

Table des matières

I. Introduction	4
II. Matériels et Méthodes	8
II.1. Fiche d'exploitation	9
II.2. Critères d'inclusion et d'exclusion	12
II.2.1. Les critères d'inclusion	12
II.2.2. Les critères d'exclusion	12
III. Résultats	13
III.1. Fémur	13
III.1.1. Paramètres Préopératoires	13
III.1.2. Paramètres Per-Opératoires	18
III.1.3. Paramètres Postopératoires	19
III.1.4. Types de Complications	19
III.1.5. Causes des Complications	55
III.2. Tibia	56
III.2.1. Paramètres Préopératoires	56
III.2.2. Paramètres Peropératoires	60
III.2.3. Paramètres Postopératoires	62
III.2.4. Types de Complications	62
III.2.5. Causes de Complications	78
III.3. Avant-bras	80
III.3.1. Paramètres Préopératoires	80

III.3.2. Paramètres Per-Opérateurs	84
III.3.3. Paramètres Post-opérateurs	85
III.3.4. Types de Complications	86
III.3.5. Causes de Complications	103
III.4. Humérus	104
IV. Discussion	106
IV.1. Fémur	106
IV.2. Tibia	123
IV.3. Avant-bras	140
IV.4. Humérus	159
V. Conclusion	166
VI. Résumé	167
VII. REFERENCES	174

Liste Des Abréviations

ECMES	: Embrochage Centro Médullaire Elastique Stable
AVP	: Accident de la Voie Public
CRP	: Protéine C Réactive
VS	: Vitesse de Sédimentation
FIG	: Figure
ATB	: Antibiotique
CCM	: Clou Centro Médullaire
DCM	: Diamètre Canal Médullaire
DC	: Diamètre Clou
ND	: Nail Diamètre (diamètre de la broche)
MS	: Membre Supérieur
IM	: Intra Médullaire
AG	: Anesthésie Générale
Post-op	: Post-opératoire
AMOS	: Ablation de Matériel d'OstéoSynthèse
SD	: standard derivation (Ecart-Type)
ILMI	: Inégalité de Longueur des Membre Inférieure

I. Introduction :

L'embrochage centromédullaire élastique stable (ECMES) est une technique chirurgicale d'ostéosynthèse destinée à traiter les fractures des os longs de l'enfant et de l'adolescent.

Il consiste à introduire dans le canal médullaire, par une corticotomie située à distance du foyer de fracture, deux broches cintrées. De façon à stabiliser la fracture, les courbures des deux broches sont en opposition en regard du foyer de fracture selon le principe des deux arcs séquents publié par Firica [1]. Le principe biomécanique de l'embrochage élastique repose donc sur l'action de renforcement symétrique de deux broches élastiques insérées dans la métaphyse, dont chacune s'appuie sur l'os en trois points [2][3][4]. Cela produit les quatre propriétés suivantes qui sont essentielles pour obtenir des résultats optimaux : une stabilité axiale et à la flexion, et aussi une stabilité translationnelle et rotationnelle [2][4].

Initialement, la technique de l'ECMES a été décrite pour le traitement des fractures des deux os de l'avant-bras à Séville en 1977 [1], puis a été développée et enseignée par l'école française de Nancy dès le début des années 80.

Au cours des dernières années, l'utilisation de l'ECMES pour les fractures pédiatriques a considérablement augmenté avec l'introduction d'une variété de broches [5][4]. La broche élastique en titane pour l'ECMES est destinée à la fixation de fractures diaphysaires des os long où le canal médullaire est étroit ou la flexibilité de l'implant est primordiale. Dans les applications pédiatriques, la flexibilité des broches élastiques en titane permet de l'insérer à un point qui évite la rupture de la plaque de croissance osseuse [4].

L'ECMES représente donc la méthode de choix pour les fractures pédiatriques, car elle est mini-invasive et présente de très bons résultats fonctionnels et cosmétiques. Il permet une hospitalisation plus courte, un suivi précoce fonctionnel avec un rétablissement précoce du mouvement articulaire et un retour aux activités physiques, sans aucune indication absolue pour l'immobilisation postopératoire [6], et un très faible taux de complications [7][4]. Contrairement aux autres méthodes thérapeutiques qui nécessitent un séjour prolongé d'hospitalisation, des périodes d'inactivité et des cicatrices pas très esthétiques et qui ont un taux plus élevé de complications [7][4].

En effet, l'ECMES n'est pas exempt de complications, mais ce taux a été signalé comme étant minime [8].

Ainsi, nous pouvons subdiviser ces complications en deux groupes : précoces et tardives. Les principales complications précoces sont :

- L'irritation cutanée par la proéminence des broches : qui est la complication la plus fréquemment concernée avec une prévalence de 3% à 52%, le fémur étant le site le plus fréquent [9]. Elle est causée par des broches qui sont laissées trop longues à l'extérieur du cortex osseux et/ou des broches qui sont pliées à leurs extrémités.
- L'infection sur matériel : qui peut être soit une infection superficielle bénigne suite à une irritation cutanée par les broches ou à une fracture ouverte, soit profonde plus grave causant une ostéomyélite. Le risque de l'infection après ECMES des fractures fermées des os longs est semblable au risque général d'infection après les autres techniques chirurgicales en traumatologie orthopédique, mais ce risque est considérablement augmenté dans le cadre des fractures ouvertes et a été rapporté entre 4% et 7% [10]. Le facteur critique

influençant le risque de développer une infection est la complexité de la fracture et non la technique utilisée [11][12].

Les complications tardives d'ECMES sont :

- Le retard de consolidation : est défini par la formation de cal dépassant les 3 mois au niveau des membres supérieurs, et les 4 mois au niveau des membres inférieurs. Cependant, la guérison des fractures chez les enfants dépend de l'âge. Chez les enfants de moins de 5 ans, la fracture guérit habituellement entre 4 et 6 semaines. Chez les enfants de 5 à 10 ans, la consolidation s'élève à 8 à 10 semaines. Pendant l'adolescence, le processus de guérison est plus long et prend 10–15 semaines [13].
- La pseudarthrose : est définie par l'absence de consolidation osseuse six à neuf mois après la chirurgie en l'absence de progression radiologique pendant les trois derniers mois sur des radiographies subséquentes, et/ou avec présence de douleurs et de mobilité au niveau du site de fracture [14]. Elles peuvent faire suite à un traumatisme sévère, à une ouverture cutanée, ou iatrogène par déperiostage intempestif. Il peut s'agir de **pseudarthrose atrophique** : qui se caractérise par des extrémités serrées, mal vascularisées avec une ostéoporose et ou sclérose des fragments, ou de **pseudarthrose hypertrophique** : caractérisée par des extrémités osseuses élargies bien vascularisées, ou de **pseudarthrose septique** : lorsqu'il existe une infection surajoutée. Cette complication nécessite le plus souvent une reprise chirurgicale avec un changement de la technique chirurgicale dans la plupart des cas [13].
- Le cal vicieux : est la consolidation en position anormale. Il s'agit d'une déformation angulaire de plus de 10° ou un raccourcissement de plus de 20mm [10][15]. Il est le plus souvent dû à une fracture déplacée non réduite, à une réduction insuffisante, ou à un déplacement secondaire [6]. Deux types de cals

vicieux sont les plus fréquents : les angulations et les défauts d'axe. Il est important de préciser les limites tolérables de ces défauts de correction, et la possibilité de correction avec l'âge [6]. Le taux de cal vicieux signalé après l'ECMES du fémur varie de 0% à 16% [16][9], alors que le taux après l'ECMES du tibia varie de 0% à 21% [9], et sont rares après l'ECMES de l'avant-bras [17][18][9].

– Re-fracture et fractures itératives :

Les Refractures sont des fractures qui surviennent à la suite d'un traumatisme et avant le délai prévu de la consolidation osseuse. Les broches sont alors pliées au niveau du foyer de fracture [1]. Cette complication est souvent reliée au choix du diamètre des broches.

Les Fractures Itératives surviennent, par définition, durant la période située entre la consolidation osseuse et environ 18 mois plus tard. Chez les patients traités par un ECMES, ces fractures surviennent après l'ablation des broches [19][1]. Cette complication est donc corrélée avec le moment d'ablation des broches.

II. Matériels et Méthodes :

Nous rapportons l'expérience du service de Traumato-Orthopédie Pédiatrique du CHU HASSAN II de Fès concernant les fractures des 4 segments traitées par Embrochage centromédullaire élastique stable (ECMES) sur une période de 6 ans s'étalant de janvier 2010 jusqu'à décembre 2016.

Durant cette période nous avons colligé 424 cas de fractures, mais uniquement 373 dossiers étaient exploitables alors que 51 dossiers étaient incomplets.

Notre travail consiste à examiner les complications associées à l'utilisation de l'ECMES en analysant les paramètres épidémiologiques, cliniques, radiologiques, la technique opératoire, et l'évolution de ces complications, de détecter ainsi les complications inhérentes à la technique et celles inhérentes au patient lui-même et de fournir les moyens pour les éviter.

II.1. Fiche d'exploitation :***Fiche d'exploitation : Complications De L'ECMES Chez L'enfant*****I. Paramètres préopératoires :**1) Age :2) Sexe : Masculin : Féminin :3) Coté : droit : Gauche :**4) Mécanisme traumatisme :**

AVP : Chute de sa hauteur : Accident de sport : choc direct :

5) Niveau de fracture :

Humérus : Avant-Bras : Fémur : Tibia :

6) Type de fracture :

Transversale : oblique : Spiroïdal : comminutive :

7) Région concerné :

1 / 3 proximal : 1 / 3 moyen : 1 / 3 distal :

8) fracture associées : oui : lesquelles :..... non :**9) Ouverture cutanée (classification de Couchoix-Duparc) :**

Type I: Type II: Type III: Type IV:

10) Lésions associées : Nerveuses : Vasculaires :11) Os sain : Os pathologique :**12) Indications de l'ECMES :**

Age sup à 6 ans : polytraumatisme : Irréductibilité : instabilité :

déplacement secondaire :

Fracture ouvertes stade I ou II : lésions vasculo-nerveuses :

II. Paramètres peropératoires :1) type de l'ECMES : Ascendant : Descendant :

2) Diamètre de la broche : N°10: N°15 : N°20: N°25:
 N°30: N°35: N°40 :

3) Diamètre canal médullaire :

4) Nécessité d'abord du foyer fracturaire: Oui : Non :

5) Type d'immobilisation : / ..elle postérieure : plâtre circulaire :

6) Durée d'immobilisation :.....

III .Complications postopératoires :

1) Durée d'hospitalisation :.....

2) Moment de consolidation des broches :.....

3) Moment d'ablation des broches :.....

4) Biologie : VS : normale /anormale : CRP : normale /Anormale : ...

5) Échographie : normale : anormale :.....

IV. Type de complications :

Complications précoces :

Irritation et / ou perforation sur broches :

Migration des broches : Infection sur matériel :

Enroulement des broches :

Complications tardives

Retard de consolidation : Pseudarthrose :

Cal vicieux :

Re-fracture (sur matériel) et Fractures itératives :

Raideur du genou (Fémur et Tibia) :

Lésions nerveuses et tendineuses (Avant-bras- Humérus) :

Synostose radio-ulnaire (Avant-bras) :

V .Causes de complications :

1) Complications inhérentes aux patients :

Ouverture cutanée : type de fracture : délai de la chirurgie :

2) Problèmes des broches

Introduction : taille des broches : technique :

Site d'introduction de broches :

Courbures : Trajet (ant /post) :

3) Abord du foyer fracture :

4) Appui précoce :

II.2.Critères d'inclusion et d'exclusion:

II.2.1. Les critères d'inclusion :

Cette étude a intéressé tous les cas de fractures de la diaphyse fémorale, tibiale, radiale, ulnaire et humérale traitées au service par un embrochage centromédullaire élastique stable, ainsi que les fractures humérales proximales, humérales supracondylaires, celles du col radial et les fractures métaphysaire fémorales subtrochantériennes et supracondyliennes qui ont bénéficié de cette technique. La présence de la plaque de croissance était un autre critère nécessaire.

II.2.2. Les critères d'exclusion :

Toutes fractures diaphysaires traitées orthopédiquement ou par une technique chirurgicale autre que l'embrochage centromédullaire élastique stable. Toutes les fractures pathologiques ont été exclues.

III. Résultats:

Notre étude a porté sur 373 enfants présentant des fractures des os longs des membres supérieurs et inférieurs et traitées par ECMES, dont 75 complications ont été signalé chez 63 enfants, dont :

- 34 complications concernant le fémur.
- 6 complications pour le tibia.
- 31 pour l'avant-bras.
- 4 pour l'humérus.

III.1. Fémur :

III.1.1. Paramètres Préopératoires :

Sur les 165 fractures fémorales traitées par ECMES, nous avons signalé 34 complications chez 23 enfants, avec un ratio complications/Nombre de fractures de 0,2 (Tableau 1).

Niveau de Fracture	Fémur
Nombre de Fractures Total (exploitable)	165
Nombre de Complications	34
Ratio Complications/Nb de Fractures	0,2

Tableau 1 : le nombre de complications de l'ECMES du fémur

- Age :

L'âge moyen de nos patients est de $9,9 \pm 3,6$ ans (SD) avec des extrêmes d'âge de 6 et 15 ans (Diagramme 1).

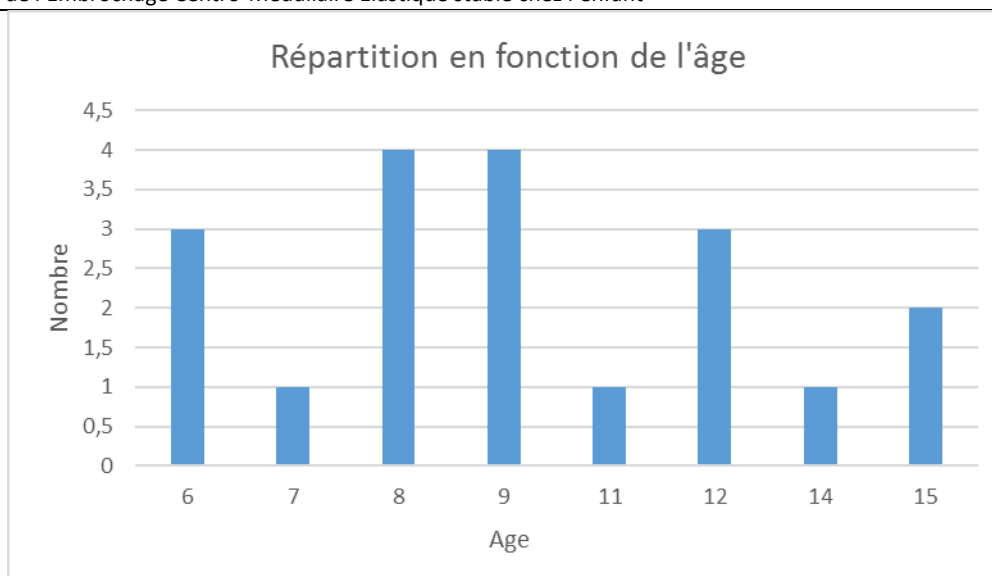


Diagramme 1: répartition en fonction de l'âge.

- **Sexe :**

Nous avons noté une prédominance masculine avec un taux de garçons de 57,9% et un sexe ratio de 1,4 (Tableau 2).

Niveau de Fracture	Fémur
% Masculin	57,9
% Féminin	42,1
Sexe Ratio M/F	1,4

Tableau 2: répartition en fonction du sexe

- **Fractures et lésions associées :**

Nous avons noté 4 cas (17,4%) de fractures associées :

- Un cas de genou flottant gauche chez un garçon de 12 ans, victime d'un AVP occasionnant chez lui une fracture ouverte stade I de Couchoix-Duparc comminutive du tiers moyen du fémur, sans lésions nerveuses ou vasculaires, associée à une fracture ipsilatérale diaphysaire du tibia gauche (genou flottant type I (Classification de FRASER)). Le patient a été traité par un ECMES ascendant du fémur et descendant pour le tibia.

- Un cas de fracture proximale oblique du fémur associée à une fracture des 2 os de l'avant-bras droit chez un enfant de 12 ans victime d'une chute de sa hauteur.
- Un cas fracture médio-diaphysaire oblique associé à une fracture humérale droite chez un enfant de 9 ans victime d'un AVP.
- Un cas de fracture transversale du tiers distale du fémur associée à une fracture supracondylienne de l'humérus gauche chez un enfant de 12ans victime d'une chute du dos de cheval.

- **Etiologies du traumatisme :**

Les traumatismes faisaient suite à un AVP dans 17 cas (74%), et à une chute d'une hauteur élevée dans 6 cas (26%).

- **Type de fractures :**

Le trait de fracture était transversale dans 13 cas (56,5%), oblique dans 5 cas (21,7%), spiroïde dans 4 cas (17,5 %), et comminutif dans 1 cas (4,3 %) (Digramme 2).

Les fractures siégeaient dans 18 cas au 1/3 moyen (78,2%), dans 4 cas (17,4%) au 1/3 proximal, et dans un cas au 1/3 distal (4,4 %) (Digramme 3).

Un 3ème fragment était présent dans 5 cas (21,7%) (Digramme 4).

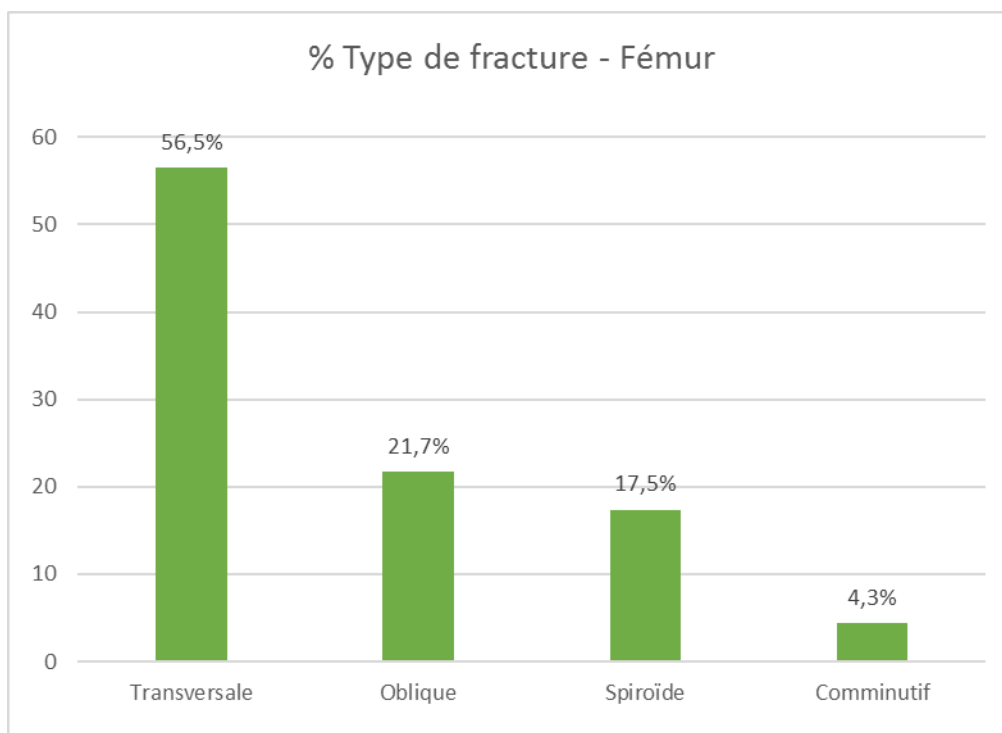


Diagramme 2: Répartition des fractures selon le type de fracture

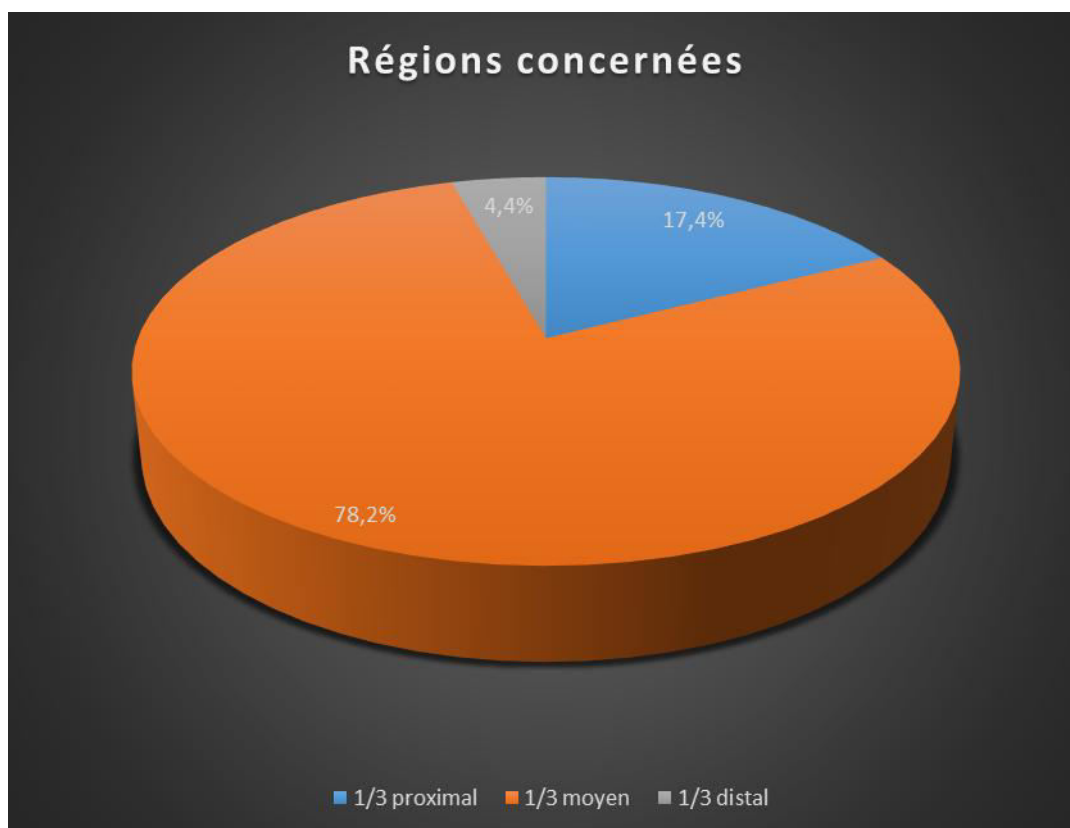


Diagramme 3: Répartition des fractures selon les régions concernées

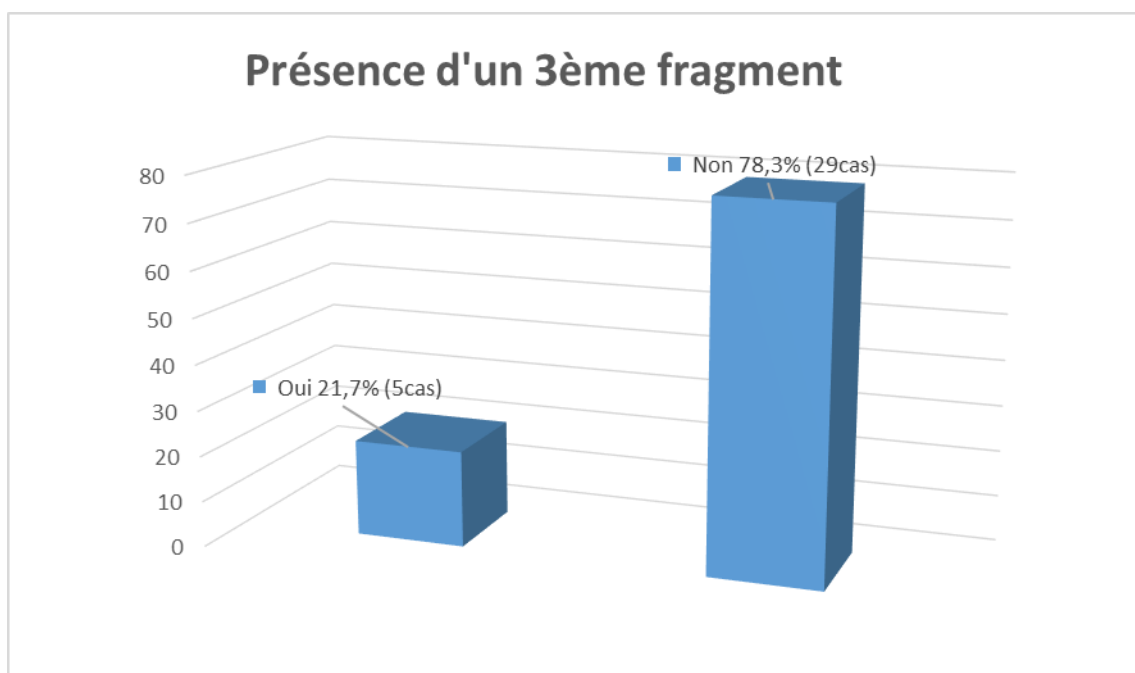


Diagramme 4: Répartition des fractures selon la présence ou non d'un 3^{ème} fragment

- **Fractures ouvertes :**

Parmi les 165 fractures répertoriées, 148 étaient fermées et 17 ouvertes.

Nous avons constaté 3 complications sur ces 17 fractures ouvertes qui étaient un stade II de Couchoix-Duparc (17,3%).

Ces enfants ont bénéficié d'un parage avec fermeture de la plaie suivi d'un ECMES à foyer fermé dans les 6h sous couverture d'ATB.

- **Indications de l'ECMES :**

L'indication de l'ECMES du fémur dans notre série était l'âge de plus de 6 ans ou l'âge scolaire.

- **Délai moyen de la chirurgie :**

Le délai moyen de la chirurgie dans notre étude est de 2.37 ± 1.38 jours avec des extrêmes de 0 et 6 jours.

III.1.2. Paramètres Per-Opératoires:

- Le choix des broches :

Le diamètre a été choisi en fonction du diamètre du canal médullaire et l'âge du patient ; il était de 2,5mm pour les enfants de 6–9 ans (10%), 3,0 mm pour les enfants de 9–10 ans (53,3%), de 3,5mm pour les 10–14 ans (26%), et de 4,0 mm pour les enfants de 14–15 ans (11%) (Diagramme 5).

Le diamètre du canal médullaire était en moyenne $7,1 \pm 3,2$ mm (SD) avec un ratio ND/ DCM de 0,4.

Le type d'ECMES est ascendant dans 100 % des cas étudiés.

La majorité des broches utilisées dans notre étude étaient en alliage de titane.

Les broches en acier inoxydables ne sont plus utilisées dans notre formation.

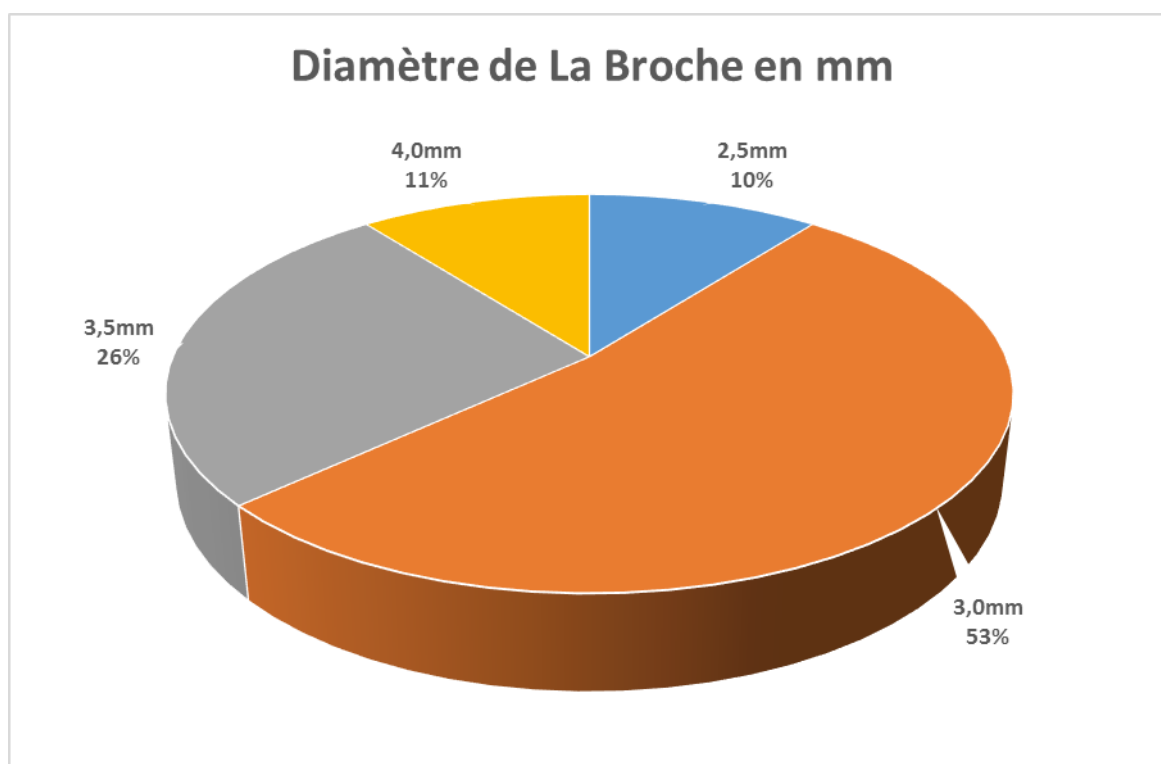


Diagramme 5 : Répartition des fractures selon le Diamètre des broches

- **Abord du foyer fracturaire**

Sur les 165 cas de fémur opérés dans notre formation durant la période d'étude, l'abord du foyer fracturaire a été réalisé sur uniquement **34 cas** dont seulement **4 cas** ont présenté des complications (**11,7%**).

- **Type et durée d'immobilisation**

Tous les malades ont bénéficié d'une attelle cruro-pédieuse d'une durée de **3,3 ± 0,5 semaines (SD)** en moyenne.

III.1.3. Paramètres Postopératoires:

- **Durée d'hospitalisation :**

La durée d'hospitalisation est en moyenne de **5,6 ±3,5 jours (SD)** avec un minimum d'un jour et un maximum de 6 jours.

III.1.4. Types de Complications :

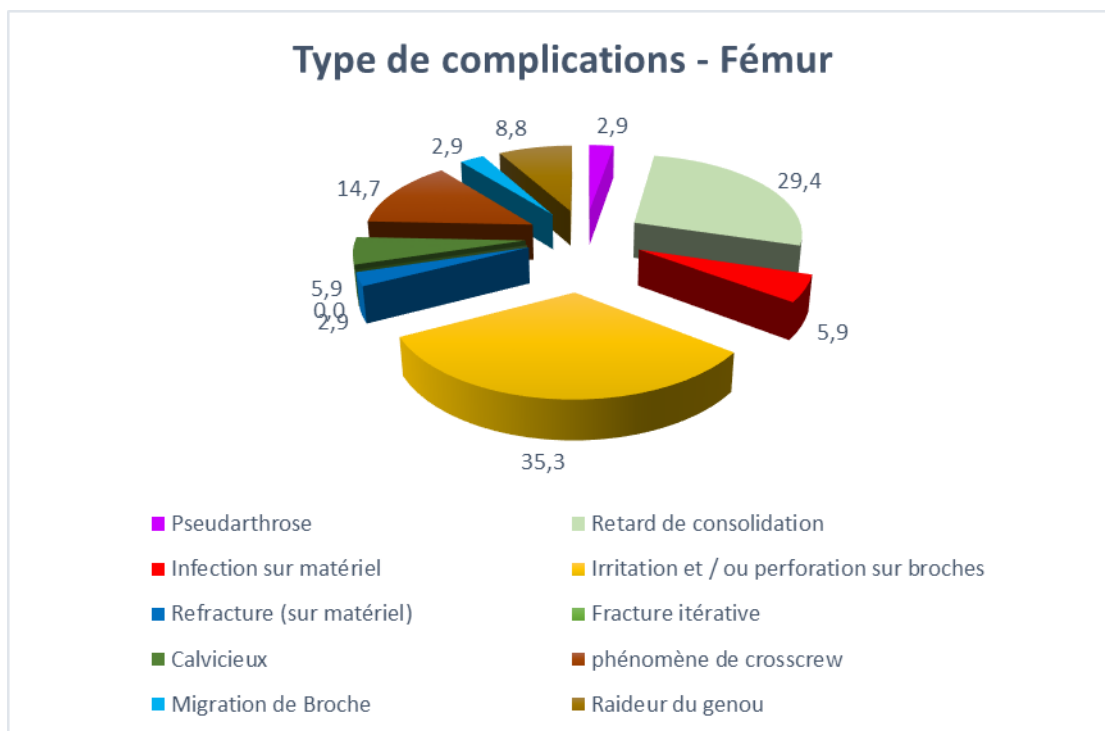


Diagramme 6 : Répartition des différents types de complications

Nous avons noté 17 complications précoces (50%) et 17 tardives (50%) chez enfants (Diagramme 6).

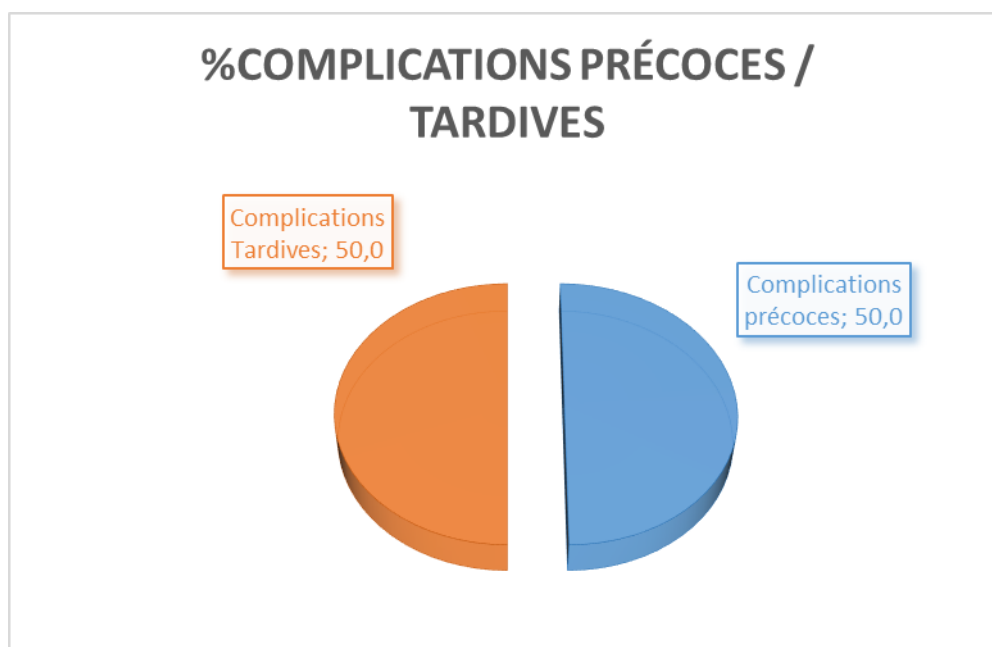


Diagramme 7: Répartition des complications selon leur mode de survenue

❖ Complications précoces :

➤ Irritations cutanées et/ou Perforations cutanées sur broches :

9 cas ont présenté une perforation par les broches avec une irritation cutanée, traitée par une recoupe de broches (5,4%). La consolidation osseuse dans ces cas-là était à 4 mois du post-op, et les broches ont été retirées à 6 mois (Fig 1), (Fig 2).

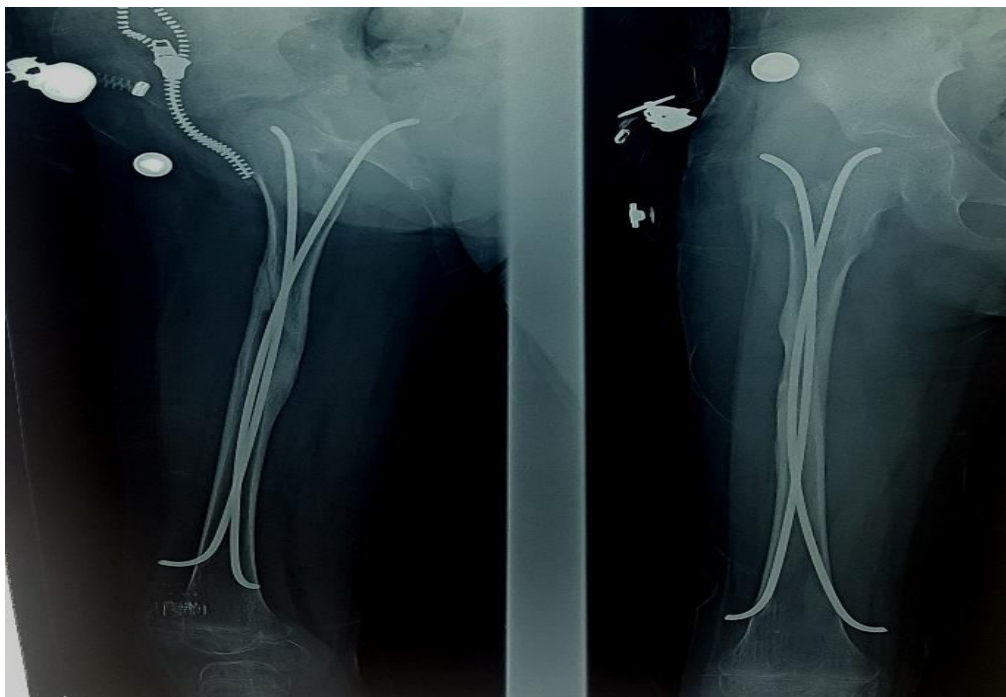


Fig 1 : Radioproéminence des broches provoquant une gêne au niveau de la hanche

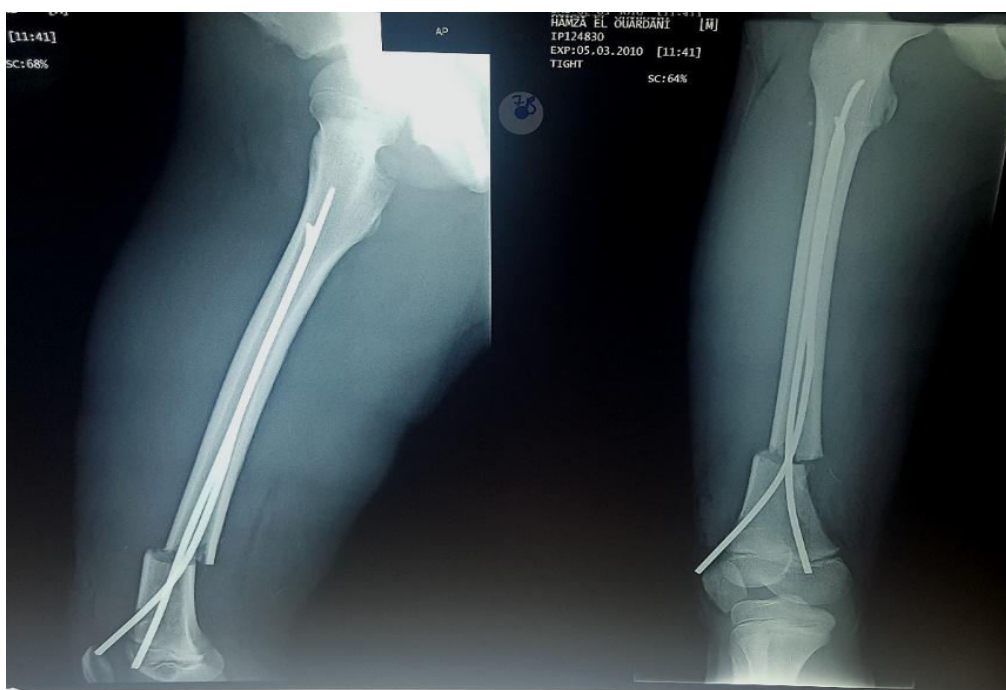


Fig 2 : Radio F+P après ECMES du Fémur : les broches sont trop longues et non courbées causant une irritation articulaire du genou, avec un site d'introduction proche du foyer fracturaire

➤ **Migration des broches :**

Nous avons noté un cas (0,6%) de migration d'une broche en intramédullaire après un ECMES ascendant de 2 broches en titane de 3 mm, la broche n'était pas bien courbée, favorisant sa migration (Fig 3).



