 20 et 60% [25,35,202,216]. Dans 81,4%, il s'est produit durant les deux premières semaines. Ce délai est celui retrouvé chez Haddad, Voto et Proctor [5,34,225]. Notre série est comparable à celle de Yan, qui a eu un délai moyen de 6,63 jours (3-19J) dans les 22 déplacements secondaires de sa série. Dix-huit patients ont eu un 2^{ème} geste de réduction (8 reprises par réduction et contention plâtrée, 9 réductions et stabilisation par ECMES et une réduction et stabilisation par plaque) [216].

Les facteurs associés à un déplacement de la fracture peuvent être subdivisés en 3 groupes : les facteurs liés au patient (sexe, âge), les facteurs liés à la fracture (type et déplacement) et les facteurs liés au chirurgien (qualité de la réduction, expérience du chirurgien qui fait la réduction et le plâtre et type d'anesthésie). La sévérité du déplacement initial a été incriminée comme étant le facteur de risque de déplacement secondaire le plus important [5,34].

Dans notre série, les réductions et les plâtres ont été réalisés par les membres des équipes de garde et nous n'avons pas pu évaluer le rôle de l'expérience de ces membres dans la survenue des déplacements secondaires. Procter et al, n'ont trouvé aucune association entre l'expérience du chirurgien et la survenue de déplacement secondaire [225], même constat que Yang et al [216].

Cinq déplacements secondaires (11,6%) ont été notés sur des fractures qui étaient non déplacées ou peu déplacées n'ayant pas nécessité de réduction. Ce taux est identique à celui rapporté par Hamel et al (12,5%) [218]. L'âge de nos patients était inférieur à 2 ans dans 2 cas avec des plâtres lâches. Lascombes a souligné le risque de déplacement secondaire avec des difficultés de réalisation de plâtres avec des points d'appui insuffisamment moulés chez des enfants âgés de moins de 3 ans qui ont une fracture initialement non déplacée [26]. Les trois autres patients avaient des âges supérieurs à 10 ans avec des fractures complètes (trait transversal ou oblique) probablement initialement déplacées et qui ont été alignées lors du transport. Dans ces trois cas le Cast index était à 0,92 témoignant d'une insuffisance de moulage de plâtre. Voto et al, ont incriminé un plâtre lâche avec perte des trois points de fixation comme facteur responsable du déplacement secondaire de la majorité des cas de leur série (66 cas soit 46%) [34].

Dans notre série toutes les fractures déplacées ont été réduites sous sédation au niveau du service des urgences sans amplificateur de brillance. Une deuxième anesthésie a été nécessaire dans 56 cas pour traiter les déplacements secondaires.

Marry et al [226], ont retrouvé un taux de reprises thérapeutiques pour des déplacements secondaires dans 26,7 % des fractures traitées dans les services d'accueil des urgences et seulement 6,2 % des fractures traitées sous anesthésie générale.

Le taux de déplacements secondaires dans notre série peut être diminué avec plus de moyens au niveau du service des urgences chirurgicales : amplificateur de brillance et

clous élastiques et par une meilleure organisation des activités des soins (réduction des fractures très déplacées au bloc du service de chirurgie orthopédique).

La durée moyenne d'immobilisation dans notre série était de 70,33 jours. La durée minimale d'immobilisation a été de 42 jours chez un nourrisson de 12 mois et la durée maximale a été de 98 jours chez un adolescent de 15 ans qui a présenté un déplacement secondaire au 14^{ème} jour d'une fracture du tiers proximal , chez qui la réduction et l'immobilisation plâtrée ont été repris.

Notre durée d'immobilisation était en rapport avec les délais de consolidation qui sont longs dans ces fractures diaphysaires et l'âge de l'enfant. Zions et al, ont retrouvé chez des patients dont l'âge moyen était de 13,3 ans, un délai de consolidation de 7,6 semaines pour les fractures du tiers moyen, 8,8 semaines pour les fractures du tiers distal et 10,4 semaines pour les fractures du tiers proximal [29].

L'immobilisation plâtrée a été maintenue pendant une durée de 6 à 8 semaines jusqu'à 3 mois . Lascombes recommande une immobilisation de 3 mois [26]. Durant cette période le plâtre n'a pas été changé, cette attitude est celle de Herman et al [18], Mehleman et al [23] et Noonan et al [129]. D'autres recommandent de remplacer le plâtre brachio-antébrachio-palmaire par une manchette plâtrée ou une orthèse amovible. Tisosky et al[227], ont utilisé un plâtre brachio-antébrachiopalmaire pendant 4 semaines suivi par une manchette plâtrée pendant 3 à 4 semaines avec un relai par une orthèse jusqu'à 73 jours et ils ont recommandé l'utilisation d'une orthèse de protection jusqu'à 4 à 6 mois après la fracture. Fitoussi et al, ont recommandé un relai par manchette plâtrée après la 6^{ème} semaine [56].

Nous n'avons pas enregistré de syndrome des loges, cela peut être expliqué par le fait que la majorité des traumatismes dans notre série était de faible énergie en dehors deux accidents de la circulation. De plus, tous les plâtres circulaires ont été fendus systématiquement. Le diagnostic de syndrome des loges était basé sur l'appréciation des 5 P (pain, paresthesia, paralysis, pallor, pulsenessess) (douleur, paresthésie, paralysie, pâleur, pouls). L'évaluation de l'intensité de la douleur est difficile chez le jeune enfant agité exposant au risque de méconnaître un syndrome des loges. Dans une étude rétrospective de 33 syndromes des loges chez l'enfant Bae et al, rapportent que la recherche des 5P est peu fiable chez l'enfant. Ils ont noté que l'augmentation du besoin analgésique était constatée en moyenne 7 heures avant le changement de l'état vasculaire et était un indicateur plus sensible du syndrome des loges chez les enfants. Ils ont conclu que les enfants à risques de syndrome des loges sont ceux avec les 3 A (increasing analgesic requirement, anxiety, and agitation) augmentation des besoins analgésiques, anxiété, agitation [228].

L'analyse de la littérature montre que le syndrome des loges dans les fractures isolées de l'avant-bras est rare, survenant dans moins de 1 % des cas [182]. Bae et al, n'ont pas retrouvé de syndrome des loges dans 205 fractures de l'avant-bras traitées orthopédiquement. En revanche, parmi les 30 patients traités par ECMES, 3 ont développé un syndrome des loges. La durée de l'intervention et la difficulté de réduction ont été les principaux facteurs favorisant [180].

Nous avons noté 3 lésions cutanées sous plâtre, une au niveau de la face antérieure du coude et deux au niveau du poignet suite à des conflits entre la peau et le bord du plâtre. Elles étaient toutes superficielles et ont été traitées par des soins locaux. L'incidence des

lésions cutanées secondaires aux plâtre reste méconnue [229]. Sawyer et al, ont noté que 41% des visites aux services des urgences par des enfants suite à des immobilisations plâtrées, étaient en rapport avec un plâtre des deux os de l'avant-bras ou du poignet. Des irritations cutanées ont été notées chez 5 patients et ont nécessité de renforcer le rembourrage et la reprise des plâtres [230].

Nous avons constaté que 6 complications ont été en rapport avec l'ECMES. Les cinq ulcérations cutanées ont été secondaires aux saillies des broches et ont nécessité l'ablation du matériel. Les fractures étaient consolidées. Lascombes et al, ont retrouvé 9 lésions sur 85 fractures de l'avant-bras traitées par ECMES [140] et Fernandez 5 cas sur 553 fractures [188]. La dernière complication en rapport avec l'ECMES était la fracture de la broche en titane du radius lors de son retrait, 13 mois après sa pose. Le fragment proximal de la broche est resté en intramédullaire (Fig.77). Ce délai était trop long et le retrait doit être fait plus précocement mais pas avant 6 mois [231].



Figure 77: Cassure de la broche du radius et enclavement en intramédullaire

Cette complication a été décrite avec le matériel en titane . Il est recommandé de ne pas faire de retrait si le matériel a été laissé en place pendant plusieurs années [232]

Les fractures itératives ont été au nombre de 2. L'une est survenue sur le même siège d'une fracture en bois vert du 1/3 moyen de l'avant-bras. La deuxième est survenue sur un site à distance de la première fracture dont le trait était transversal à la jonction tiers moyen / tiers distal (Fig.78). Les deux patients ont été traités orthopédiquement et le résultat final était faible chez le premier malade et excellent chez le deuxième.



Figure 78: Fracture itérative , A :1^{ère} fracture, B :contrôle après consolidation, C : fracture itérative près 11mois , D : contrôle après 6 mois de la fracture itérative

La fracture itérative est une complication fréquente des fractures des 2 os de l'avant-bras chez l'enfant. Dans la littérature, la fréquence est de 5 % pour Schwarz et al [207], 4,9% pour Bould et Bannister [206], 3,1 % pour Mary et al [233]. La localisation préférentielle des fractures itératives au 1/3 moyen des deux os de l'avant-bras a été soulignée par de nombreux auteurs [206,207,233]. Les fractures incriminées sont surtout les fractures en bois vert, 84% dans la série de Schwarz [207], et les fractures consolidées en cal vicieux angulaire supérieur à 10° [233]. Lors du traitement

orthopédique , le comblement du canal médullaire par la cal osseux induit une zone de fragilité. L'immobilisation doit être prolongée jusqu'à obtenir une reperméabilisation du canal médullaire et un cal cortical circulaire. Une durée d'immobilisation trop courte, inférieure à 6 semaines, augmente le risque de fracture itérative. Dans ce cas la consolidation est insuffisante avec une résorption osseuse de l'os cortical du côté convexe qui sera à l'origine d'une fracture itérative dans les mois suivants [207].

Les éléments favorisant la survenue de fracture itérative chez nos patients étaient la fracture en bois vert de siège médio-diaphysaire chez le premier et une angulation résiduelle de 12° chez le deuxième.

Cette constatation est l'argument de certains auteurs pour réduire la fracture, la rendre complète et avoir de ce fait un contact inter fragmentaire plus important et un cal osseux périphérique plus développé [18,115,234]. Cette réduction risque de rompre le périoste et d'augmenter l'instabilité de la fracture. Ce risque est l'argument pour d'autres auteurs pour ne pas compléter la fracture en bois vert [23,130,235]. Davis et Green ont rapporté un taux de 10% (16/151) de réapparition de l'angulation dans les fractures en bois vert contre un taux de 25% (12/47) dans les fractures complètes et ont opté pour ne pas transformer la fracture en bois vert en une fracture complète.

Dans notre série le déplacement secondaire est survenu dans 15/43 (34 %) sur des fractures en bois vert, ce taux est similaire à celui de Lascombes et al [234].

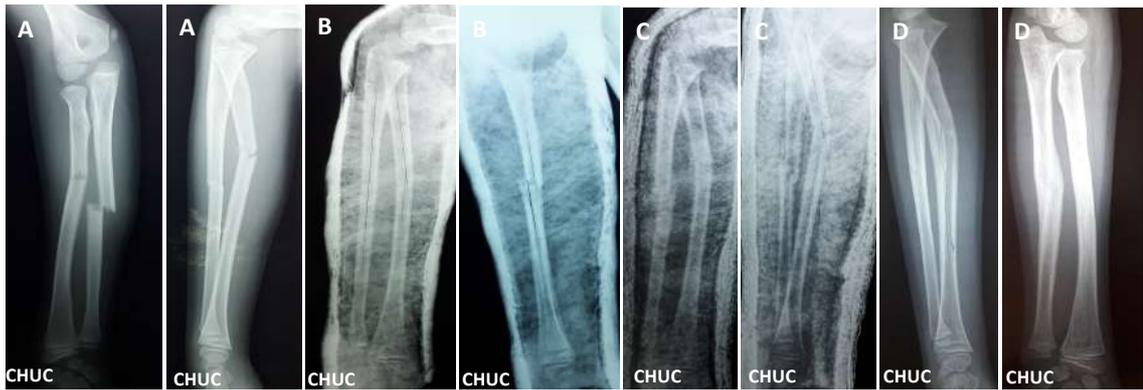
L'évaluation clinique au recul a retrouvé une pronation moyenne 81,67° et une supination moyenne de 87,53°. Le déficit total était donc de 6,2° en moyenne. Selon les critères de Price, nos résultats ont été classés excellents chez 168 patients (78,1%), bons chez 45 patients (20,9%) et faibles chez 2 patients (1%). Les résultats de notre série sont

comparables à ceux de la série de Martus et al, sur 193 patients, ils ont eu 163 excellents (79,5%), 24 bons (11,7%) ; faibles dans 2 cas (2,4%) et mauvais dans 8 cas (6,3%)[236]. Dans la série de Price (38 patients), 81% étaient excellents, 11 % bons et 8 % faibles. Dans la série de Tarmuzi, 40 patients étaient excellents (85%) 6 bons (12%) et un faible (3%) [237].

Pour nos deux patients ayant eu un faible résultat, le premier était l'un des deux patients qui ont présenté une fracture itérative. Le choix d'un traitement orthopédique a été retenu chez lui. Le traitement des fractures itératives reste controversé. Le traitement chirurgical est le traitement de choix pour certains auteurs (Lascombes et al [26], Toussaint et al [238] Weinberg et al [239]) . Schwarz a réalisé un nouveau traitement orthopédique dans 22 cas sur 28. Deux fois, une nouvelle fracture est survenue [207].