Fig 3 : A: Radio objectivant une fracture transversale du tiers moyen du fémur gauche

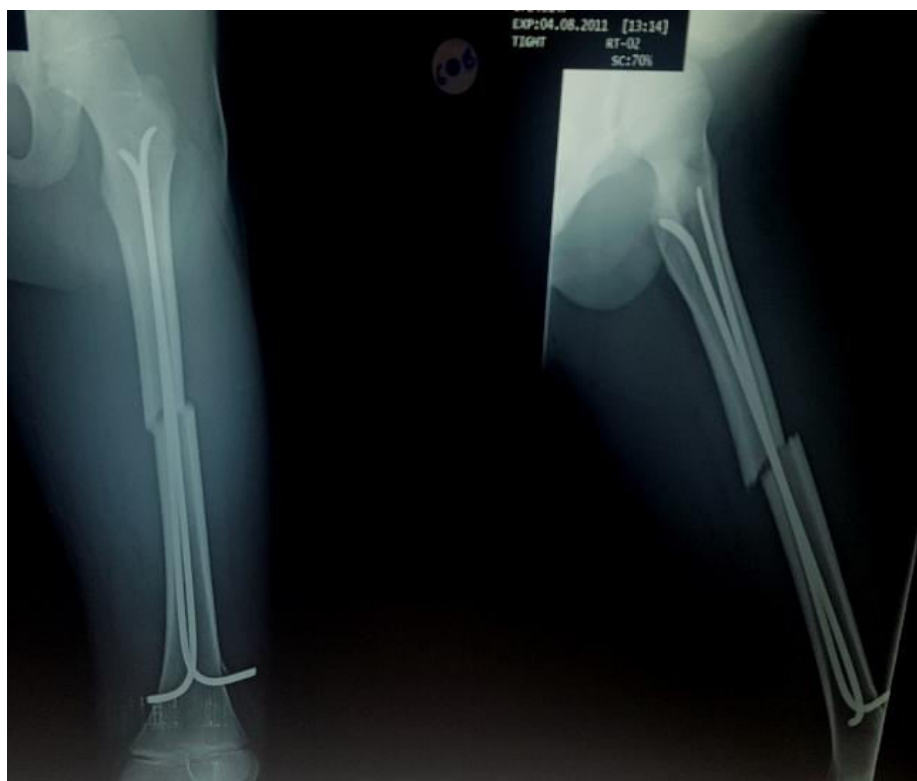


Fig 3 : B : Radio après ECMES ascendant : un montage installé fait d'un embrochage axial et non en double arc sécant.

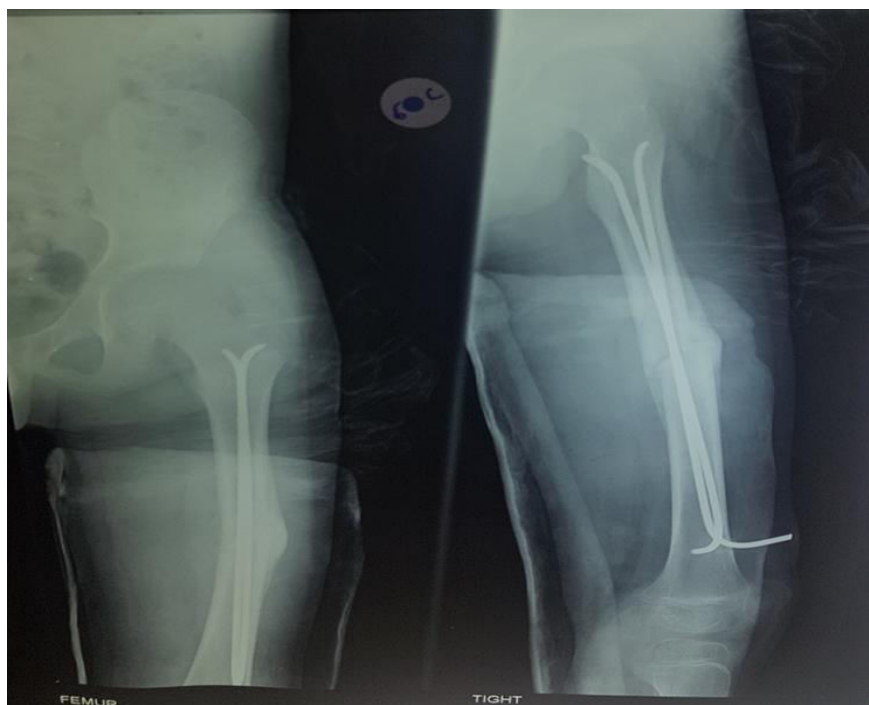


Fig 3 : C : Radio à 2 mois du post-op avec un aspect de la broche en intra-médullaire et la formation d'un cal hypertrophique en légère angulation.

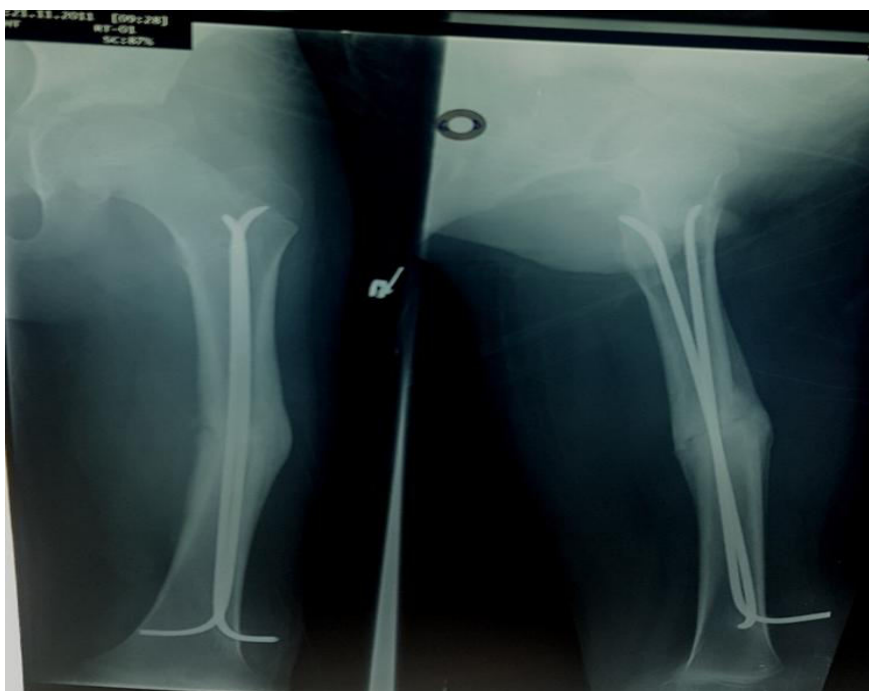


Fig 3 : D : Radio à 3 mois du post-op : migration de la broche en intra-médullaire

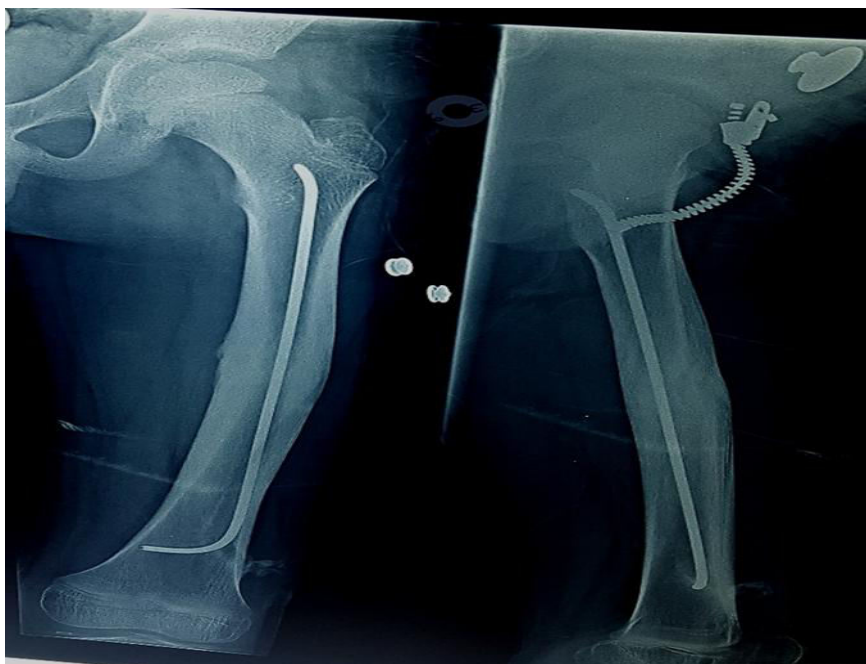


Fig 3 : E : Radio à 8 mois du post-op, après AMOS d'une seule broche, la 2ème broche a migré et s'est incarcerationnée.

➤ **Enroulement des broches « crosscrew phenomenon »**

Il y a eu 5 cas d'enroulement des broches (3%), les fractures se sont consolidées avec un retard allant de 4 mois à 15 mois (moyenne de 9 mois), avec une ablation de broches à 9,5 mois en moyenne (Fig 4).

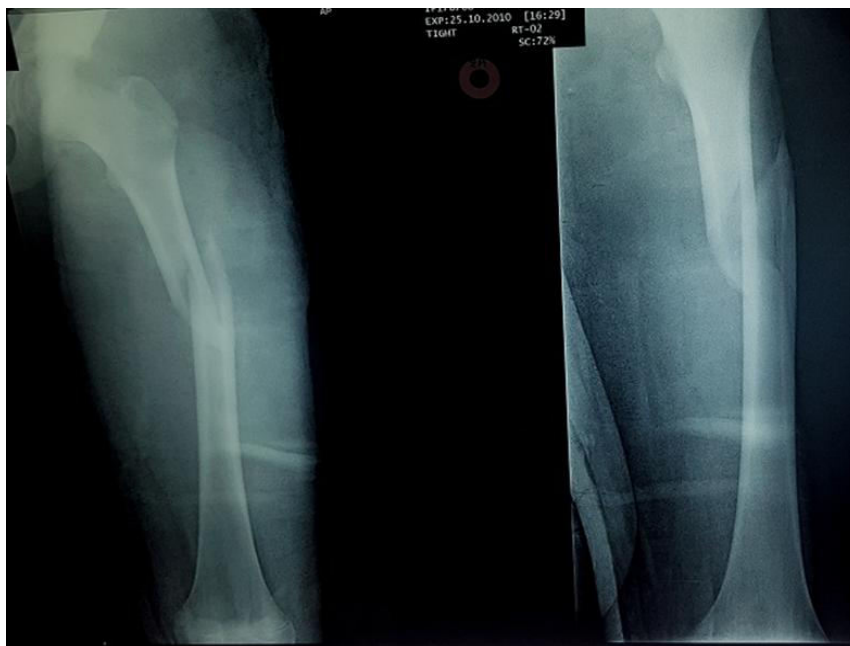


Fig 4: Enfant de 12 ans victime d'un choc direct par une pierre ;
Fig 4A: Radio F+P objectivant une fracture oblique de la jonction 1 /3 proximal-1/3 moyen du fémur gauche.



Fig 4 B : Radio après ECMES ascendant: **phénomène de crosscrew.**

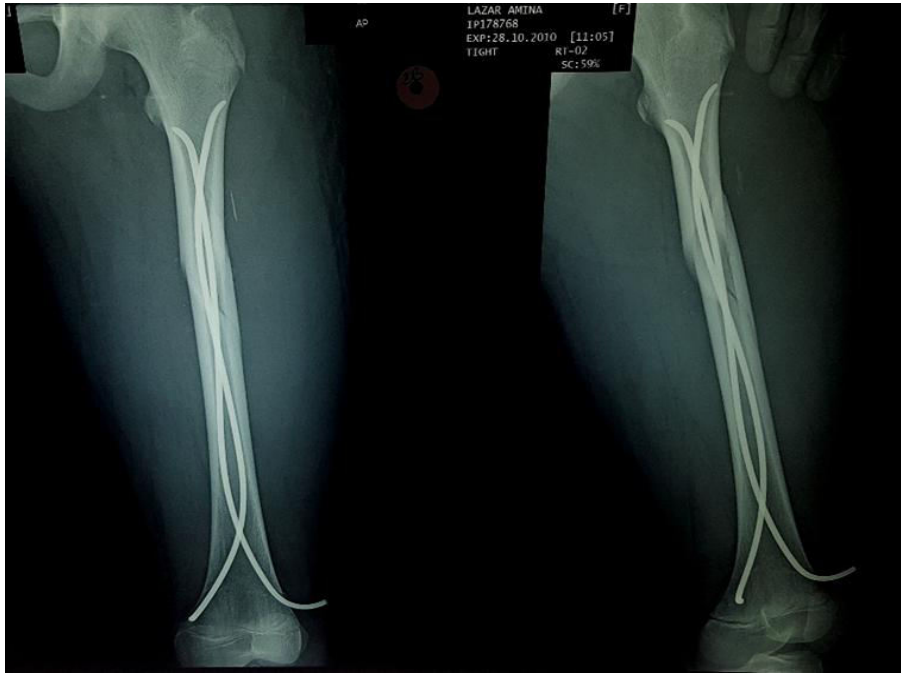


Fig 4 : C : Radio à 8 mois du post-op : bonne consolidation osseuse.

➤ **Infections sur matériel**

Nous avons noté la présence de **2 cas** d'infection sur matériel (1,2%):

- Dans le 1^{er} cas, il s'agissait d'une fille de 6 ans victime d'un AVP avec une fracture fermée de la jonction 1/3 moyen-1/3 inférieur du fémur traitée par ECMES sans abord du foyer fracturaire. La radio de contrôle en post-op a montré une broche qui a perforé la corticale du fragment proximal. A 2 mois du post-op, le bilan inflammatoire était perturbée avec une CRP à 62 et une VS accélérée (H1:130 H2:140). L'enfant a bénéficié d'une AMOS avec un relai par un fixateur externe et une antibiothérapie, avec une bonne évolution clinico-radiologique (Fig 5).

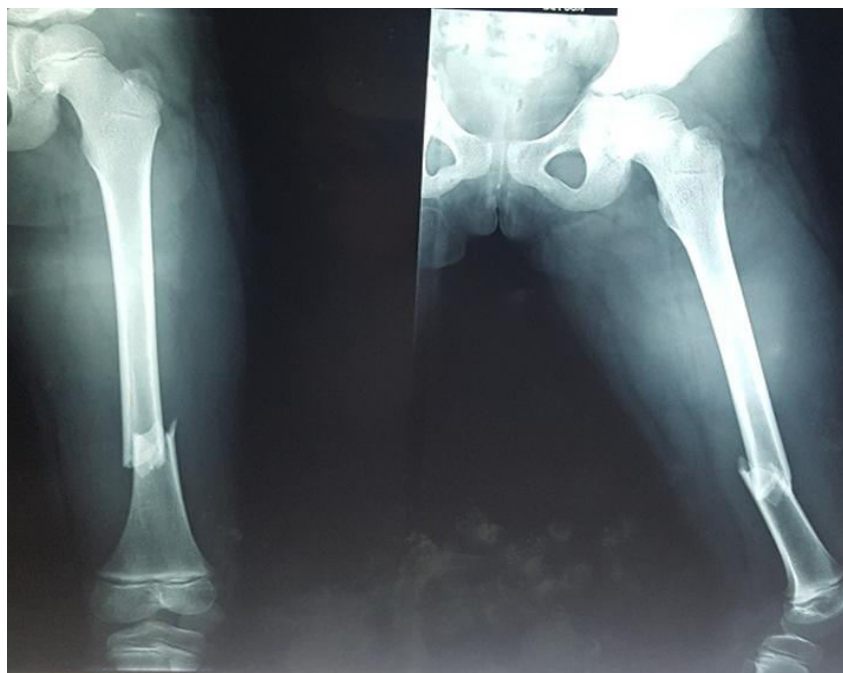


Fig 5 : A: Radio F+P montrant une fracture de la jonction 1/3 moyen-1/3 inférieur du fémur gauche.



Fig 5 B : Radio après ECMES ascendant avec la broche qui a perforé la corticale du fragment proximal

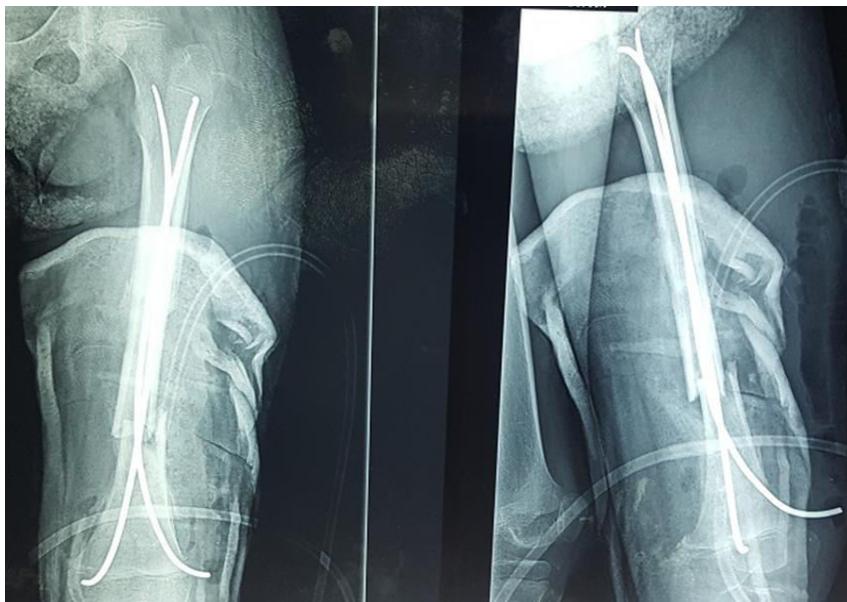


Fig 5 C : Radio à 2 mois du post-op suite à l'infection sur matériel

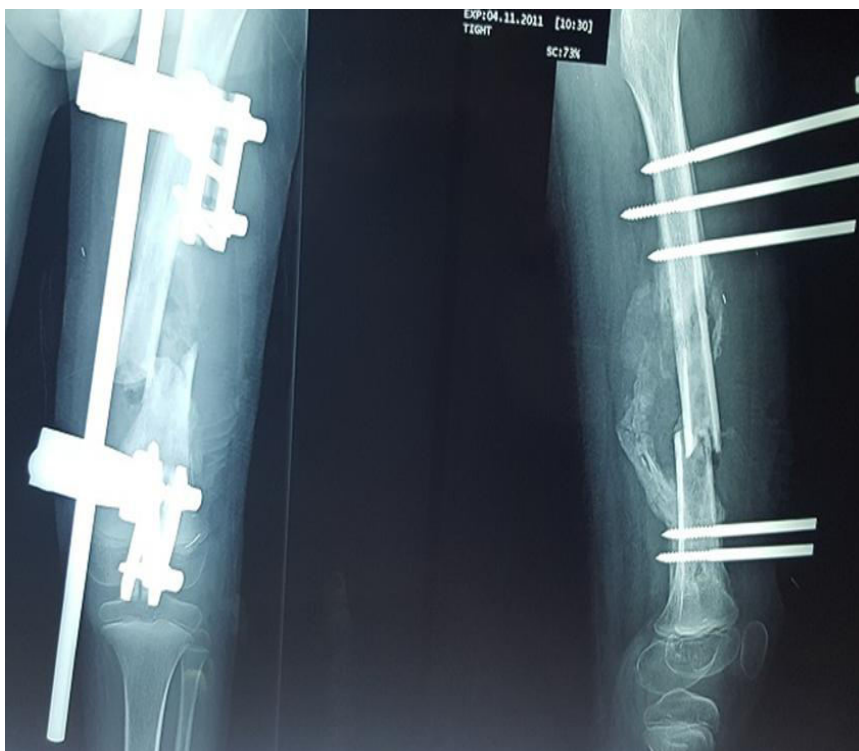


Fig 5 D : Radio à 2 mois et demi du post-op après AMOS et relai par un fixateur externe.

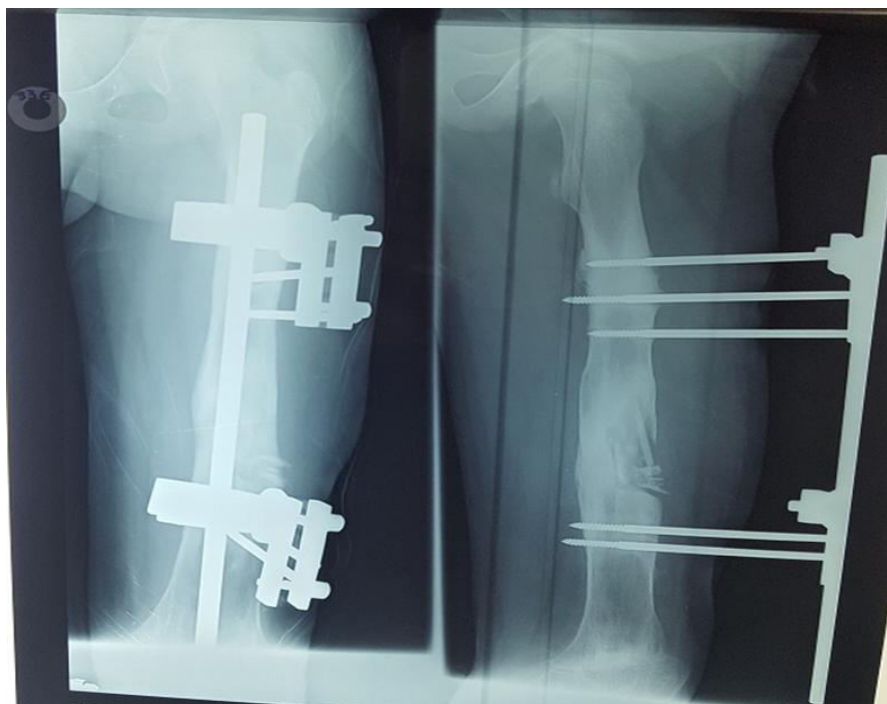


Fig 5 E : Radio 3 mois après fixateur externe : consolidation de la fracture

- Le 2ème cas concernait un garçon de 6 ans victime d'une chute de sa hauteur occasionnant chez lui une fracture médio-diaphysaire fermée, qui a été traitée par ECMES avec un abord du foyer fracturaire suite à une irréductibilité de la fracture. Les radios de contrôle en post opératoires ont montré des bulles d'aires en intramédullaire. L'enfant a été mis sous ATB avec une consolidation osseuse retardée à 11 mois (Fig 6).



Fig 6 : A: Radio F+P objectivant une fracture médiodiaphysaire spiroïde avec un 3^{ème} fragment du fémur droit



Fig 6 : B : Radio après ECMES ascendant

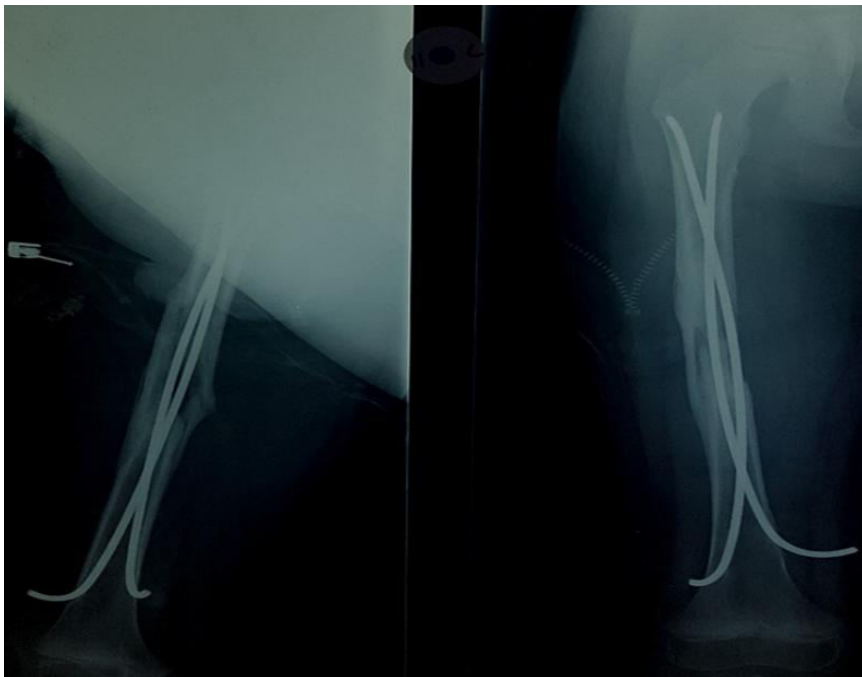


Fig 6 C : Radio à 4 mois du post-op

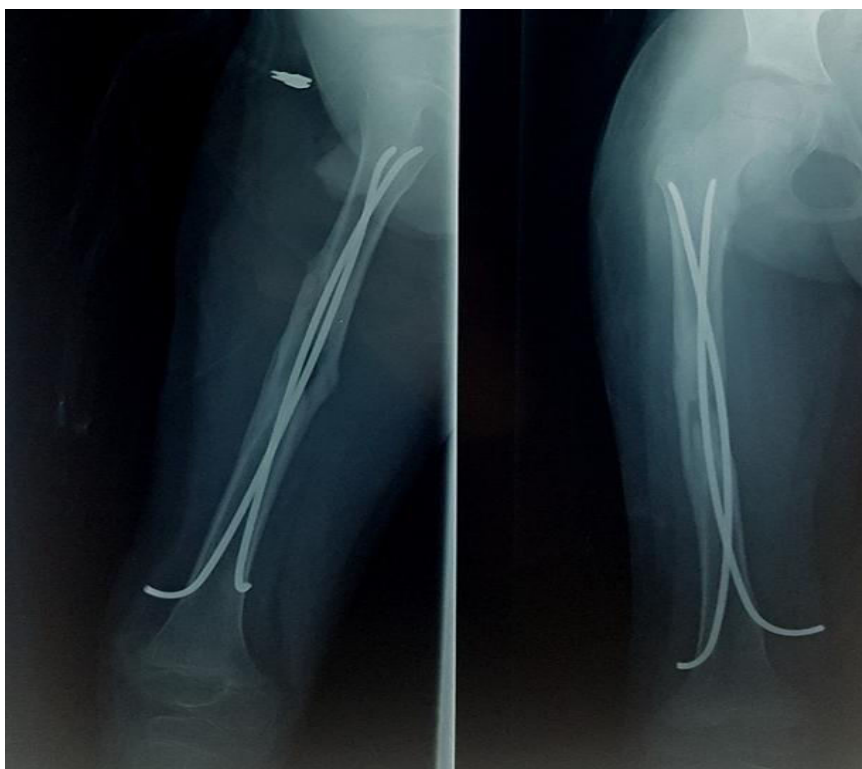


Fig 6 D : Radio à 5 mois du post-op : infection sur matériel : présence de bulles d'air à l'intérieur avec la broche latérale qui a résorbé la corticale interne de l'os.

❖ **Complications tardives :**

➤ **la pseudarthrose**

Nous avons noté la présence d'un **seul cas de pseudarthrose (0,6%)** : il s'agit d'un enfant de 12ans victime d'un AVP causant un genou flottant type I de la classification de FRASER (fracture diaphysaire fémorale oblique gauche fermée associée à une fracture tibiale du même côté) ayant bénéficié d'un ECMES ascendant avec deux broches de 3,5mm. L'évolution a été marquée par la non consolidation à 10 mois du traitement nécessitant une reprise chirurgicale faite d'un avivement des berges et d'une greffe osseuse. L'ostéosynthèse a été assurée par une plaque vissée à 10 trous. (Fig 7).

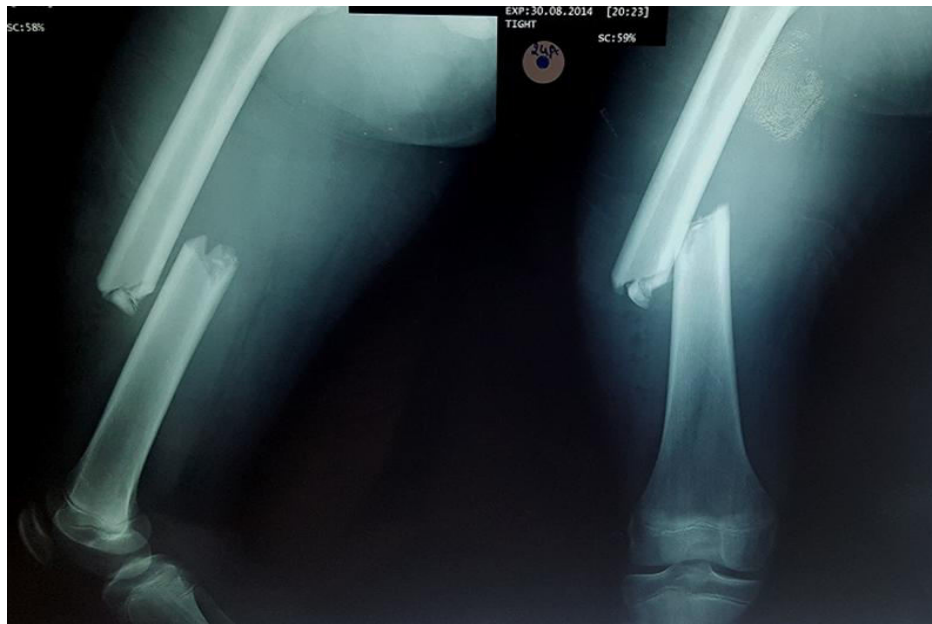


Fig 7 : A: Radio F+P objectivant une fracture comminutive du tiers moyen du fémur gauche



Fig 7 B : Radio après ECMES ascendant : broches sont de petit calibre et un phénomène de crosscrew.



Fig 7 C : Radio à 8 mois du post-op : fracture sur matériel avec des berges du foyer de fracture hypertrophiques élargies.

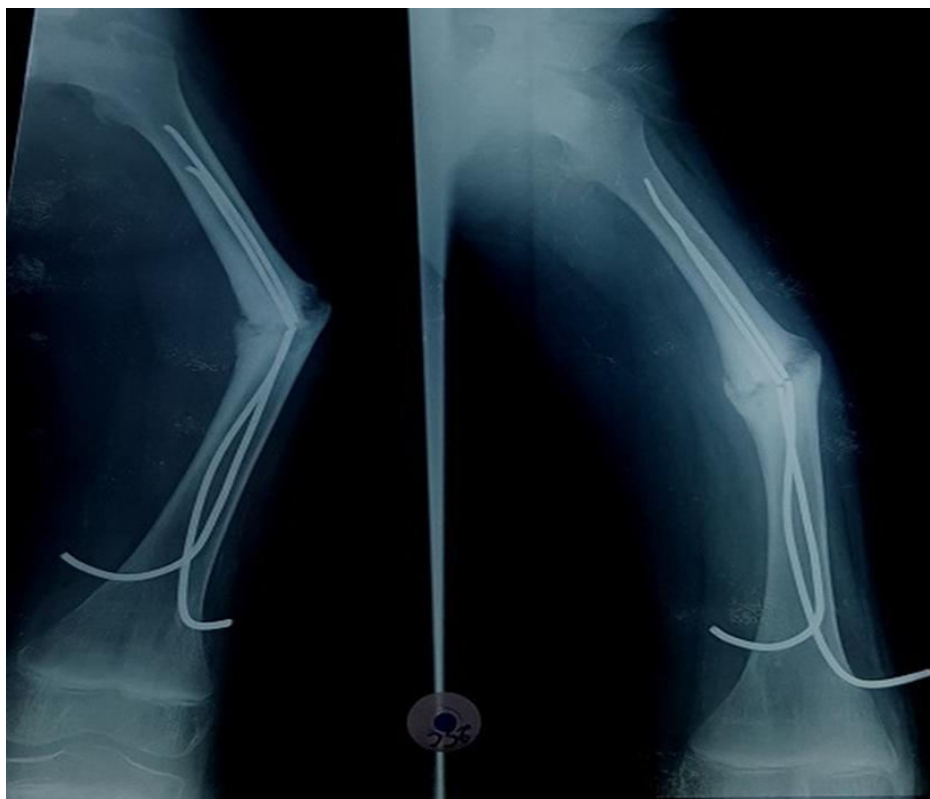


Fig 7 : D : Radio à 9 mois du post-op : Absence de cal : pseudarthrose

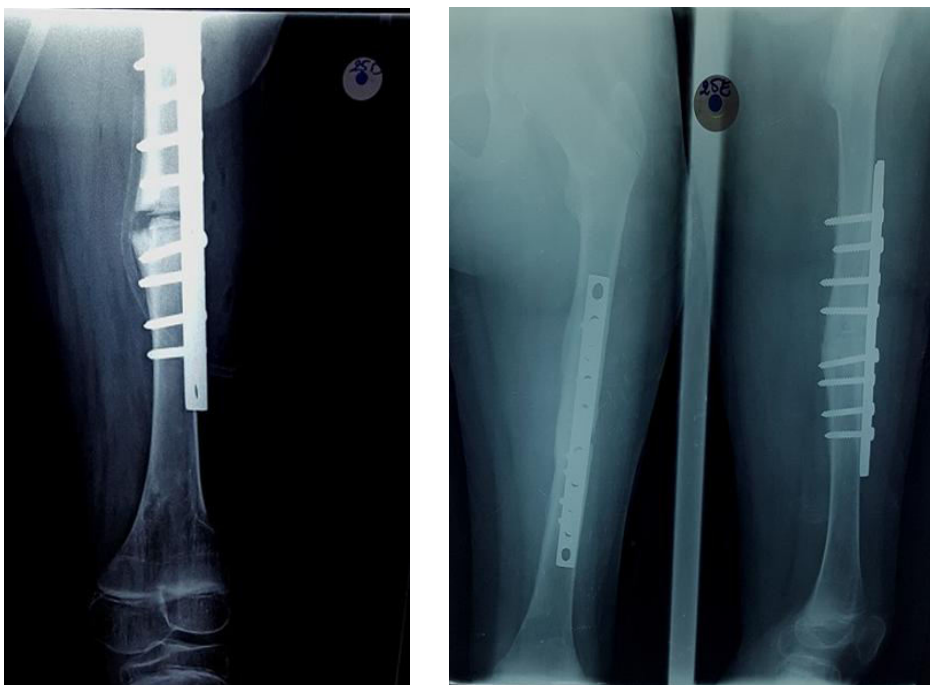


Fig 7 E : Radio après AMOS et relai par une plaque vissée

Fig 7 F : Radio à 6 mois du traitement montrant un cal homogène avec une bonne consolidation osseuse



Fig 7 : G : Radio après AMOS : bonne consolidation osseuse

➤ **Le retard de consolidation :**

Nous avons signalé aussi la présence de **10 cas** de retard de consolidation (**6%**), qui se sont consolidés en moyenne à 19 mois avec AMOS à 20 mois en moyenne (Fig8).

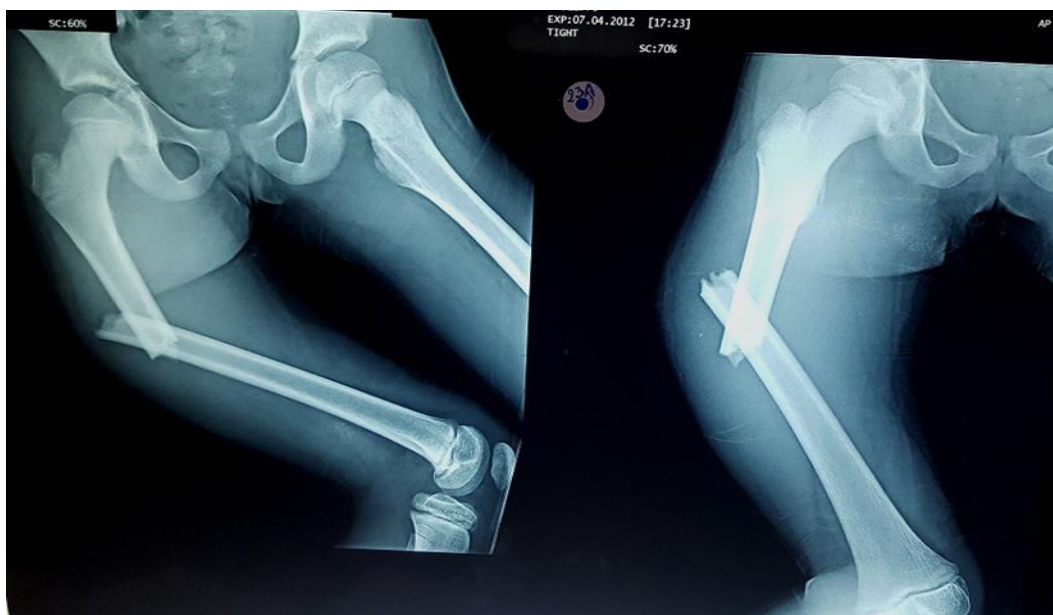


Fig 8 : Enfant de 9 ans victime d'un AVP.