Notre 2^{ème} patient ayant eu un résultat faible avait une fracture du 1/3 proximal du radius avec une fracture du 1/3 moyen de l'ulna. Au recul, il avait une perte de 50° de rotation (45° de pronation et 5° de supination). Une angulation à sommet antérieur de 20° du radius a été retrouvée sur la radiographie de contrôle. Cette fracture était initialement immobilisée en position neutre. Un déplacement secondaire n'a pas été diagnostiqué à temps (Fig.79).

les fractures du 1/3 proximal posent un défi quant à l'évaluation de la réduction. Cela est plus marqué avec les fractures en bois vert où la continuité de l'os est conservée et les défauts angulaires et rotationnels sont sous-estimés. Wright et al ont décrit en 2012 un signe radiologique appelé « radius crossover signe » (signe de croisement du radius)



A : radiographies initiales

B : radiographie de contrôle après plâtre

C : Déplacement secondaire

D : radiographie après 6 mois

Figure 79: Résultat faible chez un patient âgé de 13 ans

pour mieux analyser et rechercher les défauts rotationnels des fractures du radius proximal [240]. L'alignement rotationnel des fractures proximales de l'avant-bras est mieux déterminé en obtenant des radiographies antéropostérieures et latérales de l'avant-bras en utilisant l'humérus distal comme référence, plutôt que le poignet. Sur une radiographie de l'avant-bras de face, en pronation complète, le radius croise le tiers proximal de l'ulna. En position neutre, il croise le tiers distal de l'ulna. En supination complète, le radius et l'ulna ne se croisent pas. Le fait de ne pas utiliser l'humérus distal comme référence pour une radiographie antéropostérieure change ces relations, et l'examineur peut ne pas apprécier pleinement l'étendue du défaut rotationnel [240]. La recherche de ce signe est devenue systématique dans notre

pratique et tous nos malades qui ont présenté un déplacement secondaire d'une fracture du 1/3 proximal du radius ont été repris et immobilisé en position de supination avec un bon alignement (Fig.80). Les fractures du 1/3 proximal du radius et de l'ulna doivent être traitées avec une grande attention car elles ont une grande tendance au déplacement secondaire sous plâtre.

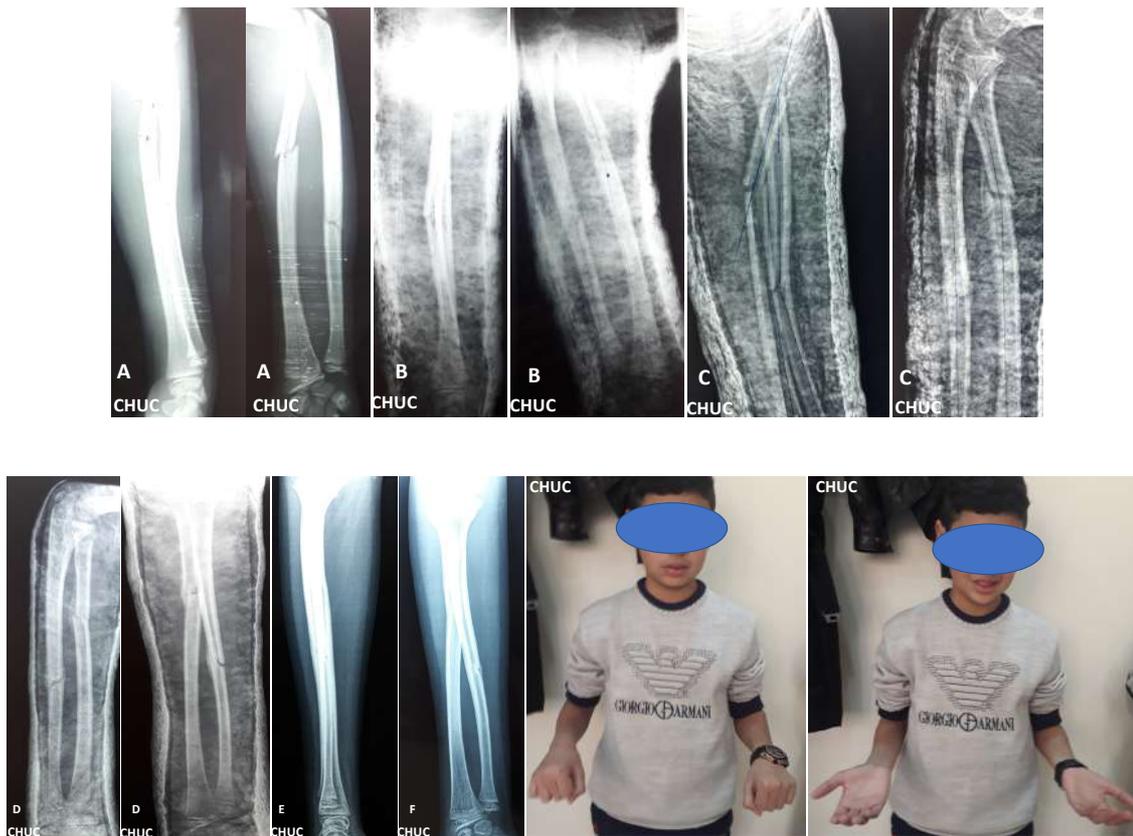


Figure 80: reprise de la réduction et du plâtre après déplacement secondaire de la fracture chez un patient âgé de 13 ans

A :radiographies initiales, B :radiographies de contrôle à J0, C : déplacement secondaire et signe de croisement du radius, D : radiographies de contrôle après reprise de la réduction du plâtre, E : radiographies à 6mois

Les amplitudes des mouvements sont rapidement perturbées par les angulations résiduelles du fait du rapprochement important du radius et de l'ulna durant le mouvement de pronation. L'importance de la masse musculaire au niveau du 1/3 proximal de l'avant-bras rend difficile le maintien de l'alignement des fractures sous

plâtre. Un traitement chirurgical est parfois nécessaire [24]. Morrey et al, ont montré dans une étude biomécanique que les fractures des deux os de l'avant-bras chez les enfants peuvent entraîner une limitation de la rotation de l'avant-bras qui n'affecte les activités quotidiennes que si la pronation et / ou la supination est inférieure ou égale à 50°[241]. Fuller et al, ont noté que sur 17 patients qui avaient un cal vicieux persistant (angulation > 20°) , 2 seulement ont ressenti une gêne fonctionnelle ou un préjudice esthétique [200]. Des études cadavériques simulant des déformations angulaires de l'avant-bras ont montré que la perte de rotation est minime suite à des angulations inférieures ou égales à 10° [202,242]. Matthews et al, ont démontré que des déformations supérieures à 20° ont entraîné une perte considérable de 30° de la rotation de l'avant-bras par rapport au groupe contrôle [202]. Flynn et al, ont trouvé que des déformations supérieures à 20° ont donné des limitations de la rotation de l'avant-bras de 30°, tandis qu'une angulation de 10° avait un effet négligeable sur la pronosupination [243]. Des études cliniques des cals vicieux de l'avant-bras ont démontré que l'angulation à elle seule est un faible prédicteur de la mobilité de l'avant-bras. D'autres facteurs participent à la perte de la rotation comme des défauts rotationnels non détectés et des contractures de la membrane interosseuse [202,242]. Les déformations à sommet palmaire, associées à des troubles rotatoires sont souvent responsables de perturbations de la pronation [36].

Nous n'avons pas pu faire une évaluation objective de l'absentéisme scolaire des enfants et des adolescents de notre série pour deux raisons : la majorité n'ont pas pu rejoindre leurs classes par appréhension des directeurs d'établissement, des enseignants et parfois des parents jusqu'à l'ablation du plâtre. Nous n'avons pas

retrouvé dans la littérature de publications qui traitent le sujet pour faire une comparaison.

Dans notre étude comparative entre les deux groupes, nous avons réalisé une comparaison univariée entre les caractéristiques liées aux patients à savoir le sexe et l'âge.

La prédominance masculine était similaire dans les deux groupes. Le p-value était à 0,32 ce qui signifie qu'il n'y avait pas de corrélation entre le sexe du patient et le risque d'échec de traitement orthopédique initial. Une différence d'âge a été constatée entre les deux groupes. Cette différence est significative (p-value à 0,042). Il existe une corrélation entre l'âge et le risque d'échec du traitement orthopédique initial. Ce risque augmente avec l'âge.

La comparaison a été faite également entre les caractéristiques de la fracture pour chaque os à savoir, le type du trait, le siège du trait (proximal, moyen, distal), les angulations mesurées sur les radiographies de face antéro postérieure et de profil ; la direction des sommets des angulations (ulnaire ou radiale, antérieure ou postérieure), le chevauchement et la translation.

Les différences ont été significatives pour certains de ces critères (p-value < 0,05), ce qui signifie qu'il existe une corrélation entre ces caractéristiques et le risque d'échec du traitement orthopédique.

Pour le radius, une fracture complète était le premier élément en faveur du risque d'échec du traitement orthopédique initial mais également le siège proximal du trait, les angulations à sommet ulnaire, le chevauchement et la translation.

Pour les autres caractéristiques, aucune différence n'a été significative : les angulations frontale et sagittale, la direction du sommet des angulations sagittales et le degré de rotation.

Pour l'ulna, les seules différences significatives étaient pour les fractures complètes, le chevauchement et la translation. Les autres caractéristiques de la fracture de l'ulna n'ont pas présenté de différence entre les deux groupes.

Une régression logistique multivariée a été réalisée en incluant tous les éléments positifs. Indépendamment des autres variables, les seuls prédicteurs d'échec du traitement orthopédique retenus à la régression sont l'âge du patient et le chevauchement de la fracture du radius. À partir de la moyenne d'âge qui était de 8,1 ans, chaque augmentation d'une année d'âge est associée à un risque de 19 % de déplacement secondaire. Pour le chevauchement qui a été évalué dans la série par des paliers (0, < 5 mm, 6-10mm, 11-15mm, >15mm), le passage d'un palier à un autre fait multiplier le risque de déplacement par 2,42.

Dans l'étude de Bowman et al, sur 282 fractures, les facteurs prédictifs qui ont été retrouvés étaient un âge ≥ 10 ans, un siège proximal des fractures du radius et une direction ulnaire de l'angulation du radius. Ces trois facteurs ont été retrouvés dans notre étude.

L'autre facteur prédictif dans leur étude et qui était négatif dans notre étude est une angulation inférieure à 15° de la fracture de l'ulna. L'hypothèse qui a été formulée par cette équipe était qu'un ulna relativement intact, exerce des forces statiques et dynamiques qui influent négativement sur la fracture du radius aboutissant à son déplacement.

La régression multivariée de leur série a retenu comme facteurs prédictifs : l'âge, le niveau de fracture du radius et l'angle de fracture de l'ulna [25].

Monga et al, dans une revue rétrospective de 114 fractures des deux os de l'avant-bras ont noté qu'une translation sur l'une des deux incidences sur les radiographies initiales du traumatisme et le chevauchement ont été hautement prédicteurs de déplacement secondaire. À la régression logistique, seule une translation sagittale est un facteur prédictif de reprise de réduction [244]. Les autres facteurs ont été éliminés à la régression parce qu'ils n'étaient pas totalement indépendants les uns des autres et chaque facteur était insuffisant à lui seul d'être prédicteur de reprise de réduction. C'est le cas dans notre étude pour le type et le siège proximal du trait du radius, le sommet ulnaire de l'angulation du radius et le type du trait et le chevauchement de l'ulna.

Kutsikovich et al, n'ont pas eu de différence significative pour le sexe, ni pour le Cast index. Les facteurs prédicteurs de répétition de réduction ont été l'âge supérieur à 9 ans, une fracture complète du radius, une translation de l'un des deux os dans un des deux plans [245].

Yang et al, ont démontré qu'une fracture complète de l'un des deux os avec une angulation résiduelle de plus de 10° et une translation supérieure à 30 % sont associées à une perte de réduction [216].

Franklin et al, ont trouvé que les facteurs prédictifs étaient une angulation plus importante dans le plan frontal de l'un ou des deux os, une localisation proximale du trait ulnaire; une translation ou un chevauchement plus important du radius. Le facteur le plus important était l'âge supérieur à 10 ans [39].

16.CONCLUSION

CONCLUSION

Les fractures diaphysaires des deux os de l'avant-bras de l'enfant et de l'adolescent constituent un motif fréquent de consultation en traumatologie pédiatrique .

Nous avons pu à travers cette étude chez 215 patients avoir une idée sur l'épidémiologie des Fractures diaphysaires de l'avant-bras de l'enfant et de l'adolescent dans notre CHU .

Nos données épidémiologiques sont similaires à celles de la littérature en matière de sexe et d'âge de survenue avec deux pics de fréquence entre 5 et 7 ans et entre 10 et 12 ans. Les circonstances de survenue ne sont pas totalement superposables à celles retrouvées dans les séries européennes et américaines. Incontestablement, les chutes banales constituent le mécanisme le plus fréquent. les fractures survenues suite à des activités sportives ne constituent qu'une faible proportion.