A: Radio F+P objectivant une fracture transversale de la jonction 1/3 moyen-1/3 proximal du fémur droit

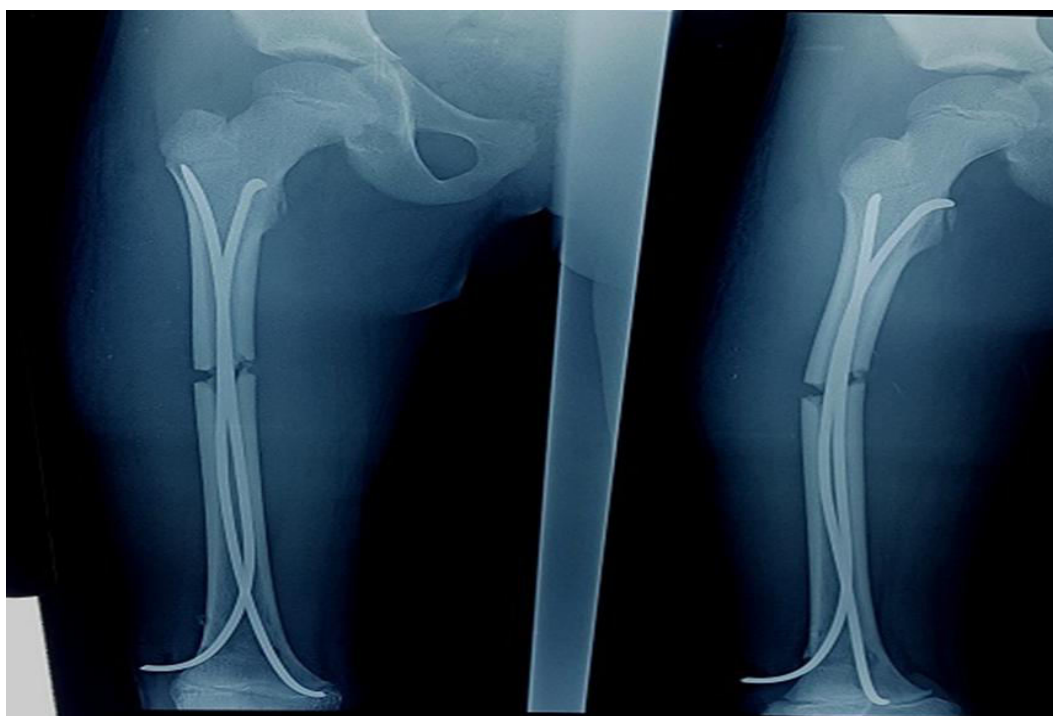
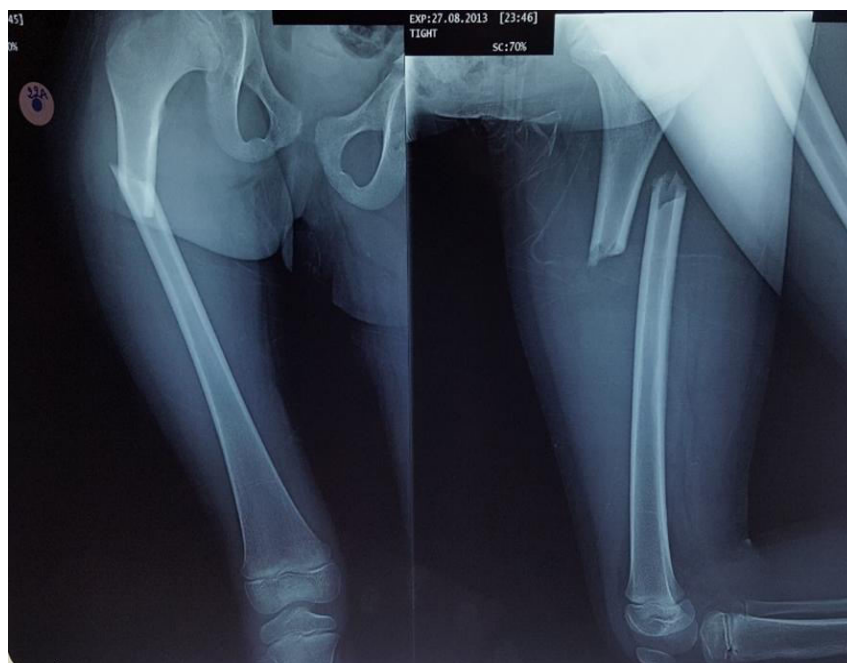


Fig 8 : B : Radio après ECMES ascendant du Fémur droit : les broches se croisent au niveau du foyer de la fracture avec un aspect en cross du fémur.



Fig 8 : C : Radio à 48 mois du post-op : consolidation osseuse



**Fig 9 : Enfant de 7 ans suite à un AVP.
A: Radio F+P objectivant une fracture proximale transversale du tiers moyen du fémur droit**

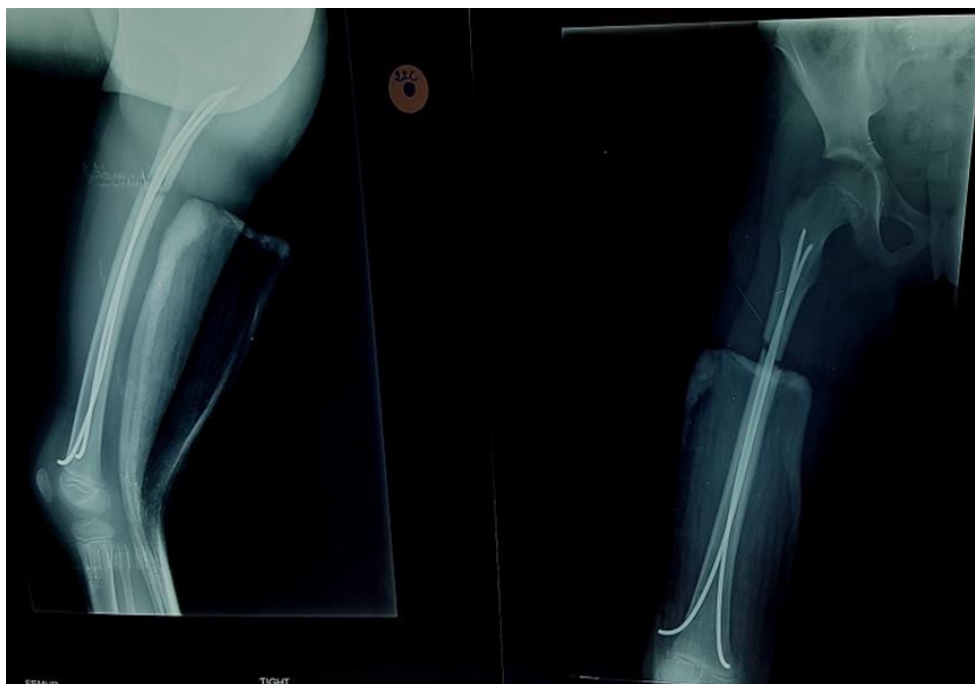


Fig 9 : B : Radio après ECMES ascendant : les broches se croisent juste en dessus du foyer de fracture.

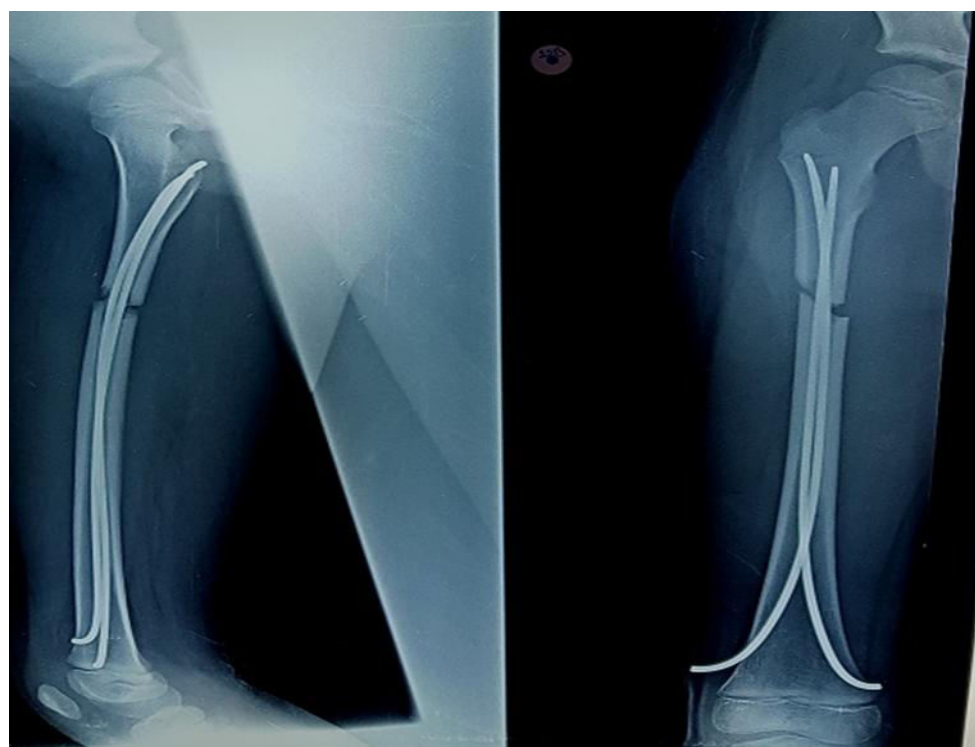


Fig 9 : C : Radio à 1 mois du post-op : consolidation en cours

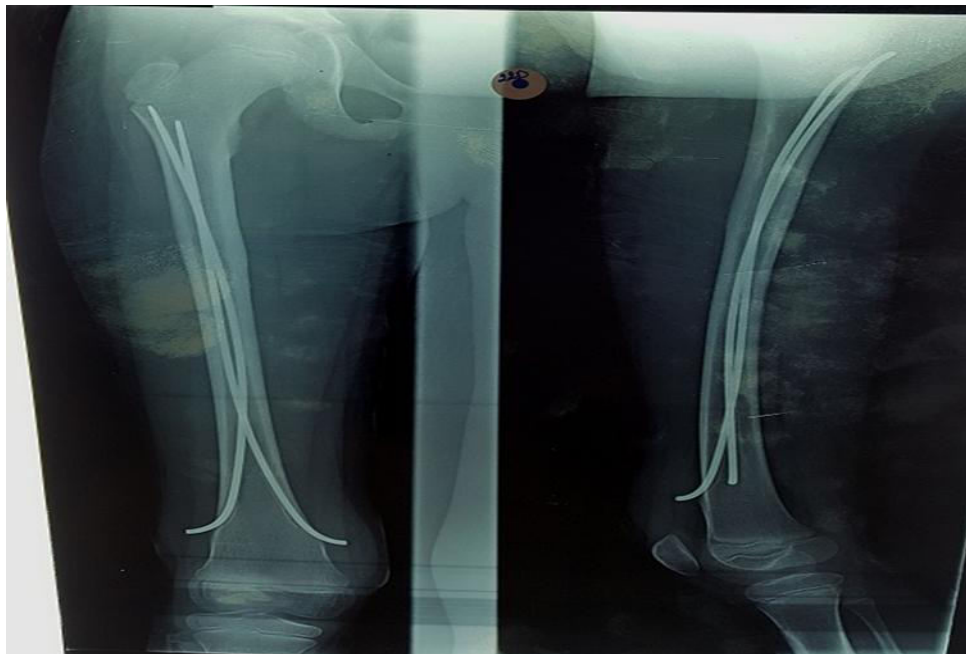


Fig 9 : D : Radio à 20 mois du post-op : consolidation avec retard



Fig 10 : Enfant de 9 ans victime d'un AVP ; A: Radio F+P objectivant une fracture oblique du tiers moyen du fémur gauche.



Fig 10 : B : Radio après ECMES ascendant : les broches sont coupées trop longues avec un cintrage asymétrique.

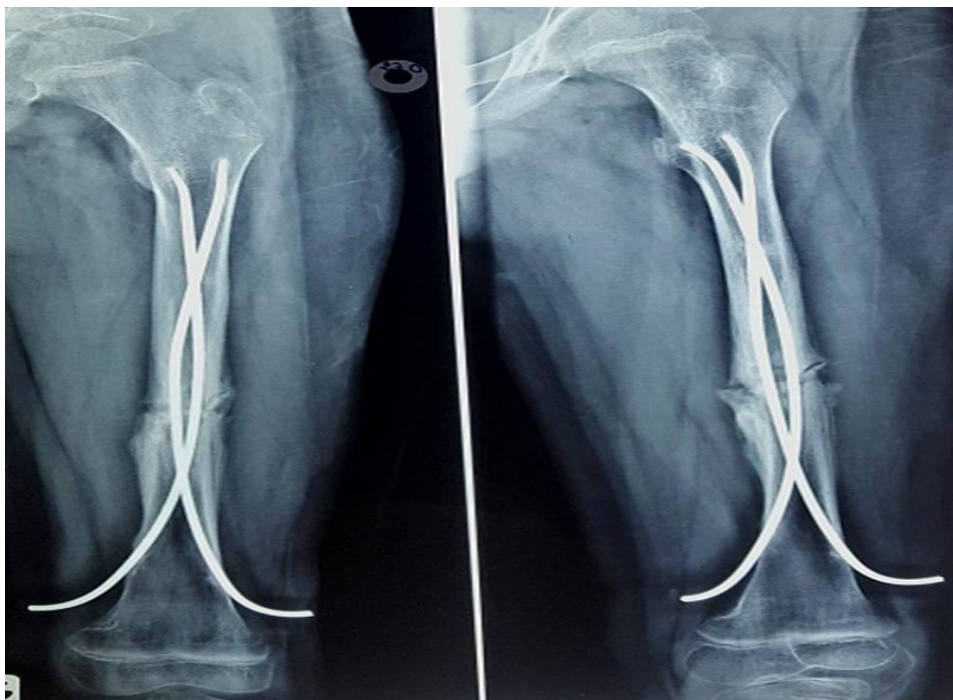


Fig 10 : C : Radio à 5 mois du post-op : consolidation en cours.

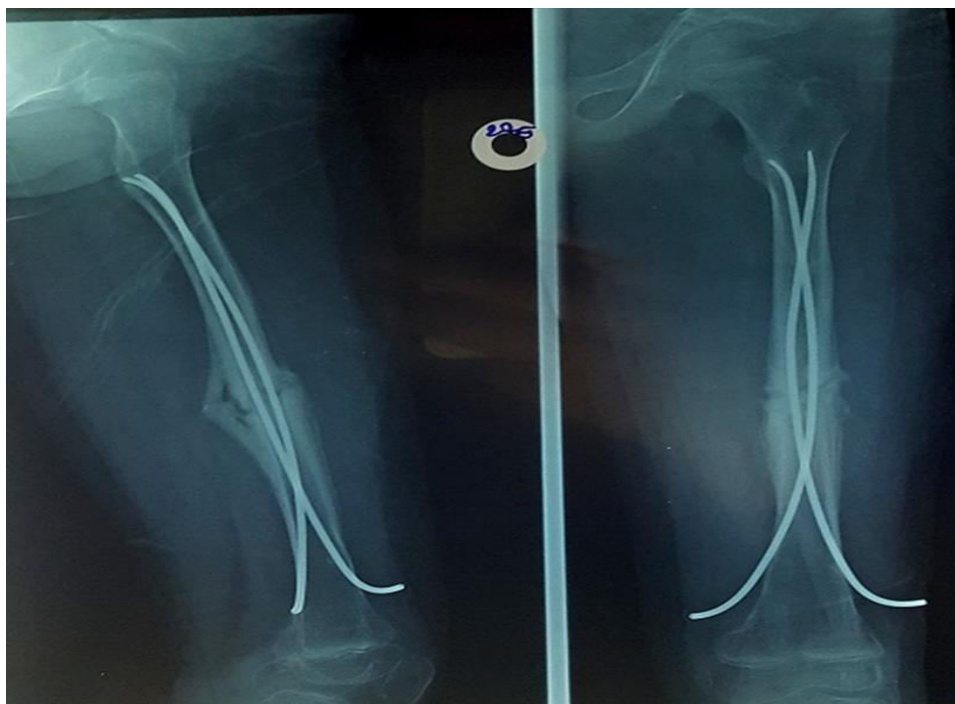


Fig 10 : D : Radio à 6 mois du post-op.



Fig 10 : E : Radio F+P à 8 mois du post-op avec un cal osseux hétérogène.

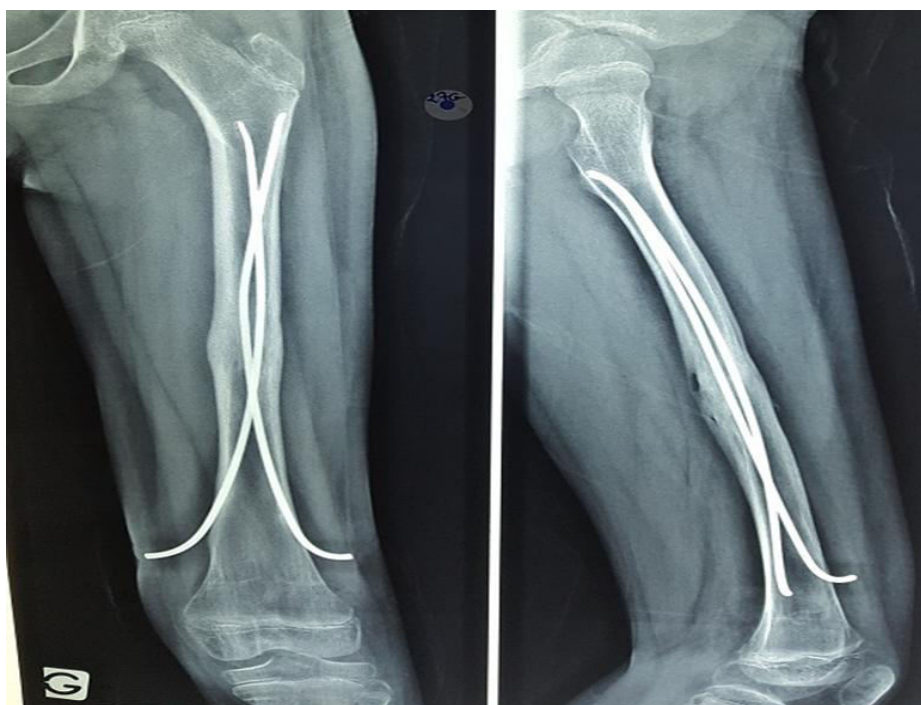


Fig 10 : F : Radio à 14 mois du post-op : cal homogène (consolidation avec un retard de 14 mois).

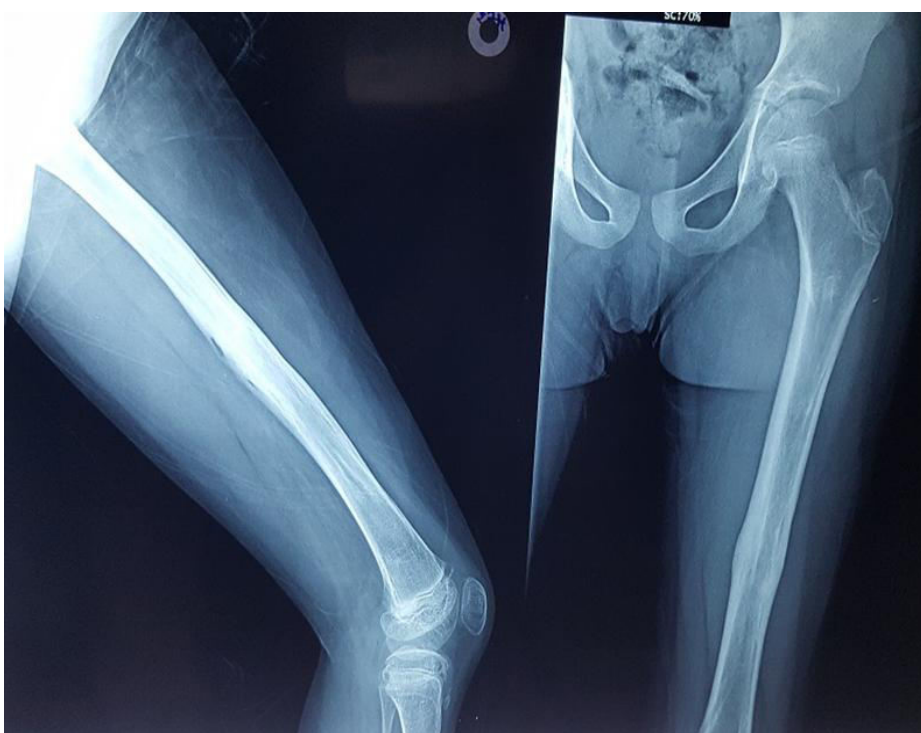


Fig 10 : G : Radio après AMOS à 15 mois du post op : bonne consolidation osseuse.



Fig 11: Enfant de 15 ans victime d'une chute du dos de cheval
A : Radio standard Face objectivant une fracture transversale du tiers distal fémorale

Fig 11 : B : Radio après ECMES ascendant après échec d'un ECMES descendant : montage non stable avec une mauvaise fixation métaphysaire proximale.



Fig 11 : C : Radio de contrôle Face+ Profil à 9 mois su post op : retard de consolidation



Fig 12 : Enfant de 12 ans victime d'une chute de sa hauteur
A : Radio F+P objectivant une fracture fémorale proximale spiroïde droite

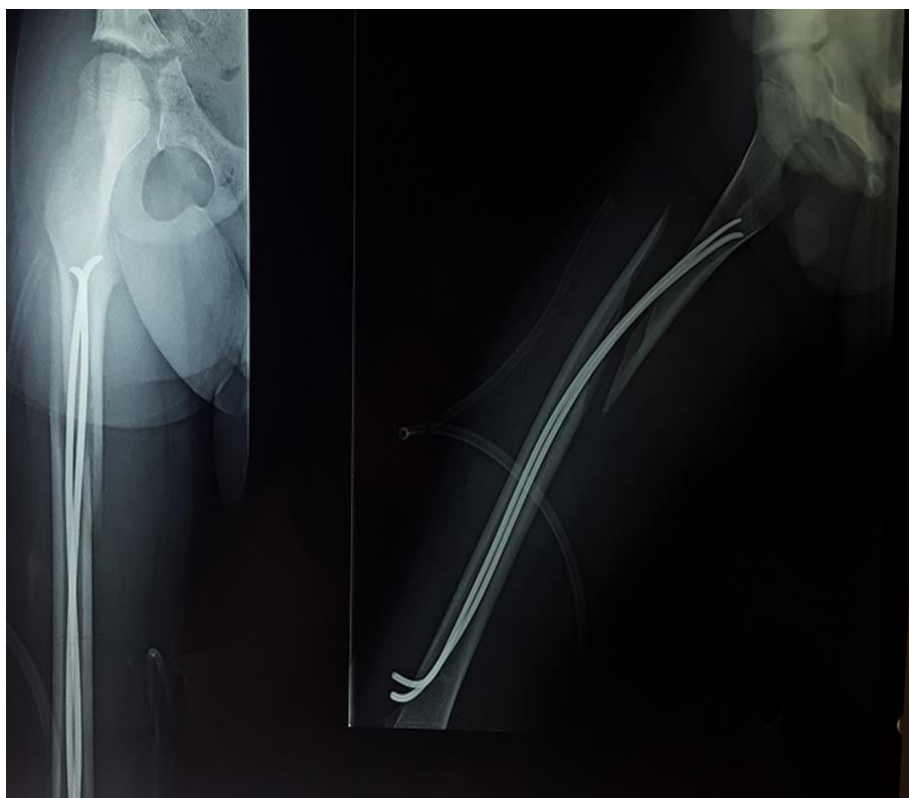


Fig 12 B : Radio après ECMES ascendant : les broches sont enroulés l'une autre avec une mauvaise fixation en proximal.

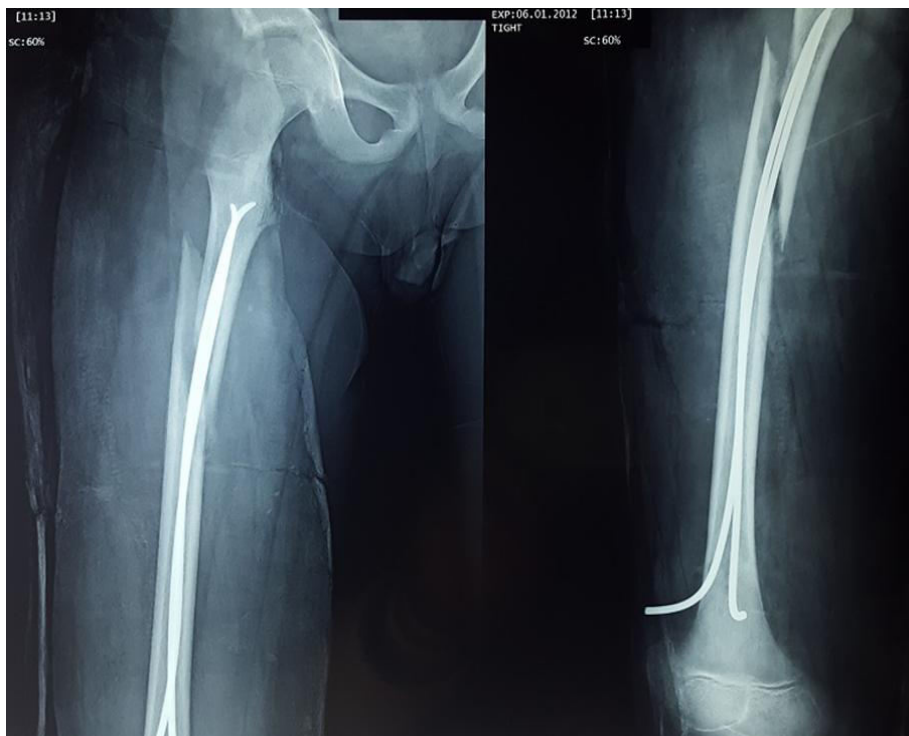


Fig 12 C : Radio à 1 mois du post-op



Fig 12 D : Radio à 7 mois du post-op : consolidation avec retard

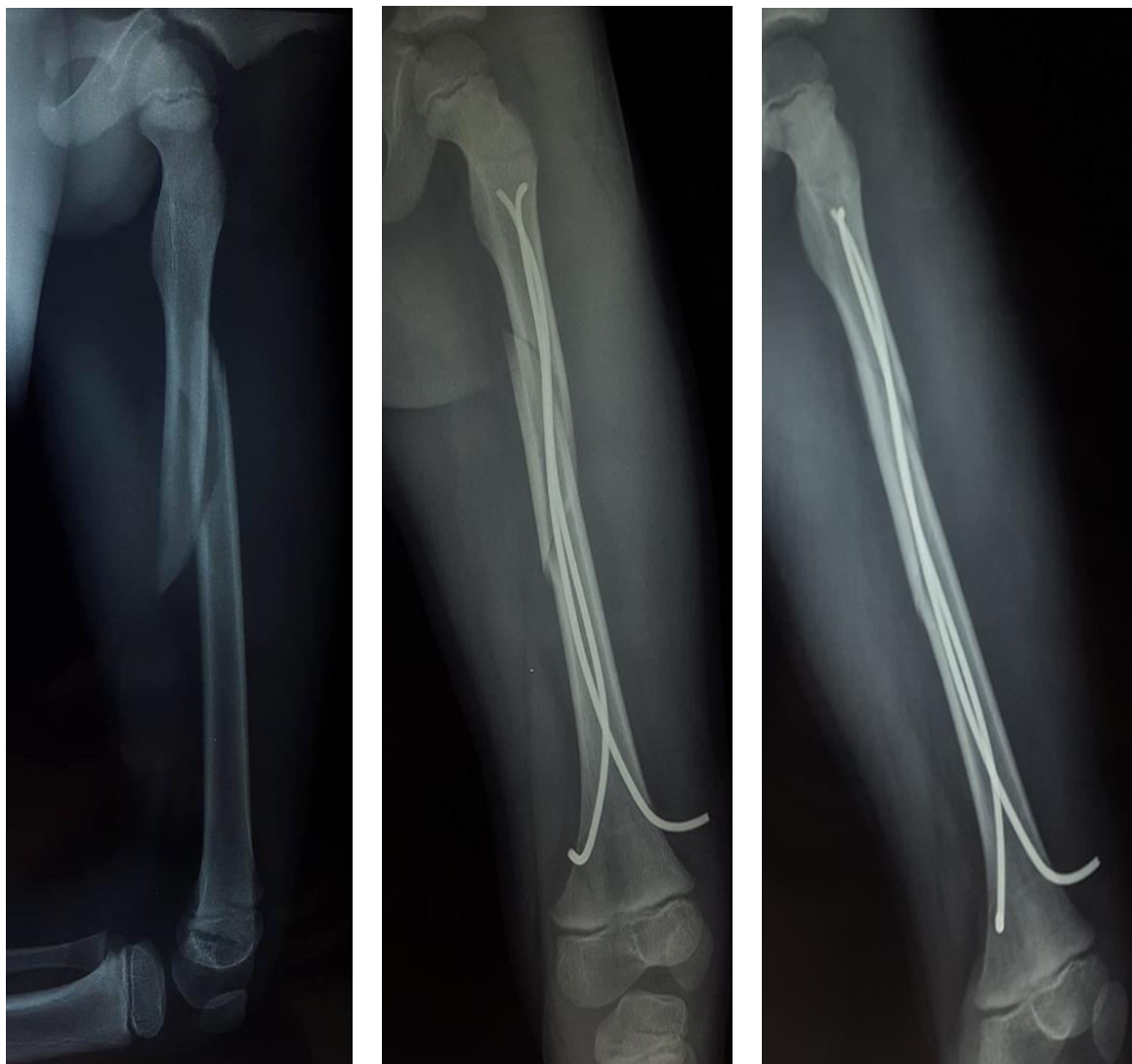


Fig 13 : Enfant de victime d'une chute de sa hauteur
A : fracture spiroïde du tiers moyen du fémur gauche

Fig 13 B+C : Radio F+P du fémur après ECMES ascendant : enroulement des broches qui sont de petit calibre « phénomène de crosscrew ».



Fig 13 D : Radio à 6 mois du post-op : cal hypertrophique avec un retard de consolidation

➤ **Cal vicieux :**

Deux cas ont présenté un cal vicieux sur ECMES (1,2%): le 1^{er} cas était un enfant de 14 ans présentant une fracture proximale comminutive avec 3^{ème} fragment suite à un AVP. L'enfant a été traité par ECMES ascendant avec une consolidation à 10 mois avec un cal vicieux (**Fig 14**). Le 2^{ème} cas était un enfant âgé de 15 ans présentant un diamètre du canal médullaire de 13 mm et traité par une broche de 40 mm (ratio ND/DCM inférieur à 0,4), ce qui a entraîné une coudure de broches secondaire à un traumatisme (**Fig 15**).

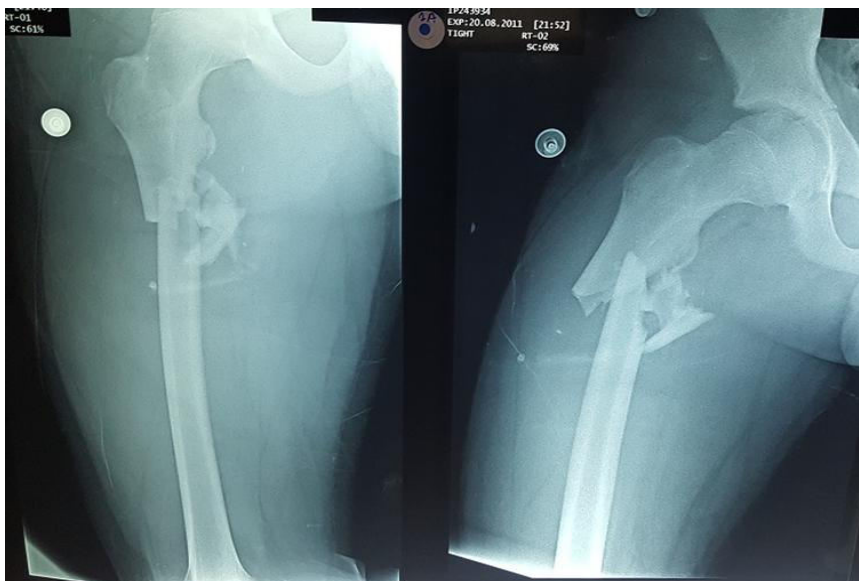


Fig 14 : Enfant de 14 ans victime d'un AVP.

A: Radio F+P objectivant une fracture communitive du tiers proximal du fémur droit avec un troisième fragment

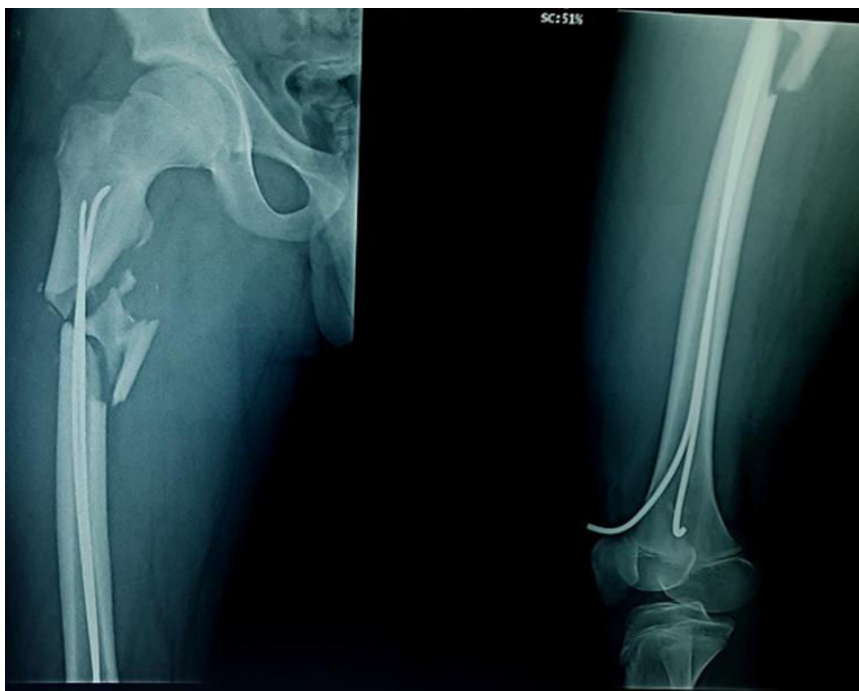


Fig 14 B : Radio après réduction et ECMES ascendant et des broches mal fixées en proximal.



Fig 14 C : Radio à 10 mois du post-op : consolidation osseuse avec un cal vicieux



Fig 15: Enfant de 15 ans victime d'un AVP

A: Radio F+P objectivant une fracture comminutive du tiers moyen du fémur droit avec 3^{ème} fragment ;



Fig 15 B : Radio après ECMES ascendant



Fig 15 C : Radio à 7 mois du post-op après un traumatisme du membre : matériel coudé au niveau du foyer fracturaire traité orthopédiquement



Fig 15 D : Radio à 9 mois du post-op avec un cal hypertrophique

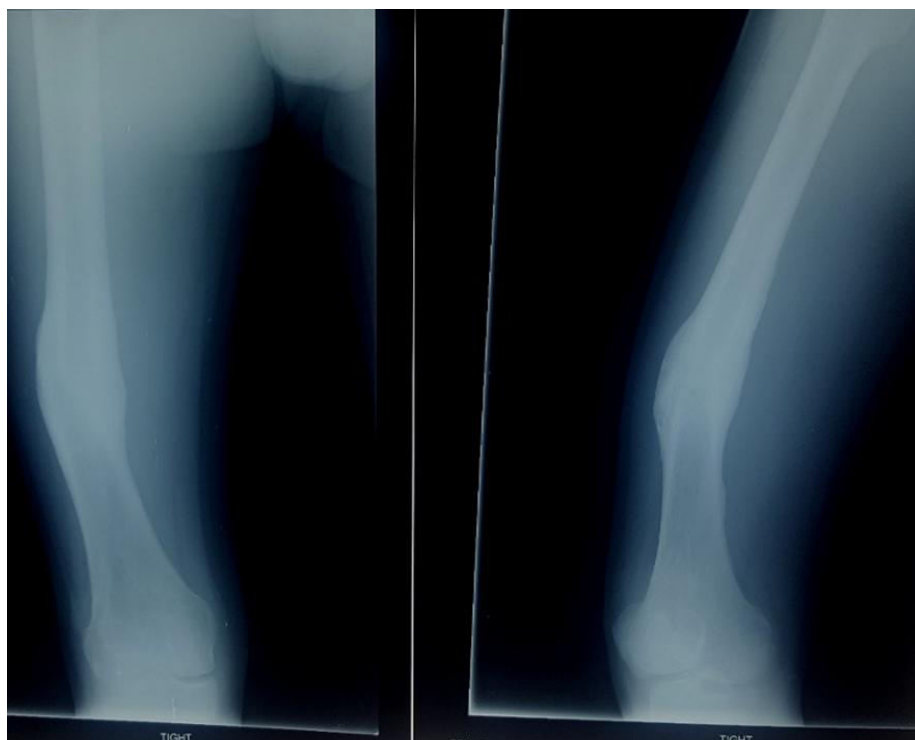


Fig 15 E : Radio après AMOS à 11 mois du post-op : bonne consolidation osseuse avec cal vicieux de plus de 10° (liée à la qualité des broches et au diamètre des broches)

➤ **Re-fractures et fractures itératives :**

Un cas (0,6%) a présenté une fracture sur matériel avec des broches qui se sont coudées. Le malade a été traité par une réduction orthopédique avec une bonne consolidation osseuse (Fig 16).

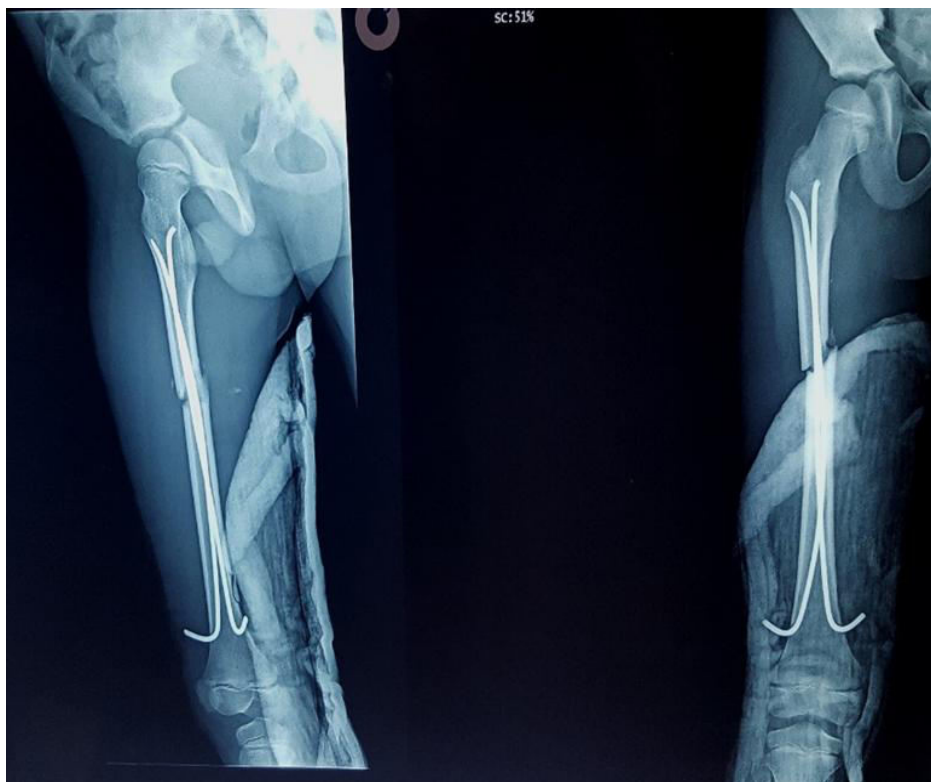


Fig 16 : Enfant de 8 ans victime d'un AVP

A: Radio F+P objectivant une fracture oblique court du tiers moyen du fémur droit traitée par un ECMES ascendant

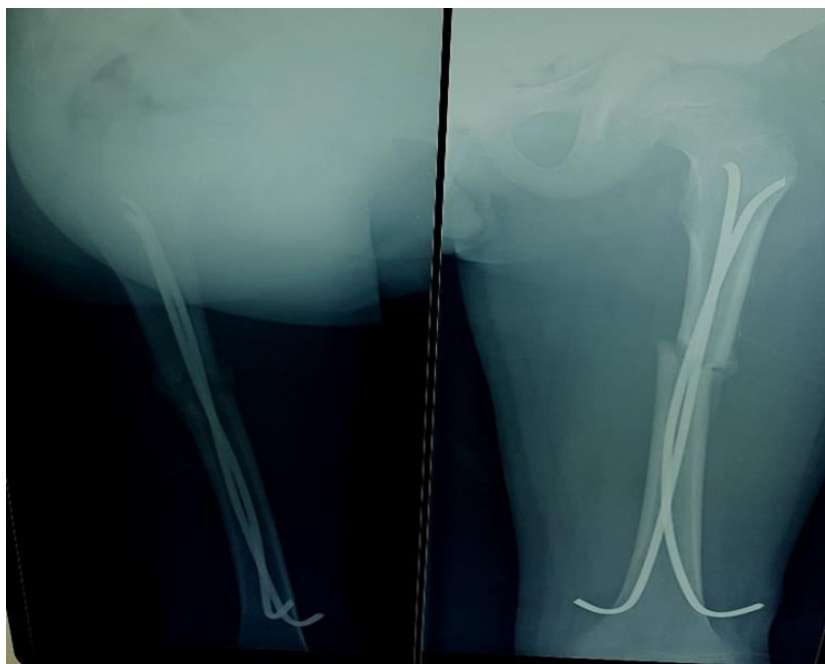


Fig 16 B : Radio à 1 mois du post-op



Fig 16 C : Radio à 3 mois du post-op: les broches se sont coudées au niveau du foyer fracturaire; le calibre des broches étant trop petit par rapport au DCM. La consolidation osseuse s'est faite avec un cal vicieux

➤ **Raideur du genou :**

3 cas ont présenté suite à un ECMES ascendant une raideur de genou (1,8%), qui a bien évolué après AMOS suivie de quelques séances de rééducation.

III.1.5. Causes des Complications :

Sur les 34 complications, nous avons rapporté 41 erreurs techniques (Diagramme 8) :

- Un problème technique dans 16 cas (39%) ;
- Une taille de broches trop petite par rapport à la taille du canal médullaire dans 4 cas (9,8%) ;
- Un mauvais trajet des broches dans 8 cas (19,5%) ;
- Un cintrage asymétrique des broches dans 9 cas (22%) ;
- Un problème au niveau du site d'introduction des broches dans 2 cas (4,9%) avec une irritation articulaire du genou ;
- Une mauvaise introduction des broches dans 2 cas (4,9%).

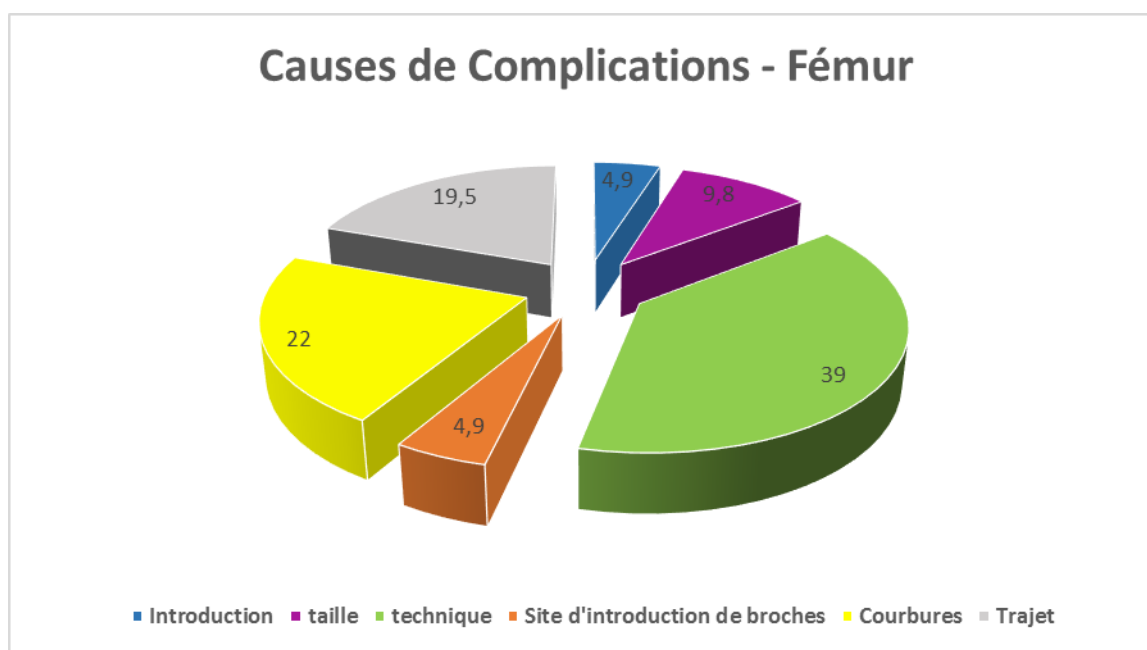


Diagramme 8: les différentes causes de complications liées à l'ECMES

III.2. Tibia :

III.2.1. Paramètres Préopératoires:

Sur les 45 cas de fractures tibiales traitées par ECMES, nous avons noté 6 complications chez 5 enfants, avec un ratio complications/Nombre de fractures de 0,13.

Niveau de Fracture	Tibia
Nombre de Fractures Total (exploitable)	45
Nombre de Complications	6
Ratio Complications/Nb de Fractures	0,13

Tableau 3: le nombre de complications de l'ECMES tibiale

- **AGE:**

L'âge moyen de nos patients était de 13 ± 2.1 ans (SD) avec des âges extrêmes de 10 et 15 ans (**Diagramme 9**).

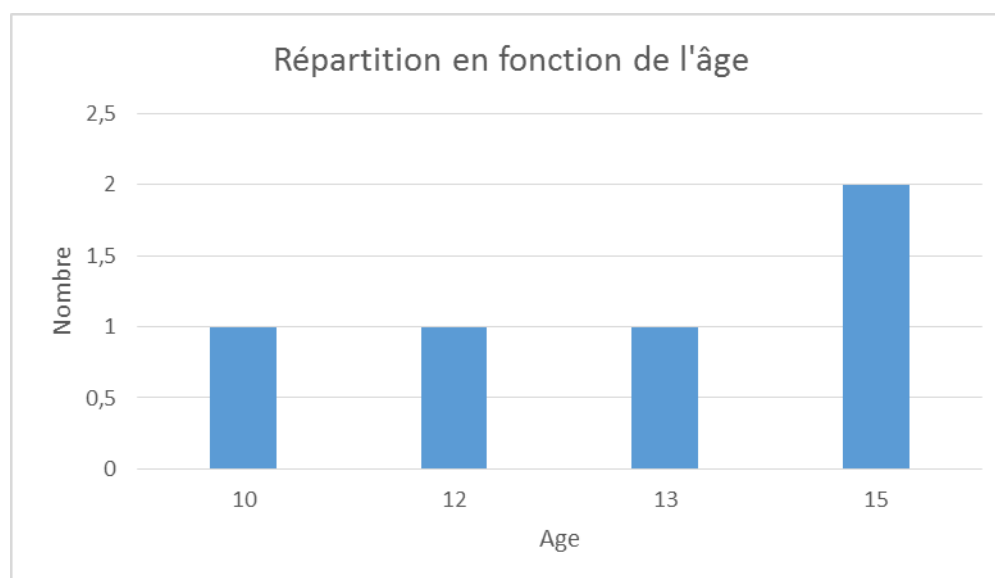


Diagramme 9: répartition en fonction de l'âge.

- **Sexe :**

Nous avons noté une nette prédominance masculine avec un taux de 80% des enfants traités par ECMES et un sexe ratio de 4.

Niveau de Fracture	Avant-bras
% Masculin	89,7
% Féminin	10,3
Sexe Ratio M/F	8,7

Tableau 4: répartition en fonction du sexe

- **Fractures et lésions associées :**

Il y a eu 1 cas de fracture du fémur droit (20%) associée à une fracture du tibia gauche chez un enfant de 10 ans victime d'une chute élevée.

- **Etiologies du traumatisme :**

Les traumatismes faisaient suite à un AVP dans 3 cas (60%), et à une chute d'une hauteur élevée dans 2 cas (40%).

- **Type de fractures :**

Deux cas ont présenté un trait de fracture spiroïde (40%), un cas a présenté un trait oblique (20%), un cas un trait transversale (20%), et un cas un trait comminutif (20%) (Digramme 10).

Les fractures siégeaient dans 3 cas au 1/3 moyen (60%), le 1/3 distal et proximal a été vu dans un cas chacun (20%) (Digramme 11).

Un 3ème fragment était présent dans uniquement deux cas (40%) (Digramme 12).

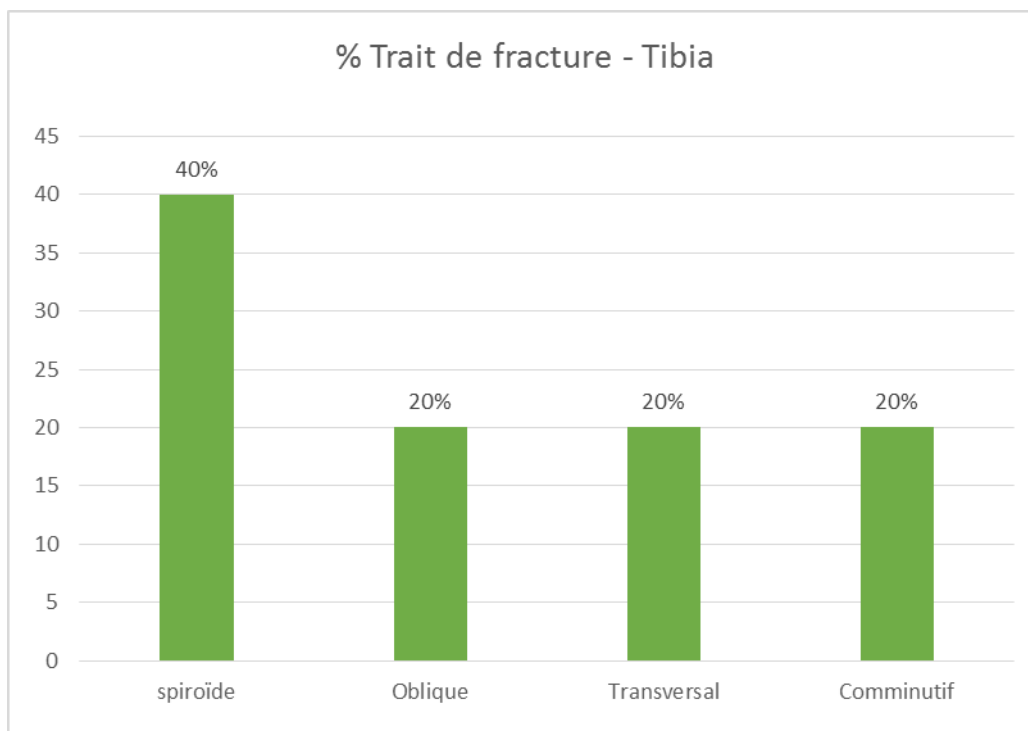


Diagramme 10 : Répartition des fractures selon le trait de fracture

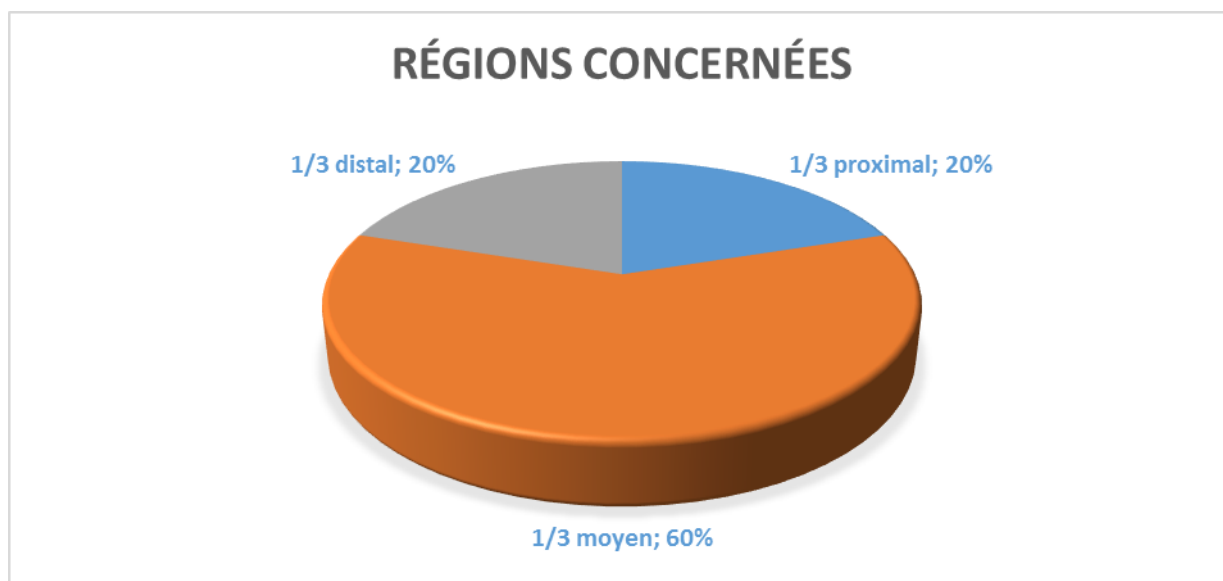


Diagramme 11 : Répartition des fractures selon les régions concernées

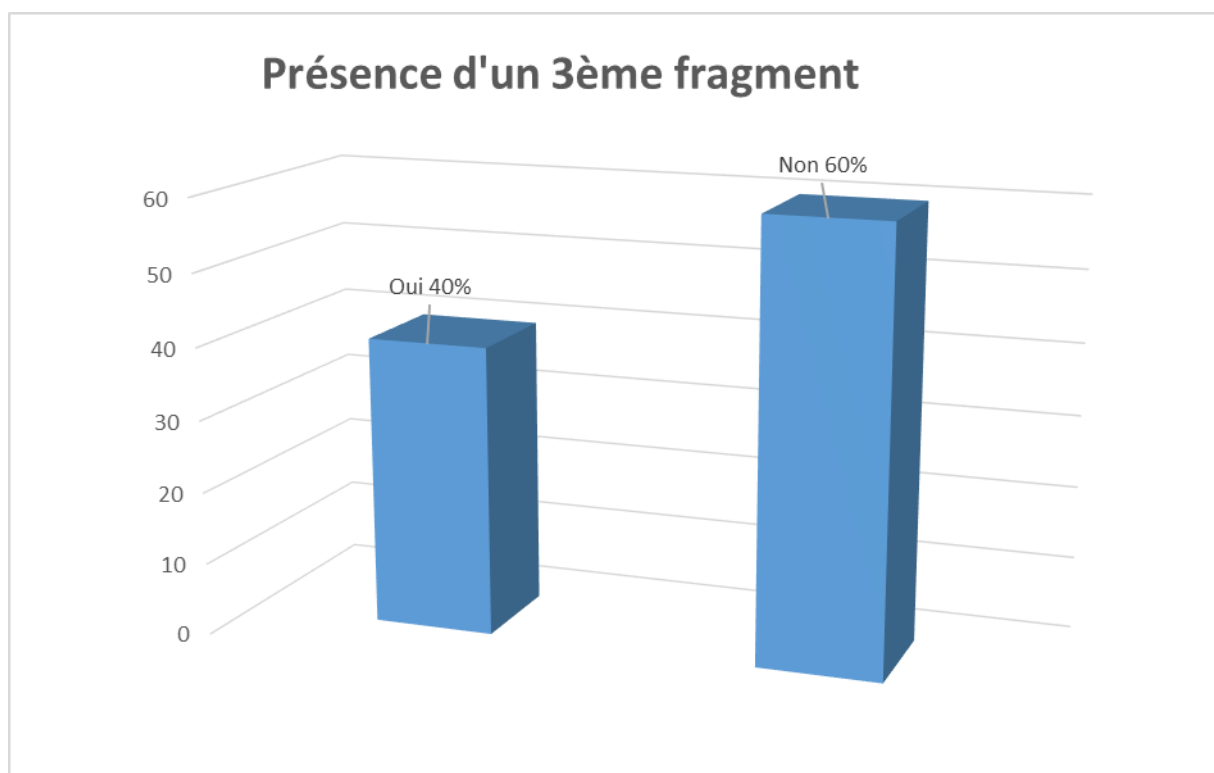


Diagramme 12 : Répartition des fractures selon la présence ou non d'un 3^{ème} fragment

- **Fractures ouvertes :**

Parmi les 45 fractures répertoriées, 32 était fermées et **13 ouvertes**.

On a constaté **4 complications** sur ces 13 fractures ouvertes (**30%**) :

- **3 cas** de fractures ouvertes stade I de Couchoix-Duparc dont 2 qui se sont compliquées d'un retard de consolidation et une de pseudarthrose aseptique.
- **1 cas** de fracture ouverte stade II qui s'est compliquée d'une infection sur matériel avec un retard de consolidation de 14 mois.

- **Indications de l'ECMES :**

Les indications étaient les fractures ouvertes stade I ou II de Couchoix-Duparc dans 4 cas (66,7%), et l'instabilité dans 2 cas (33,3%) (Diagramme 13).

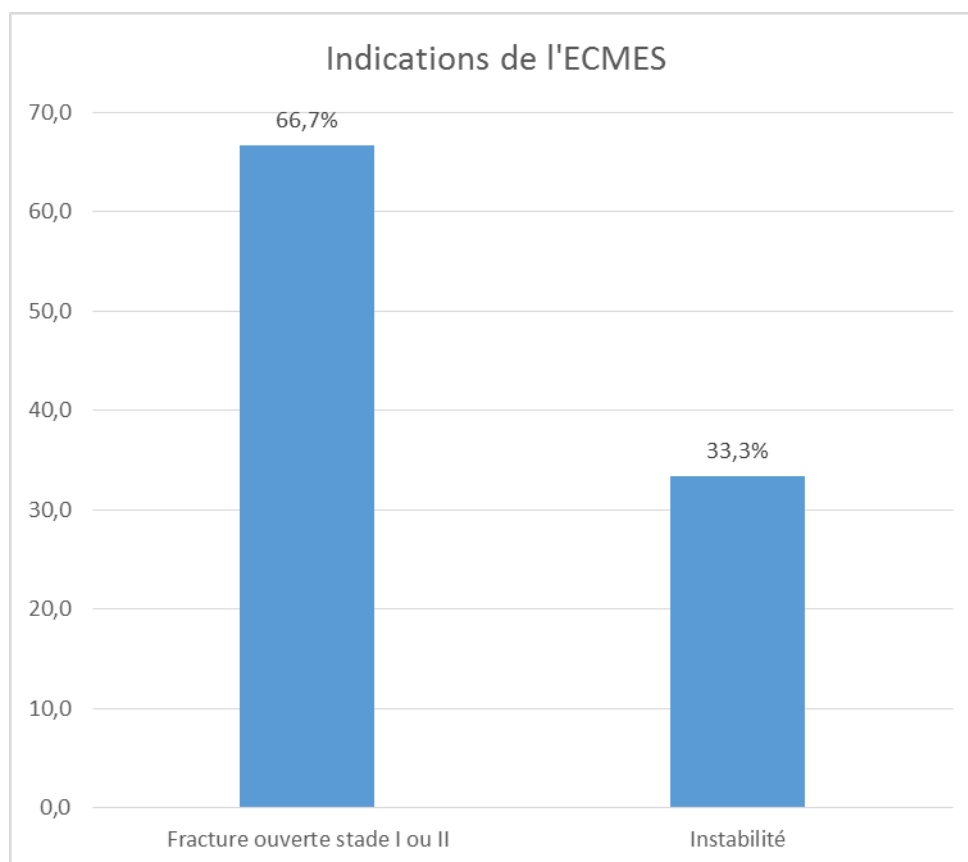


Diagramme 13 : Répartition des fractures selon les indications de l'ECMES

- **Délai moyen de la chirurgie :**

Le délai moyen de chirurgie est de $3,4 \pm 2,5$ jours (SD).

III.2.2. Paramètres Peropératoires:

- **Le choix des broches :**

Le diamètre a été choisi en fonction du diamètre du canal médullaire et l'âge du patient ; il était de 3,0 mm pour les enfants de 10 ans, de 3,5mm pour les 12-15 ans, et de 4,0 mm pour les enfants de 15 ans (Diagramme 14). Toutes les broches utilisées dans notre étude étaient en alliage de titane.

Le diamètre moyen du canal médullaire est de $9,4 \pm 0,9$ mm (SD) avec un ratio ND/DCM de 0,38.

Le type d'ECMES utilisé est descendant dans 80 % des cas étudiés, et ascendant dans 20 % des cas.

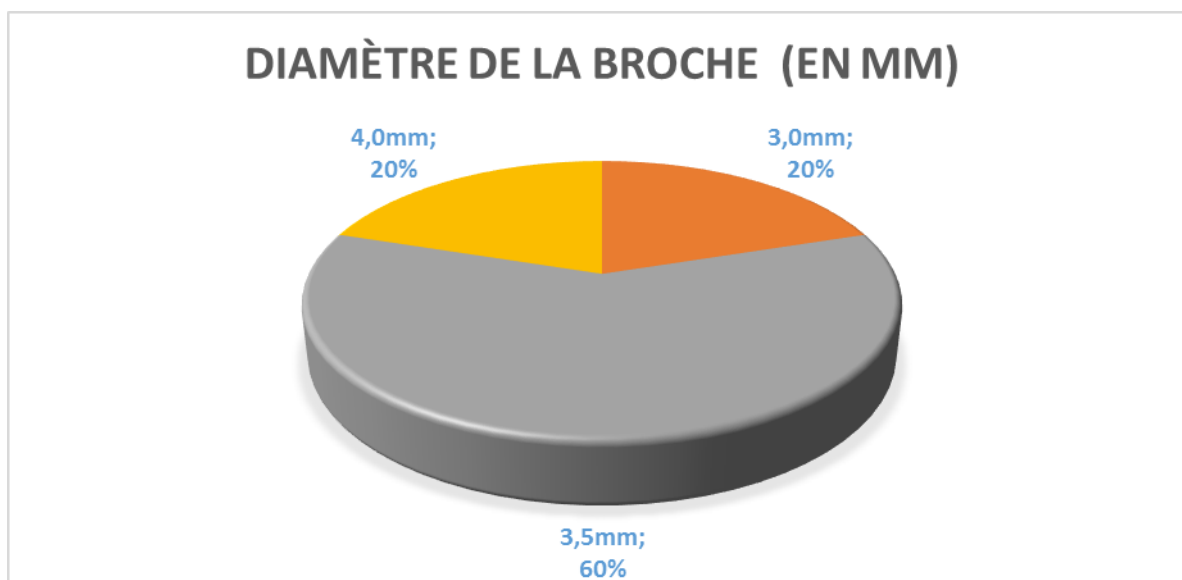


Diagramme 14: Répartition des fractures selon le Diamètre des broches

- **Abord du foyer fracturaire :**

Sur les 45 fractures tibiales, l'abord du foyer fracturaire a été réalisé sur uniquement 9 cas dont seulement un cas s'est compliqué d'un retard de consolidation (11,1%).

- **Type et durée d'immobilisation**

Toutes les malades ont bénéficié d'une attelle cruro-pédieuse antalgique d'une durée de $3,3 \pm 0,5$ semaines (SD) en moyenne.

III.2.3. Paramètres Postopératoires:

- Durée d'hospitalisation :

La durée d'hospitalisation est en moyenne de $7,4 \pm 2,4$ jours avec un minimum de 5 jours et un maximum de 10 jours pour un cas de fracture ouverte stade II de Couchoix-Duparc qui a présenté une infection superficielle avec une bonne évolution sous ATB.

III.2.4. Types de Complications:

Sur les 45 malades répertoriés, seulement 5 se sont compliqués dont 2 complications précoces (33%) et 4 tardives (67%) (Diagramme 15).

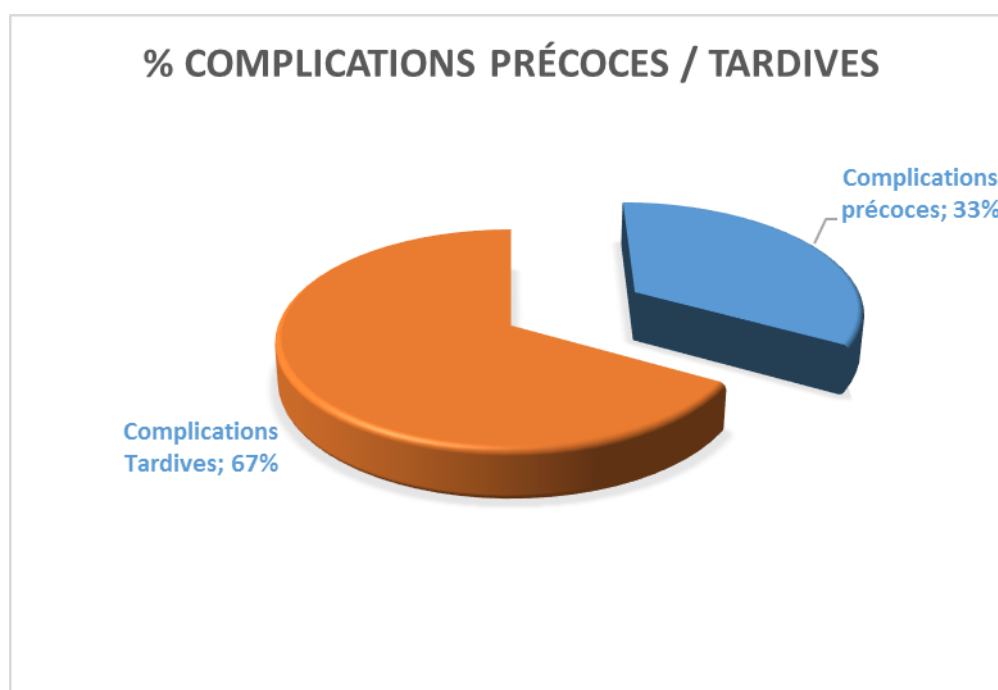


Diagramme 15: Répartition des complications selon leur mode de survenue

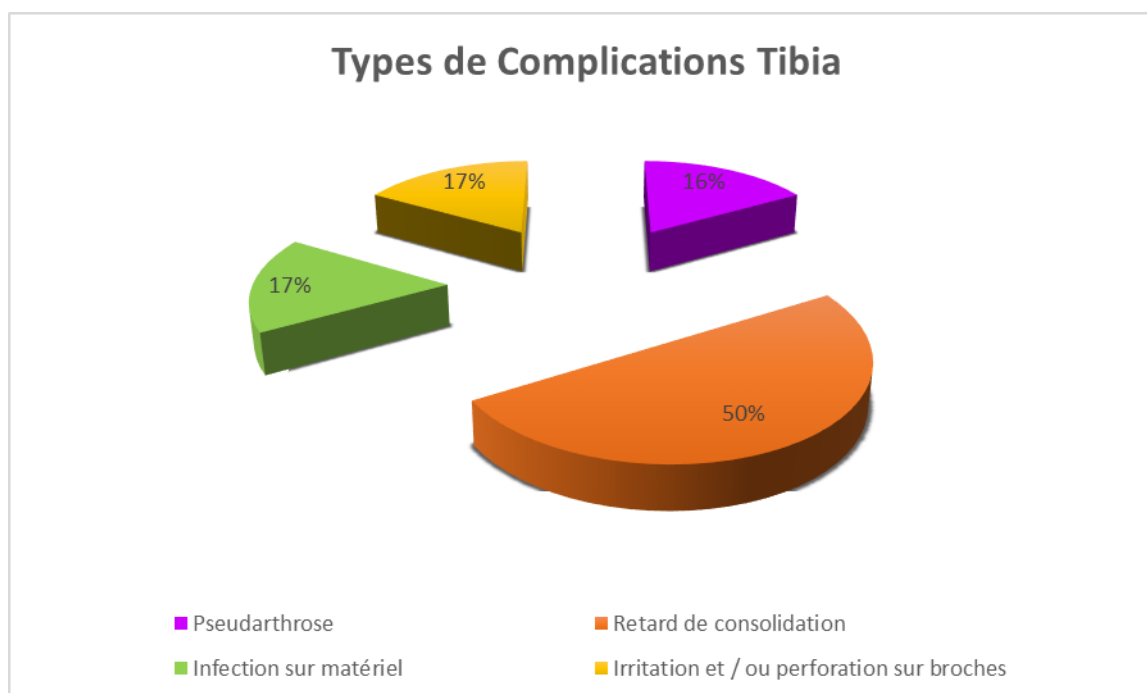


Diagramme 16 : Répartition des différents types de complications

❖ **Complications précoces :**

- **Irritation du site d'introduction des broches et/ou perforation sur broches :**

L'irritation et la perforation sur les broches étaient présentes dans 1 cas (2,2%) traité par une recoupe de broches et une antibiothérapie avec une bonne évolution clinique et radiologique (Fig 17) :



Fig 17 : Radio Face montrant une proéminence des broches qui dépassent le cortex latéral de plus de 20 mm

❖ Infections sur matériel :

Un seul enfant a présenté une infection superficielle (2,2%) : il s'agit d'un enfant âgé de 15 ans de victime d'un AVP qui a présenté une fracture spiroïde ouverte stade II de Couchoix-Duparc du tiers moyen du tibia traitée par ECMES à foyer fermé. Le patient a présenté à J+3 du post-op une collection cutanée superficielle avec un bilan inflammatoire perturbé (VS : 235 mm h1 / 140 mm h2, CRP : 136 mg/L). L'enfant a été mis sous antibiothérapie à base de Flucloxacilline et Gentamicine avec une bonne évolution clinico-biologique et radiologique (**Fig 18**) :



Fig 18 A : Radio F+ P objectivant une fracture transversale du tiers moyen du tibia gauche



Fig 18 B : Radio F+ P après ECMES

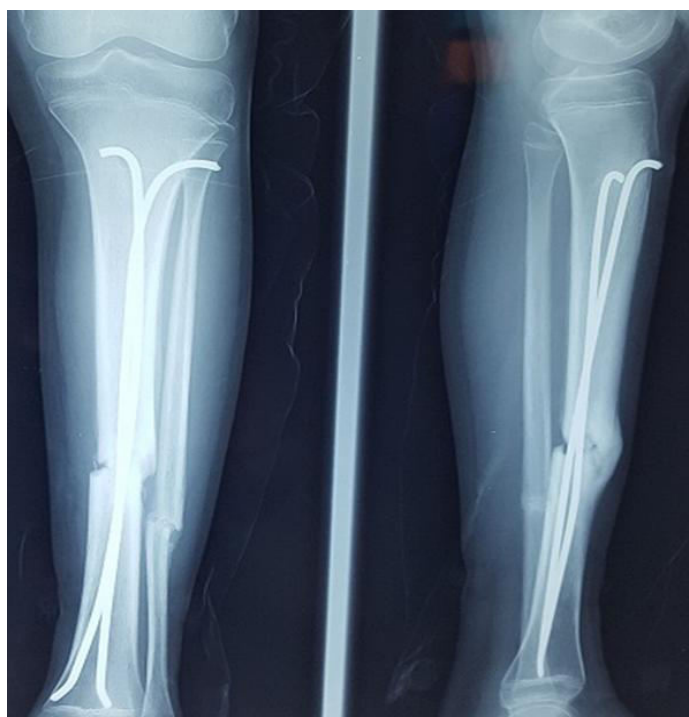


Fig 18 C : Radio F+ P à 2 mois du post-op avec un cal hétérogène.



Fig 18 D : Radio à 5,7, et 9 mois du post-op : consolidation en cours



Fig 18 E : Radio à 14 mois du post-op : cal homogène

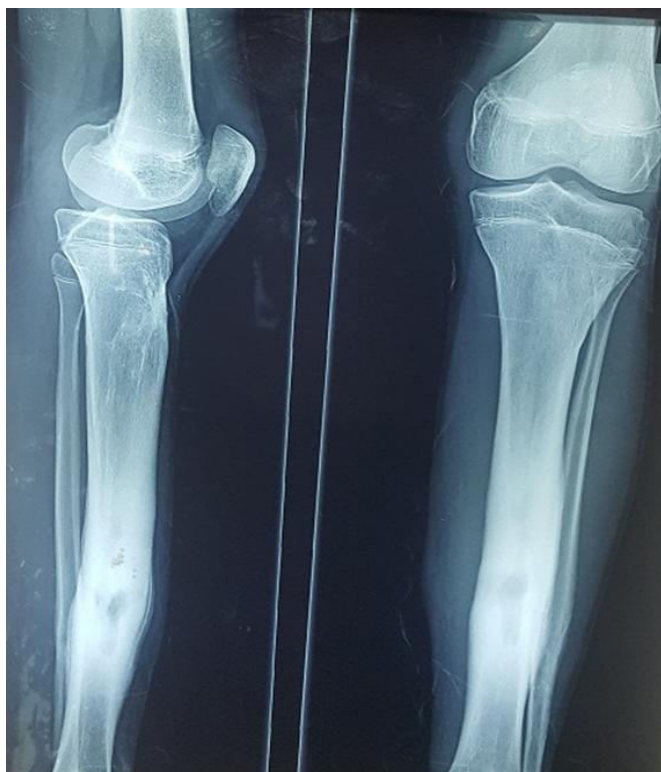


Fig 18 F : Radio après AMOS : bonne consolidation avec une image de lyse osseuse médio-diaphysaire.

❖ Complications tardives :

➤ Le retard de consolidation :

Nous avons noté 3 cas de retard de consolidation (6,7%) :

- le 1^{er} cas est un garçon de 13 ans qui a présenté suite à un choc direct une fracture oblique courte ouverte stade I de Couchoix-Duparc du tiers distal du tibia gauche traitée par ECMES descendant à foyer ouvert avec un retard de consolidation à 14 mois du post-op et une AMOS à 15 mois (Fig 19) :

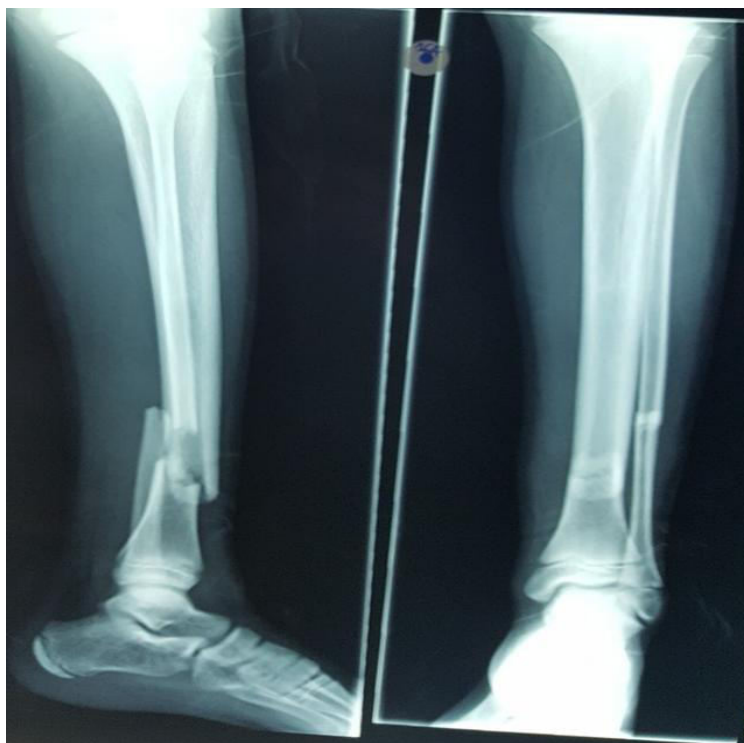


Fig 19 A : Radio F+P montrant une fracture oblique courte du tiers **distal du tibia gauche**



Fig 19 B : Radio F+P après ECMES descendant

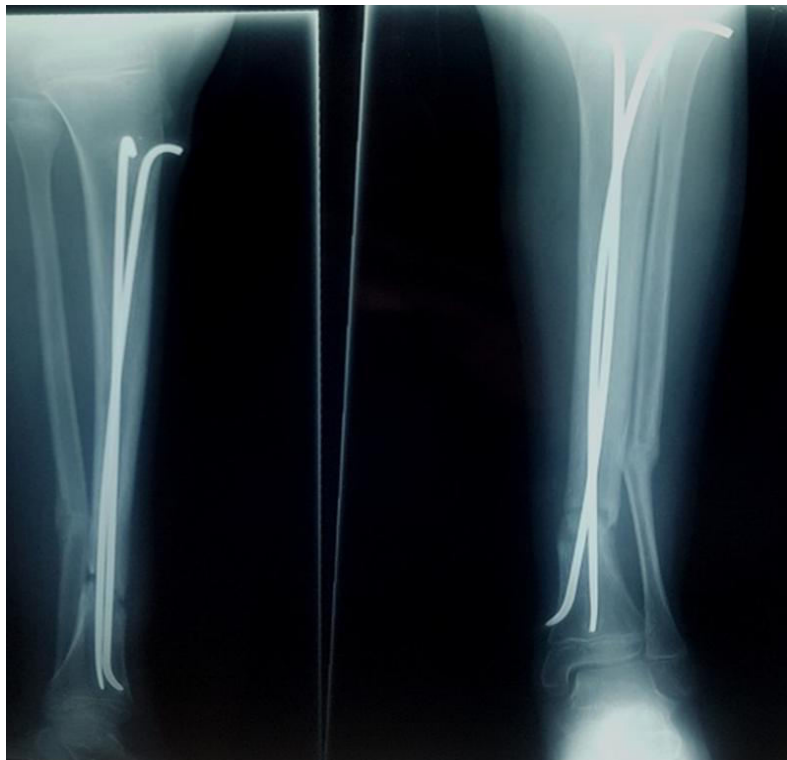


Fig 19 C : Radio F+P à 3 mois du post-op avec un cal vicieux angulaire.