Si le diagnostic de ces fractures est facile devant un tableau clinique évident et un bilan radiologique standard, la prise en charge de ces fractures n'est pas aussi évidente.

L'analyse radiologique doit être bien faite. La recherche du signe de croisement du radius « radius crossover signe » permet de dépister les troubles rotatoires résiduels des fractures du tiers proximal du radius.

Les fractures en bois vert représentent le type de trait le plus retrouvé. Elles ont une fausse réputation de bénignité. Elles sont responsables de beaucoup de déplacements secondaires et exposent au risque de fractures itératives par insuffisance de consolidation du côté convexe de la fracture.

Le traitement non opératoire est le traitement de choix. Son application est facile, cependant il nécessite une surveillance rigoureuse car le risque de déplacement secondaire est important.

Les critères de déplacements résiduels tolérables sont : les angulations qui ne dépassent pas 10°, 15° et 20° pour respectivement les fractures diaphysaires du 1/3 proximal, 1/3 moyen et 1/3 distal chez les filles dont l'âge est inférieur à 8 ans et les garçons dont l'âge est inférieur à 10 ans. Les angulations qui ne dépassent pas 10° pour tous les niveaux diaphysaires chez la fille âgée plus de 8 ans et le garçon âgé de plus de 10 ans.

Une translation complète et un chevauchement inférieur à 1cm sont acceptés

La rotation jusqu'à 45° chez les enfants dont l'âge est inférieur à 8 ans et jusqu'à 30° chez les enfants dont l'âge est égal ou supérieur à 8 ans quelque soit le sexe.

L'appréciation des troubles rotatoires est souvent difficile car elle nécessite un amplificateur de brillance pour contrôler la position de la tubérosité bicipitale et de la styloïde radiale. Les troubles rotatoires étaient parmi les causes d'échec de la réduction par manque d'amplificateur de brillance au service des urgences.

L'acquisition d'un amplificateur de brillance aux services des urgences est indispensable pour diminuer les risques d'échec et éviter ainsi à ces enfants et adolescents une deuxième anesthésie.

L'immobilisation par un plâtre brachio-antébrachiopalmaire est la règle avec un coude en position de flexion. La position d'immobilisation de l'avant-bras reste controversée dans la littérature. Nous avons pu à travers notre étude démontrer que l'immobilisation en position neutre n'est pas toujours la position idéale et que les fractures du tiers

proximal doivent être immobilisées en position de supination. La recherche du signe de croisement du radius « radius crossover signe » est une aide précieuse pour déceler les déplacements secondaires des fractures qui siègent sur le tiers proximal et à la jonction tiers proximal /tiers moyen.

L'application du plâtre doit se faire sur un jersey en double ou triple couche, le rembourrage doit être fin pour ne pas créer une chambre de déplacement. Le moulage doit être bien fait surtout dans le sens antéropostérieur en essayant d'ouvrir au maximum l'espace interosseux.

L'utilisation du Cast index , Padding index et du Canterbury index a rendu l'évaluation de la qualité du plâtre plus objective. Ces indices sont radiographie-dépendants. Le Cast index est le seul indice mesurable dans toutes les positions du plâtre. Le Padding index et par conséquent le Canterbury index ne peuvent être mesurés si le plâtre est en position de supination.

Les fractures qui siègent sur le tiers proximal et la jonction tiers proximal/tiers moyen doivent être immobilisées en position de supination. Le reste des fractures doivent être immobilisées en position neutre.

Le déplacement secondaire doit être recherché à un rythme régulier durant les deux à trois premières semaines.

La durée d'immobilisation doit être longue. Elle est variable en fonction de l'âge l'enfant. Elle est de 8 semaines si l'âge est inférieur à 6ans, 10 semaines si l'âge est entre 6 et 10 ans et 12 semaines pour un âge supérieur à 10 ans.

Une durée d'immobilisation courte peut être une source de fracture itérative.

La perturbation des amplitudes de la pronosupination constitue une complication fréquente surtout dans les fractures du 1/3 proximal.

Nous avons pu démontrer à travers notre étude que les éléments prédictifs d'échec du traitement orthopédique dans notre contexte étaient l'âge et le chevauchement de la fracture du radius.

les autres éléments sensibles étaient le type et le siège du trait du radius , la translation de la fracture du radius, le type du trait de l'ulna , la translation et le chevauchement de la fracture de l'ulna.

Tenant compte de ces facteurs prédictifs, la prise en charge des fractures des deux os de l'avant-bras de l'enfant et de l'adolescent dans notre contexte peut être améliorée par la mise en place de conditions appropriées au niveau du service des urgences chirurgicales : disponibilité d'un amplificateur de brillance et de matériel d'ostéosynthèse (clous de Metaizeau et broches de Kirchner). La décision du choix thérapeutique, orthopédique ou ECMES, se fera au cas par cas en fonction de ces critères. En absence de ces conditions idoines, la présence des facteurs prédictifs d'échec doit faire préférer une prise en charge d'emblée au bloc du service de chirurgie orthopédique par un ECMES de principe plutôt que de risquer un déplacement secondaire avec une reprise secondaire 8 à 14 jours et plus parfois. Cela évitera aussi l'irradiation (Radiographies de contrôle) et raccourcira l'éviction scolaire.

À l'issue de ce travail plusieurs perspectives sont envisagées

- ◆ Faire une étude comparative des doses de rayonnement ionisant reçues par ces enfants en fonction du type de traitement choisi. En effet si le traitement

orthopédique impose des radiographies de contrôles répétées, le traitement chirurgical par ECMES se fait à l'aide d'un amplificateur de brillance.

- ◆ Déterminer la prévalence de l'insuffisance en 25-hydroxyvitamin D chez les enfants présentant une fracture de l'avant-bras et son rôle dans la survenue de ces fractures. Un projet de recherche PRFU est en cours de réalisation.
- ◆ Étude inter observateur sur la reproductibilité des mesures des indices de plâtre (Cast index, Padding index et Canterbury index) en vue de la généralisation de leur utilisation en pratique quotidienne.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1. Landin LA. Fracture patterns in children. Analysis of 8,682 fractures with special reference to incidence, etiology and secular changes in a Swedish urban population 1950-1979. *Acta Orthop Scand Suppl.* 1983;202:1-109.
2. Thomas EM, Tuson KWR, Browne PSH. Fractures of the radius and ulna in children. *Injury.* nov 1975;7(2):120-4.
3. Ryan LM. Forearm fractures in children and bone health: *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes.* déc 2010;17(6):530-4.
4. Cheng JCY, Shen WY. Limb Fracture Pattern in Different Pediatric Age Groups: A Study of 3,350 Children. *J Orthop Trauma.* févr 1993;7(1):15-22.
5. Haddad FS, Williams RL. Forearm fractures in children: avoiding redisplacement. *Injury.* déc 1995;26(10):691-2.
6. Garg NK, Ballal MS, Malek IA, Webster RA, Bruce CE. Use of Elastic Stable Intramedullary Nailing for Treating Unstable Forearm Fractures in Children: *J Trauma Inj Infect Crit Care.* juill 2008;65(1):109-15.
7. Landin LA. Epidemiology of Children's Fractures: *J Pediatr Orthop B.* avr 1997;6(2):79-83.
8. Högström H, Nilsson BE, Willner S. Correction with Growth Following Diaphyseal Forearm Fracture. *Acta Orthop Scand.* janv 1976;47(3):299-303.
9. Nilsson BE, Obrant K. The Range of Motion Following Fracture of the Shaft of the Forearm in Children. *Acta Orthop Scand.* janv 1977;48(6):600-2.
10. Sarmiento A, Ebramzadeh E, Brys D, Tarr R. Angular deformities and forearm function. *J Orthop Res.* janv 1992;10(1):121-33.
11. Bouchet A, Cuilleret J. Anatomie topographique, descriptive et fonctionnelle 3, 3,. 2009.
12. Soubeyrand M, Wassermann V, Hirsch C, Oberlin C, Gagey O, Dumontier C. The middle radioulnar joint and triarticular forearm complex. *J Hand Surg Eur Vol.* juill 2011;36(6):447-54.
13. LaStayo PC, Lee MJ. The Forearm Complex: Anatomy, Biomechanics and Clinical Considerations. *J Hand Ther.* avr 2006;19(2):137-45.
14. Colaris J, Reijman M, Allema JH, de Vries M, Biter U, Bloem R, van de Ven C, Verhaar J. Angular malalignment as cause of limitation of forearm rotation: An analysis of prospectively collected data of both-bone forearm fractures in children. *Injury.* juin 2014;45(6):955-9.

15. Franklin CC, Robinson J, Noonan K, Flynn JM. Evidence-based Medicine: Management of Pediatric Forearm Fractures. *J Pediatr Orthop*. sept 2012;32:S131-4.
16. Kumar Chaurasia A, Kumar Verma P. Elastic intramedullary nailing in paediatric diaphyseal forearm fractures. *J Evol Med Dent Sci*. 11 mars 2016;5(21):1075-9.
17. Truntzer J, Vopat ML, Kane PM, Christino MA, Katarincic J, Vopat BG. Forearm diaphyseal fractures in the adolescent population: treatment and management. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. févr 2015;25(2):201-9.
18. Herman MJ, Marshall ST. Forearm Fractures in Children and Adolescents: A Practical Approach. *Hand Clin*. févr 2006;22(1):55-67.
19. Wilkins KE. Nonoperative management of pediatric upper extremity fractures or 'Don't throw away the cast'. *Tech Orthop*. 2005;20(2):115-41.
20. Altay M, Aktekin CN, Ozkurt B, Birinci B, Ozturk AM, Tabak AY. Intramedullary wire fixation for unstable forearm fractures in children. *Injury*. oct 2006;37(10):966-73.
21. Creasman C, Zaleske DJ, Ehrlich MG. Analyzing forearm fractures in children. The more subtle signs of impending problems. *Clin Orthop*. sept 1984;(188):40-53.
22. Sinikumpu J-J, Victorzon S, Antila E, Pokka T, Serlo W. Nonoperatively treated forearm shaft fractures in children show good long-term recovery: A population-based matched case-control study with mean 11 years of follow-up. *Acta Orthop*. déc 2014;85(6):620-5.
23. Mehlman CT, Wall B. Diaphyseal radius and ulna fractures. In: Flynn JM, Skaggs DL, Waters PM, éditeurs. *Rockwood & Wilkins' fractures in children*. Eighth edition. Philadelphia: Wolters Kluwer Health; 2015. p. 1-18.
24. Price CT. Acceptable Alignment of Forearm Fractures in Children: Open Reduction Indications: *J Pediatr Orthop*. mars 2010;30:S82-4.
25. Bowman EN, Mehlman CT, Lindsell CJ, Tamai J. Nonoperative Treatment of Both-bone Forearm Shaft Fractures in Children: Predictors of Early Radiographic Failure. *J Pediatr Orthop*. 2011;31(1):23-32.
26. Lascombes P. Fracture des deux os de l'avant-bras chez l'enfant et l'adolescent. In: *Conférences d'enseignement 2008*. Elsevier; 2008. p. 255-71.
27. Sinikumpu J-J, Serlo W. The shaft fractures of the radius and ulna in children: current concepts. *J Pediatr Orthop B*. mai 2015;24(3):200-6.
28. Yalcinkaya M. Clinical results of intramedullary nailing following closed or mini open reduction in pediatric unstable diaphyseal forearm fractures. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2010;44(1):7-13.

29. Zions LE, Zalavras CG, Gerhardt MB. Closed Treatment of Displaced Diaphyseal Both-Bone Forearm Fractures in Older Children and Adolescents: *J Pediatr Orthop.* juill 2005;25(4):507-12.
30. Du S, Feng Y, Huang Y, Guo X, Xia D. Comparison of Pediatric Forearm Fracture Fixation Between Single- and Double-Elastic Stable Intramedullary Nailing: *Am J Ther.* 2016;23(3):e730-6.
31. Kang S-N, Mangwani J, Ramachandran M, Paterson JMH, Barry M. Elastic intramedullary nailing of paediatric fractures of the forearm: a decade of experience in a teaching hospital in the united Kingdom. *J Bone Joint Surg Br.* févr 2011;93-B(2):262-5.
32. Lascombes P, Haumont T. Both-Bone Forearm Fracture. In: *Flexible Intramedullary Nailing in Children.* Springer; 2010. p. 159-85.
33. Kapoor V, Theruvil B, Edwards SE, Taylor GR, Clarke NMP, Uglow MG. Flexible intramedullary nailing of displaced diaphyseal forearm fractures in children. *Injury.* oct 2005;36(10):1221-5.
34. Voto SJ, Weiner DS, Leighley B. Redisplacement after closed reduction of forearm fractures in children. *J Pediatr Orthop.* févr 1990;10(1):79-84.
35. Kay S, Smith C, Oppenheim WL. Both-Bone Midshaft Forearm Fractures in Children: *J Pediatr Orthop.* mai 1986;6(3):306-10.
36. Davis DR, Green DP. Forearm fractures in children: pitfalls and complications. *Clin Orthop.* oct 1976;(120):172-83.
37. Basavarajanna DrS, Pv DrSK. Study of cast index in middle third fractures of both bones of forearm in children. *Int J Orthop Sci.* 1 juill 2017;3(3j):673-6.
38. Bhatia M, Housden PH. Redisplacement of paediatric forearm fractures: Role of plaster moulding and padding. *Injury.* mars 2006;37(3):259-68.
39. Franklin CC, Wren T, Ferkel E, Arkader A. Predictors of conversion from conservative to operative treatment of pediatric forearm fractures: *J Pediatr Orthop B.* mars 2014;23(2):150-4.
40. Ploegmakers JJW, Verheyen CCPM. Acceptance of angulation in the non-operative treatment of paediatric forearm fractures: *J Pediatr Orthop B.* nov 2006;15(6):428-32.
41. Perrin J, Geoffroy-Siraudin C, Metzler-Guillemain C. La main : embryologie et principaux mécanismes malformatifs. *Chir Main.* déc 2008;27:S2-6.
42. Herrera CG-A, Tonkin MA, Oberg KC. Embryology and classification of congenital upper limb anomalies. In: *Congenital Anomalies of the Upper Extremity.* Springer; 2015. p. 3-25.