Fig 19 D : Radio F+P à 14 mois du post-op : cal homogène témoignant de la bonne consolidation osseuse avec un retard de 14 mois.

- le 2^{ème} cas est un garçon de 10 ans qui a présenté suite à une chute du dos de cheval une fracture fermée du tiers proximal du tibia gauche traitée par ECMES ascendant avec un retard de consolidation à 11 mois du post-op et une AMOS à 12 mois :

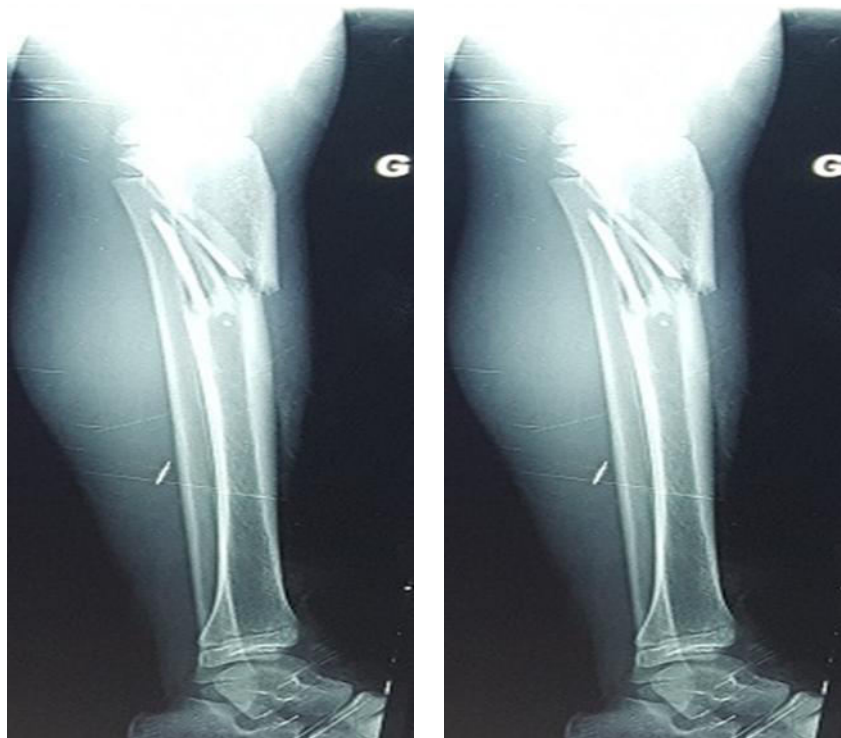


Fig 20 A : Radio F+ P objectivant une fracture comminutive du tiers proximal du tibia droit gauche



Fig 20 B : Radio de contrôle après ECMES ascendant

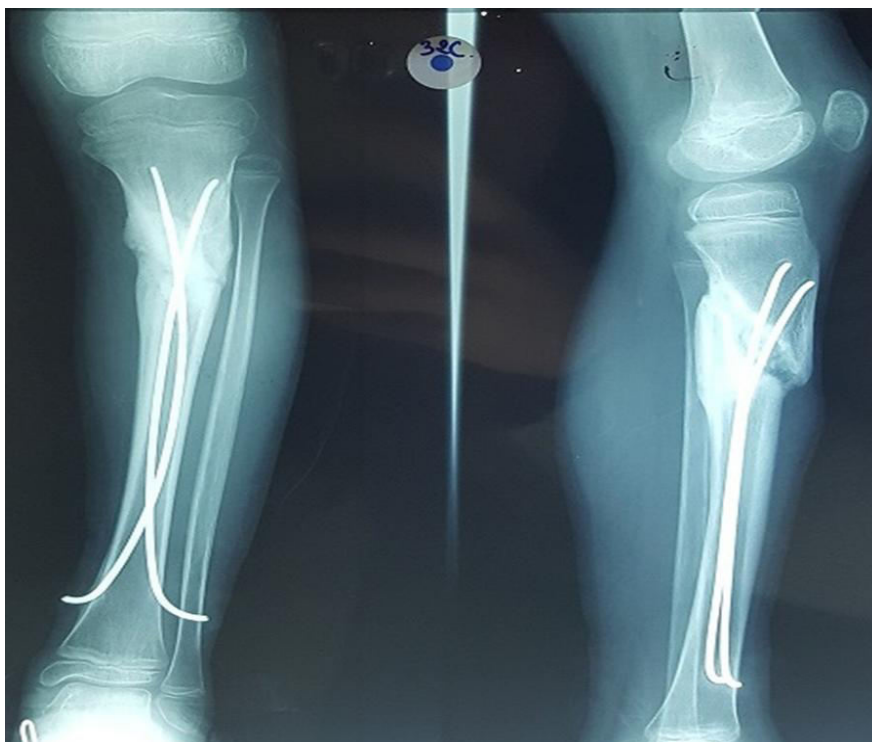


Fig 20 C : Radio à 6 mois du post-op : consolidation en cours

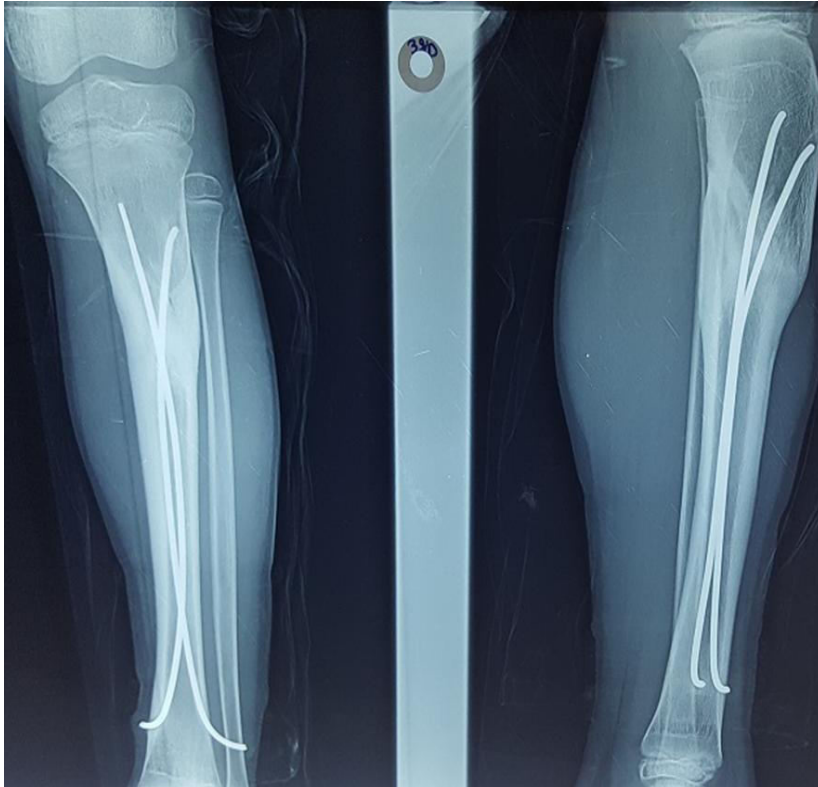


Fig 20 D : Radio à 11 mois du post-op : bonne consolidation mais avec un retard de 11 mois.

- le 3^{ème} cas est un garçon de 12 ans victime d'un AVP occasionnant chez lui une fracture ouverte stade 1 de Couchoix-Duparc du tiers moyen du tibia droit avec un 3^{ème} fragment traité par ECMES descendant, avec une broche de 3,5mm pour un DCM de 10mm, donc un rapport ND/ DCM de à 0,35, avec un enroulement des broches, et un croisement au niveau du foyer de fracture. La fracture s'est consolidée avec un retard de 9 mois du post-op et une AMOS le même mois.

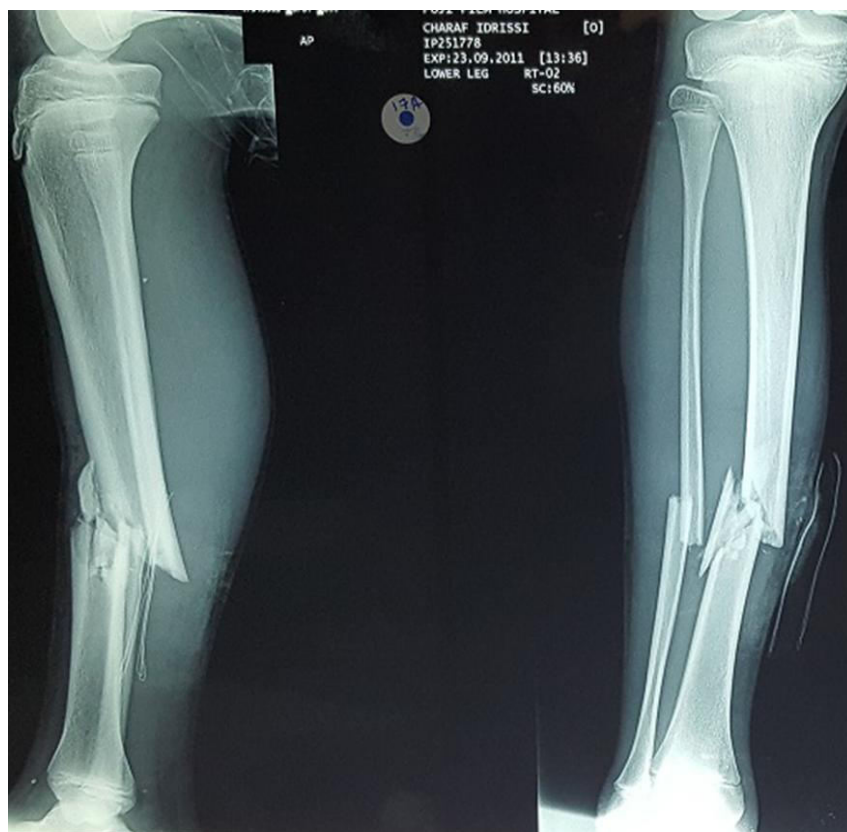


Fig 21 A: Radio F+P objectivant une fracture comminutive du tiers moyen du tibia droit.

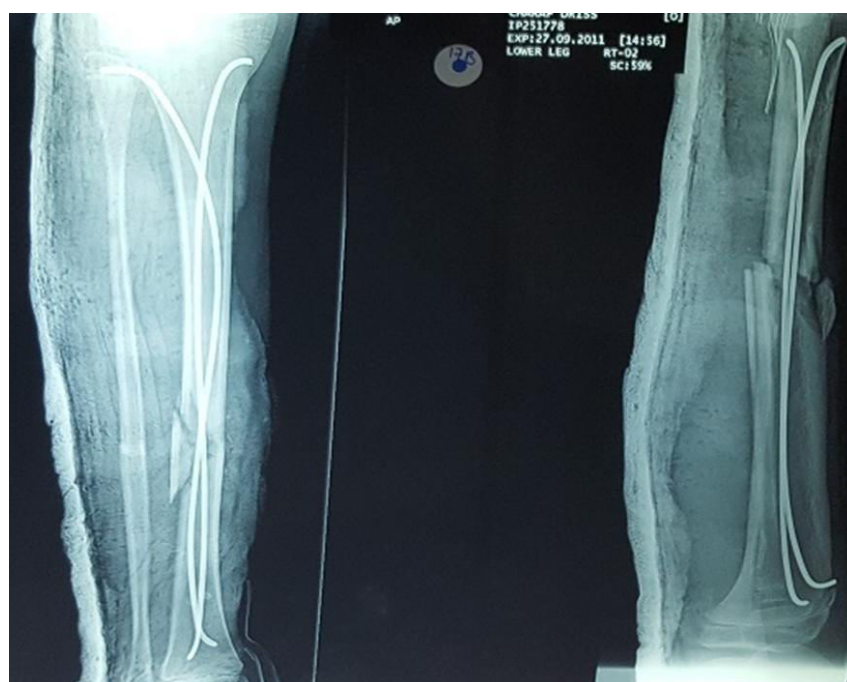


Fig 21 B : Radio F+P après ECMES descendant : les broches se croisent au niveau de la fracture.



Fig 21 C : Radio après 2 et 3 mois du post-op : Consolidation en cours



Fig 21 D : Radio après 5 et 9 mois du post-op : bonne consolidation mais avec un retard de 9 mois.

➤ **La pseudarthrose :**

Il y a eu **un seul cas (2,2%)** de pseudarthrose aseptique : il s'agit d'un enfant de 15 ans victime d'un AVP avec une fracture ouverte type I de Couchoix-Duparc, oblique du tiers moyen du tibia droit traitée par ECMES sans abord du foyer fracturaire avec à la radiographie de contrôle à 6 mois du post-op : un cal hétérogène avec un foyer de pseudarthrose avec un bilan inflammatoire normale. L'enfant a bénéficié d'une AMOS avec un **avivement des berges, une greffe osseuse, et une fixation interne par une plaque vissée.**

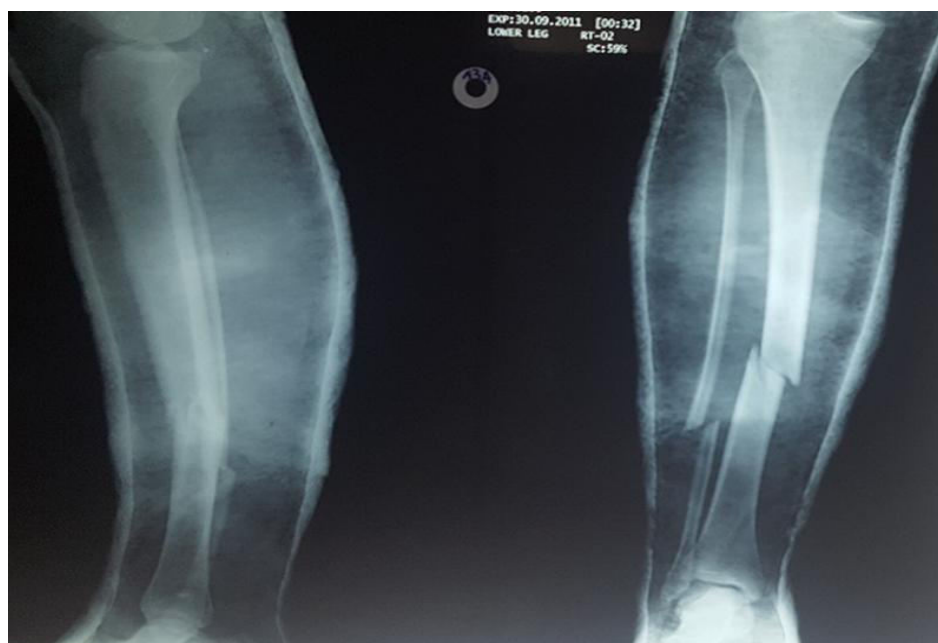


Fig 22 A : Radio F+P objectivant une fracture oblique du tiers moyen du tibia droit

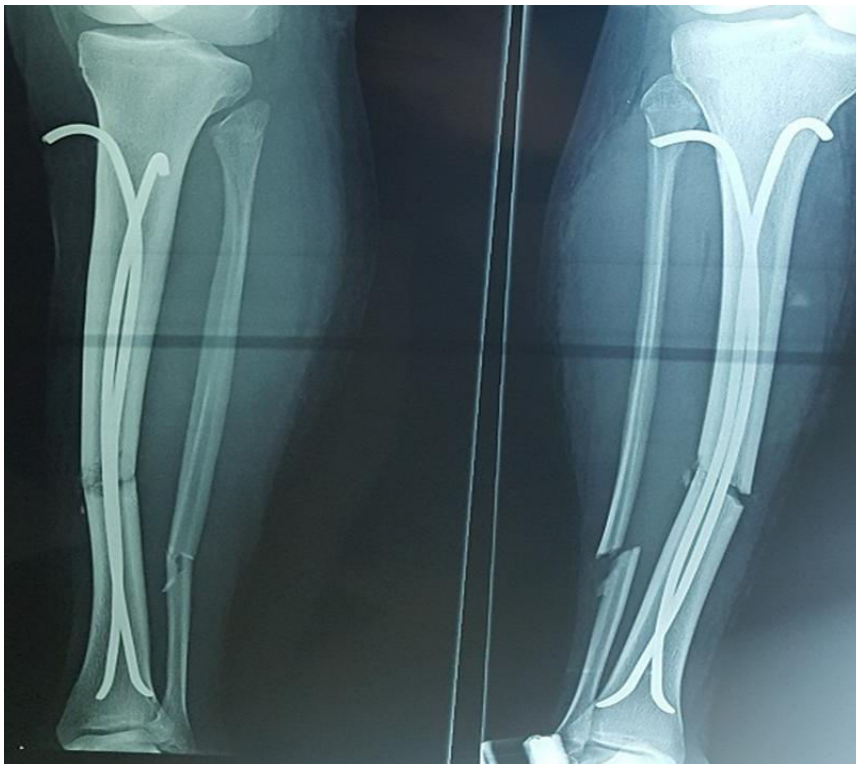


Fig 22 B : Radio après ECMES descendant avec un cintrage asymétrique.

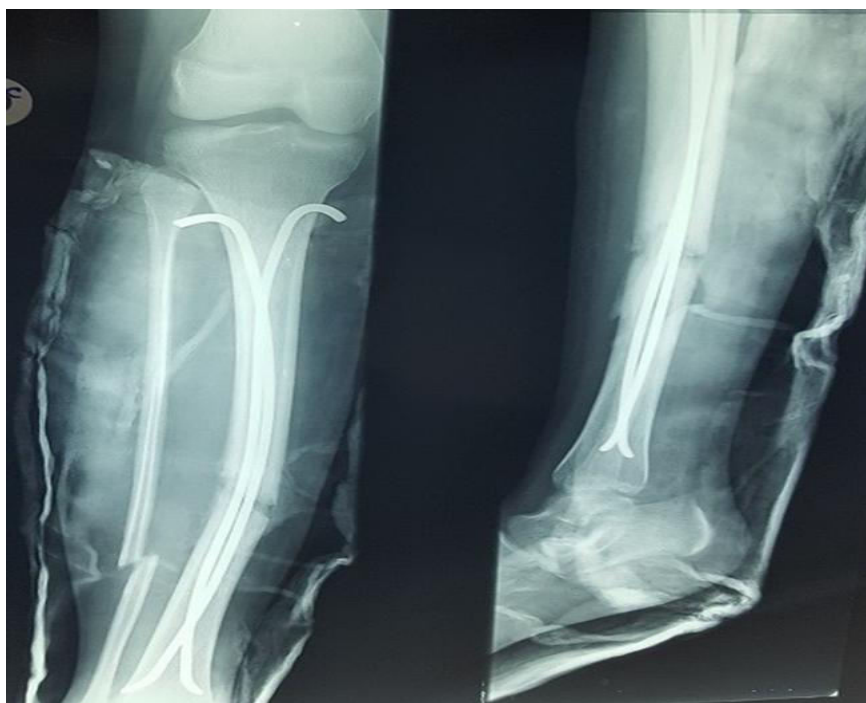


Fig 22 C : Radio à 1 mois du post-op.

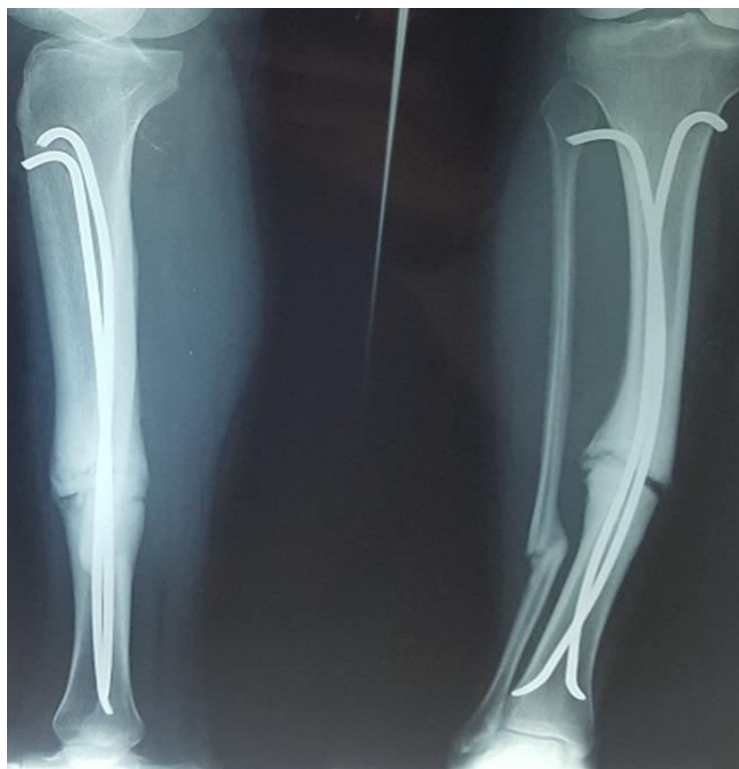


Fig 22 D : Radio à 6 mois du post-op : cal hétérogène avec un foyer de pseudarthrose.

III.2.5. Causes de Complications :

Sur les 6 complications, nous avons signalé 10 erreurs techniques (Diagramme 17) :

- Un problème technique dans 5 cas (50%) ;
- Une taille de broches trop petite par rapport à la taille du canal médullaire dans un cas (10%) ;
- Un mauvais trajet des broches dans trois cas (30%) ;
- Un cintrage asymétrique dans un cas (10%) : les broches n'étaient pas assez concaves.

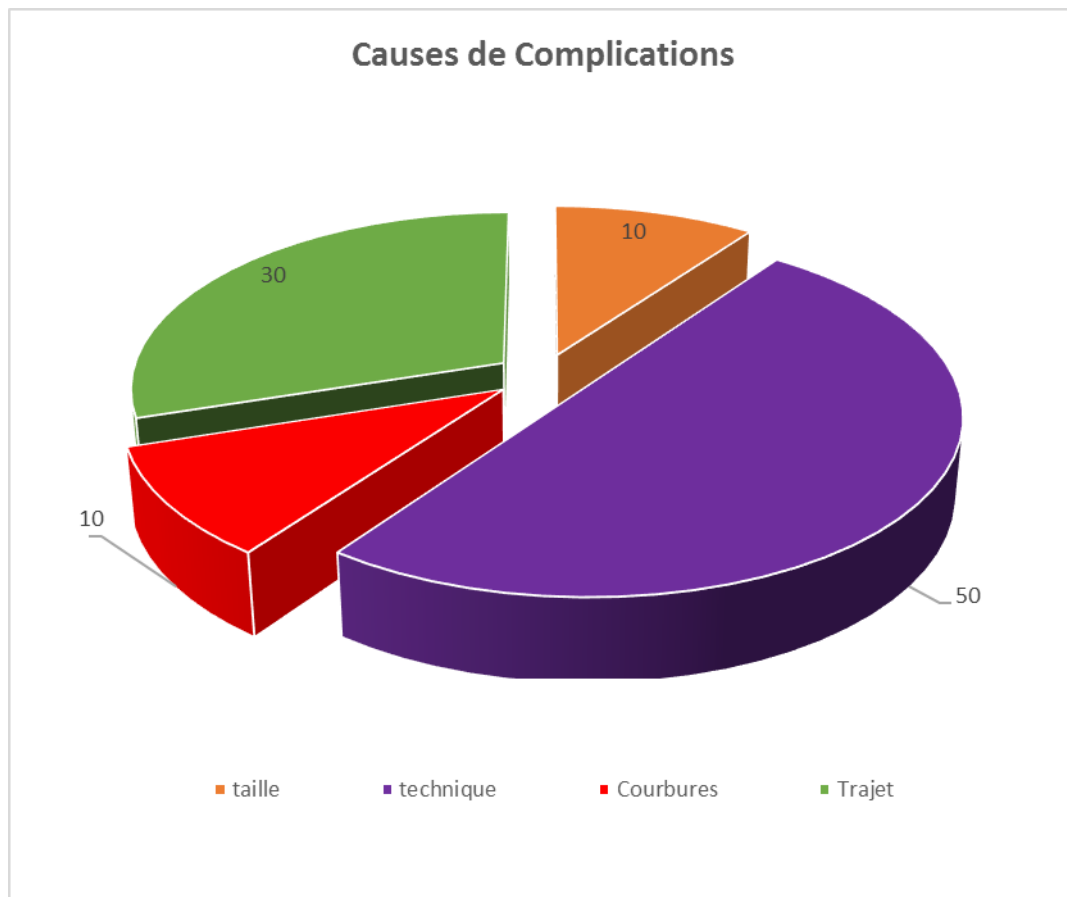


Diagramme 17: les différentes causes de complications liées à l'ECMES

III.3. Avant-bras :

III.3.1. Paramètres Préopératoires :

Le nombre de complications était de 31 cas sur les 128 fractures, avec un ratio complications/Nombre de fractures de 0,24 (Tableau 5).

Niveau de Fracture	Avant-bras
Nombre de Fractures Total (exploitable)	128
Nombre de Complications	31
Ratio Complications/Nb de Fractures	0,24

Tableau 5: le nombre de complications de l'ECMES de l'avant-bras

- **AGE :**

L'âge moyen est de $11,9 \pm 2,3$ ans avec des âges extrêmes de 9-15 ans (Diagramme 18).

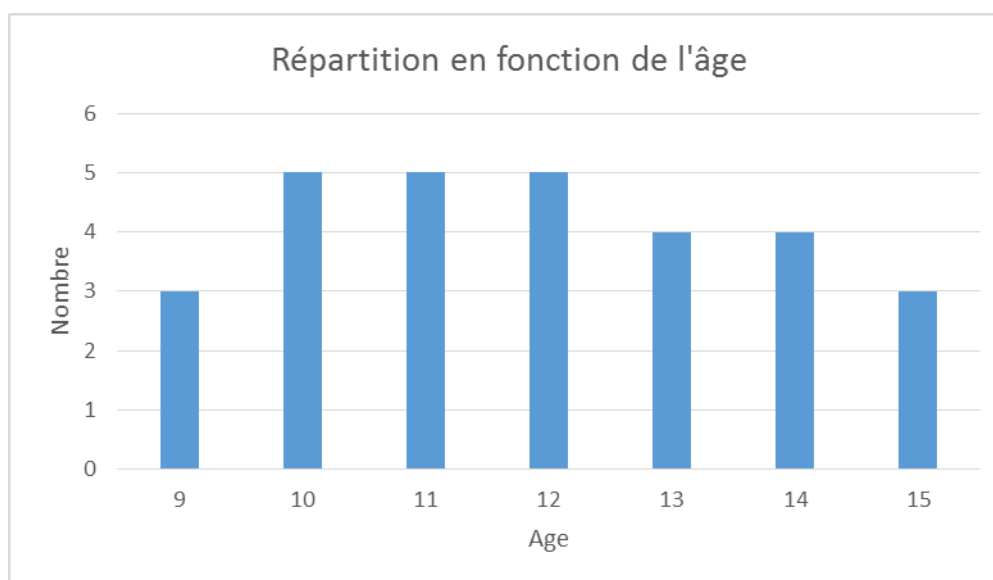


Diagramme 18 : répartition en fonction de l'âge.

- **Sexe :**

On note une nette prédominance masculine avec un taux de **89,7%** et un sexe ratio de **8,7** (Tableau 6).

Niveau de Fracture	Avant-bras
% Masculin	89,7
% Féminin	10,3
Sexe Ratio M/F	8,7

Tableau 6 : répartition en fonction du sexe

- **Fractures et lésions associées**

Nous n'avons pas noté de fractures associées ni de lésions tendineuses ou nerveuses associées.

- **Etiologie du traumatisme**

Les traumatismes faisaient suite à une chute d'une hauteur élevée dans 23 cas (74%), et aux accidents de sport dans 8 cas (25%).

- **Type de fractures :**

Les fractures étaient transversales dans 19 cas (61,2%), obliques dans 8 cas (25,8%), et spiroïdes dans 4 cas (13%) (Diagramme 19).

Il siégeait dans 28 cas au 1/3 moyen (90%) et dans 3 cas au 1/3 distal (10%) (Diagramme 20). Un 3ème fragment était présent dans un cas (3,2%) (Diagramme 21).

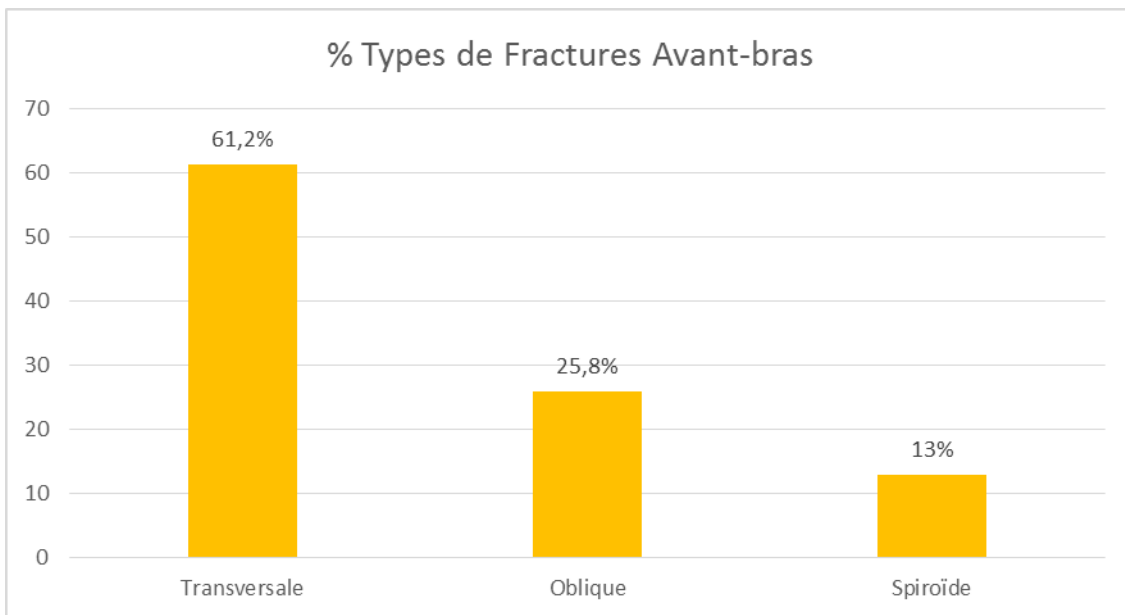


Diagramme 19: Répartition des fractures selon le trait de fracture

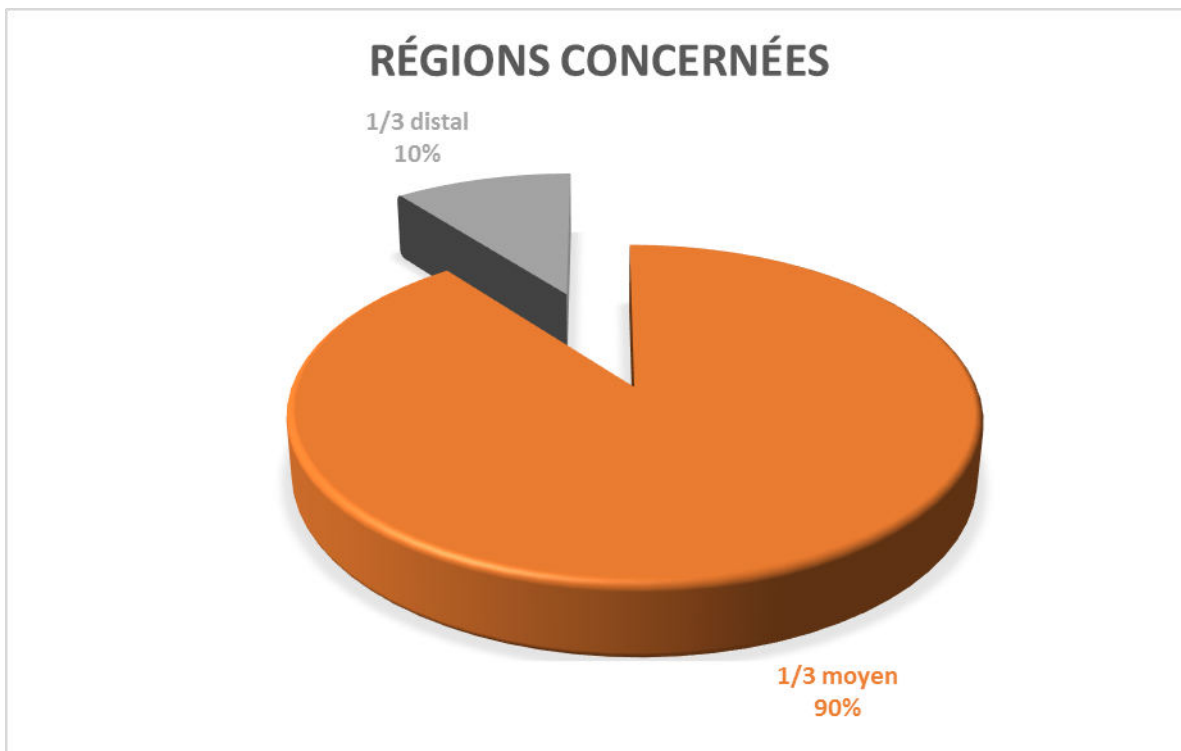


Diagramme 20 : Répartition des fractures selon les régions concernées

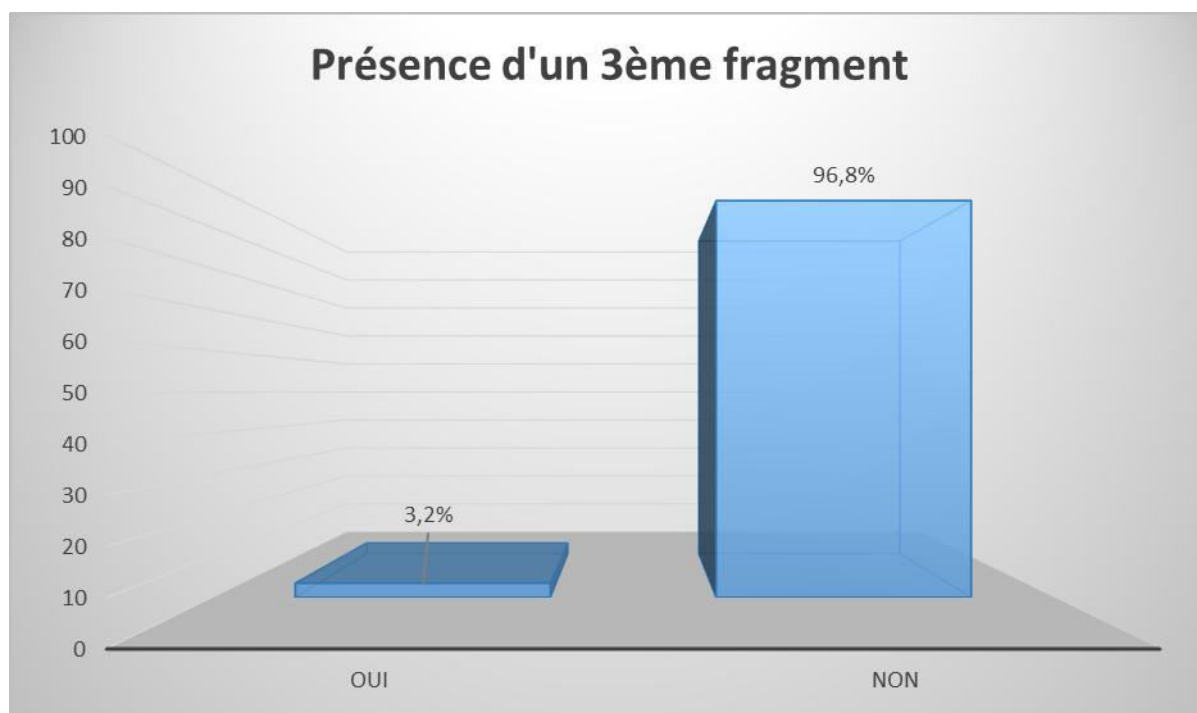


Diagramme 21 : Répartition des fractures selon la présence ou non d'un 3^{ème} fragment

- **Fractures ouvertes :**

Parmi les 128 fractures répertoriées, 88 étaient fermées et 40 ouvertes.

Nous avons noté 9 complications sur ces 40 fractures ouvertes (22,5%) dont 7 cas étaient des fractures ouvertes stade I de Couchoix-Duparc et 2 cas étaient des fractures ouvertes stade II de Couchoix-Duparc.

- **Indications de l'ECMES de l'avant-bras :**

L'irréductibilité était l'indication la plus fréquente dans 21 cas (67,7%), suivie des fractures ouvertes stade I ou II dans 5 cas (16,1%), l'instabilité dans 2 cas (6,5%), le déplacement > 10° dans 2 cas (6,5%), et le déplacement secondaire dans 1 cas (3,2%) (Diagramme 22).

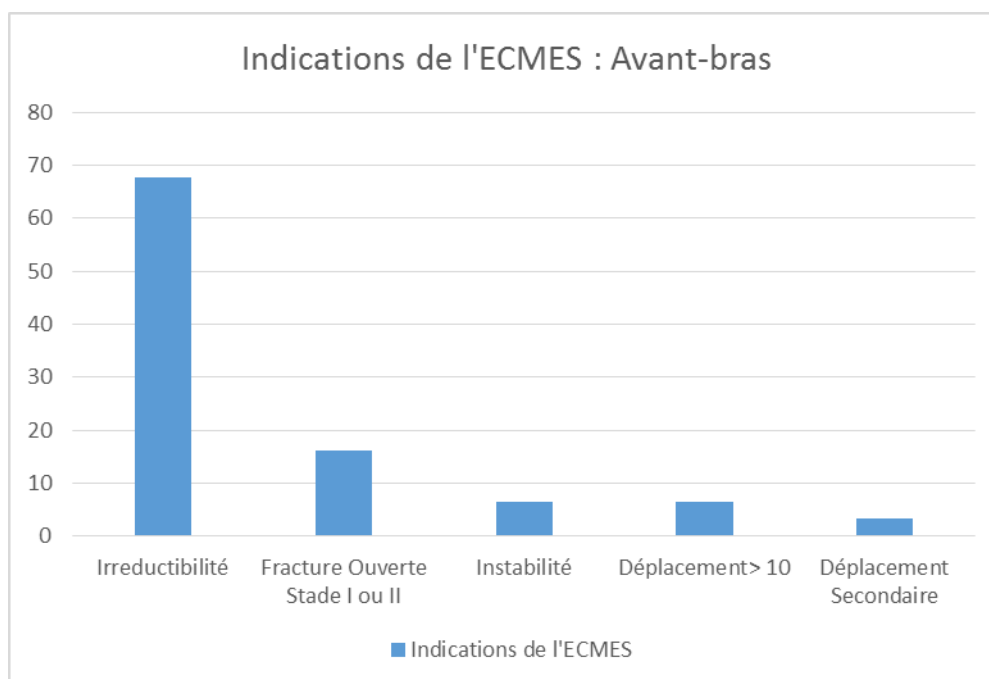


Diagramme 22 : Répartition des fractures selon les indications de l'ECMES

- **Délai moyen de la chirurgie :**

Le délai moyen de la chirurgie est de 3,2 jours (extrêmes 2 et 5 jours).

III.3.2. Paramètres Per-Opératoires:

- **Le choix des broches :**

Des broches de 2,0mm étaient utilisées pour les enfants de 9-13 ans, de 2,5 mm pour ceux de 14-15 ans (**Diagramme 23**). Les broches étaient ascendantes pour le radius et descendantes pour le cubitus. Le diamètre du canal médullaire était en moyenne de $4,5 \pm 2,4$ mm (SD) avec un ratio Diamètre de la Broche/ Diamètre du Canal Médullaire de 0,4.

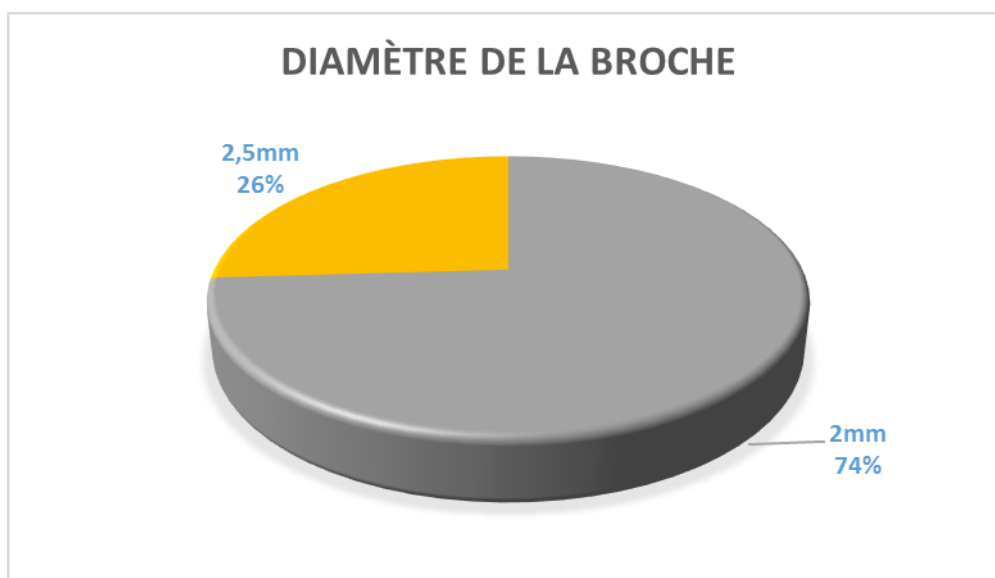


Diagramme 23: Répartition des fractures selon le Diamètre des broches

- **Abord du foyer fracturaire :**

Nous avons signalé, sur 128 cas d'avant-bras opérés dans notre formation durant la période d'étude, l'abord du foyer fracturaire a été réalisé sur uniquement 47 cas dont seulement 9 cas ont présenté des complications (19%).

- **Type et durée d'immobilisation**

Toutes les malades ont bénéficié d'une attelle BABP d'une durée de 2 semaines en moyenne.

III.3.3. Paramètres Post-opératoires:

- **Durée d'hospitalisation :**

La durée d'hospitalisation est en moyenne de $2,6 \pm 1$ jours (SD) avec un minimum de 2 jours et un maximum de 6 jours.

III.3.4. Types de Complications:

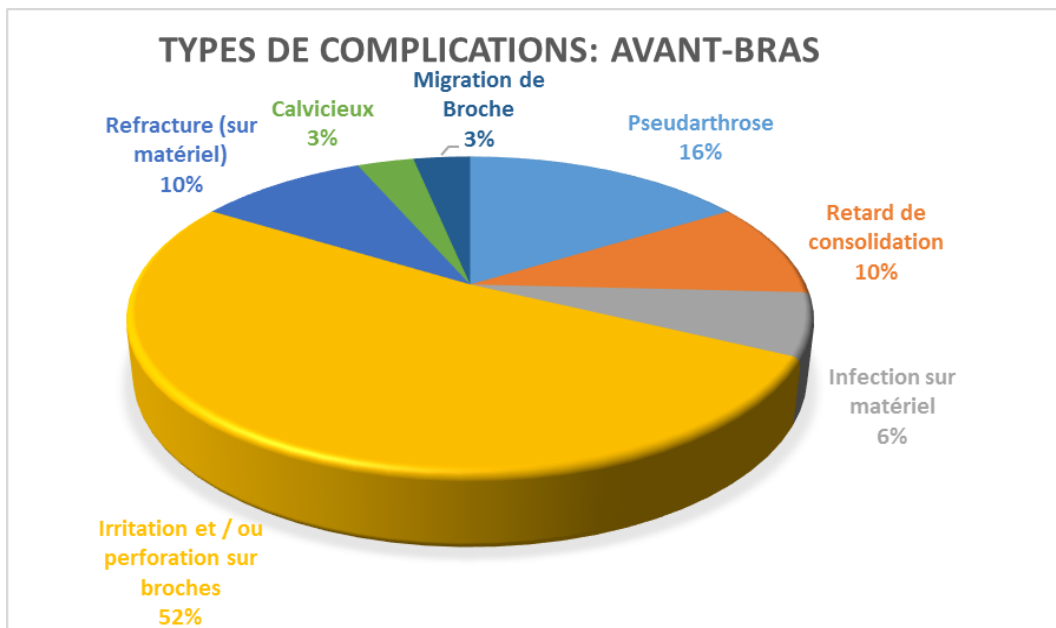


Diagramme 24 : Répartition des différents types de complications

Les complications étaient précoces dans 19 cas (61%) et tardives dans 12 cas (39%) (Diagramme 25).

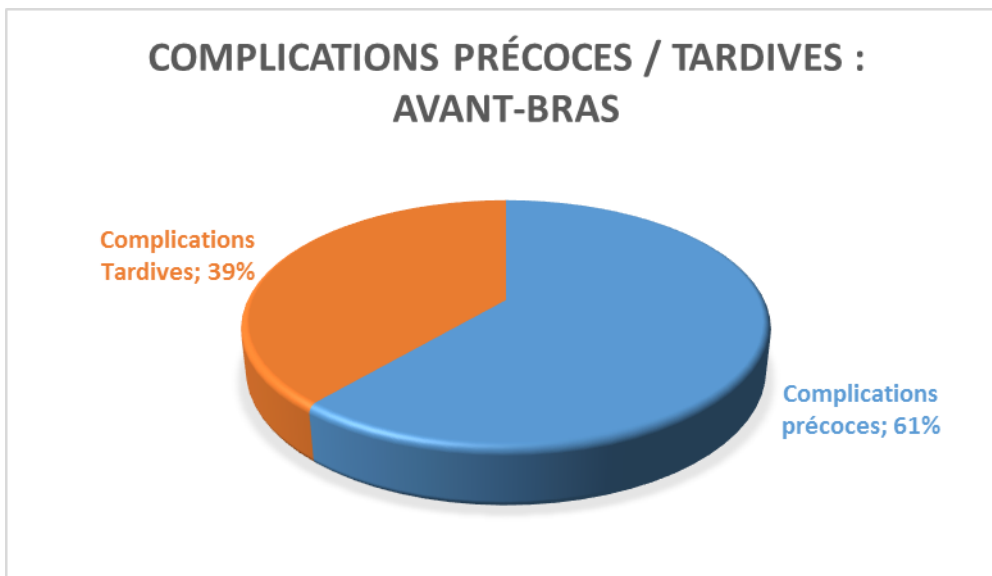


Diagramme 25: Répartition des complications selon leur mode de survenue

❖ Complications précoces :

➤ Irritation cutanées et/ou Perforations cutanées sur broches :

16 cas ont présenté une irritation cutanée par les broches (12,5%), ayant été traités par une recoupe des broches avec une consolidation à 2 mois et AMOS à 6 mois (Fig 23).

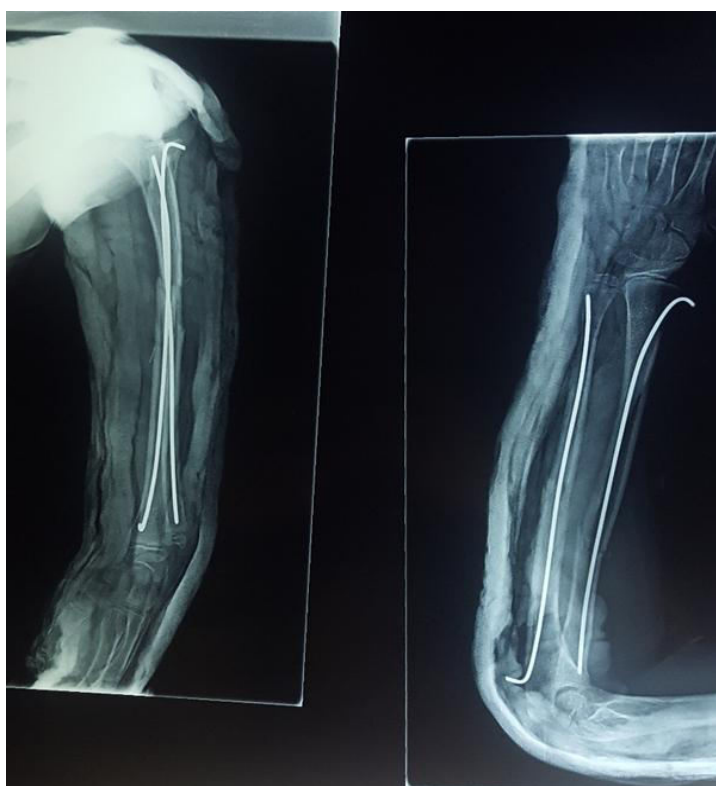


Fig 23 : Radio F+P en post-op : les broches d'ECMES sont coupées longues provoquant une irritation cutanée.

➤ **Infections sur matériel :**

L'infection sur matériel a été observée dans **2 cas (1,5%)** :

- le 1^{er} cas est une fille de 10 ans qui a présenté suite à une chute de sa hauteur une fracture transversale fermée du tiers moyen des 2 os de l'avant-bras, traitée par un ECMES à **foyer ouvert**. L'enfant a présenté 2 mois du post op une tuméfaction de la partie moyenne de l'avant-bras avec une CRP élevée à 75 mg/L et une VS accélérée (H1 : 40mm H2 : 85mm) et à l'échographie une collection de 8,5/5mm en regard du foyer fracturaire avec une infiltration des parties molles.

L'abcès a été drainé avec une antibiothérapie, AMOS, et mise en place d'une attelle postérieure avec une bonne évolution (**Fig 24**).



Fig 24 A: Radio F+P montrant une fracture transversale du tiers moyen des 2 os de l'avant-bras



Fig 24 B : Radio après ECMES



Fig 24 C : Radio à 2 mois du post-op : réaction périostée intéressant toute la diaphyse des 2 os avec un aspect déminéralisé.



Fig 24 D : Radio après AMOS et attelle postérieure

- Le 2^{ème} cas était celui d'un garçon de 12 ans qui a présenté suite à accident de sport une fracture oblique fermée du tiers moyen des 2 os de l'avant-bras, traitée par un ECMES à **foyer ouvert**. L'enfant a présenté 2 semaines du post-op une infection superficielle qui s'est améliorée sous antibiothérapie avec une consolidation à 2 mois et AMOS à 6 mois.

➤ **Migration des broches :**

Un cas a présenté une migration de l'implant (0,8%) :

Il s'agit d'un garçon de 13 ans qui a présenté suite à une chute d'une hauteur élevée une fracture oblique fermée du tiers moyen des 2 os de l'avant-bras, traitée avec un ECMES à **foyer fermé**. Le patient a présenté 3 semaines du post-op une migration de la broche cubitale causant une perforation cutanée, traitée par une recoupe de la broche avec une consolidation à 2 mois et AMOS à 6 mois (Fig 25).



Fig 25 : Radio Face objectivant une migration de la broche cubitale

❖ Complications tardives :**➤ Le retard de consolidation :**

Nous avons signalé la présence de 3 cas de retard de consolidation (2,3%), qui concernaient tous des fractures de l'extrémité distale du cubitus :

- Le 1^{er} cas est un enfant de 12 ans qui a présenté, suite à une chute d'une hauteur élevée, une fracture transversale ouverte stade I de Couchoix-Duparc des 2 os du tiers distal des deux os de l'avant-bras traitée par ECMES sans abord du foyer fracturaire. La fracture s'est consolidée avec un retard de 11 mois avec AMOS à 12 mois (Fig 26).



Fig 26 :A: Radio F+P objectivant une fracture transversale du tiers distal des 2 os de l'avant bras droit.

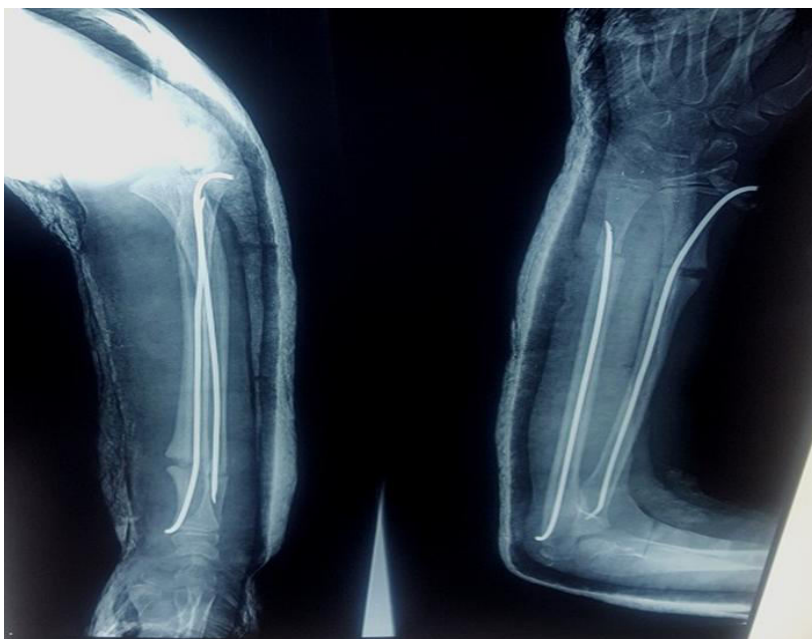


Fig 26 B : Radio après ECMES

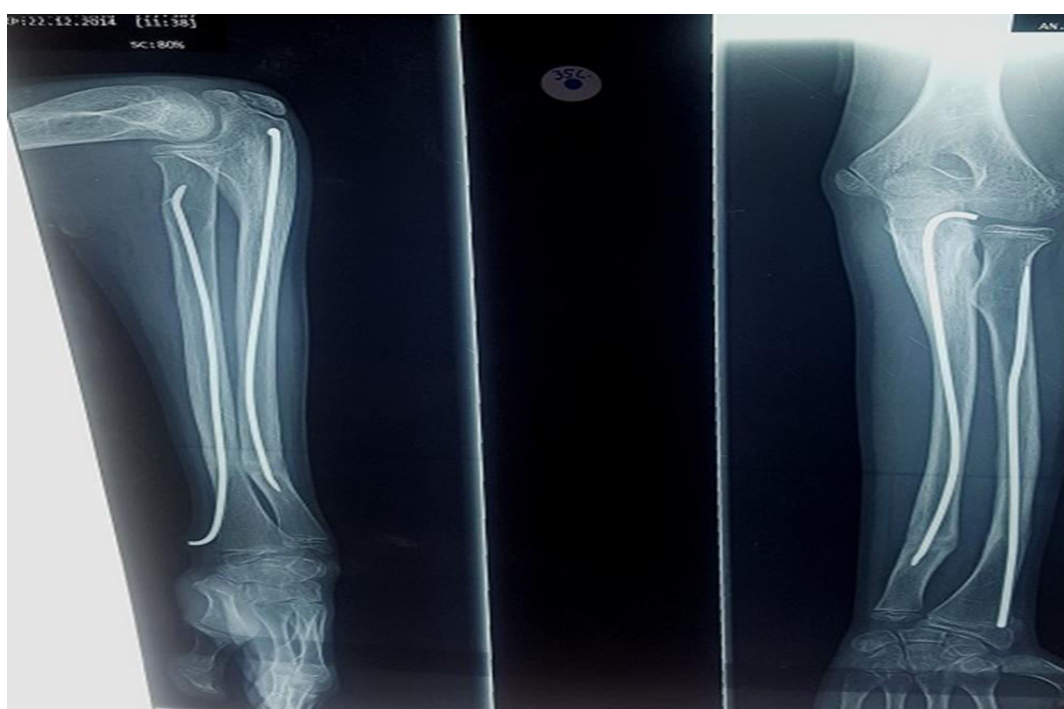


Fig 26 C : Radio à 11 mois du post-op : bonne consolidation osseuse avec un retard de 11 mois avec un cal vicieux angulaire.

- Le 2^{ème} et 3^{ème} cas, âgés de 12 et 13 ans, présentaient une fracture fermée du tiers moyen des 2 os de l'avant-bras traitées par ECMES avec un abord du foyer fracturaire ; la consolidation était à 9 et 10 mois respectivement et avec l'AMOS un mois plus tard.

➤ **La pseudarthrose :**

Nous avons aussi noté 5 cas de pseudarthrose (4%) dont une était **septique du cubitus** et 4 étaient **aseptiques du radius** :

- Il s'agissait dans **un cas** d'un garçon de 15 suite à un accident de sport occasionnant chez lui une fracture transversale fermée des 2 os de l'avant-bras avec la présence d'un 3^{ème} fragment. Le patient a été traité par ECMES à foyer ouvert et a présenté à 4 mois du post-op une **pseudarthrose septique du cubitus** (absence de cal osseux du cubitus et un bilan inflammatoire perturbé) traitée par ATB sans reprise chirurgicale, avec une bonne évolution.



Fig 27 :A: Radio F+P montrant une fracture transversale du tiers moyen des deux os de l'avant avec un 3^{ème} fragment.

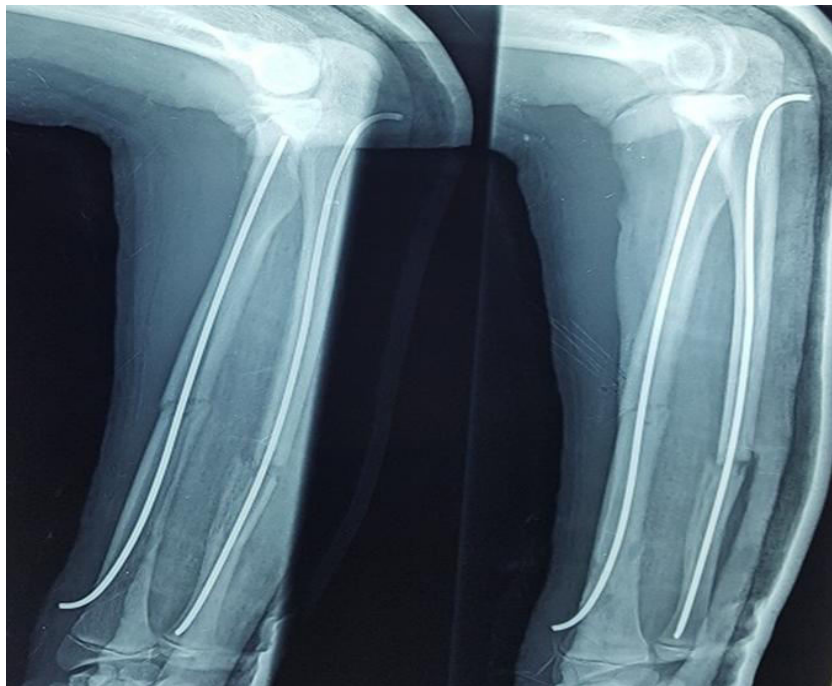


Fig 27 B : Radio après ECMES



Fig 27 C : Radio à 4 mois du post-op : consolidation du radius avec absence de cal au niveau du cubitus, avec un foyer de pseudarthrose.

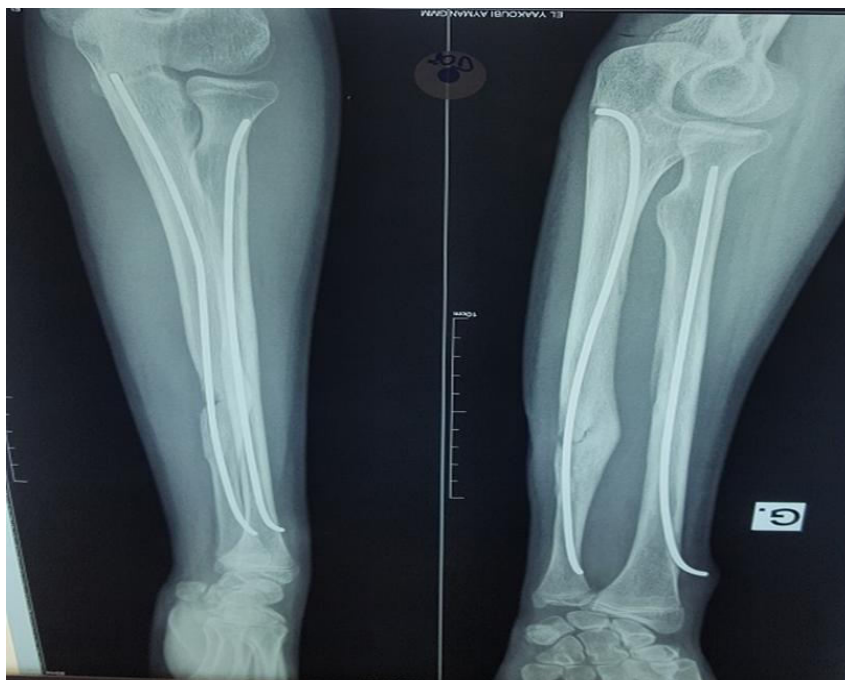


Fig 27 D : Radio à 5 mois du post-op : consolidation cubitale en cours.

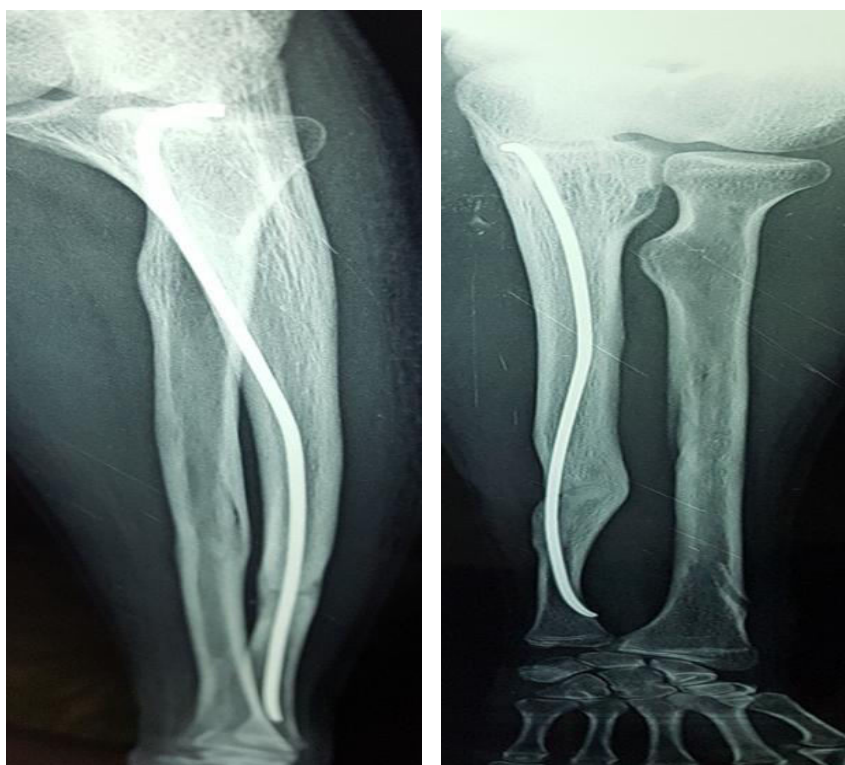


Fig 27 E : Radio à 13 mois du post-op : AMOS du radius, consolidation du cubitus en cours

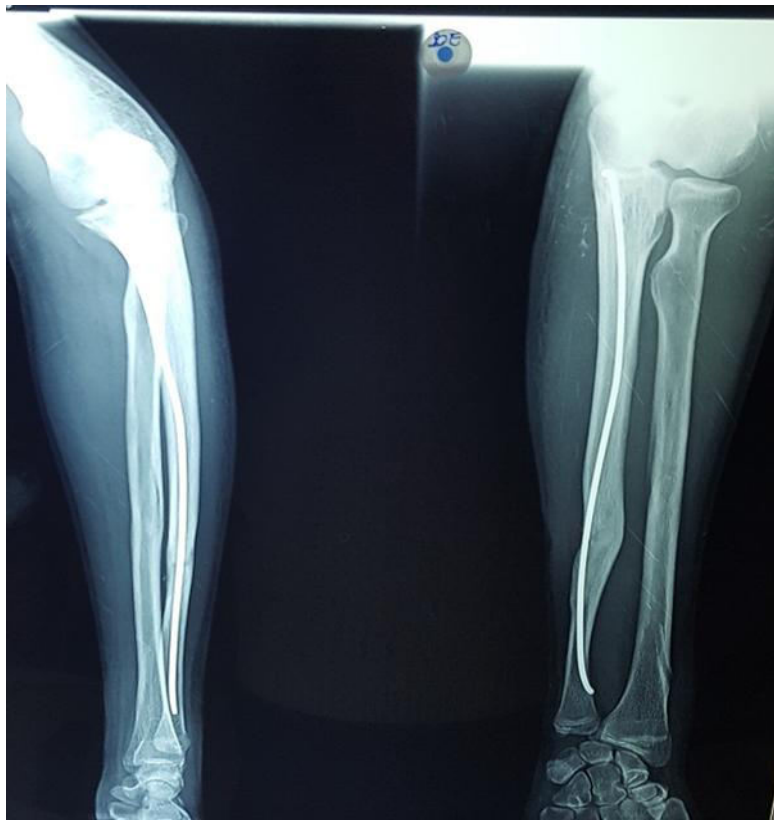


Fig 27 F : Radio après 15 mois du post op : consolidation osseuse du cubitus

- **4 cas** de fractures traitées par ECMES avec un abord du foyer fracturaire compliquées d'une **pseudarthrose aseptique du radius**, dont **3 cas** qui ont nécessité un avivement des berges avec ostéosynthèse par une plaque vissée (**Fig 28**), et un cas qui a bien évolué spontanément (**Fig 29**).



Fig 28 A: Radio F+P à 6 mois après ECMES : pseudarthrose radiale



Fig 28 B: Radio après AMOS et relai par une plaque vissée à 5 trous



Fig 28 C : Radio après ablation de la plaque vissée : bonne consolidation osseuse



Fig 29 : Enfant de de 8 ans

A : Radio F+P montrant une fracture transversale de la jonction 1 /3 moyen-1 /3 proximal du radius



Fig 29 B : Radio après ECMES



**Fig 29 C : Radio à 4 mois du post op : absence de cal :
Pseudarthrose radiale.**



Fig 29 D : Radio à 11 mois du post op : consolidation en cours.



Fig 29 E : Radio à 14mois du post op : bonne évolution avec un cal homogène

➤ **Re-fractures :**

Trois cas ont présenté une re-fracture à 6 semaines du post-op suite à une chute de hauteur (2,3%), traitées orthopédiquement par une réduction fermée et un plâtre avec une bonne évolution clinico-radiologique : bonne consolidation à 3 mois et AMOS à 6 mois.

➤ **Cal vicieux :**

Un seul cas a présenté un cal vicieux (0,8%) (Fig 19).

III.3.5. Causes de Complications :

Du point de vue général, les causes de complications ont été liées à (Diagramme 26) :

- Un problème technique dans 15 cas (49%).
- Une taille de broches trop petite par rapport à la taille du canal médullaire dans un 5 cas (16%).
- L'abord du foyer fracturaire dans 9 cas (29%).
- Un cintrage asymétrique dans un cas (3%) : les broches n'étaient pas assez concaves.
- A une mauvaise introduction des broches dans un cas (3%).

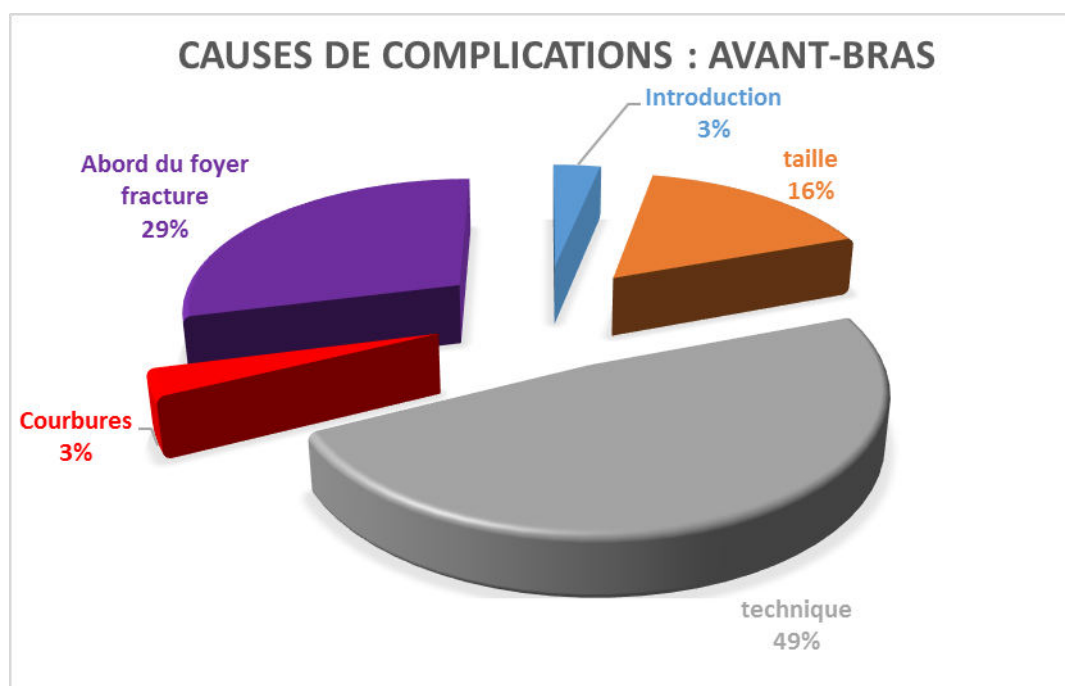


Diagramme 26 : les différentes causes de complications liées à l'ECMES

III.4. Humérus :

Sur les **35** enfants présentant une fracture humérale traitée par ECMES, on a noté 4 complications, avec un ratio complications/Nombre de fractures de **0,11**. L'âge moyen est de ces enfants est de 12 ans avec des extrêmes de 10 et 15 ans, avec un sexe ratio est de 1.

Les fractures ont fait suite à une chute d'une hauteur élevée dans 50% des cas et à un AVP dans 50% des cas. Les fractures étaient transversales dans 100% des cas. Elles siégeaient au tiers moyen dans 50 % des cas et au tiers proximal dans 50% des cas, sans 3ème fragment associées. Toutes les fractures étaient fermées. Il n'y avait pas eu de fractures associées ni de lésions tendineuses ou nerveuses associées. L'indication principale était les polytraumatisés dans 50 % des cas, l'instabilité des fractures dans 25% des cas, et l'irréductibilité dans 25% des cas. Le délai moyen de chirurgie était de 3 jours.

L'ECMES était réalisé sans abord du foyer fracturaire chez tous les enfants, avec une technique rétrograde. Les broches utilisées étaient de 2,5mm pour avec un rapport **ND/DCM de 0,33 en moyenne**. Une attelle brachio-antébrachiale ou un bandage à la mayo clinique a été utilisée dans tous les cas étudiées pour une durée de 2 semaines. La durée d'hospitalisation est de 4,5 jours en moyenne (3 et 6 jours).

Les complications survenues étaient précoces et mineures : il s'agissait de 4 cas de perforation cutanée par les broches saillantes, traités par une recoupe de broches. La consolidation osseuse dans ces cas-là était à 3 mois du post-op avec une AMOS à 6 mois (**Fig 30**).



Fig 30 : Radio après ECMES ascendant d'une fracture du tiers proximale de l'humérus chez un enfant de 12 ans : l'extrémité des broches est laissée longue et courbée.

IV. Discussion

IV.1. Fémur :

L'ECMES est considéré comme une méthode sûre et peu invasive avec des taux de complications relativement faibles [20] [21].

Le traitement chirurgical avec des broches intramédullaires flexibles atteint avec succès l'objectif de traiter les fractures de la diaphyse fémorale pédiatrique et permet également une mobilisation précoce [22] [23] [21].

L'ECMES devrait être utilisé avec prudence chez le patient plus âgé et plus lourd chez qui les broches intra-médullaires trochantériennes peuvent être une meilleure option [16] [24] [10] [25].

- **Age :**

Les complications peuvent se voir quel que soit l'âge de 6 à 15 ans, donc l'âge ne présente pas un facteur pronostic des ECMES.

- **Sexe :**

On note une prédominance masculine dans notre série avec un taux de **57,9%**, ce qui rejoint les séries de Mani et al. [13], Soni et al. [21], et Anastasopoulous et al. [26] avec un taux de 57%, 70,8% et 61,1% respectivement.

- **Fractures ouvertes :**

Le taux des fractures ouvertes dans la série d'Oujda (Belahcen) [27] est de **6%** (dont un cas a présenté une infection superficielle), de Soni et al. [21] est de **8%**, celle de Rabat (Zerhouni) [28] de **9%** (dont un cas s'est compliqué d'une infection sur matériel nécessitant une reprise chirurgicale), et celle de Fès (Afifi) [29] de **9%** (dont un cas a présenté une infection superficielle) ; tandis que Pai et al. [30] ont présenté un taux plus élevé de **16%** (Tableau 7).

Dans notre étude, le taux de fractures ouvertes est de 10% (17 cas sur 165) dont 3 cas de fractures ouvertes stade II de C-D ont présenté des complications :

- Un cas qui s'est compliquée d'un retard de consolidation de 48 mois ;
- Un cas compliqué de fracture sur matériel, et
- Un cas compliqué d'enroulement des broches.

Nous pouvons supposer que les fractures ouvertes peuvent prédisposer à des complications suite à l'ECMES, notamment l'infection et/ou le retard de consolidation.

Auteurs	Nombre de fractures ouvertes	Total des fractures	Pourcentage des fractures ouvertes
Soni et al. 2012 (Brésil) [21]	2	24	8%
Pai et al. 2005 (Nouvelle Zélande) [30]	1	6	16%
Série de Rabat 2016 (Zerhouni) [28]	7	76	9%
Série d'Oujda 2014 (Belahcen) [27]	1	18	6%
Série de Fès 2010 (Afifi) [29]	9	100	9%
Notre série	17	165	10%

Tableau 7 : Comparaison des fractures ouvertes avec la littérature

- **Indications de l'ECMES fémoral :**

Le traitement chirurgical permettant une mobilisation précoce est devenu une alternative d'intérêt, en particulier pour les enfants présentant **des traumatismes multiples, des traumatismes crâniens-encéphaliques, des genoux flottants, des fractures multiples et des lésions vasculaires** [21], ce qui se produit principalement dans les cas de traumatisme à haute énergie, et aussi les enfants en âge de scolarité [31].

Dans la série d'**Anastasopoulous et al. [26]**, portant sur 37 cas, les indications principales étaient l'âge scolaire dans 12 cas (67,6%), les polytraumatismes 7 (18,9%), et les fractures ouvertes stade I ou II de Couchoix–Duparc chez 5 enfants (13,5%) ; alors que dans la **série de Rabat (Zerhouni) [28]**, les indications étaient dominées par l'âge >6 ans dans 59 cas (79,7%), les polytraumatismes dans 8 cas (10,8%), puis les fractures ouvertes stade I et II de C–D dans 7 cas (9,4%).

Dans **Série d'Oujda (Belahcen) [27]**, l'indication de l'ECMES était l'âge >6 ans ou l'âge scolaire dans 13 cas (86,66%), le polytraumatisme dans un cas (6,67%) avec le même pourcentage pour les fractures ouvertes stade II. Dans **Série de Fès (Afifi) [29]**, l'âge scolaire, les polytraumatismes et les fractures ouvertes constituaient les indications principales avec des taux de 69%, 22%, et 9% respectivement.

Dans **notre série**, l'indication de l'ECMES du fémur dans notre série était l'âge de plus de 6 ans ou l'âge scolaire (**Tableau 8**).