43. Sadler TW, Langman J. Langman's medical embryology. 12th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2012. 384 p.
44. Kamina P. Anatomie clinique: Tome 1, Anatomie générale, membres. Paris: Maloine; 2009.
45. Carlson BM. Human embryology and developmental biology. 5th ed. Philadelphia, PA: Elsevier/Saunders; 2014. 506 p.
46. Abzug JM, Kozin SH, Zlotolow DA, éditeurs. The Pediatric Upper Extremity. New York, NY: Springer New York; 2015.
47. Frick SL. Skeletal Growth, Development, and Healing as Related to Pediatric Trauma. In: Green's Skeletal Trauma in Children. Elsevier; 2015. p. 1-15.
48. Kahle W, Frotscher M. Color atlas and textbook of human anatomy. 5th rev. and enlarged ed. Stuttgart ; New York: Thieme; 2002. 1 p. (Thieme flexibooks).
49. Iannotti JP, Parker R. The Netter Collection of Medical Illustrations: Musculoskeletal System, Volume 6, Part I-Upper Limb. Elsevier Health Sciences; 2012.
50. Soubeyrand M, Lafont C, De Georges R, Dumontier C. Pathologie traumatique de la membrane interosseuse de l'avant-bras. Chir Main. déc 2007;26(6):255-77.
51. Wright TW. Interosseous membrane of the forearm. J Am Soc Surg Hand. mai 2001;1(2):123-34.
52. Skahen JR, Palmer AK, Werner FW, Fortino MD. The interosseous membrane of the forearm: Anatomy and function. J Hand Surg. nov 1997;22(6):981-5.
53. Chandler JW, Stabile KJ, Pfaeffle HJ, Li Z-M, Woo SL-Y, Tomaino MM. Anatomic parameters for planning of interosseous ligament reconstruction using computer-assisted techniques. J Hand Surg. janv 2003;28(1):111-6.
54. Pfaeffle HJ, Tomaino MM, Grewal R, Xu J, Boardman ND, Woo SL-Y, Herndon JH. Tensile properties of the interosseous membrane of the human forearm. J Orthop Res. sept 1996;14(5):842-5.
55. Hollister AM, Gellman H, Waters RL. The relationship of the interosseous membrane to the axis of rotation of the forearm. Clin Orthop. janv 1994;(298):272-6.
56. Fitoussi F, Alves A, Bachy M. Fractures diaphysaires de l'avant-bras chez l'enfant. EMC Appar Locomoteur. 2019;14(4):1-12 [Article 14-045-A-10].
57. Soubeyrand M, Assabah B, Bégin M, Laemmel E, Dos Santos A, Crézé M. Pronation and supination of the hand: Anatomy and biomechanics. Hand Surg Rehabil. févr 2017;36(1):2-11.

58. Kapandji IA. Physiologie articulaire: schémas commentés de mécanique humaine. Paris: Maloine; 2005.
59. Kapandji A. Le cadre radio-ulnaire. Son importance fonctionnelle dans les fractures des deux os de l'avant-bras. *Ann Chir Main Memb Supér.* janv 1998;17(4):348-61.
60. Soong C, Rocke LG. Clinical predictors of forearm fracture in children. *Emerg Med J.* 1 sept 1990;7(3):196-9.
61. Soucie JM, Wang C, Forsyth A, Funk S, Denny M, Roach KE, Boone D, The hemophilia treatment center. Range of motion measurements: reference values and a database for comparison studies: NORMAL JOINT RANGE OF MOTION. *Haemophilia.* mai 2011;17(3):500-7.
62. Birkbeck DP, Failla JM, Hoshaw SJ, Fyhrie DP, Schaffler M. The interosseous membrane affects load distribution in the forearm. *J Hand Surg.* nov 1997;22(6):975-80.
63. Palmer AK, Werner FW. Biomechanics of the Distal Radioulnar Joint: *Clin Orthop.* juill 1984;NA;(187):26-35.
64. Meyrueis J-P, Cazenave A. Consolidation des fractures. EMC-Rhumatol-Orthopédie. 2004;1(2):138-62.
65. Mora R, Pedrotti L, Tuvo G. Diaphyseal Fracture Repair. In: Mora R, éditeur. *Nonunion of the Long Bones.* Milan: Springer-Verlag; 2006. p. 3-13.
66. Morshed S, Ding A. Fracture Healing. In: Agarwal A, éditeur. *Nonunions.* Boston, MA: Springer US; 2018. p. 45-74.
67. McKibbin B. The biology of fracture healing in long bones. *J Bone Joint Surg Br.* mai 1978;60-B(2):150-62.
68. Marsell R, Einhorn TA. The biology of fracture healing. *Injury.* juin 2011;42(6):551-5.
69. Einhorn TA. The Cell and Molecular Biology of Fracture Healing: *Clin Orthop.* oct 1998;355S:S7-21.
70. Gerstenfeld LC, Alkhiary YM, Krall EA, Nicholls FH, Stapleton SN, Fitch JL, Bauer M, Kayal R, Graves DT, Jepsen KJ, Einhorn TA. Three-dimensional Reconstruction of Fracture Callus Morphogenesis. *J Histochem Cytochem.* nov 2006;54(11):1215-28.
71. Perren SM. Evolution of the internal fixation of long bone fractures. The scientific basis of biological internal fixation: choosing a new balance between stability and biology. *J Bone Joint Surg Br.* nov 2002;84-B(8):1093-110.

72. Pape H-C, Giannoudis PV, Grimme K, van Griensven M, Krettek C. Effects of intramedullary femoral fracture fixation: what is the impact of experimental studies in regards to the clinical knowledge? *Shock*. oct 2002;18(4):291-300.
73. Hannouche D. Consolidation osseuse: Fracture healing. In: *Conférences d'enseignement 2008*. Elsevier; 2008. p. 321-33.
74. Rolland E, Saillant G. La consolidation osseuse normale et pathologique. *Ann Réadapt Médecine Phys*. janv 1995;38(5):245-51.
75. Oe K, Miwa M, Sakai Y, Lee SY, Kuroda R, Kurosaka M. An in vitro study demonstrating that haematomas found at the site of human fractures contain progenitor cells with multilineage capacity. *J Bone Joint Surg Br*. janv 2007;89-B(1):133-8.
76. Tsiridis E, Upadhyay N, Giannoudis P. Molecular aspects of fracture healing: Which are the important molecules? *Injury*. mars 2007;38(1):S11-25.
77. Mizuno K, Mineo K, Tachibana T, Sumi M, Matsubara T, Hirohata K. The osteogenic potential of fracture haematoma. Subperiosteal and intramuscular transplantation of the haematoma. *J Bone Joint Surg Br*. sept 1990;72(5):822-9.
78. Bielby R, Jones E, McGonagle D. The role of mesenchymal stem cells in maintenance and repair of bone. *Injury*. mars 2007;38(1):S26-32.
79. Malizos KN, Papatheodorou LK. The healing potential of the periosteum. *Injury*. nov 2005;36(3):S13-9.
80. Pape H-C, Marcucio R, Humphrey C, Colnot C, Knobe M, Harvey EJ. Trauma-Induced Inflammation and Fracture Healing: *J Orthop Trauma*. sept 2010;24(9):522-5.
81. Yang X, Ricciardi BF, Hernandez-Soria A, Shi Y, Pleshko Camacho N, Bostrom MPG. Callus mineralization and maturation are delayed during fracture healing in interleukin-6 knockout mice. *Bone*. déc 2007;41(6):928-36.
82. Glass GE, Chan JK, Freidin A, Feldmann M, Horwood NJ, Nanchahal J. TNF- promotes fracture repair by augmenting the recruitment and differentiation of muscle-derived stromal cells. *Proc Natl Acad Sci*. 25 janv 2011;108(4):1585-90.
83. Lehmann W, Edgar CM, Wang K, Cho T-J, Barnes GL, Kakar S, Graves DT, Rueger JM, Gerstenfeld LC, Einhorn TA. Tumor necrosis factor alpha (TNF- α) coordinately regulates the expression of specific matrix metalloproteinases (MMPS) and angiogenic factors during fracture healing. *Bone*. févr 2005;36(2):300-10.

84. Gerstenfeld L, Cho T-J, Kon T, Aizawa T, Tsay A, Fitch J, Barnes G, Graves D, Einhorn T. Impaired Fracture Healing in the Absence of TNF- α Signaling: The Role of TNF- α in Endochondral Cartilage Resorption. *J Bone Miner Res.* 1 sept 2003;18(9):1584-92.
85. Kitaori T, Ito H, Schwarz EM, Tsutsumi R, Yoshitomi H, Oishi S, Nakano M, Fujii N, Nagasawa T, Nakamura T. Stromal cell-derived factor 1/CXCR4 signaling is critical for the recruitment of mesenchymal stem cells to the fracture site during skeletal repair in a mouse model. *Arthritis Rheum.* mars 2009;60(3):813-23.
86. Shapiro F. Bone development and its relation to fracture repair. The role of mesenchymal osteoblasts and surface osteoblasts. *Eur Cell Mater.* 1 avr 2008;15:53-76.
87. Behonick DJ, Xing Z, Lieu S, Buckley JM, Lotz JC, Marcucio RS, Werb Z, Miclau T, Colnot C. Role of Matrix Metalloproteinase 13 in Both Endochondral and Intramembranous Ossification during Skeletal Regeneration. Steinhardt R, éditeur. *PLoS ONE.* 7 nov 2007;2(11):e1150.
88. Schindeler A, McDonald MM, Bokko P, Little DG. Bone remodeling during fracture repair: The cellular picture. *Semin Cell Dev Biol.* oct 2008;19(5):459-66.
89. Frost HM. The biology of fracture healing. An overview for clinicians. Part I. *Clin Orthop.* nov 1989;(248):283-93.
90. Wang J. Spatial Orientation of the Microscopic Elements of Cortical Repair Bone: *Clin Orthop.* mai 2000;374:265-77.
91. Soprano JV. Musculoskeletal injuries in the pediatric and adolescent athlete. *Curr Sports Med Rep.* déc 2005;4(6):329-34.
92. Wilkins KE. The uniqueness of the young athlete: musculoskeletal injuries. *Am J Sports Med.* sept 1980;8(5):377-82.
93. Wilkins KE. Principles of fracture remodeling in children. *Injury.* févr 2005;36(1):S3-11.
94. Johari AN, Sinha M. Remodeling of forearm fractures in children. *J Pediatr Orthop Part B.* avr 1999;8(2):84-7.
95. Vittas D, Larsen E, Torp-Pedersen S. Angular remodeling of midshaft forearm fractures in children. *Clin Orthop.* avr 1991;(265):261-4.
96. Lascombes P, Haumont T, Journeau P. Use and Abuse of Flexible Intramedullary Nailing in Children and Adolescents: *J Pediatr Orthop.* nov 2006;26(6):827-34.
97. Waters PM, Skaggs DL, Flynn JM, Court-Brown CM, éditeurs. The Injured Immature Skeleton. In: Rockwood and Wilkins' fractures in children. Ninth edition. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2020.