Indications chirurgicales	Auteurs				
	Anastasopoulous et al. 2010 (Grèce) [26]	Série de Rabat 2016 (Zerhouni) [28]	Série d'Oujda 2014 (Belahcen) [27]	Série de Fès 2010 (Afifi) [29]	Notre série
age \geq 6 ans ou age scolaire	12 (67,6%)	59 (79,7%)	13 (86,66%)	69 (69%)	34 (100%)
polytraumatisme	7 (8,9%)	8 (10,8%)	1 (6,67%)	22 (22%)	–
Fracture Ouverte Stade I ou II	5 (13,5%)	7 (9,4%)	1 (6,67%)	9 (9%)	–

Tableau 8 : Les indications de l'ECMES du fémur selon les séries

- **Délai moyen de la chirurgie :**

Le délai moyen de la chirurgie dans notre étude est de 2.37 ± 1.38 jours (SD) avec des extrêmes de 1 et 6 jours (3 cas de fracture ouvertes stade II de C-D ont bénéficié d'un ECMES dans les 6h), ce qui rejoint la **série de Rabat (Zerhouni) [28]** avec une moyenne de **2,48 jours**, et de **3 jours** dans les séries d'**Oujda (Belahcen) [27]**, de **Fès (Afifi) [29]**, et de **Rabat (Ettayebi) [32]**. (Tableau 9). Un délai plus court de **1,7 jour** a été rapporté dans la série d'**Anastasopoulous et al. [26]** et de **1 jour** dans celle de **Pai et al. [30]**.

Auteurs	Délai moyen de la chirurgie (jours)
Anastasopoulous et al. 2010 (Grèce) [26]	1.7
Pai et al. 2005 (Nouvelle Zélande) [30]	1
Série de Rabat 2016 (Zerhouni) [28]	2,48
Série d'Oujda 2014(Belahcen) [27]	3
Série de Fès 2010 (Afifi) [29]	3
Série de Rabat 2010 (Ettayebi) [32]	3
Notre série	2.37

Tableau 9 : Délai moyen de la chirurgie selon les séries

- **Le choix des broches :**

Dans une étude multicentrique sur les premiers résultats des États-Unis, **Flynn et al. [10] [30]** ont signalé certains pièges techniques dans l'insertion des broches flexibles. Ils ont mis l'accent sur le choix du diamètre correct de la broche, qui devrait être de 40% du diamètre de l'isthme, le pré-courbage précis et l'importance de ne laisser que 1-2 cm dépassant le cortex pour éviter les complications.

C'est le cas de **2 enfants dans notre série** qui ont tous les deux un âge de 15 ans qui ont présenté des fractures diaphysaires traitées par ECMES chez qui le DCM est de 13,3 mm et de 11 mm, avec des broches utilisées de 4,0mm et 3,5mm respectivement soit un rapport ND/DCM de 0,3 dans les deux cas. Ces derniers se sont compliqués d'un cal vicieux du au choix incorrecte du diamètre des broches.

Lascombes [33] et De Billy et al. [34] utilisent des broches de 3 à 4mm de diamètre ; ce qui rejoint les données de **notre série**, où le diamètre a été choisi en fonction du diamètre du canal médullaire et l'âge du patient, et varie de 2,0mm à 4,0mm.

Pour les autres études, les broches varient entre 3,5mm et 4,0 mm dans la série de **Pai et al. [30]**, entre 3,0 et 4,0 mm dans la série de **Lascombes et al. [8]**, dans la série de **Rabat (Zerhouni) [28]**, la série de **Fès (Afifi) [29]**, et la série d'**Oujda (Belahcen) [27]** (Tableau 10).

Luhmann et al. [35] [30] ont constaté une incidence accrue de l'inconfort et des complications lorsque les broches dépassaient plus de 40 mm au-delà du cortex. La plupart des auteurs recommandent donc de laisser la broche aussi courte que possible pour permettre son ablation finale. Une instrumentation spéciale pour permettre de couper la broche courte et son retrait ultérieur serait utile pour réduire ce problème.

Numéro de broche (1/10)	Tranche d'âge (ans)					
	Pai et al. 2005 (Nouvelle Zélande) [30]	Lascombes et al 2006 [8]	Série de Rabat (Zerhouni) 2016 [28]	Série de Fès 2010 (Afifi) [29]	Série d'Oujda 2014 (Belahcen) [27]	Notre série
25	-	-	-	-	-	6-9
30	-	6-8	6-10	6-10	6-10	9-10
35	9-13	8-10	7-15	11-13	11-13	10-14
40	14	>11	11-15	>14	>14	14-15

Tableau 10 : Taille des broches utilisées selon la tranche d'âge

- **Technique d'embrochage : Antérograde ou Rétrograde ?**

La technique rétrograde est réservée aux fractures du tiers proximal et moyen du fémur, tandis que la technique antérograde est indiquée pour les fractures du tiers distal du fémur [36] [24] [26].

Mais laquelle des deux techniques offre une plus grande stabilité ? Des études biomécaniques ont montré que les deux techniques fournissent presque la même rigidité mais, dans les fractures comminutives, l'embrochage rétrograde offre une plus grande stabilité sous des forces de torsion [37] [38] [26].

La meilleure stabilité offerte par la technique rétrograde est probablement expliquée par le fait que l'embrochage antérograde ne prend pas les fractures proximales. En outre, une mauvaise localisation des courbures lors de l'embrochage antérograde peut créer un déséquilibre dans les forces de flexion, ce qui entraîne une déformation angulaire, qui est une erreur technique signalée [39] [40] [26].

Dans notre série, Le type d'ECMES est rétrograde dans 100 % des cas étudiés. Cependant, la technique est non adaptée au tiers distal du fémur qui représentait 5,3% des cas.

- **Abord du foyer fracturaire :**

L'ECMES semble respecter les différents facteurs de la consolidation. Réalisé à foyer fermé, il préserve le périoste, la vascularisation locale et l'hématome fracturaire.

L'abord large, évacue l'hématome fracturaire, majore la dévascularisation osseuse et périostée. Les agents les plus actifs de l'ostéogénèse voient ainsi leur potentiel totalement réduit et le schéma de la réparation osseuse est alors modifié, qui peut expliquer une consolidation plus longue à obtenir qu'après un ECMES à foyer fermé [31].

Dans la série de **Anastasopoulos et al.** [26], le pourcentage de l'abord du foyer fracturaire était **13,51%** (dont un cas s'est compliqué d'un retard de consolidation), de **16,67%** dans la série de **Pai** [30] (dont un cas a présenté un retard de consolidation), et **11%** dans la série de **Fès (Afifi)** [29] sans complications associées; tandis qu'un taux plus élevé a été signalé dans la série de **Rabat (Zerhouni)** [28] : **67,6%** (avec un cas de retard de consolidation), et la série de **Oujda (Belahcen)** [27] : **100 %**. Cette dernière ne disposant pas de table orthopédique (dont un cas a présenté une pseudarthrose) (**Tableau 11**).

Dans notre série, sur les 165 fractures fémorales, **34 cas** ont été traité par ECMES avec un abord du foyer fracturaire (20%) dont **4 cas** qui ont présenté des complications:

- Le 1^{er} cas est une fracture médio-diaphysaire oblique fermée qui s'est compliqué d'une infection sur matériel ;
- Le 2^{ème} cas est une fracture diaphysaire oblique fermée qui s'est compliqué d'un retard de consolidation malgré le respect des techniques de l'ECMES ;
- Le 3^{ème} et 4^{ème} cas ont présenté une irritation cutanée superficielle.

Nous pouvons donc supposer une relation entre l'abord du foyer fracturaire, comme étant une porte d'entrée, et l'infection sur matériel. Aussi, la relation entre cet abord et le retard de consolidation vu le non-respect de l'hématome et du périoste.

Auteurs	Pourcentage des foyers ouverts
Anastasopoulous et al. 2010 (Grèce) (n=37) [26]	13,51%
Pai et al. 2005 (Nouvelle Zélande) (N=6) [30]	16,66%
Zerhouni 2016 (Rabat) (n=74) [28]	67,6%
Belahcen 2014(Oujda) (n=15) [27]	100%
Afifi 2010 (Fès) (n=100) [29]	11%
Notre série (n=165)	11,7%

Tableau 11 : Pourcentage de l'abord du foyer fracturaire selon les auteurs

- **Durée d'hospitalisation :**

La durée d'hospitalisation est de 4 jours dans chacune des séries de **Mani et al.** [13], **série de Fès (Afifi)** [29], **série de Rabat (Ettayebi)** [32], et de 4,62 jours dans la série de **Rabat (Zerhouni)** [28]. Elle était de 7,16 jours et 7,95 jours respectivement dans les séries de **Pai et al.** [30], et d'**Anastasopoulous et al.** [26], et de 12 jours dans la série d'**Oujda (Belahcen)** [27].

Dans notre série, la durée d'hospitalisation est en moyenne de **5,6 jours** avec un minimum d'un jour et un maximum de 7 jours.

Auteurs	Durée moyenne hospitalisation (jours)
Mani et al. 2015 (Népal) [13]	4
Anastasopoulous et al. 2010 (Grèce) [26]	7,95
Pai et al. 2005 (Nouvelle Zélande) [30]	7,16
Série de Rabat 2016(Zerhouni) [28]	4,62
Série d'Oujda 2014 (Belahcen) [27]	12
Série de Fès 2010 (Afifi) [29]	4
Série de Rabat 2010 (Ettayebi) [32]	4
Notre série	5,6

Tableau 12 : Durée moyenne hospitalisation

- **Les complications de l'ECMES fémoral :**
- ❖ **Complications précoces :**
- **Irritation et ou perforation sur broches :**

La plupart des complications de l'ECMES sont mineures, ne nécessitent pas d'intervention chirurgicale, et ne laissent pas de séquelles. La complication la plus fréquente est la **douleur au site d'insertion des broches**, et la **protrusion des broches provoquant une perforation et une irritation cutanée**.

Ces complications sont dues le plus souvent à des **défaillances techniques** : par exemple, les directives techniques indiquent que la broche doit être à un maximum de 1 cm à l'extérieur de l'os et ne doit pas être inclinée, de manière à éviter les protubérances et l'irritation locale [35] [41] [42] [3] [21].

Dans la série de Fès (Afifi) [29], 12 cas (12%) de complications cutanées ont été signalés dont quatre cas de suppurations superficielles qui ont bien évolué sous traitement avec la résolution de ce problème après l'ablation de broches, la même prise en charge était réalisée pour les séries de Pai et al. [30] chez 4 cas (66,7%) et Série de Rabat (Ettayebi) [32] chez un cas (4,1%) présentant des suppurations superficielles. De même pour la série Anastasopoulos et al. [26] et Mani et al. [13], dont 16,2% et 21% respectivement ont présenté une bursite douloureuse qui s'est résolu après AMOS.

Dans notre série, 9 cas ont présenté une irritation cutanée avec une extériorisation des broches ayant nécessité une recoupe secondaire (5,4%). Tandis que la série de Fès (Afifi) [29] a noté cette complication dans 8 cas (8%), la série de Rabat (Zerhouni) [28] dans 2 cas (2,7%), et la série d'Oujda (Belahcen) [27] avec 6 cas (0,4%).

➤ **Migration des broches en intramédullaire :**

Dans notre série, nous avons noté un cas de migration d'une broche en intramédullaire (0,6%) après un ECMES ascendant de 2 broches en titane de 3 mm, la broche n'était pas courbée correctement, favorisant sa migration. Cette complication n'a été rapportée dans aucune des autres séries étudiées.

➤ **Enroulement des broches : « Crosscrew phenomenon » :**

Cette complication était observée dans les séries nationales chez 2 à 5 % des patients [43] [44].

Dans notre série, il y a eu **5 cas** d'enroulement des broches (**3%**), et les fractures se sont consolidées avec un retard allant de 5 mois à 15 mois (moyenne de 9 mois), avec une AMOS à 9,5 mois en moyenne.

Cette complication est due au non-respect des techniques de l'ECMES, les 2 broches enroulées agissent comme une seule broche centrale n'offrant pas une assez bonne stabilité à l'os fracturé, ce qui peut expliquer ce retard de consolidation.

➤ **Infections sur matériel :**

Un cas d'infection superficielle a été rapporté dans chacune des séries d'Anastasopoulous et al. [26] (2,7%), série d'Oujda (Belahcen) [27] (6,7%), série de Fès (Afifi) [29] (1%) qui ont bien évolué sous traitement antibiotique, avec un abcès des parties molles dans les deux dernières séries qui ont nécessité un drainage.

Dans la **Série de Rabat (Ettayebi) [32]**, un cas d'infection sur matériel a été signalé au niveau du foyer de fracture (4,1%), nécessitant une ablation précoce des broches et la mise en place d'un fixateur externe.

Dans notre série, nous avons noté la présence de **2 cas** d'infection sur matériel (1,2%) :

- Le 1^{er} cas s'agissait d'une fracture fermée de la jonction 1/3 moyen-1/3 inférieur du fémur traitée par ECMES à foyer fermé. La radio de contrôle en post-op a montré une broche qui a perforé la corticale du fragment proximal. A 2 mois du post-op, le bilan inflammatoire était perturbée avec une CRP à 62 et une VS accélérée (H1 :130 H2 :140). L'enfant a bénéficié d'une AMOS avec un relai par un fixateur externe et une antibiothérapie, avec une bonne évolution clinico-radiologique avec une consolidation osseuse à 7 mois. L'erreur technique en était probablement la cause.
- Le 2^{ème} cas était un ECMES d'une fracture médio-diaphysaire fermée qui a nécessité un abord du foyer fracturaire, les radios de contrôle en post

opératoires ont montré des bulles d'aires intramédullaires avec une broche qui a résorbé la corticale interne. L'enfant a été mis sous ATB avec une consolidation à et une AMOS à 11 mois. Nous pouvons donc supposer un rapport entre l'abord du foyer fracturaire et la survenue de cette complication.

❖ Complications tardives : (Tableau 13)

➤ Le retard de consolidation et la pseudarthrose

Le retard de consolidation et la pseudarthrose sont rares dans les fractures fémorales pédiatriques. Plusieurs complications signalées ont été attribuées à une erreur technique [9].

Ho et al. [16] [9] ont rapporté deux enfants atteints de pseudarthrose après l'ECMES. Un enfant a été traité avec une réduction ouverte et fixation interne avec greffe osseuse, et l'autre a été traité avec un embrochage intramédullaire rétrograde. De même, Luhmann et al. [35] [9] ont rapporté un cas de pseudarthrose : un cal hypertrophique suite à une fracture fémorale fermée après ECMES avec deux broches de 2 mm; La reprise à six mois impliquait un embrochage à l'aide de deux broches de 3,5 mm. Les auteurs ont cité une stabilisation inadéquate par des broches minces comme la cause de la pseudarthrose.

Dans la série d'Oujda (Belahcen) [27], un cas de pseudarthrose a été signalé, chez un patient qui a bénéficié d'un ECMES ascendant des deux fémurs avec un abord fracturaire large. Sa pseudarthrose a bien évolué spontanément après un an.

Dans notre série, on a noté la présence d'un seul cas de pseudarthrose (0,6%), il s'agissait d'un genou flottant gauche type I (Classification de FRASER) associant une fracture fémorale comminutive fermée gauche à une fracture tibiale du même côté qui s'est compliqué d'une pseudarthrose aseptique à 9mois du post-op. Cette complication est probablement liée à la brutalité de la fracture causant une

comminution, et aussi au non-respect des principes de l'ECMES (les broches sont de petit calibre avec un phénomène de crosscrew). La reprise à 10 mois comportait un avivement des berges et une fixation interne par une plaque vissée avec une greffe osseuse.

En effet, concernant le traitement des pseudarthroses du fémur, diverses modalités sont possibles : allant des traitements non chirurgicaux comme les champs électromagnétiques et les ultrasons à faible intensité aux méthodes chirurgicales telles que la dynamisation, la fixation externe, le changement de broches et la greffe osseuse.

Cependant, l'échange de broches avec ou sans greffe osseuse est considéré comme le traitement standard. Bien que les études précoces aient montré des taux d'union satisfaisants (96% -100%) après le changement de broches, diverses études ultérieures ont montré des résultats indésirables [45] [46] [47] [48].

Ueng et al. (1997) [49] et Ueng et al. (1998) [50] ont signalé un succès de 100% dans l'aboutissement d'une consolidation osseuse avec une augmentation de la fixation par la plaque lors de la pseudarthrose après l'ECMES fémorale avec ou sans greffe osseuse supplémentaire [48].

Nadkarni et al. [51] et Choi et al. [52] ont démontré un taux de consolidation de 100% dans les pseudarthroses après ECMES des fractures des os longs (fémur, tibia et humérus) lorsqu'ils ont été traités par une plaque vissée et un greffon osseux adjuvant, laissant la broche in situ. Puisqu'il a été démontré que l'approvisionnement sanguin de l'os est récupéré de 6 à 12 semaines après la chirurgie [48].

En ce qui concerne le retard de consolidation, un cas a été signalé dans chacune des séries d'Anastasopoulous et al. [26] (2,7%), Pai et al. [30] (16,7%) et la série de Rabat (Ettayebi) [32] (4,1%); sans aucun cas de pseudarthrose dans ces 3 dernières

séries citées. Nous avons aussi noté la présence de **10 cas** de retard de consolidation (**6%**), tous sont dus à des erreurs techniques :

- **3 cas** avec une localisation proximale de la fracture ayant consolidé à 7, 10, et 20 mois, et **1 cas** causé par la localisation distale de la fracture qui s'est consolidée à 9 mois. Une mauvaise fixation métaphysaire proximale avec un enroulement des broches ont été notés dans 2 de ces cas-là. De plus, un retard de consolidation était prévisible vu que le maximum de courbure ne pouvant pas être au niveau de la fracture ;
- **2 cas** avec des broches qui se croisent au niveau de la fracture, chez qui la consolidation s'est faite à 15 et 48 mois.
- **2 cas** liés à un cintrage asymétrique des broches, ayant consolidés à 17 mois.
- **1 cas** dû à une mauvaise réduction et l'absence de compaction, ayant consolidé à 14 mois.
- **1 cas** avec un enroulement des broches « phénomène de crosscrew » : causant un cal hypertrophique avec un retard de consolidation de 6 mois.

➤ **Cal vicieux :**

L'impossibilité d'obtenir une réduction de la fracture ou une perte de réduction après l'ECMES peut entraîner un cal vicieux. Les cals vicieux **angulaires et les inégalités de longueur des membres** inférieures sont relativement fréquents, alors que les cals vicieux **de rotatoires** ne sont pas courants [53] [9].

Le taux de cal vicieux angulaire signalé après l'ECMES fémoral varie de 0% à 16% [16] [9].

Un examen multicentrique récent de 234 fractures du fémur traitées par ECMES a rapporté une angulation inacceptable chez 18 patients (7,7%) [41] [15]. D'autres analyses de sous-groupes ont démontré que les enfants âgés de 11 ans et plus avaient

des résultats inférieurs à ceux de moins de 11 ans. Un résultat médiocre était également cinq fois plus important chez les enfants qui pesaient plus de 49 kg [9].

Dans la série de **Mani et al. [13]**, 5 cas ont été signalés (17,8%) : dont 3 cas d'angulation en varus et 2 cas d'angulation antérieur. Dans ces 5 cas, 3 cas avaient une fracture du 1/3 distal et 2 cas du 1/3 proximale du fémur. De plus, 2 étaient plus âgés avec un poids supérieur à 50 kg.

Dans notre série, nous avons noté 2 cas de cal vicieux (1,2%) : un présentant une fracture proximale avec des broches mal fixées en proximal, et l'autre cas ayant des broches trop petite par rapport au DCM et aussi à la qualité des broches.

Ainsi, on peut supposer un lien de causalité entre le siège de la fracture, la technique d'embrochage choisie, et la taille inappropriée des broches et le cal vicieux.

➤ **Re-fractures et fractures itératives :**

Dans la série de **Pai et al. [30]**, un cas de fracture itérative a été rapporté (16,7%), et ce, après deux semaines d'AMOS, et a été repris par un clou rigide verrouillé à point d'entrée trochantérien, avec une bonne consolidation osseuse.

Dans la **série de Fès (Afifi) [29]**, un cas de refracture sur matériel a été signalé traitée par AMOS et une mise en place d'une plaque vissée.

Dans notre série, un cas a présenté une fracture sur matériel avec des broches qui se sont coudées au niveau du foyer fracturaire (0,6%), due à une erreur technique : le calibre des broches étant trop petit ; de plus, les broches se croisent au niveau du site de fracture. Cette complication a été traitée par une réduction orthopédique avec une consolidation à 3 mois et une AMOS à 9 mois.

➤ ILMI :

Dans la série de **Moroz et al.**, portée sur 234 fractures fémorales traitées par ECMES, une ILMI a été rapportée chez 4 enfants (1,7%) [41] [15].

Dans la série de **Mani et al.** [13], l'allongement des membres inférieures de 6mm a été rapporté dans 2 cas et de 8 mm dans 2 autres cas. Dans ces cas-là, les fractures portaient sur le 1/3 distal du fémur dans 3 cas et dans le 1/3 moyen du fémur dans un cas.

L'ILMI n'a pas été recherchée dans notre série.

➤ Raideur du genou :

Pai et al.[30] ont suggéré que la mobilisation précoce soit déconseillée pour réduire l'irritation des genoux, mais d'autres auteurs n'ont pas jugé que cela était nécessaire. Bien que la flexion du genou puisse être retrouvée, Anastasopoulos et al. [26] pensent que l'incidence de la rigidité précoce du genou provoque des problèmes importants de réhabilitation.

Une raideur du genou a été reportée à la suite d'un ECMES ascendant dans chacune des séries de **Rabat (Zerhouni)** [28], **d'Oujda (Belahcen)** [27], **de Fès (Afifi)** [29], et **de Rabat (Ettayebi)** [32] avec un pourcentage de 12,2% (9 cas), 5,3% (8cas), 40% (40cas), et 8,3% (2 cas) respectivement. Cette raideur a totalement disparue après l'ablation de broches et de quelques séances de rééducation.

Dans notre série, 3 cas ont présenté, suite à un ECMES ascendant, une raideur du genou (1,8%) par une irritation articulaire due à des broches trop longues dépassant le cortex osseux de plus de 2 cm dans un cas, qui a bien évolué après l'ablation de broches suivie de quelques séances de rééducation. Dans les 2 autres cas, cette complication peut être expliquée par l'immobilisation prolongée.

Complications n (%)	Auteurs							
	Mani et al. 2015 (Népal) [13]	Anastasopoulos et al. 2010 (Grèce) [26]	Pai et al. 2005 (Nouvelle Zélande) [30]	Série de Rabat 2016 (Zerhouni) [28]	Série de Oujda 2014 (Belahcen) [27]	Série de Fès 2010 (Afifi) [29]	Série de Rabat 2010 (Ettayebi) [32]	Notre série
Pseudarthrose	-	-	-	-	1 (6,7%)	-	-	1 (0,6%)
Retard de consolidation	-	1 (2,7%)	1 (16,7%)	-	-	-	1 (4,1%)	10 (6%)
Infection sur matériel	-	1 (2,7%)	-	-	1 (6,7%)	1 (1%)	1 (4,1%)	2 (1,2%)
Irritation ou perforation sur broches	6 (21%)	6 (16,2%)	4 (66,7%)	2 (2,7%)	6 (0,4%)	12 (12%)	1 (4,1%)	9 (5,4%)
Re-fractures (sur matériel)	-	-	-	-	-	1 (1%)	-	1 (0,6%)
Fractures itératives	-	-	1 (16,7%)	-	-	-	-	-
Cal vicieux	5 (17,8%)	-	-	-	-	-	-	2 (1,2%)
Enroulement des broches	-	-	-	-	-	2 (2%)	-	5 (3%)
Sd de loges	-	-	-	-	-	-	-	-
ILMI	4 (14,2)	Non recherché	Non recherché	Non recherché	Non recherché	Non recherché	Non recherché	Non recherché
Raideur du genou	-	-	-	9 (12,2%)	8 (5,3%)	40 (40%)	2 (8,3%)	3 (1,8%)
Migration de broches	-	-	-	-	-	-	-	1 (0,6%)

Tableau 13 : complications de l'ECMES du fémur

IV.2.Tibia :

Par rapport à d'autres os longs, l'embrochage élastique des fractures du tibia est difficile en raison de la musculature avoisinante excentrique et de la section transversale osseuse de forme triangulaire [54] [55].

Dans le passé, cette méthode de fixation était limitée à l'échec du traitement conservateur, à la fracture du fémur ipsilatérale et aux fractures segmentaires. Actuellement, l'embrochage élastique peut être considéré comme une méthode idéale pour traiter les fractures pédiatriques du tibia, avec l'avantage d'être un simple dispositif de partage des charges et de protéger la physe proximale. Cette méthode est devenu récemment populaire pour la fixation des fractures déplacées du tibia chez les enfants squelettiquement immatures, offrant une consolidation osseuse plus rapide et meilleure par rapport à la fixation externe [56] [55].

Bien que la fixation externe soit utilisée pour le traitement des fractures pédiatriques des os long, son utilisation diminue en raison du taux élevé de complications telles que le retard de consolidation, la pseudarthrose ou les re-fractures [57] [55].

- **Age :**

Les complications peuvent se voir quel que soit l'âge de 10 à 15 ans donc l'âge ne présente pas un facteur pronostic des ECMES.

- **Sexe :**

On note une nette prédominance masculine dans notre série (57,9%), ce qui rejoint les données des séries de **Mani KC et al. [14]**, **Griffet et al. [58]**, de **Dendane [59]**, et la série de **Fès (Afifi) [60]** avec des taux de 62,2%, 77,9%, 75%, et 70% respectivement.

- **Fractures ouvertes :**

L'embrochage élastique est l'une des techniques de fixation les plus couramment utilisées pour les fractures pédiatriques des os long [61] [99]. Cependant, Cette technique peut également être moins efficace pour les fractures ouvertes lorsque les tissus mous environnants sont blessés. Cependant, les effets du statut de fracture ouverte sur la guérison de la fracture du tibia après l'embrochage élastique n'ont pas encore été pleinement élucidés [55].

Economedes et al. [62] [55] ont ainsi signalé plus de temps à la consolidation dans plus de 50% des fractures ouvertes du tibia chez les enfants qui ont bénéficié d'un embrochage élastique. Ils ont également rapporté trois cas de **pseudarthrose** qui nécessitaient un changement de matériel et l'ablation de broches élastiques.

Une récente recherche de **Baldwin et al., 2009** [63] [55] a signalé un taux d'**infection** global pour les fractures ouvertes pédiatriques du tibia allant de 3,6 à 30,4%. Les blessures graves des fractures ouvertes de grade III peuvent avoir une incidence d'infection plus élevée par rapport aux blessures de grade inférieure. Cependant, l'embrochage élastique immédiat ou précoce des fractures ouvertes diaphysaires tibiales pédiatriques pourrait être réalisé en toute sécurité avec un risque minimal de blessures ou de complications infectieuses [64] [62] [55]. De même, l'étude de Heo et al., 2016 [55] de 13 fractures ouvertes a également eu un taux d'infection minimal, avec un seul cas d'infection superficielle chez un patient présentant une fracture ouverte stade III.

Parce que les broches élastiques sont insérées dans une position éloignée de la plaie traumatique, cette technique peut entraîner des dommages minimes au niveau de la plaie ouverte initiale au site de la fracture. Ce résultat favorable peut également être dû à des progrès dans le traitement des fractures ouvertes, comme les antibiotiques, le parage, l'irrigation des plaies et le traitement des plaies par pression négative [55].

Le taux des fractures ouvertes était de 1,16% dans la série de **Griffet et al. [58]**, de 16,66% dans celle de **Dendane [59]**, de 24,44% dans celle de **Mani KC et al [14]**., et de 27,27% dans la **série de Fès (Afifi) [60]** (Tableau 14). Un cas dans chacune de ces séries a présenté une infection superficielle.

Dans notre étude, parmi les 45 fractures répertoriées, 32 étaient fermées et 13 **ouvertes**. Nous avons constaté **4 complications** sur ces 13 fractures ouvertes (30%) :

- **3 cas** de fractures ouvertes stade I de C-D dont 2 cas se sont compliqués d'un retard de consolidation et un cas de pseudarthrose aseptique.
- **1 cas** de fractures ouvertes stade II qui s'est compliquée d'une infection superficielle.

Nous pouvons alors supposer une corrélation entre les fractures ouverte et l'incidence de complications.

Auteurs	Nombre de fractures ouvertes	Total des fractures	Pourcentage des fractures ouvertes
Mani KC et al. 2016 (Népal) [14]	11	45	24,44%
Griffet et al. 2011 (France) [58]	1	86	1,16%
Dendane 2009 (Rabat) [59]	2	12	16,66%
Série de Fès 2013 (Afifi) [60]	9	33	27,27%
Notre série	13	45	30%

Tableau 14: Comparaison des fractures ouvertes avec la littérature

- **Indications de l'ECMES du Tibia :**

Même si l'immobilisation plâtrée reste le traitement standard pour les fractures pédiatriques du tibia, le traitement chirurgical par ECMES est nécessaire :

- Lorsque la réduction ne peut pas être maintenue en raison d'un raccourcissement excessif, d'une angulation importante de la fracture [65] [4].
- En cas de fractures ouvertes sans perte osseuse segmentaire et avec une comminution limitée.
- Chez les patients squelettiquement immatures nécessitant une stabilisation chirurgicale [65] [4].
- Chez les polytraumatisés avec des traumatismes énergétiques élevés, ceux qui ont des traumatismes crâniens, et lors d'un syndrome de compartiment et des enfants plus âgés [4].

Dans la série de **Mani KC et al. [14]**, portant sur 45 fractures tibiales traitées par ECMES, les indications chirurgicales étaient dominées par les polytraumatismes chez 16 cas (35,5%), suivies par l'irréductibilité chez 12 cas (26,6%), les fractures ouverte stade I ou II de couchoix-Duparc chez 11 cas (24,4%), et l'instabilité chez 6 cas (13,3%).

Pour **Griffet et al. [58]**, les indications de l'ECMES du tibia étaient le déplacement secondaire chez 4 enfants (5%), l'instabilité chez un enfant (1,16%), et le polytraumatisme chez un enfant (1,16%), la grande partie des indications étant l'âge supérieure à 6ans ou l'âge scolaire (93%).

Pour **Dendane [59]**, le polytraumatisme était une indication à l'ECMES chez 4 patients (33,34%), l'instabilité chez 3 patients (25%), le déplacement secondaire chez un seul patient (8,34 %), et l'âge supérieur à 6ans ou l'âge scolaire dans 4 cas (33,4%).

Pour la **série de Fès (Afifi) [60]**, l'instabilité était une indication dans 10 cas (29,4%), les fractures ouverte stade I ou II de Couchoix–Duparc dans 9 cas (26,4%), déplacement secondaire dans 9 cas (26,4%), l'irréductibilité dans 5 cas (14,7%), et le polytraumatisme dans 1 cas (3,1%)

Dans notre série, Les indications étaient les fractures ouvertes stade I ou II de Couchoix–Duparc dans 4 cas (66,7%), et l'instabilité dans 2 cas (33,3%) (Tableau 15).

Indications	Auteurs				
	Mani KC et al. 2016 (Népal) [14]	Griffet et al.2011 (France) [58]	Dendane 2009 (Rabat) [59]	Série de Fès 2013 (Afifi) [60]	Notre série
âge >= 6 ans ou âge scolaire	–	74 (93%)	4 (33,4%)	–	–
Polytraumatisme	16 (35,5%)	1 (1,16%)	4 (33,34%)	1 (3,1%)	–
Instabilité	6 (13,3%)	1 (1,16%)	3 (25%)	10 (29,4%)	2 cas (33,3%)
Irréductibilité	12 (26,6%)	–	–	5 (14,7%)	–
Fracture Ouverte Stade I ou II	11 (24,4%)	–	–	9 (26,4%)	4 cas (66,7%)
Déplacement secondaire	–	4 (5%)	1 (8,34%)	9 (26,4%)	–

Tableau 15: Indications chirurgicales de l'ECMES tibiale selon les séries

- Délai moyen de la chirurgie :

Le délai moyen de la chirurgie dans notre étude est de **3,4 ± 2,5 jours (SD)**. Dans la série de Fès(Afifi) [60], le délai moyen est de 3 jours.

- Le choix des broches :

Le choix correct du diamètre (Diamètre du canal IM × 0,4 ou/et en fonction de l'âge) et de la taille des broches, avec une bonne orientation et un cintrage symétrique des broches en évitant leur enroulement étaient des points primordiaux à respecter pour éviter les complications liées à l'ECMES [34].

Lascombes, 2001 [33] a utilisé des broches de 3 à 4mm de diamètre [33] [34] ; Ce qui rejoint les données de notre série, où le diamètre a été choisi en fonction du diamètre du canal médullaire et l'âge du patient et était de **3,0 mm** pour les enfants de 10 ans, de **3,5mm** pour les 12–15 ans, et de **4,0 mm** pour les enfants de 15 ans. Pour les autres études, les broches varient entre 2,5mm et 4,0 mm dans la série de **Griffet et al.** [58], entre 2,5 et 3,0 mm dans celle de **Dendane** [59], et entre 3,0 et 3,5mm dans la série de Fès (Afifi) [60] (Tableau 16).

Cependant, le choix inapproprié des broches peut engendrer des complications. C'est le cas d'un de nos patients qui a présenté une fracture diaphysaire du tibia ouverte stade I de C–D traitée par ECMES descendant avec une broche de 3,5mm, un DCM de 10mm, donc un rapport ND/ DCM de à 0,35. La fracture s'est consolidée avec un retard 9 mois.

calibre de la broche (1/10)	Tranche d'âge			
	Griffet et al.2011 (France) [58]	Dendane 2009 (Rabat) [59]	Série de Fès 2013 (Afifi) [60]	Notre série
25	2,5-8	7-10	-	-
30	8-10	11-14	5-10	10
35	10-15	-	10-15	12-15
40	15-16,5	-	-	15

Tableau 16 : Taille des broches utilisées selon la tranche d'âge

- **Abord du foyer fracturaire :**

L'ouverture du foyer lors de l'embrochage n'est nécessaire qu'en cas de fracture négligée ou d'irréductibilité totale par interposition musculaire ou périostée [66] [31]. Tous les patients ont été traités à foyer fermé dans chacune des séries de de **Mani KC** [14], de **Dendane** [59], et de **Fès (Afifi)** [60] .

Nous avons signalé que, sur les 45 fractures tibiales, **9 cas** ont été traités par un abord du foyer fracturaire (20%) dont uniquement **un cas** de fracture de l'extrémité distale du tibia traitée par ECMES descendant qui s'est compliqué par un retard de consolidation.

L'intérêt de l'ECMES lors de l'abord du foyer fracturaire est alors perdu, car l'hématome fracturaire est évacué, et la dévascularisation osseuse et périostée est majoré [31], ce qui peut expliquer le retard de consolidation dans ce cas-là. Cependant, le siège de la fracture au niveau de l'extrémité tibiale peut expliquer aussi ce retard.

- **Durée d'hospitalisation :**

La durée d'hospitalisation est de 3,8 jours dans la série de **Griffet et al. [58]** et de 4 jours dans la **série de Fès(Afifi) [60]**. Dans notre série, la durée d'hospitalisation est en moyenne de $7,4 \pm 2,4$ jours avec un minimum de 5 jours et un maximum de 10 jours pour une fracture ouverte stade II de Couchoix-Duparc qui a présenté un bourgeon inflammatoire externe avec une VS et CRP élevées mise sous antibiothérapie à base de Flucloxacillane et Gentamicine avec une bonne évolution clinico-biologique (Tableau 17).

Auteurs	Durée moyenne hospitalisation (jours)
Griffet et al. (2011) (France) [58]	3,8 (2-11)
Série de Fes (Afifi) (2013) [60]	4 (3-10)
Notre série	10,4 (5-25)

Tableau 17 : Durée moyenne hospitalisation

- **Les complications de l'ECMES du tibia : (Tableau 19)**

- ❖ **Complications précoces :**

- **Irritation du site d'introduction des broches :**

La complication la plus courante liée à l'ECMES est la **proéminence et l'irritation cutanée par les broches** au niveau du site d'entrée.

Il est recommandé que 1,5 cm de la broche doivent être à l'extérieur du cortex osseux. Il devrait être parallèle à la métaphyse proximale et ne doit pas être plié à la partie saillante de la broche [65] [14].

Sankar et al [65] [14] ont signalé 5 cas (26%) d'irritations cutanées par les broches dont un cas qui a bénéficié d'une ablation précoce des broches.

Dans la série de **Dendane [59]**, un cas a présenté une irritation cutanée (**8,3%**) en regard de la saillie d'une broche qui a disparu après recoupe du bout saillant de la broche et traitement antibiotique, ce qui rejoint **notre série** avec un cas d'irritation cutanée (**2,2%**) : Les broches étaient trop longues à leurs extrémités expliquant cette complication

Cette complication a été aussi retrouvée dans la série **de Griffet [58]** avec **4 cas (5%)** et celle de **Mani KC et al [14]** avec 6 cas (13,3%).

➤ Infections sur matériel

Le risque d'infection après ECMES des fractures fermées des os longs est semblable au risque général d'infection après les autres techniques chirurgicales de traumatologie orthopédique, mais ce risque est considérablement augmenté dans le cadre des fractures ouvertes et a été rapporté entre 4% et 7% [10].

L'utilisation de l'ECMES est possible même dans les ouvertures stade III à condition d'assurer un parage soigneux associé à une antibiothérapie adaptée, une stabilisation rapide de la fracture et une couverture précoce de la perte de substance des parties molles [67] [68] [59].

Gicquel [69] [58] a signalé une fréquence de 20% des **infections** dans leur série ; Il a également décrit des infections profondes pour les fractures ouvertes de Gustilo grade 2. En outre, dans la série de **Gordon [68] [58]**, un patient ayant une fracture ouverte Gustilo de grade 2 a été diagnostiqué avec une ostéomyélite au site de fracture après la consolidation osseuse.

Dans la série de **Dendane [59]**, un cas d'infection superficielle sur une fracture ouverte a été signalé (**8,3%**), ce qui rejoint notre série, avec un seul enfant présentant une infection superficielle pour une fracture ouverte Couchoix-Duparc stade II qui a bien évolué sous bi-antibiothérapie.

Une infection superficielle au point d'entrée a été rapportée dans les séries de **Mani KC et al. [14] (4,4%), Griffet et al. [58] (5%), et la série de Fès (Afifi) [60] (6%).**

Nous n'avons pas noté de cas d'infections profondes.

➤ **Syndrome de loges :**

Le syndrome de loge est une complication à redouter devant toute fracture de jambe. Elle n'est pas spécifique de l'ECMES et peut survenir quelle que soit la méthode thérapeutique. Son incidence réelle est inconnue. Le taux de survenue de ce syndrome dans la littérature varie de 0 à 10% [70] [71] [72] [59]. Le risque de survenue serait plus important chez l'adolescent probablement à cause de sa masse musculaire [72] [59]. Il a été rapporté avec des fractures tibiales traitées par ECMES : **Sankar et al. [65]** ont rapporté quatre cas de syndrome de loges et trois cas de syndrome de loges imminents au cours du traitement traités par une aponévrotomie au moment de la chirurgie.