98. Tredwell SJ, Peteghem VK, Clough M. Pattern of Forearm Fractures in Children: J Pediatr Orthop. sept 1984;4(5):604-8.
99. Mokawem M, Scott B. Children's forearm fractures. Orthop Trauma. févr 2015;29(1):57-68.
100. Davidson AW. Rock-paper-scissors. Injury. janv 2003;34(1):61-3.
101. Kucukkaya M, Kabukcuoglu Y, Tezer M, Eren T, Kuzgun U. The Application of Open Intramedullary Fixation in the Treatment of Pediatric Radial and Ulnar Shaft Fractures: J Orthop Trauma. mai 2002;16(5):340-4.
102. Bär HF, Breitfuss H. Analysis of angular deformities on radiographs. J Bone Joint Surg Br. août 1989;71(4):710-1.
103. Mervyn EE. Fractures of the radius and ulna. J Bone Joint Surg Br. 1951;33-B(4):548-61.
104. Richard MJ, Ruch DS, Aldridge JM. Malunions and Nonunions of the Forearm. Hand Clin. mai 2007;23(2):235-43.
105. Colaris JW, Oei S, Reijman M, Holscher H, Allema JH, Verhaar JAN. Three-dimensional imaging of children with severe limitation of pronation/supination after a both-bone forearm fracture. Arch Orthop Trauma Surg. mars 2014;134(3):333-41.
106. Fracture and dislocation compendium. Orthopaedic Trauma Association Committee for Coding and Classification. J Orthop Trauma. 1996;10 Suppl 1:v-ix, 1-154.
107. Slongo T, Audigé L, Lutz N, Frick S, Schmittenebecher P, Hunter J, Clavert J-M. Documentation of fracture severity with the AO classification of pediatric long-bone fractures. Acta Orthop. janv 2007;78(2):247-53.
108. Slongo T, Audigé L, Schlickewei W, Clavert J-M, Hunter J, International Association for Pediatric Traumatology. Development and validation of the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures by the Pediatric Expert Group of the AO Foundation in collaboration with AO Clinical Investigation and Documentation and the International Association for Pediatric Traumatology. J Pediatr Orthop. févr 2006;26(1):43-9.
109. Audigé L, Slongo T, Lutz N, Blumenthal A, Joeris A. The AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF): Part III: Multifragmentary long bone fractures in children—a retrospective analysis of 2,716 patients from 2 tertiary pediatric hospitals in Switzerland. Acta Orthop. 4 mars 2017;88(2):133-9.
110. Joeris A, Lutz N, Blumenthal A, Slongo T, Audigé L. The AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF): Part I: Location and morphology of 2,292 upper extremity fractures in children and adolescents. Acta Orthop. 4 mars 2017;88(2):123-8.

111. Joeris A, Lutz N, Blumenthal A, Slongo T, Audigé L. The AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF): Part II: Location and morphology of 548 lower extremity fractures in children and adolescents. *Acta Orthop.* 4 mars 2017;88(2):129-32.
112. AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF): *J Orthop Trauma.* janv 2018;32:S117-40.
113. Mehlman CT. Forearm, wrist, and hand trauma: pediatrics. In: *American Academy of Orthopaedic Surgeons, éditeur. OKU 9: Orthopaedic Knowledge Update. American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2008. p. 669-80.*
114. Rodríguez-Merchán EC. Pediatric fractures of the forearm. *Clin Orthop.* mars 2005;(432):65-72.
115. Madhuri V, Dutt V, Gahukamble AD, Tharyan P. Conservative interventions for treating diaphyseal fractures of the forearm bones in children. *Cochrane Bone, Joint and Muscle Trauma Group, éditeur. Cochrane Database Syst Rev.* 30 avr 2013.
116. Price CT, Scott DS, Kurzner ME, Flynn JC. Malunited forearm fractures in children. *J Pediatr Orthop.* déc 1990;10(6):705-12.
117. VanderBeek BL, Mehlman CT, Foad SL, Wall EJ, Crawford AH. The Use of Conscious Sedation for Pain Control During Forearm Fracture Reduction In Children: Does Race Matter? *J Pediatr Orthop.* janv 2006;26(1):53-7.
118. Davidson AJ, Eyres RL, Cole WG. A comparison of prilocaine and lidocaine for intravenous regional anaesthesia for forearm fracture reduction in children. *Pediatr Anesth.* févr 2002;12(2):146-50.
119. Juliano PJ, Mazur JM, Cummings RJ, McCluskey WP. Low-dose lidocaine intravenous regional anesthesia for forearm fractures in children. *J Pediatr Orthop.* oct 1992;12(5):633-5.
120. Evans JK, Buckley SL, Alexander AH, Gilpin AT. Analgesia for the Reduction of Fractures in Children: A Comparison of Nitrous Oxide with Intramuscular Sedation. *J Pediatr Orthop.* janv 1995;15(1):73-7.
121. Vander Have KL, Kozin SH. Shoulder sequelae in children with brachial plexus palsy. In: *Practical Management of Pediatric and Adult Brachial Plexus Palsies. Elsevier; 2012. p. 103-13.*
122. Verma RN, Hasnain S, Sreevastava DK, Murthy TVSP. Anaesthetic management of forearm fractures using a combination of haematoma block and intravenous regional anaesthesia. *Med J Armed Forces India.* juill 2016;72(3):247-52.

123. McKenna P, Leonard M, Connolly P, Boran S, McCormack D. A Comparison of Pediatric Forearm Fracture Reduction Between Conscious Sedation and General Anesthesia: *J Orthop Trauma*. sept 2012;26(9):550-5.
124. Godambe SA, Elliot V, Matheny D, Pershad J. Comparison of Propofol/Fentanyl Versus Ketamine/Midazolam for Brief Orthopedic Procedural Sedation in a Pediatric Emergency Department. *PEDIATRICS*. 1 juill 2003;112(1):116-23.
125. Jordan RW, Aquilina A, Westacott DJ, Cooke S. A comparison of ketamine sedation and general anaesthesia for manipulation of paediatric forearm fractures. *Acta Orthop Belg*. déc 2016;82(4):836-42.
126. Kennedy RM, Porter FL, Miller JP, Jaffe DM. Comparison of Fentanyl/Midazolam With Ketamine/Midazolam for Pediatric Orthopedic Emergencies. *Pediatrics*. 1 oct 1998;102(4):956-63.
127. Wiik AV, Patel P, Bovis J, Cowper A, Pastides PS, Hulme A, Evans S, Stewart C. Use of ketamine sedation for the management of displaced paediatric forearm fractures. *World J Orthop*. 18 mars 2018;9(3):50-7.
128. Sanders W, Heckman J. Traumatic Plastic Deformation of the Radius and Ulna: A Closed Method of Correction of Deformity. *Clin Orthop*. sept 1984;NA;(188):58??67.
129. Noonan KJ, Price CT. Forearm and Distal Radius Fractures in Children: *J Am Acad Orthop Surg*. mai 1998;6(3):146-56.
130. Evans EM. Fractures of the radius and ulna. *J Bone Joint Surg Br*. nov 1951;33-B(4):548-61.
131. Rang M, Stearns P, Chambers H. Radius and Ulna. In: Rang's children's fractures. third edition. Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p. 135-50.
132. Babazadeh S, Mason TG, Petterwood J, Taylor SW, Chapman N, Fettke GR. Extension Casting For Both-Bone Forearm Fractures In Children. *Acta Orthop Belg*. sept 2017;83(3):445-8.
133. Walker JL, Rang M. Forearm fractures in children. Cast treatment with the elbow extended. *J Bone Joint Surg Br*. mars 1991;73(2):299-301.
134. Bochang C, Jie Y, Zhigang W, Weigl D, Bar-On E, Katz K. Immobilisation of forearm fractures in children: EXTENDED VERSUS FLEXED ELBOW. *J Bone Joint Surg Br*. juill 2005;87-B(7):994-6.
135. Bowker P, Powell ES. A clinical evaluation of plaster-of-Paris and eight synthetic fracture splinting materials. *Injury*. 1992;23(1):13-20.
136. Singh S, Bhatia M, Housden P. Cast and padding indices used for clinical decision making in forearm fractures in children. *Acta Orthop*. janv 2008;79(3):386-9.

137. Asadollahi S, Pourali M, Heidari K. Predictive factors for re-displacement in diaphyseal forearm fractures in children—role of radiographic indices. *Acta Orthop*. 2 janv 2017;88(1):101-8.
138. Pretell Mazzini J, Rodriguez Martin J. Paediatric forearm and distal radius fractures: risk factors and re-displacement—role of casting indices. *Int Orthop*. mars 2010;34(3):407-12.
139. Basson H, Vermaak SS, Visser HF, Rheeder P. Canterbury index: an accurate predictor of fracture redisplacement? *SA Orthop J*. 2011;10:39-47.
140. Lascombes P, Prevot J, Ligier JN, Metaizeau JP, Poncelet T. Elastic stable intramedullary nailing in forearm shaft fractures in children: 85 cases. *J Pediatr Orthop*. avr 1990;10(2):167-71.
141. Lee S, Nicol RO, Stott NS. Intramedullary Fixation for Pediatric Unstable Forearm Fractures: *Clin Orthop*. sept 2002;402:245-50.
142. Westacott DJ, Jordan RW, Cooke SJ. Functional outcome following intramedullary nailing or plate and screw fixation of paediatric diaphyseal forearm fractures: a systematic review. *J Child Orthop*. mars 2012;6(1):75-80.
143. Reinhardt KR, Feldman DS, Green DW, Sala DA, Widmann RF, Scher DM. Comparison of Intramedullary Nailing to Plating for Both-Bone Forearm Fractures in Older Children: *J Pediatr Orthop*. juin 2008;28(4):403-9.
144. Amit Y, Salai M, Chechik A, Blankstein A, Horoszowski H. Closing Intramedullary Nailing for the Treatment of Diaphyseal Forearm Fractures in Adolescence: A Preliminary Report. *J Pediatr Orthop*. mars 1985;5(2):143-6.
145. Qidwai SA. Treatment of Diaphyseal Forearm Fractures in Children by Intramedullary Kirschner Wires: *J Trauma Inj Infect Crit Care*. févr 2001;50(2):303-7.
146. Aslan M, Lascombes P, Popkov D, Journeau P. Embrochage centromédullaire élastique stable. *EMC - Tech Chir - Orthopédie-Traumatol*. 2016;8(2):1-13.
147. Dietz JF, Bae DS, Reiff E, Zurakowski D, Waters PM. Single Bone Intramedullary Fixation of the Ulna in Pediatric Both Bone Forearm Fractures: Analysis of Short-term Clinical and Radiographic Results: *J Pediatr Orthop*. juill 2010;30(5):420-4.
148. Houshian S, Bajaj SK. Forearm fractures in children Single bone fixation with elastic stable intramedullary nailing in 20 cases. *Injury*. déc 2005;36(12):1421-6.
149. Teoh KH, Chee Y-H, Shortt N, Wilkinson G, Porter DE. An age- and sex-matched comparative study on both-bone diaphyseal paediatric forearm fracture. *J Child Orthop*. oct 2009;3(5):367-73.

150. Weiss JM, Mencio GA. Forearm Shaft Fractures: Does Fixation Improve Outcomes? *J Pediatr Orthop.* juin 2012;32:S22-4.
151. Fernandez FF, Eberhardt O, Langendörfer M, Wirth T. Nonunion of forearm shaft fractures in children after intramedullary nailing: *J Pediatr Orthop B.* nov 2009;18(6):289-95.
152. Goodwin RC, Kuivila TE. Pediatric elbow and forearm fractures requiring surgical treatment. *Hand Clin.* févr 2002;18(1):135-48.
153. Furlan D, Pogorelić Z, Biočić M, Jurić I, Budimir D, Todorčić J, Šušnjar T, Todorčić D, Meštrović J, Milunović KP. Elastic Stable Intramedullary Nailing for Pediatric Long Bone Fractures: Experience with 175 Fractures. *Scand J Surg.* sept 2011;100(3):208-15.
154. Mittal R, Hafez MA, Templeton PA. 'Failure' of forearm intramedullary elastic nails. *Injury.* déc 2004;35(12):1319-21.
155. Schmittenbecher PP. State-of-the-art treatment of forearm shaft fractures. *Injury.* févr 2005;36(1):S25-34.
156. Makki D, Matar HE, Webb M, Wright DM, James LA, Ricketts DM. Elastic stable intramedullary nailing in paediatric forearm fractures: the rate of open reduction and complications. *J Pediatr Orthop B.* sept 2017;26(5):412-6.
157. Lascombes P. FIN Without Image Intensification. In: Lascombes P, éditeur. *Flexible Intramedullary Nailing in Children.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2010. p. 49-52.
158. Kang S-N, Mangwani J, Ramachandran M, Paterson JMH, Barry M. Elastic intramedullary nailing of paediatric fractures of the forearm: A decade of experience in teaching hospital in the United Kingdom. *J Bone Joint Surg Br.* févr 2011;93-B(2):262-5.
159. Salonen A, Salonen H, Pajulo O. A Critical Analysis of Postoperative Complications of Antebrachium Ten-Nailing in 35 Children. *Scand J Surg.* sept 2012;101(3):216-21.
160. Lieber J, Joeris A, Knorr P, Schalamon J, Schmittenbecher PP. ESIN in Forearm Fractures: Clear Indications, Often Used, but Some Avoidable Complications. *Eur J Trauma.* févr 2005;31(1):3-11.
161. Ogonda L, Wong-Chung J, Wray R, Canavan B. Delayed union and non-union of the ulna following intramedullary nailing in children: *J Pediatr Orthop B.* sept 2004;13(5):330-3.
162. Adamczyk MJ, Riley PM. Delayed Union and Nonunion Following Closed Treatment of Diaphyseal Pediatric Forearm Fractures: *J Pediatr Orthop.* janv 2005;25(1):51-5.
163. Nielsen AB, Simonsen O. Displaced forearm fractures in children treated with AO plates. *Injury.* mai 1984;15(6):393-6.

164. Vince KG, Miller JE. Cross-union complicating fracture of the forearm. Part II: Children. *J Bone Joint Surg Am.* juin 1987;69(5):654-61.
165. Bauer G, Arand M, Mutschler W. Post-traumatic radioulnar synostosis after forearm fracture osteosynthesis. *Arch Orthop Trauma Surg.* avr 1991;110(3):142-5.
166. Stern PJ, Drury WJ. Complications of Plate Fixation of Forearm Fractures: *Clin Orthop.* mai 1983;NA;(175):25-29.
167. Baldwin K, Morrison MJ, Tomlinson LA, Ramirez R, Flynn JM. Both Bone Forearm Fractures in Children and Adolescents, Which Fixation Strategy Is Superior — Plates or Nails? A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies: *J Orthop Trauma.* janv 2014;28(1):e8-14.
168. Greenbaum B, Zionts LE, Ebramzadeh E. Open Fractures of the Forearm in Children: *J Orthop Trauma.* févr 2001;15(2):111-8.
169. Ali AM, Abdelaziz M, El-Lakanney MR. Intramedullary Nailing for Diaphyseal Forearm Fractures in Children after Failed Conservative Treatment. *J Orthop Surg.* déc 2010;18(3):328-31.
170. Clement ND, Yousif F, Duckworth AD, Teoh KH, Porter DE. Retention of forearm plates: risks and benefits in a paediatric population. *J Bone Joint Surg Br.* janv 2012;94-B(1):134-7.
171. Vopat BG, Kane PM, Fitzgibbons PG, Got CJ, Katarincic JA. Complications Associated With Retained Implants After Plate Fixation of the Pediatric Forearm: *J Orthop Trauma.* juin 2014;28(6):360-4.
172. Kim WY, Zenios M, Kumar A, Abdulkadir U. The removal of forearm plates in children. *Injury.* déc 2005;36(12):1427-30.
173. Helber MU, Ulrich C. External fixation in forearm shaft fractures. *Injury.* févr 2000;31:45-7.
174. Schranz PJ, Gultekin C, Colton CL. External fixation of fractures in children. *Injury.* janv 1992;23(2):80-2.
175. Athmaram M, Prasad VNK. Treatment of open fractures of both bones of forearm in children using umex fixator: a study of 30 cases. *J Evol Med Dent Sci.* 2015;4(26):4403-11.
176. Voto SJ, Weiner DS, Leighley B. Use of Pins and Plaster in the Treatment of Unstable Pediatric Forearm Fractures: *J Pediatr Orthop.* janv 1990;10(1):85-9.
177. Abraham A, Kumar S, Chaudhry S, Ibrahim T. Surgical interventions for diaphyseal fractures of the radius and ulna in children. *Cochrane Bone, Joint and Muscle Trauma Group, éditeur. Cochrane Database Syst Rev.* 9 nov 2011.

178. Grottkau BE, Epps HR, Di Scala C. Compartment syndrome in children and adolescents. *J Pediatr Surg.* avr 2005;40(4):678-82.
179. Hosseinzadeh P, Hayes CB. Compartment Syndrome in Children. *Orthop Clin North Am.* juill 2016;47(3):579-87.
180. Bae DS, Kadiyala RK, Waters PM. Acute Compartment Syndrome in Children: Contemporary Diagnosis, Treatment, and Outcome: *J Pediatr Orthop.* sept 2001;21(5):680-8.
181. Mars M, Hadley GP. Raised compartmental pressure in children: a basis for management. *Injury.* avr 1998;29(3):183-5.
182. Yuan PS, Pring ME, Gaynor TP, Mubarak SJ, Newton PO. Compartment Syndrome Following Intramedullary Fixation of Pediatric Forearm Fractures: *J Pediatr Orthop.* 2004;370-5.
183. Haasbeek J, Cole W. Open fractures of the arm in children. *J Bone Joint Surg Br.* juill 1995;77-B(4):576-81.
184. Flynn JM, Jones KJ, Garner MR, Goebel J. Eleven Years Experience in the Operative Management of Pediatric Forearm Fractures: *J Pediatr Orthop.* juin 2010;30(4):313-9.
185. Stans AA. Complications of Fractures in Children. In: *Green's Skeletal Trauma in Children.* Elsevier; 2015. p. 105-29.
186. Sales de Gauzy J, Abid A. Complications des fractures des 2 os de l'avant-bras chez l'enfant. *Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot.* sept 2005;91(5):111-4.
187. Neiman R, Maiocco B, Deeney VF. Ulnar Nerve Injury After Closed Forearm Fractures in Children: *J Pediatr Orthop.* sept 1998;18(5):683-5.
188. Fernandez FF, Langendörfer M, Wirth T, Eberhardt O. Failures and complications in intramedullary nailing of children's forearm fractures. *J Child Orthop.* avr 2010;4(2):159-67.
189. Colaris JW, Allema JH, Reijman M, Biter LU, de Vries MR, van de Ven CP, Bloem RM, Verhaar JAN. Risk factors for the displacement of fractures of both bones of the forearm in children. *Bone Jt J.* mai 2013;95-B(5):689-93.
190. Bochang C, Katz K, Weigl D, Jie Y, Zhigang W, Bar-On E. Are frequent radiographs necessary in the management of closed forearm fractures in children? *J Child Orthop.* juin 2008;2(3):217-20.
191. Islam O, Soboleski D, Symons S, Davidson LK, Ashworth MA, Babyn P. Development and Duration of Radiographic Signs of Bone Healing in Children. *Am J Roentgenol.* juill 2000;175(1):75-8.

192. Schmittenbecher PP, Fitze G, Gödeke J, Kraus R, Schneidmüller D. Delayed Healing of Forearm Shaft Fractures in Children After Intramedullary Nailing: *J Pediatr Orthop.* avr 2008;28(3):303-6.
193. Bhandari M, Guyatt GH, Swiontkowski MF, Tornetta P, Sprague S, Schemitsch EH. A Lack of Consensus in the Assessment of Fracture Healing Among Orthopaedic Surgeons: *J Orthop Trauma.* sept 2002;16(8):562-6.
194. Lewallen RP, Peterson HA. Nonunion of long bone fractures in children: a review of 30 cases. *J Pediatr Orthop.* avr 1985;5(2):135-42.
195. Arslan H, Subaşı M, Kesemenli C, Ersuz H. Occurrence and treatment of nonunion in long bone fractures in children. *Arch Orthop Trauma Surg.* janv 2002;122(9):494-8.
196. Lobo-Escolar A, Roche A, Bregante J, Gil-Alvaroba J, Sola A, Herrera A. Delayed Union in Pediatric Forearm Fractures: *J Pediatr Orthop.* 2012;32(1):54-7.
197. Bhaskar AR, Roberts JA. Treatment of unstable fractures of the forearm in children: IS PLATING OF A SINGLE BONE ADEQUATE? *J Bone Joint Surg Br.* mars 2001;83-B(2):253-8.
198. Crawford AH, Bagamery N. Osseous Manifestations of Neurofibromatosis in Childhood: *J Pediatr Orthop.* janv 1986;6(1):72-88.
199. Manske PR. Forearm pseudarthrosis--neurofibromatosis: case report. *Clin Orthop.* avr 1979;(139):125-7.
200. Fuller DJ, McCullough CJ. Malunited fractures of the forearm in children. *J Bone Joint Surg Br.* 1982;64(3):364-7.
201. Daruwalla JS. A study of radioulnar movements following fractures of the forearm in children. *Clin Orthop.* avr 1979;(139):114-20.
202. Matthews LS, Kaufer H, Garver DF, Sonstegard DA. The effect on supination-pronation of angular malalignment of fractures of both bones of the forearm. *J Bone Joint Surg Am.* janv 1982;64(1):14-7.
203. Antabak A, Luetic T, Ivo S, Karlo R, Cavar S, Bogovic M, Medacic SS. Treatment outcomes of both-bone diaphyseal paediatric forearm fractures. *Injury.* sept 2013;44:S11-5.
204. Baitner AC, Perry A, Lalonde FD, Bastrom TP, Pawelek J, Newton PO. The Healing Forearm Fracture: A Matched Comparison of Forearm Refractures. *J Pediatr Orthop.* oct 2007;27(7):743-7.
205. Lascombes P, Haumont T, Journeau P. Use and Abuse of Flexible Intramedullary Nailing in Children and Adolescents: *J Pediatr Orthop.* nov 2006;26(6):827-34.

206. Bould M, Bannister GC. Refractures of the radius and ulna in children. *Injury*. nov 1999;30(9):583-6.
207. Schwarz N, Pienaar S, Schwarz AF, Jelen M, Styhler W, Mayr J. Refracture of the forearm in children. *J Bone Joint Surg Br*. sept 1996;78(5):740-4.
208. Arunachalam VSP, Griffiths JC. Fracture recurrence in children. *Injury*. août 1975;7(1):37-40.
209. Cullen MC, Roy DR, Giza E, Crawford AH. Complications of Intramedullary Fixation of Pediatric Forearm Fractures: *J Pediatr Orthop*. janv 1998;18(1):14-21.
210. Vitale M, Brighton B. Epidemiology of fractures in children. In: Flynn JM, Skaggs DL, Waters PM, éditeurs. *Rockwood & Wilkins' fractures in children*. Eighth edition. Philadelphia: Wolters Kluwer Health; 2015. p. 1-18.
211. Colaris J, Reijman M, Allema JH, Kraan G, van Winterswijk P, de Vries M, van de Ven C, Verhaar J. Single-bone intramedullary fixation of unstable both-bone diaphyseal forearm fractures in children leads to increased re-displacement: a multicentre randomised controlled trial. *Arch Orthop Trauma Surg*. août 2013;133(8):1079-87.
212. Gulati A, Dixit A, Taylor GJ. Pediatric fractures: temporal trends and cost implications of treatment under general anesthesia. *Eur J Trauma Emerg Surg*. févr 2012;38(1):59-64.
213. Stancin T, Kaugars AS, Thompson GH, Taylor HG, Yeates KO, Wade SL, Drotar D. Child and Family Functioning 6 and 12 Months after a Serious Pediatric Fracture: *J Trauma Inj Infect Crit Care*. juill 2001;51(1):69-76.
214. Fernandez FF, Egenolf M, Carsten C, Holz F, Schneider S, Wentzensen A. Unstable diaphyseal fractures of both bones of the forearm in children: Plate fixation versus intramedullary nailing. *Injury*. oct 2005;36(10):1210-6.
215. Hassan FOA. Hand dominance and gender in forearm fractures in children. *Strateg Trauma Limb Reconstr*. déc 2008;3(3):101-3.
216. Yang J-J, Chang J-H, Lin K-Y, Lin L-C, Kuo C-L. Redisplacement of Diaphyseal Fractures of the Forearm After Closed Reduction in Children: A Retrospective Analysis of Risk Factors: *J Orthop Trauma*. févr 2012;26(2):110-6.
217. Jubel A, Andermahr J, Isenberg J, Issavand A, Prokop A, Rehm KE. Outcomes and complications of elastic stable intramedullary nailing for forearm fractures in children. *J Pediatr Orthop Part B*. sept 2005;14(5):375-80.

218. Hamel A, Geffroy L. Données épidémiologiques des séries rétrospective (508 fractures) et prospective (322 fractures). *Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot.* sept 2005;91(5):105-11.
219. Hedström EM, Svensson O, Bergström U, Michno P. Epidemiology of fractures in children and adolescents: Increased incidence over the past decade: a population-based study from northern Sweden. *Acta Orthop.* févr 2010;81(1):148-53.
220. Worlock P, Stower M. Fracture Patterns in Nottingham Children: *J Pediatr Orthop.* nov 1986;6(6):656-60.
221. Rennie L, Court-Brown CM, Mok JYQ, Beattie TF. The epidemiology of fractures in children. *Injury.* août 2007;38(8):913-22.
222. Puranik S, Long J, Coffman S. Profile of Pediatric Bicycle Injuries: *South Med J.* nov 1998;91(11):1033-7.
223. Boyer BA, Overton B, Schrader W, Riley P, Fleissner P. Position of immobilization for pediatric forearm fractures. *J Pediatr Orthop.* avr 2002;22(2):185-7.
224. Sheikh HQ, Malhotra K, Wright P. Cast index in predicting outcome of proximal pediatric forearm fractures. *Indian J Orthop.* août 2015;49(4):398-402.
225. Proctor MT, Moore DJ, Paterson JM. Redisplacement after manipulation of distal radial fractures in children. *J Bone Joint Surg Br.* mai 1993;75(3):453-4.
226. Mary P. Traitement orthopédique des fractures des deux os de l'avant-bras chez l'enfant. *Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot.* sept 2005;91(5):125-8.
227. Tisosky AJ, Werger MM, McPartland TG, Bowe JA. The Factors Influencing the Refracture of Pediatric Forearms: *J Pediatr Orthop.* 2015;35(7):677-81.
228. Sprague S, Petrisor B, Scott T, Devji T, Phillips M, Spurr H, Bhandari M, Slobogean GP. What Is the Role of Vitamin D Supplementation in Acute Fracture Patients? A Systematic Review and Meta-Analysis of the Prevalence of Hypovitaminosis D and Supplementation Efficacy: *J Orthop Trauma.* févr 2016;30(2):53-63.
229. DiFazio R, Vessey J, Zurakowski D, Hresko MT, Matheney T. Incidence of Skin Complications and Associated Charges in Children Treated With Hip Spica Casts for Femur Fractures: *J Pediatr Orthop.* 2011;31(1):17-22.
230. Sawyer JR, Ivie CB, Huff AL, Wheeler C, Kelly DM, Beaty JH, Canale ST. Emergency Room Visits by Pediatric Fracture Patients Treated With Cast Immobilization: *J Pediatr Orthop.* avr 2010;30(3):248-52.
231. Lascombes P, Haumont T. Both-Bone Forearm Fracture. In: Lascombes P, éditeur. *Flexible Intramedullary Nailing in Children.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2010. p. 159-85.

232. Lascombes P. Hardware Removal. In: Lascombes P, éditeur. Flexible Intramedullary Nailing in Children. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2010. p. 53-7.
233. Mary P, Sales de Gauzy J. Fractures itératives des deux os de l'avant-bras. Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot. sept 2005;91(5):117-20.
234. Lascombes P. Fracture des deux os de l'enfant et de l'adolescent (830 fractures). Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot. sept 2005;91(5):101-5.
235. Alpar EK, Thompson K, Owen R, Taylor JF. Midshaft fractures of forearm bones in children. Injury. sept 1981;13(2):153-8.
236. Martus JE, Preston RK, Schoenecker JG, Lovejoy SA, Green NE, Mencio GA. Complications and Outcomes of Diaphyseal Forearm Fracture Intramedullary Nailing: A Comparison of Pediatric and Adolescent Age Groups. J Pediatr Orthop. sept 2013;33(6):598-607.
237. Tarmuzi NA, Abdullah S, Osman Z, Das S. Paediatric forearm fractures: functional outcome of conservative treatment. Bratisl Lek Listy. 2009;110(9):563-8.
238. Toussaint D, Vanderlinden C, Bremen J. Stable elastic nailing applied to diaphyseal fractures of the forearm in children. Acta Orthop Belg. 1991;57(2):147-53.
239. Weinberg AM, Amerstorfer F, Fischerauer EE, Pearce S, Schmidt B. Paediatric diaphyseal forearm refractures after greenstick fractures: Operative management with ESIN. Injury. avr 2009;40(4):414-7.
240. Wright PB, Crepeau AE, Herrera-Soto JA, Price CT. Radius Crossover Sign: An Indication of Malreduced Radius Shaft Greenstick Fractures. J Pediatr Orthop. juin 2012;32(4):e15-9.
241. Morrey BF, Askew LJ, Chao EY. A biomechanical study of normal functional elbow motion.: J Bone Jt Surg. juill 1981;63(6):872-7.
242. Tarr RR, Garfinkel AI, Sarmiento A. The effects of angular and rotational deformities of both bones of the forearm. An in vitro study.: J Bone Jt Surg. janv 1984;66(1):65-70.
243. Flynn JM, Waters PM. Single-Bone Fixation of Both-Bone Forearm Fractures: J Pediatr Orthop. sept 1996;655-9.
244. Monga P, Raghupathy A, Courtman NH. Factors affecting remanipulation in paediatric forearm fractures: J Pediatr Orthop B. mars 2010;19(2):181-7.
245. Kutsikovich JI, Hopkins CM, Gannon EW, Beaty JH, Warner WC, Sawyer JR, Spence DD, Kelly DM. Factors that predict instability in pediatric diaphyseal both-bone forearm fractures: J Pediatr Orthop B. juill 2018;27(4):304-8.

ANNEXES

Annexe 1 : Liste des figures

Annexe 2 : Liste des tableaux

Annexe 3 : fiche de suivi

Annexe 1

Liste des figures

<i>Figure 1: Développement des bourgeons des membres chez l'embryon humain.</i>	16
<i>Figure 2: Coupe transversale partielle d'un bourgeon des membres.</i>	17
<i>Figure 3: Anatomie du membre en développement.</i>	18
<i>Figure 4: Les deux os de l'avant-bras .</i>	22
<i>Figure 5: Muscle brachioradial (Vue antérieure).</i>	26
<i>Figure 6: Muscles superficiels de l'avant-bras.</i>	27
<i>Figure 7: Muscle fléchisseur superficiel des doigts.</i>	28
<i>Figure 8: Muscles profonds de la loge antérieure de l'avant-bras.</i>	29
<i>Figure 9: Muscles supinateur et carré pronateur.</i>	30
<i>Figure 10: Muscles superficiels de la loge postérieure de l'avant-bras.</i>	32
<i>Figure 11: Muscles profonds de la loge postérieure de l'avant-bras.</i>	34
<i>Figure 12: Insertions musculaires expliquant les déplacements des fractures du tiers proximal et du tiers distal du radius.</i>	36
<i>Figure 13: Axe de rotation de l'avant-bras.</i>	38
<i>Figure 14: Effet du cal vicieux sur la rotation de l'avant-bras.</i>	40
<i>Figure 15: Fractures des deux os de l'avant-bras en supination à sommet ventral.</i>	50
<i>Figure 16: Fracture des deux os de l'avant-bras en pronation à sommet dorsal.</i>	50
<i>Figure 17: Examen clinique des nerfs moteurs du membres supérieur.</i>	52
<i>Figure 18: Radiographies d'une fracture des 02 os de l'avant-bras chez un patient âgé de 14 ans</i>	54
<i>Figure 19: Position de la tubérosité bicipitale en fonction la pronosupination.</i>	55
<i>Figure 20: Définition des segments des os longs (humérus, radius, ulna).</i>	58
<i>Figure 21: Fractures des 2 os de l'avant-bras . AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF)</i>	60
<i>Figure 22: Fracture isolée du radius. AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF)</i>	61
<i>Figure 23: Fracture isolée de l'ulna. AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF)</i>	62

<i>Figure 24: Contention par un plâtre circulaire brachio-antébrachio-palmaire.</i>	66
<i>Figure 25: Cast index</i>	68
<i>Figure 26: Padding index</i>	69
<i>Figure 27: Angulation résiduelle sagittale de 10° du radius et l'ulna chez un enfant âgé de 9 ans.</i>	82
<i>Figure 28: Schéma de déroulement de l'étude et la constitution des deux groupes.</i>	84
<i>Figure 29: Évaluation clinique des amplitudes de mouvements au dernier recul chez un enfant de 9 ans.</i>	86
<i>Figure 30: Répartition des patients selon le sexe.</i>	88
<i>Figure 31: Répartition des patients selon l'âge.</i>	89
<i>Figure 32: Circonstances de traumatisme.</i>	89
<i>Figure 33: Fracture complète des 2 os de l'avant-bras</i>	92
<i>Figure 34: Répartition des patients selon l'os</i>	92
<i>Figure 35 :Fracture en bois vert du tiers moyen des 2 os de l'avant-bras.</i>	94
<i>Figure 36: Localisation du trait sur le radius et l'ulna</i>	94
<i>Figure 38: : Direction des angulations</i>	95
<i>Figure 37: : Les déplacements angulaires du</i>	95
<i>Figure 40: : Direction des angulations du radius dans le plan sagittal</i>	95
<i>Figure 39: : Les déplacements angulaires du</i>	95
<i>Figure 41: : Les déplacements en translation du radius.</i>	96
<i>Figure 42: : Les déplacements en chevauchement du radius.</i>	96
<i>Figure 43: : Translation complète du radius à 100% et chevauchement des</i>	97
<i>Figure 44: Les déplacements en rotation</i>	97
<i>Figure 45: : Les déplacements angulaires de l'ulna dans le plan frontal</i>	98
<i>Figure 46: : Les déplacements angulaires de l'ulna dans le plan sagittal</i>	98
<i>Figure 47: : Les déplacements en translation de l'ulna.</i>	99
<i>Figure 48: : Les déplacements en chevauchement de l'ulna</i>	99
<i>Figure 49: Répartition des patients selon la classification des fractures</i>	100
<i>Figure 50: Type de fracture les plus fréquentes</i>	100
<i>Figure 52: Plâtre brachio-antébrachio-palmaire</i>	101
<i>Figure 51: fréquence des fractures déplacées ayant nécessité une réduction</i>	101
<i>Figure 53: Mesure du Cast Index</i>	102
<i>Figure 54: Mesure du Padding Index</i>	103

<i>Figure 55: Déplacement secondaire d'une fracture du tiers moyen</i>	104
<i>Figure 56: Lésions cutanées à l'insertion des broches au niveau du coude et du poignet</i>	106
<i>Figure 57: Résultats de la pronosupination selon le score de Price</i>	107
<i>Figure 58: Résultats de la pronosupination :en excellent, bon et faible (A,B et C)</i>	107
<i>Figure 59: Répartition des patients des 2 groupes selon le sexe</i>	109
<i>Figure 60: Type du trait du radius chez les patients des 02 groupes</i>	110
<i>Figure 61: Sièges du trait du radius chez les patients des 02 groupes</i>	110
<i>Figure 62: Angulations du radius dans le plan frontal (02 groupes)</i>	111
<i>Figure 63: Direction de l'angulation du radius dans le plan frontal (02 groupes)</i>	111
<i>Figure 64: Angulations du radius dans le plan sagittal (02 groupes)</i>	112
<i>Figure 65: Direction de l'angulation du radius dans le plan sagittal (02 groupes)</i>	112
<i>Figure 66: Déplacement en chevauchement du radius chez les patients des 02 groupes</i>	113
<i>Figure 67: Déplacement en translation du radius chez les patients des 02 groupes</i>	113
<i>Figure 68: Déplacement en rotation du radius chez les patients des 02 groupes</i>	114
<i>Figure 69: Type du trait de l'ulna chez les patients des 02 groupes</i>	114
<i>Figure 70: Sièges du trait de l'ulna chez les patients des 02 groupes</i>	115
<i>Figure 71: Angulations de l'ulna dans le plan frontal (02 groupes)</i>	115
<i>Figure 72: Direction de l'angulation de l'ulna dans le plan frontal (02 groupes)</i>	116
<i>Figure 73: Angulations de l'ulna dans le plan sagittal (02 groupes)</i>	116
<i>Figure 74: Direction de l'angulation de l'ulna dans le plan sagittal (02 groupes)</i>	117
<i>Figure 75: Déplacement en chevauchement de l'ulna chez les patients des 02 groupes</i>	117
<i>Figure 76: Déplacement en translation de l'ulna chez les patients des 02 groupes</i>	118
<i>Figure 77: Cassure de la broche du radius et enclavement en intramédullaire</i>	134
<i>Figure 78: Fracture itérative</i>	135
<i>Figure 79: Résultat faible chez un patient âgé de 13 ans</i>	138
<i>Figure 80: reprise de la réduction et du plâtre après déplacement secondaire de la fracture chez un patient âgé de 13 ans</i>	139

Annexe 2

Liste des tableaux

<i>Tableau 1: Innervation et action des muscles antérieurs de l'avant-bras.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 2: Innervation et action des muscles postérieurs de l'avant-bras.</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 3: Désignation des types de fractures diaphysaires de l'avant-bras.</i>	<i>59</i>
<i>Tableau 4: Évaluation de la pronosupination</i>	<i>85</i>
<i>Tableau 5: Répartition des patients selon le côté traumatisé et la dominance</i>	<i>90</i>
<i>Tableau 6: Déformation du membre à l'admission.....</i>	<i>91</i>
<i>Tableau 7: Œdème du membre à l'admission.....</i>	<i>91</i>
<i>Tableau 8: Type anatomique de fracture de manière indépendante sur chaque os.....</i>	<i>93</i>
<i>Tableau 9: Les indices plâtrés mesurés sur les radiographies de contrôle.....</i>	<i>103</i>
<i>Tableau 10: Délai de survenue des déplacements secondaires</i>	<i>104</i>
<i>Tableau 11 : Durée de l'immobilisation plâtrée.....</i>	<i>105</i>
<i>Tableau 12 : Complications des fractures de l'avant-bras de la série.....</i>	<i>105</i>
<i>Tableau 13 : Valeurs moyennes de la pronation et de la supination dans la série</i>	<i>106</i>
<i>Tableau 14: Répartition des patients en 2 groupes selon le traitement final</i>	<i>108</i>
<i>Tableau 15: Âge des patients des 02 Groupes</i>	<i>109</i>
<i>Tableau 16: Cast index des deux groupes.....</i>	<i>118</i>
<i>Tableau 17: Padding index des deux groupes.....</i>	<i>119</i>
<i>Tableau 18: Canterbury index des deux groupes</i>	<i>119</i>
<i>Tableau 19: Pronation et supination des patients des 02 Groupes.....</i>	<i>119</i>
<i>Tableau 20: Résultats du modèle de la régression logistique multivariée.....</i>	<i>120</i>
<i>Tableau 21: comparaison de la série aux séries de la littérature.....</i>	<i>124</i>

Annexe 3 (Fiche de suivi)

Fiche n° :

FRATRES DES DEUX OS DE L'AVANT BRAS CHEZ L'ENFANT

Identification du malade :

Nom : _____ Prénom : _____ Sexe : M - F
Date de naissance : _____ Age : _____ Tel : _____
Adresse : _____

Date du traumatisme :

Heure :

Coté atteint : Bil : Oui Non D G / Dominant : oui non

Mécanisme : CPH CHE AVP AC AS autre

Choc direct Choc indirect : -flexion forcé Autre : _____

Bilan Radiologique initial : Face Profil date : _____

RADIUS :

TRAIT : Transversal Oblique Spiroïde 3eme fragment Comminutive Bois vert

Déformation plastique Fracture isolée bifocal

SIEGE : Proximal Moyen Distal

DEPLACEMENT : Angulation (face) : _____ degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire

Angulation (Profil) : _____ degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : %. Rotation : < 30° 30-45° > 45°

ULNA

TRAIT : Transversal Oblique Spiroïde 3eme fragment Comminutive Bois vert

Déformation plastique Fracture isolée bifocal

SIEGE : Proximal Moyen Distal

DEPLACEMENT : Angulation (face) : _____ degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire

Angulation (Profil) : _____ degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : %. Rotation : < 30° 30-45° > 45°

TRAITEMENT :

Date : _____

Heure : _____

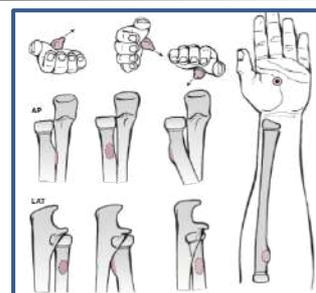
Réduction : Non Oui Nbre de tentative : Sans AG : _____ / Sous AG : _____

Radiographie de control :

RADIUS :

Angulation (face) : _____ degré. / Sommet : radial ulnaire / Angulation (Profil) : _____ degré. / Sommet : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : _____ %.



ULNA

Angulation (face) : degré. / Sommet : radial ulnaire / Angulation (Profil) : degré. / Sommet : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : %.

Plâtre fendu : oui Non

Angulations acceptables :

- Fille <8 ans, Garçon <10ans : 1/3 proximal : <10° 1/3 moyen : <15° (< 5ans :20°) 1/3 distal :< 20°.
- Fille >8 ans, garçon >10ans : 1/3 proximal : <10° 1/3 moyen : <10° 1/3 distal :< 10°.

NB : courbure pronatrice du radius, incidence de face : 1/3 moyen : angulation de 6°, l'angulation accepté est

Sommet radial : < (6+15), Sommet ulnaire < (15 -6).

Translation acceptable : 100%, Chevauchement acceptable < 1 cm.

DECISION : Maintenir TRT ORTH Reprendre TRT ORTH TRT CHIR

Qualité du plâtre :

Cast index = a / b , $vn \leq 0,8$

a : diamètre interne du plâtre sur l'incidence de profil

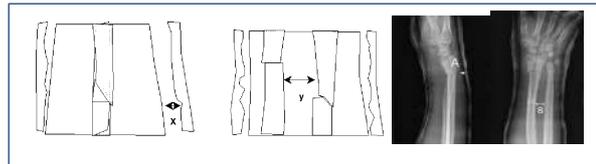
b : diamètre interne du plâtre sur l'incidence de face



Padding index = x / y , $vn < 0,3$

x : épaisseur dorsal sur le profil

y : distance interosseuse maximale sur la face



Canterbury index = cast index + padding index

$vn < 1,1$

Cast index =

Padding index =

Canterbury index =

1^{er} CONTRÔLE : Date : Accompagnateur(s) : Profession (s) :

Tolérance clinique : RAS Œdème lésions cutanées Syndrome de loge

Date de la Rx Control : date : J = Jours. Incidence : F P

RADIUS :

Angulation (face) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire

Angulation (Profil) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : %.

ULNA

Angulation (face) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire

Angulation (Profil) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : %.

DECISION : Maintenir TRT ORTH Reprendre TRT ORTH TRT CHIR

2^{ème} CONTRÔLE : Date : Accompagnateur(s) : Profession (s) :

Tolérance clinique : RAS Œdème lésions cutanées Syndrome de loge

Qualité du plâtre : Bonne Moyenne Mauvaise

Date de la Rx Control : date : J = Jours. Incidence : F P

RADIUS :

Angulation (face) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire

Angulation (Profil) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : %.

ULNA

Angulation (face) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire

Chevauchement : mm. Translation : %.

Angulation (Profil) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

DECISION : Maintenir TRT ORTH Reprendre TRT ORTH TRT CHIR

3^{ème} CONTRÔLE : Date : Accompagnateur(s) : Profession (s) :

Tolérance clinique : RAS Œdème lésions cutanées Syndrome de loge

Qualité du plâtre : Bonne Moyenne Mauvaise

Date de la Rx Control : date : J = Jours. Incidence : F P

RADIUS :

Angulation (face) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire

Angulation (Profil) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : %.

ULNAAngulation (face) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire Angulation (Profil) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : %.

DECISION : **Maintenir TRT ORTH** **Reprendre TRT ORTH** **TRT CHIR** **4^{ème} CONTROLE :** **Date :** Accompagnateur(s) : Profession (s) :**Tolérance clinique :** RAS Œdème lésions cutanées Syndrome de loge **Qualité du plâtre :** Bonne Moyenne Mauvaise **Date de la Rx Control :** date : J = Jours. Incidence : F P RADIUS :Angulation (face) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire Angulation (Profil) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : %.

ULNAAngulation (face) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire Angulation (Profil) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : %.

DECISION : **Maintenir TRT ORTH** **Reprendre TRT ORTH** **TRT CHIR** **5^{ème} CONTROLE :** **Date :** Accompagnateur(s) : Profession (s) :**Tolérance clinique :** RAS Œdème lésions cutanées Syndrome de loge **Qualité du plâtre :** Bonne Moyenne Mauvaise **Ablation plâtre :** date : **durée plâtre :** **J**Déformation douleur siège de la douleur : lésion cutanée :**Amplitudes articulaires :** coude = flexion : extension :

Poignet = flexion : extension : Inclinaison U : Inclinaison R :

Pronation : supination :

TRT CHIRURGICAL : Date Opérateur :D'emblée Echec réduction Déplacement secondaire œdème sous plâtre Brochage intra focal : Radius Ulna .ECMES : broche élastique Titane Acier / Broche de KIRSCHNER **Per op :** Radius : foyer fermé foyer ouvert / Ulna : foyer fermé foyer ouvert **Diamètre des broches :**

Radius : mm / Ulna : mm

Fiche n° :

Post op : date radio de contrôle

RADIUS :

Angulation (face) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire

Angulation (Profil) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : %.

ULNA

Angulation (face) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire

Angulation (Profil) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

Chevauchement : mm. Translation : %.

Contention par : atelle BABP platre BABP pas de contention durée : J

COMPLICATION : Infection autour des broches date : syndrome des loges date :

Ablation de matériel : oui non date : délai : J

Type d'anesthésie : AG ALR

AU CONTROLE : date : J : Accompagnateur(s) : Profession (s) :

Déformation douleur siège de la douleur :

Amplitudes articulaires : flexion coude : extension coude :

Pronation : supination :

Radio de contrôle : date :

RADIUS :

Angulation (face) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire

Angulation (Profil) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

ULNA

Angulation (face) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : radial ulnaire

Angulation (Profil) : degré. / Sommet de l'angulation (direction) : Ant Post

Evaluation :

nbre de consultaion : nbre incidences Rx : nbre d' AG :

absentéisme scolaire(j) :

absentéisme parental :

Autres :

Methods : Children and adolescents under the age of 16 with both bones diaphyseal forearm fractures between January 2017 and December 2018 were included. orthopedic treatment was performed in all patients. The maximum acceptable angulations were for boys under 10 years, and girls under 8 years : 10 ° for fractures of the proximal-third, 15 ° for the middle-third and 20 ° for the distal-third; for boys older than 10 years and girls older than 8 years: the maximum angulation is 10 ° at all levels.

A 100% translation, an overlap of less than 1 cm were accepted.

Angulation measurements were taken on the initial radiographs and on the weekly radiographs during the first month to look for redisplacement. Multivariate logistic regression was performed to determine predictors of failure

Results : 215 children and adolescents were treated. The average age was 8.1 years. The sex ratio was 5 boys for 1 girls. Thirteen reduction failures and 43 redisplacements were found

The factors associated with failed orthopedic treatment were the age, the complete fracture of radius and ulna, the proximal location of the radius fracture, shortened and translation of the radius and ulna fractures.

Conclusion: predictive factors for orthopedic treatment failure are age and shortened radius fracture

Key-words : forearm, diaphyseal fractures, angulation, child, multivariate regression

مقدمة: تعتبر كسور جسم عظام الساعد لدى الطفل والمراهق كسورا مألوفة. ويعد العلاج التحفظي بإعادة المحاذاة والتثبيت عن طريق الجبيرة الطبية أكثر العلاجات المستعملة ولكنه يعرض لخطرة ترحزح الكسر

الأهداف: الهدف الاساسي لهذا البحث هو تحديد العوامل المساعدة على التنبؤ بفشل العلاج عن طريق الجبيرة الطبية.

المواد والأساليب: جرى البحث خلال مدة تمتد من جانفي 2017 الى ديسمبر 2018 وشمل الاطفال والمراهقين دون سن 16 سنة. تم العلاج الاولي عن طريق الجبيرة الطبية لدى جميع المرضى.

كانت زاوية الاعوجاج الاقصى المقبول لدى الذكور دون سن العاشرة والاناث دون سن الثامنة هي عشر درجات في كسور الثلث العلوي, 15 درجة في كسور الجزء الأوسط و20 درجة في كسور الجزء السفلي. أما بالنسبة للذكور فوق سن العاشرة والاناث فوق سن الثامنة فقد كانت زاوية الاعوجاج المقبول هي عشر درجات كأقصى حد وفي جميع المستويات.

تم قياس زاوية الاعوجاج على صور الاشعة الاولية وصور الاشعة الاسبوعية خلال الشهر الاول للبحث عن ترحزح الكسر. كما تم اجراء انحدار لوجيستي متعدد المتغيرات للتنبؤ بفشل العلاج.

النتائج: تم علاج 215 طفل ومراهقو كان متوسط العمر هو 8.1 سنة وكانت نسبة الذكور للإناث هي خمسة لواحد. فشلت عملية اعادة المحاذاة للكسر في 13 حالة وتم احصاء 43 حالة ترحزح للكسر.

كانت العوامل المرتبطة بفشل العلاج التحفظي عن طريق الجبيرة الطبية هي: العمر، الكسور الكاملة للكعبيرة والزند، الموقع العلوي لكسر الكعبيرة، التداخل وانعدام التراصف الكلي لكسور الكعبيرة والزند.

الخلاصة: العوامل المنبئة بفشل العلاج التحفظي عن طريق الجبيرة هي العمر وتداخل كسر الكعبيرة. الكلمات المفتاحية: الساعد، جسم عظام، زاوية الاعوجاج، الطفل، انحدار لوجيستي.

الكلمات المفتاحية: الساعد، جسم عظام، زاوية الاعوجاج، الطفل، انحدار لوجيستي.

Introduction : Les fractures diaphysaires des deux os de l'avant-bras de l'enfant et l'adolescent sont des fractures fréquentes. Le traitement orthopédique par réduction et immobilisation plâtrée est le traitement le plus utilisé. Il expose au risque de déplacement secondaire.

Objectifs : L'objectif principal de ce travail était de déterminer les facteurs prédictifs d'échec du traitement orthopédique

Patients et méthodes : Les enfants et les adolescents dont l'âge est inférieur à 16 ans et qui ont eu une fractures diaphysaires de l'un ou des deux os de l'avant-bras entre Janvier 2017 et Decembre 2018 ont été inclus. un traitement orthopédique a été réalisé chez tous les patients. Les angulations maximales tolérées étaient pour le garçon dont l'âge est inférieur à 10 ans et la fille dont l'âge est inférieur à 8 ans :10° pour les fractures du 1/3 proximal, 15° pour le 1/3 moyen et 20° pour le 1/3 distal ;pour les garçons dont l'âge est supérieur à 10 ans et les filles dont l'âge est supérieur à 8 ans : l'angulation maximal est de 10° à tous les niveau.

Une translation à 100% et un chevauchement inférieur à 1 cm ont été tolérés.

Des mesures des angulations ont été réalisées sur les radiographies initiales et sur les radiographies hebdomadaires pendant le premier mois pour rechercher un déplacement secondaire. Une regression logistique multivariée a été réalisé pour determiner les facteurs predictifs d'échec

Résultats : 215 enfants et adolescents ont été traités. L'âge moyen était de 8,1 ans. Le sex ratio était de 5 garçons pour une fille. Treize échecs de réduction et 43 déplacements secondaires ont été retrouvés.

Les facteurs associées à l'échec du traitement orthopédique étaient l'âge, les fractures complètes du radius et de l'ulna , le siège proximal de la fracture du radius , le chevauchement et la translation de la fracture du radius et de l'ulna.

Conclusion : les facteurs prédictifs d'échec du traitement orthopédiques étaient l'âge et le chevauchement de la fracture du radius.

Mots clés: avant-bras, fractures diaphysaire, angulation, enfant, regression multivariée