Shital et al. [9], Lascombes (2009) [73] et Mani et al. (2016) [14] ont noté que les patients traités avec une utilisation de la fluoroscopie plus fréquente et une durée opérationnelle plus longue avaient un risque accru de syndrome de loges en raison de multiples tentatives de réduction de fracture et d'une possible lésion des tissus mous lors du passage de la broche à plusieurs reprises. Le syndrome de loges diagnostiqué pendant le traitement conservateur est traité par l'aponévrotomie associée à l'ECMES qui aide à la stabilisation des fractures et aux soins des plaies.

Lorsque le syndrome de loges est diagnostiqué après l'ECMES, les broches protègent le déplacement de la fracture pendant et après l'aponévrotomie [74] [14]. Une manipulation excessive du site de fracture devrait être évitée si possible. Les auteurs conseillent de suivre la «règle de dix minutes», ce qui signifie que si nous ne pouvons pas passer la broche par le site de fracture en dix minutes, la réduction ouverte devrait être préférée [75] [14].

Aucun de nos malades n'a présenté de syndrome de loges.

➤ **La Comminution iatrogène :**

Les techniques chirurgicales inappropriées, une réduction difficile des fractures et une insertion énergétique des broches peuvent provoquer une comminution iatrogène au niveau site de fracture qui mène à l'instabilité de la fracture et au changement de la gestion intra-opératoire. L'acier inoxydable a une plus grande prédisposition à causer une fracture iatrogénique par rapport à la broche de titane en raison d'une plus grande rigidité [9] [14].

Shital [9] et Lascombes (2009) [73] conseillent d'augmenter la courbure à la pointe de la broche pour faciliter le passage de la broche à travers le site de fracture sans la perforation du cortex opposé. Si la broche n'avance pas, elle doit être retirée, tournée et réinsérée. Et si la broche n'avance toujours pas, une broche de taille plus petite doit être insérée [14].

Aucun de nos patients n'a présenté cette complication.

❖ **Complications tardives :**

➤ **Le retard de consolidation et la pseudarthrose :**

Le retard de consolidation et la pseudarthrose sont rares après l'ECMES des os longs des membres inférieurs. Cependant, il pourrait y avoir un retard de consolidation ou une pseudarthrose lorsque le tibia est fracturé par une blessure directe sévère, même si l'ECMES est utilisé [73] [14].

L'infection après l'ECMES d'une fracture tibiale ouverte peut être associée à un retard de consolidation ou à une pseudarthrose.

En effet, Srivastava et al. [67] et Shital et al. [9] ont signalé cinq cas de retard de consolidations et deux cas de pseudarthroses dans une série de seize enfants atteints de fractures ouvertes du tibia traitées par ECMES.

Mani et al. (2016) [14] ont rapporté 4 cas de retard de consolidation (8,8%) et aucun cas de pseudarthrose.

Dans une étude rétrospective de 60 fractures tibiales diaphysaires traitées avec ECMES, réalisée par **Gordon et al. [68]**, un retard de consolidation a été observé chez 7 cas (11%) dont trois sur fractures fermées. Ces dernières ont consolidées ultérieurement après mise en charge appuyée sur une botte plâtrée. Les 2 autres ont requis un procédé chirurgical pour obtenir une consolidation.

Dans la série de **Dendane [59]**, un cas de retard de consolidation a été rapporté (8,33%) due à une erreur technique : le déplacement initial en valgus n'ayant pas été corrigé initialement avec une consolidation à 28 semaines avec un cal vicieux associé, sans aucun cas de pseudarthrose signalé.

Dans la **série de Fès (Afifi) [60]**, un cas de retard a été rapporté (3%), l'évolution était bonne et l'ablation de matériel a été faite après 11 mois, sans aucun cas de pseudarthrose signalé.

Dans notre série, on a noté la présence de **3 cas** de retard de consolidation (6,7%) :

- le 1^{er} cas était une fracture transversale ouverte stade I de C-D du **tiers distal** du tibia gauche traitée par ECMES descendant avec un retard de consolidation à 14 mois du post-op et une AMOS à 15 mois.
- le 2^{ème} cas était une fracture fermée du **tiers proximal** du tibia gauche traitée par ECMES ascendant avec un retard de consolidation à 11 mois du post-op et une AMOS à 12 mois.

Dans ces 2 cas-là, la localisation des fractures au niveau des extrémités explique ce retard, le maximum de courbures des broches ne pouvant pas être au niveau de la fracture.

- le 3^{ème} cas était une fracture diaphysaire ouverte stade 1 de Couchoix-Duparc traitée par ECMES descendant avec des broches de 3,5mm avec un DCM de 10mm, (donc un rapport ND/ DCM de à 0,35), qui se croisent au niveau de la fracture. La fracture s'est consolidée avec un retard de consolidation de 9 mois du post-op. Cette complication est due à la taille inappropriée des broches qui étaient trop petites par rapport au DCM, et qui en plus s'enroulaient et se croisaient au niveau du foyer fracturaire.

Les fractures du tibia traitées par l'ECMES entraînent parfois une **pseudarthrose hypertrophique**, lorsque la fibula est intacte ou si elle guérit rapidement de sorte qu'il y ait un léger défaut de traction au niveau du site de fracture [73] [54] [14]. Ce type de pseudarthrose est traité soit une ostéotomie fibulaire de raccourcissement de 1cm ou par un clou rigide intramédullaire. De même, l'infection au site de fracture à cause d'une plaie ouverte après ECMES entraîne un retard de consolidation ou une pseudarthrose [14].

Dans notre étude, un cas a présenté une pseudarthrose aseptique (2,2%) sur une fracture oblique du tiers moyen du tibia droit ouverte satde I de Couchoix-Duparc traitée par ECMES à foyer fermé. L'enfant a bénéficié d'une AMOS avec un **avivement des berges, une greffe osseuse, et une fixation interne par une plaque vissée** avec une bonne évolution. Cette complication est due à un problème technique : une mauvaise réduction non compactée de la fracture et un cintrage asymétrique des broches.

➤ **Cal vicieux :**

L'ECMES tibial est techniquement difficile en raison de la position excentrique du tibia dans les muscles de la jambe et de la section transversale triangulaire de la cavité médullaire ; ce qui le rend sujet à une déformation en récurvatum lorsque les broches sont introduites avec leur tension et que la convexité soit dirigé vers l'arrière [9] [54] [14]. Dans de telles circonstances, la pointe des broches souples doit être dirigée vers

l'arrière pour contrecarrer la force du varus du péroné intact en cas de fractures isolées du tibia. Le poids corporel même supérieur à 49 kg ne semble pas être un prédictateur important pour le cal vicieux dans les fractures du tibia fixées avec l'ECMES [14].

L'ECMES n'est pas uniquement un moyen d'ostéosynthèse. Il s'agit également d'un outil de réduction [31] [59]. En fin d'intervention, toute désaxation non corrigée risque de persister. Les cals vicieux mineurs (inférieurs à 10° dans le plan frontal et/ou sagittal) sont les principales complications de l'ECMES [67] [74] [68] [59].

En principe, les **cals vicieux** devraient être prévenus par un dépistage précoce des déplacements secondaires [76] [68] [59], et par la reconnaissance de certaines limites de l'ECMES, notamment lorsqu'il s'agit d'une fracture comminutive [31] [59]. **Hansen et al.** [77] ont rapporté un taux de correction spontanée des angulations post-traumatiques du tibia de 13,5%, tandis que **Shannak** [78] a trouvé que l'angulation persiste chez tous les enfants présentant une angulation supérieure à 10° en fin de traitement [59]. Les facteurs de bon pronostic concernant un remodelage spontané sont : une angulation tibiale en flectum ou en varus, les fractures spiroïdes et le jeune âge [78] [79] [59].

Le cal vicieux n'est pas si fréquent dans la fracture du tibia traitée par ECMES avec un taux qui varie de 0% à 21% [9].

Goodwin et al. [74] et **Mani et al. (2016)** [14] ont signalé deux cas présentant un cal vicieux de 10 degrés chacun. La marge d'angulation et d'inégalité de longueur des membres acceptable après les fractures du tibia traitées par l'ECMES chez les enfants a été mentionnée dans le tableau 18 suivant :

Age du patient	< 8 ans	>= 8ans
Valgus	5°	5°
Varus	10°	5°
Angulation antérieure	10°	5°
Angulation postérieure	5°	0
Raccourcissement	10°	5 mm
Rotation	5°	5°

Tableau 18 : La marge d'angulation et d'inégalité de longueur des membres acceptable. [14]

De même, Dans la série de **Griffet et al. [58]**, 2 patients ont présenté une angulation frontale ou sagittale après 2 ans de l'ECMES (2,3%). Et dans la série de **Dendane [59]**, 2 enfants (16,67%) ont présenté un cal vicieux : un cal vicieux en valgus de 13° et en recurvatum de 12° ; un autre patient a présenté un cal vicieux inférieur à 10° sans retentissement clinique.

Dans la série de **Fès (Afifi) [60]**, un seul cas d'angulation en varus de 10° a été rapporté.

Dans notre série, nous n'avons noté aucun cas de cal vicieux.

➤ **ILMI** :

Habituellement, le raccourcissement peut se produire en raison de fractures comminutives et l'allongement peut être dû à la stimulation de la physe associée à une hyper-vascularisation pendant la cicatrisation [14].

La mise en charge précoce du membre inférieur avec des béquilles est un facteur primordial qui favorise la consolidation et empêche l'allongement des membres. **Griffet et al. [58]** chez qui toutes les fractures tibiales traitées par ECMES se sont consolidés à 6 semaine recommandent la mise en charge au 15e jour dans les fractures transversales, au 21e jour dans les fractures obliques courtes, au 30e jour dans les fractures obliques longues ou spiroïdes et au 45^{ème} jour dans les fractures comminutives. La proportion de poids mis en charge est autoévaluée par les patients eux-mêmes en fonction de la douleur produite [58].

Dans la série de **Mani KC et al [14]**, 5 cas d'ILMI ont été rapporté (11 %), dont 2 allongements et 3 raccourcissements du membre inférieure.

Dans la série de **Griffet et al. [58]**, 15 cas d'ILMI (17,4%) ont été rapportés dont 5 allongements et 10 raccourcissements du membre inférieur. Et dans la série de **Dendane [59]**, 1 seul cas d'hyper allongement de 12 mm a été noté.

L'ILMI n'a pas été recherchée dans notre série.

➤ **Re-fractures :**

Mani kc et al [14] ont noté un cas (2,2%) de fracture sur matériel.

Le **traitement** des re-fractures consiste à corriger le déplacement en dépliant les broches selon une habituelle manœuvre de **réduction** sous anesthésie générale. Occasionnellement, une, voire les deux broches peuvent être **changées**, mais cette attitude n'est pas une règle [1].

Ainsi, pour éviter cette complication, le retrait des broches à trois ou quatre mois après la consolidation des fractures du tibia est recommandé [17] [9].

Dans notre série, aucun patient n'a présenté de re-fractures.

Complications	Mani KC et al. 2016 (Népal) [14]	Griffet et al. 2011 (France) [58]	Dendane 2009 (Rabat) [59]	Série de Fès 2013 (Afifi) [60]	Notre série
Pseudarthrose	–	–	–	–	1 (2,2%)
Retard de consolidation	4 (8,8%)	–	1 (8,3%)	1 (3%)	3 (6,7%)
Infection sur matériel	–	–	–	–	1 (2,2%)
Irritation ou perforation sur broches	6 (13,3%)	4 (5%)	1 (8,3%)	1 (3%)	1 (2,2%)
Re-fractures (sur matériel)	1 (2,2%)	–	–	–	–
Cal vicieux	2 (4,4%)	2 (2,3%)	2 (16,67%)	1 (3%)	–
ILMI	6 (11%)	15 (17,4%)	1 (8,33)	–	–

Tableau 19 : Complications de l'ECMES du Tibia

IV.3. Avant-bras :

L'objectif principal du traitement des fractures de l'avant-bras est de restaurer la longueur radio-ulnaire normale, de rétablir la longueur musculaire, de rétablir l'alignement rotationnel indispensable à la rotation de l'avant-bras et de restaurer l'arc radial normal [80] [81]. Selon de nombreux auteurs, l'ECMES atteint idéalement ces objectifs.

L'ECMES apparaît comme le traitement de choix pour les fractures de l'avant-bras déplacées, car elle assure une fixation stable et une bonne stabilité de rotation.

En ce qui concerne le traitement, le traitement à foyer fermé a généralement des résultats satisfaisants, en particulier chez les patients plus jeunes. Le traitement chirurgical est également généralement réussi, mais il présente un taux de complications significativement augmenté [82] [83].

Les broches courbées éloignent le radius du cubitus, entraînant une tension de la membrane interosseuse et une stabilité de rotation accrue. Les broches produisent un système de pression à trois points qui aide à recréer l'arc radial [17] [84] [85] [86]. Les résultats cliniques sont généralement bons [87] [17] [88] [89] [90] [91] [86].

L'arc radial revêt une importance cruciale pour la gamme normale de rotation de l'avant-bras et sur la force générée par les muscles [92] [81]. Pour évaluer l'arc radial des enfants, la méthode de Firl est utilisée en fonction de la mesure de trois distances fondamentales du radius sur la radiographie antéro-postérieure [93] [81]. En étudiant l'arc radial chez 100 enfants en bonne santé, Firl [93] a calculé que la valeur moyenne de l'arc radial maximal est de 7,21% de la longueur radiale totale ($SD \pm 1,03\%$). Les deux fractures osseuses de l'avant-bras, en particulier dans la diaphyse distal, avec une angulation résiduelle peuvent entraîner une perturbation du mouvement conjoint du poignet [94] [81].

Le taux de complications signalé après l'ECMES varie de 14 à 21% dans des études avec des échantillons significatifs [17] [88] [90] [91] [86]. Les complications incluent la migration du matériel, les déficits neurologiques, le retard de consolidation, la pseudarthrose, le syndrome de loges, la rupture du tendon de l'extensor pollicis longus (EPL) et problèmes liés à la plaie, y compris les infections [87] [95] [88] [90] [91] [86].

Plusieurs facteurs sont reliés à ces complications :

- AGE:

Les complications peuvent se voir quel que soit l'âge de 6 à 15 ans. Ainsi, l'âge ne présente pas un facteur pronostic des ECMES.

- Sexe :

On note une nette prédominance masculine avec un taux de 89,7% dans notre série, ce qui rejoint les données des séries Lyman et al. [86] (64%), Martus et al. [88] (64%), Antabak et al. [81] (47%), Fernandez et al. [96] (64%), série de Fès (Afifi) [97] (97%).

- Fractures ouvertes :

Dans la série de Fernandez et al. [96], le taux des fractures ouvertes était de 9% (dont 2 cas se sont compliqués d'une infection sur matériel). Dans celle de Lyman et al.[86], ce taux était de 15% sans complications associées. Et dans celle de Martus et al.[88], ce taux augmente à 20% (dont un cas de fracture ouverte stade I de Couchoix-Duparc et un cas de fracture ouverte stade II qui se sont compliqués d'une infection sur matériel)

Dans la série de Fès (Afifi) [97], ce taux est plus élevé à 37% sans complications reliées.

Dans notre série, parmi les 128 fractures répertoriées, 88 était fermées (69%) et 40 ouvertes (31%) dont 9 cas de ces dernières se sont compliquées (22,5%) : 7 cas de

stade I de Couchoix–Duparc (compliquées d'une irritation cutanée superficielle), et 2 cas stade II de Couchoix–Duparc (un compliqué de cal vicieux, et l'autre d'une infections superficielle) (Tableau 20).

Auteurs	Nombre Total des fractures	Nombre de fractures ouvertes
Série de Taza (Afifi) 2010 [97]	29	11 (37%)
Fernandez et al. 2010 (Allemagne) [96]	553	50 (9%)
Lyman et al. 2016 (Suède) [86]	86	13 (15%)
Martus et al. 2013 (États Unis) [88]	199	40 (20%)
Notre série	128	40 (31%)

Tableau 20 : Comparaison des fractures ouvertes avec la littérature

- Indications de l'ECMES de l'avant-bras :

La majorité des fractures pédiatriques diaphysaire de l'avant-bras sont traitées orthopédiquement. Certaines fractures diaphysaires de l'avant-bras nécessitent une ostéosynthèse principalement en raison de la présence d'une **déformation angulaire inacceptable**, d'une **instabilité de la fracture**, d'une **blessure ouverte** ou d'une **défaillance de la gestion conservatrice** [4].

Dans la série de **Martus et al. [88]** , portant sur 199 fractures de l'avant-bras traitées par l'ECMES, les indications chirurgicales étaient dominées par l'irréductibilité des fractures chez 140 cas (68%), suivie des fractures ouvertes stade I ou II de Couchoix–Duparc chez 40 cas (20%), et de l'instabilité des fractures chez 25 cas (12%).

Dans la série d'**Antabak et al. [81]**, les indications étaient: le déplacement secondaire chez 42 cas (47,8%), l'irréductibilité des fractures dans 26 cas (29,5%), des fractures ouvertes stade I ou II de Couchoix– Duparc dans 20 cas (22,7%).

Dans la série de **Fernandez et al. [96]**, l'irréductibilité des fractures était une indication chez 476 enfants (86%), fractures ouvertes stade I ou II chez 44 enfants (8%), l'instabilité des fractures chez 33 enfants (6%).

Dans la **série de Fès (Afifi) [97]**, l'irréductibilité des fractures était une indication chez 24 enfants (82%), l'instabilité des fractures chez 4 enfants (13%), et le syndrome de wolkman post-Jbira chez un enfant (3%).

Dans notre série, l'irréductibilité était l'indication la plus fréquente dans **21 cas (67,7%)**, suivie des fractures ouvertes stade I ou II dans **5 cas (16,1%)**, l'instabilité dans **2 cas (6,5%)**, le déplacement $> 10^\circ$ dans **2 cas (6,5%)**, et enfin le déplacement secondaire dans **un cas (3,2%) (Tableau 21)**.

Auteurs					
Indications chirurgicales	série de Fès (Afifi) 2010 [97]	Fernandez et al. 2010 (Allemagne) [96]	Martus et al. 2013 (États Unis) [88]	Antabak et al. 2013 (Croatie) [81]	Notre série
Irréductibilité	24 (82%)	476 (86%)	140 (68%)	26 (29,5%)	21 cas (67,7%)
Fracture Ouverte Stade I ou II	–	44 (8%)	40 (20%)	20 (22,7%)	5 cas (16,1%)
Instabilité	4 (13%)	33 (6%)	25 (12%)	–	2 cas (6,5%)
Déplacement > 10°	–	–	–	–	2 cas (6,5%)
Déplacement secondaire	–	–	–	42 (47,8%)	1 cas (3,2%)

Tableau 21: Indications chirurgicales de l'ECMES tibiale selon les séries

- **Délai moyen de la chirurgie :**

Dans la série de **Martus et al. [88]**, le délai moyen est de **5,9 jours (0–25)**. Les fractures ouvertes ont été opérées dans les 24 heures suivant leur admission. Pour les fractures fermées, le délai entre la fracture et la chirurgie était de **6,9 jours**.

Le délai moyen de la chirurgie dans notre étude est de **3,2 jours (extrêmes 2 et 5 jours)**.

- **Le choix des broches :**

La taille des broches varient entre 2,0mm et 2,5 mm dans chacune des séries de **Martus et al. [88]** et de **Fès (Afifi) [97]**.

Dans notre série, le choix de la taille des broches s'est fait en fonction du DCM et a varié entre 2,0mm et 2,5 mm.

- **Abord du foyer fracturaire :**

Il est communément recommandé que la réduction ouverte de la fracture devrait être évitée si possible [98] [99] [100] [83]. Lorsqu'une réduction ouverte est nécessaire, la dissection chirurgicale doit être minutieuse afin de préserver le périoste et de protéger la vascularisation dans l'os affecté [101] [102] [99] [83].

Un retard de consolidation peut faire suite à un traitement ouvert [83]. Dans la série de **Rousset et al. [83]**, le délai moyen de la consolidation était de 5 mois après le traitement fermé par rapport à 8 mois après le traitement ouvert.

Le pourcentage de l'abord du foyer de fracture est de 22,7% dans la série d'**Antabak et al [81]** dont un cas a présenté un retard de consolidation. Dans celle de **Lyman et al. [86]**, il est de 32,6%, et dans celle de **Martus et al. [88]** de 37% sans relation avec l'incidence des complications dans ces deux dernières séries.

Le pourcentage des foyers ouverts était plus faible dans les séries de **Fernandez et al. 2010 [96]** (9%) dont 5 cas se sont compliqués de retard et 6 cas de pseudarthrose, et dans la **série de Fès (Afifi) [97]** (6%) sans complications liées à cet abord. (**Tableau 22**)

Dans notre étude, sur les 128 fractures de l'avant-bras, **47 cas** ont été traité avec un abord du foyer fracturaire (**36,7%**), dont **9 cas** ont présenté des complications : **5 pseudarthroses, 2 retards de consolidation, et 2 infections sur matériel.**

Auteurs	Pourcentage des foyers ouverts
série de Taza (Afifi) 2010 (n=29) [97]	6 %
Fernandez et al. 2010 (Allemagne) (n=553) [96]	9 %
Lyman et al. 2016 (Suède) (n=86) [86]	32,6 %
Martus et al. 2013 (États Unis) (n=199) [88]	37%
Antabak et al. 2013 (Croatie) (n=88) [81]	22,7%
Notre série (n=128)	36,7%

Tableau 22 : Pourcentage des foyers ouverts selon les auteurs

- Durée d'hospitalisation :

La durée d'hospitalisation est de 5 jours dans la **série de Fès (Afifi) [97]**. Dans **notre série**, la durée d'hospitalisation est en moyenne de $2,6 \pm 1$ jours avec un minimum de 2 jours et un maximum de 6 jours.

- Les complications de l'ECMES de l'avant-bras (Tableau 23):

- ❖ Complications précoces :

- Irritation du site d'introduction des broches :

Dans la série de **Martus et al. [88]**, 14 cas de complications cutanées ont été signalé (7%) dont quatre cas de suppurations superficielles qui ont bien évolué sous traitement avec la résolution de ce problème après l'ablation de broches, la même prise en charge était réalisée pour la **séries de Afifi [97]** avec 5 cas (17%).

Dans la série de **Fernandez et al. [96]**, 19 enfants ont présenté des complications cutanées, avec 14 bursites et 5 perforations cutanées par les broches, dont 5 ont subi une ablation précoce des broches.

Dans la série de **Lyman et al. [86]**, 13 cas ont présenté une irritation locale par les broches, 3 d'entre eux ont été réopérés pour une migration de matériel avec perforation cutanée avec ablation précoce du matériel.

Dans la série d'**Antabak et al. [81]**, 9 cas ont présenté des broches proéminentes avec une irritation cutanée (10,2%), dont une a nécessité une ablation précoce de la broche ulnaire.

Les dommages au niveau des tissus mous se produisent généralement lors de l'insertion des broches, donc la peau traumatisée doit être excisée avant la suture [81].

Dans notre série, 16 cas ont présenté une irritation cutanée par les broches (12,5%) ayant été traités par une recoupe des broches avec une consolidation à 2 mois et AMOS à 6 mois.

➤ Infections sur matériel

Le risque d'infection après l'ECMES des fractures fermées des os longs est semblable au risque général d'infection après les autres techniques chirurgicales de traumatologie orthopédique, mais ce risque est considérablement augmenté dans le cadre des fractures ouvertes et a été rapporté entre 4% et 7% [10].

Dans la série de **Martus et al. [88]**, l'infection sur matériel a été vue dans 2 cas (1%); le 1^{er} cas concernait une fracture ouverte stade I de Couchoix–Duparc des 2 os de l'avant-bras avec une ostéomyélite à *Mycobacteria fortitum* à la 7^{ème} semaine du post-op traitée avec une ablation de matériel, une série de parages et une antibiothérapie prolongée. Le 2^{ème} cas s'agissait d'une fracture ouverte stade II de Couchoix–Duparc compliquée en post opératoire immédiat d'une infection polymicrobienne (*Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, and *Clostridium perfringens*); le traitement a consisté en un parage, une antibiothérapie et un recouvrement de la plaie par un lambeau cutané et les implants ont été enlevés tardivement après la consolidation de la fracture.

Dans la série de **Fernandez et al. [96]**, **5 cas** d'infection cutanée ont été rapportées (**0,9%**), dont 2 bursites qui ont abouti à une ablation précoce de matériel, la fracture ayant déjà consolidé suffisamment, et 1 cas d'infection d'une fracture ouverte stade I traitée par ECMES qui a bénéficié d'une chirurgie de révision avec un parage.

Dans cette même série, une ostéomyélite a été observée dans **1 cas (0,1%)** à 5 jours du post-op d'une fracture ouverte stade I de Couchoix-Duparc traitée par ECMES. Un parage de la plaie a été réalisé avec des broches gardées en place, avec une ablation de broches à 10 semaines du post-op, et une séquestration osseuse du cubitus s'est développée qui s'est résorbée après 10 mois.

Dans la série d'**Antabak et al. [81]**, **3 cas** ont présenté une infection superficielle (**3,4%**); suite à un ECMES à foyer ouvert. Le traitement de cette complication a consisté en un changement de broches et une antibiothérapie orale.

Dans notre série, l'infection sur matériel était présente dans **2 cas (1,5%)** : – le 1^{er} cas était une fracture transversale fermée des 2 os de l'avant-bras, traitée par ECMES à **foyer ouvert**; le patient a présenté à 2 mois du post-op une tuméfaction de la partie moyenne de l'avant-bras avec une CRP élevée à 75 mg/L et une VS accélérée (H1: 40mm H2 :85mm) et à l'échographie : une collection de 8,5/5mm en regard du foyer fracturaire avec une infiltration des parties molles. L'abcès a été drainé, avec une mise sous antibiothérapie, avec une ablation des broches, et la mise en place d'une attelle postérieure.

- Le 2^{ème} cas était une fracture oblique fermée du tiers moyen des 2 os de l'avant-bras, traitée par ECMES avec un **abord du foyer fracturaire**, qui s'est compliquée à 2 semaines du post-op d'une infection superficielle améliorée sous antibiothérapie avec une consolidation à 2 mois et AMOS à 6 mois.

Nous pouvons donc supposer que le risque d'infection sur matériel augmente avec les fractures ouvertes et l'abord du foyer fracturaire.

➤ **Migration des broches :**

Dans la série de Lyman et al. [86], trois enfants ont présenté une migration de broches ayant provoqué une perforation cutanée avec une issue de broches (3,4%), dont deux qui ont subi une ablation de broches et un a bénéficié d'une recoupe de broches.

Dans la série de Martus et al. [88]: 3 cas de migration de broches ont été signalés (1,5%) qui ont bénéficié d'une ablation de broches.

Dans notre série, un cas a présenté une migration de l'implant cubitale causant une perforation cutanée (0,8%) ; l'extrémité saillante de broche a été recoupée avec une bonne évolution.

➤ **Syndrome de loges :**

Dans la série de Lyman et al. [86], le syndrome de loges a été rapporté dans 2 fractures de l'avant-bras (2,3%) traitées avec ECMES chez le même enfant.

Dans la série de Martus et al. [88], le syndrome de loges s'est produit dans 4 cas. Ils ont tous été diagnostiqués dans les 24h en post-opératoire et traités par une fasciotomie. Les 3 cas avaient une fonction neuro-vasculaire normale après l'évaluation finale. Cette complication était associée à une durée de chirurgie prolongée et un âge plus jeune des malades [88].

Dans notre série, aucun cas de syndrome de loges n'a été détecté.

➤ **Lésions nerveuses et tendineuses :**

L'hypoesthésie dans la zone du nerf radial superficiel est une complication fréquente dans fractures de l'avant-bras traitées par ECMES. Les lésions du nerf radial superficiel se produisent soit initialement dans le traitement de fracture primaire soit au moment de l'ablation de matériel et suggèrent que pour la prévention de cette

blessure (lésions du nerf radial superficiel), une **incision suffisante d'un minimum de 2 cm** et une **préparation sous-cutanée** effrénée prudente dans la région de l'approche chirurgicale devrait être effectuée. L'identification obligatoire du nerf n'est pas nécessaire [81].

Dans la série de **Lyman et al. [86]**, les lésions nerveuses comprenaient l'atteinte du nerf radial superficiel dans **3 cas (3,4%)**, celle du nerf ulnaire **6 cas (6,9%)**, celle du nerf interosseux antérieur (AIN) dans **2 cas (2,3%)**, et du nerf médian dans un cas (**1,1%**). Les 3 cas de paralysies du nerf radial superficiel faisaient suite à une approche radiale du radius au cours de la chirurgie.

Dans la série de **Martus et al. [88]**, il y a des cas de déficits neurologiques post-opératoires dont : **4 cas** de déficit du territoire du nerf radial superficiel (**2%**), **1 cas** concernant le nerf ulnaire (**0,5%**), **1 cas** concernant le nerf interosseux antérieur (AIN) (**0,5%**) ; Tous ces déficits ont bénéficié d'une surveillance et se sont résolus spontanément.

Dans la série de **Fernandez et al. [96]**, **15 cas** ont présenté une hypoesthésie du territoire du nerf radial superficiel (**2,7%**), dont 8 été causées par l'intervention de l'ECMES et 7 par celle de l'AMOS. Cette complication s'est résolue spontanément dans 13 cas et a persistée dans 2 cas.

Dans la série d'**Antabak et al. [81]**, **6 cas** ont présenté une hypoesthésie du territoire du nerf radial superficiel qui s'est résolu spontanément (**6,8%**).

La rupture du tendon long extenseur (EPL) a été signalée dans la série **Lyman et al. [86]** dans **3 cas (3,4%)**, et dans celle de **Martus et al. [88]** dans **un seule cas (0,5%)** chez qui une approche dorsale du radius a été utilisée. Cette rupture a été traitée dans ces cas-là par le transfert de l'extenseur propre de l'index à l'EPL.

Dans notre série, aucun cas de lésions nerveuses ni tendineuses n'a été détecté.

➤ Défaut de placement des broches :

C'est une erreur évitable si on réalise une fluoroscopie de contrôle dans les 2 plans pour être sûr de la bonne position de la broche [96].

Dans la série de **Fernandez et al. [96]**, un cas a présenté une re-fracture (0,1%), chez qui un défaut de placement d'une broche a été détecté après la radio de contrôle en post-opératoire. Cette dernière a été retirée puis changée par une autre broche.

Dans notre série, nous n'avons pas eu cette complication.

➤ Perte de réduction :

La perte de réduction alors que les broches sont en place est le plus souvent observée dans le fragment radial **distal**. Un fragment trop court n'est pas idéal pour le traitement par ECMES. Des broches incorrectement placées ou une sélection de diamètre de broches trop petit sont les principales causes de cette complication ; une perte de l'arc radiale peut être aussi corrélée à cette complication [81].

Lascombes et al. (1990) [17] et **Antabak et al. [81]** ont rapporté dans une étude de 85 enfants une incidence de la perte de réduction chez 5% des cas.

Dans la série de **Fernandez et al. [96]**, 6 cas de perte de réduction avec des broches en place ont été notées(1%), dont 4 concernant tiers distal diaphysaire de l'avant-bras chez qui la perte de réduction n'ayant pas provoqué de déficit fonctionnel. Dans les 2 autres cas, la perte de réduction était due à une erreur technique : le diamètre de l'implant utilisé était trop petit par rapport au canal médullaire.

Cependant, l'expérience de **Lyman et al. [86]** suggèrent qu'une immobilisation post-op les dix premiers jours par une attelle est suffisante pour prévenir ou réduire le risque de perte de réduction.

Dans notre série, nous n'avons pas eu cette complication.

❖ Complications tardives :

➤ Le retard de consolidation et la pseudarthrose

Le retard de consolidation et la pseudarthrose après l'ECMES des fractures de l'avant-bras ont été rapporté avec un taux de 0% à 4% [17] [96] [100] [99] [9]. Ils concernent le plus souvent la partie moyenne de la diaphyse du cubitus, bien qu'ils aient également été signalés dans le radius [99] [9]. Ils sont presque toujours associés à des fractures ouvertes ou à la nécessité d'une réduction ouverte en per-opérateur [100] [99] [9]. De plus, l'embrochage antérograde du cubitus provoque un défaut de traction au niveau de la fracture car la pointe rigide de la broche est forcée à travers l'extrémité distale étroite du cubitus [103] [9].

Wright and Glowczewskie [104] [9] ont décrit une zone de partage dans la médio-diaphyse ulnaire qui revêt une importance lorsque le flux sanguin périosté est perturbé suite à une fracture ouverte ou à une réduction ouverte. Le retard de consolidation peut prendre plus d'un an pour consolider complètement [99] [9].

Dans la plus grande série de 553 fractures d'avant-bras traitées avec l'ECMES, **Fernandez et al** [100] [9] ont rapporté que 14 enfants avaient un retard de consolidation (12 du radius et 2 du cubitus) : dont un cas de fracture ouvertes stade I et 5 cas nécessitant une réduction ouverte du foyer lors de l'ECMES. La consolidation dans ces cas-là était spontanée sans la nécessité de traitement. Aussi, 7 cas se sont compliqués d'une pseudarthrose ulnaire (dont 1 cas de fracture ouvertes stade I et 6 cas nécessitant une réduction ouverte du foyer lors de l'ECMES), qui ont été traitées par AMOS avec un relai par une plaque vissée dans 4 cas et une guérison spontanée a été notée dans 3 cas.

Dans la série de **Martus et al. [88]**, le retard de consolidation a été rapporté dans 9 cas chez des enfants plus âgés (4,5%). Il n'y a pas eu d'association statistique de retard de consolidation et les fractures ouvertes, ni avec une réduction ouverte d'une fracture fermée, ni avec le siège de la fracture (cubitus ou radius) ; Aucun cas de pseudarthrose n'a été rapporté.

Dans la série d'**Antabak et al. [81]**, le retard de consolidation a été rapporté dans un **cas (1%)** traité par ECMES ulnaire à foyer ouvert suite à une interposition des tissus mous. La cause devrait être liée aux dommages importants des tissus mous. Aucun cas de pseudarthrose n'a été rapporté.

Dans notre série, nous avons noté **3 cas** de retard de consolidation (**2,3%**), qui concernait tous des ECMES de fractures de l'extrémité distale du cubitus :

- Le 1^{er} cas est une fracture transversale **ouverte** stade I de Couchoix-Duparc du tiers distale des deux os de l'avant-bras traitée par ECMES sans abord du foyer fracturaire. La fracture s'est consolidée avec un retard de 11 mois avec AMOS à 12 mois, que nous pouvons expliquer par l'impossibilité de respecter totalement les principes de l'ECMES en cas de fractures des extrémités.
- Le 2^{ème} et 3^{ème} cas âgés de 12 et 13 ans présentant tous les deux des fractures fermées du tiers moyen des 2 os de l'avant-bras traitées par ECMES avec un **abord** du foyer fracturaire ; la consolidation était à 9 mois et 10 mois avec l'AMOS un mois plus tard. Le retard de consolidation est probablement lié à l'abord du foyer fracturaire.

Ainsi, comme précédemment rapporté, le retard de consolidation après l'embrochage intramédullaire des fractures pédiatriques de l'avant-bras est plus fréquent dans le **cubitus** et suite à une **réduction ouverte** du site de fracture ou à une **fracture ouverte** [91] [90] [99] [98] [88].

Nous avons aussi noté **5 cas** de pseudarthrose (1 septique et 4 aseptiques) (**4%**) :

- Une fracture transversale fermée des 2 os de l'avant-bras traitée par ECMES avec abord du foyer fracturaire, qui s'est compliquée à 4 mois du post-op d'une pseudarthrose septique du cubitus traitée par ATB, avec la broche cubitale qui a été gardée jusqu'à la consolidation osseuse à 14 mois.

Cette complication dans ce cas-là est due à la taille trop petite des broches.

- **4 cas** de fractures du radius traitées par ECMES avec un **abord du foyer fracturaire, qui se sont compliquées** d'une pseudarthrose aseptique du radius: dont **3 cas** traité par un avivement des berges et une plaque vissée, et **un cas** qui a bien évolué spontanément.

Nous supposons qu'il existe une relation de cause à effet entre l'abord du foyer fracturaire et la survenue de la pseudarthrose, étant donné que les 4 derniers cas ont été traités à foyer ouvert sans aucun problème technique identifié comme cause de cette complication.

➤ **Re-fractures :**

Le taux de **refracture** signalé après la chirurgie avec l'ECMES varie de 0 à 4,4% [17] [88] [90] [91] [86].

Gorter et al. [105] [9] rapportent des cas de re-fractures de l'avant-bras des patients chez qui l'ablation des broches a été faite entre deux et quatre mois après la fracture.

Lascombes et al. [17] [9] recommandent le retrait des broches à trois ou quatre mois après la fixation de la fracture de tous les os longs, sauf ceux de l'avant-bras. Dans leur série de quatre-vingts cinq fractures d'avant-bras traitées avec ECMES, les broches ont été retirées à 4,25 mois après la chirurgie initiale dans les cinquante premiers patients, mais en raison de trois cas de re-fracture, ils recommandent l'ablation des broches entre dix mois et un an après la chirurgie initiale.

Dans la série de **Fernandez et al. [96]**, **27 cas** de re-fracture sur matériel ont été rapportés (**4,8%**), dont 14 enfants ont subi un autre traumatisme sans aucun problème technique identifié comme cause de re-fracture, et 5 enfants ayant eu une refracture après 6 semaines du post-op avant la consolidation osseuse aboutissant à des broches coudées, et 8 enfants chez qui la fracture a été complètement consolidée qui ont subi une re-fracture après un second traumatisme.

Dans cette même série, **13 cas** de fractures itératives ont été signalées (**2,3%**), chez qui l'ablation de matériel était réalisée entre 6 et 8 mois après ECMES, dont 6 cas se sont produit 6 semaines après l'AMOS, 5 cas après 1 an, et 2 cas après 2 ans de l'AMOS.

Dans la série de **Martus et al. [88]**, **5 cas** de re-fracture sur matériel ont été signalé (**2,5%**): dont **4 cas** avec une re-fracture à 18 semaines en moyenne (10-25 semaines) après ECMES et ont été traités orthopédiquement avec une réduction fermée et un plâtre, et **1 cas** de re-fracture à 5 mois du post-op qui a été traité par une plaque vissée. De plus, **5 cas** de fracture itératives ont été rapporté (**2,5%**) : dont **1 cas** a subi une refracture ouverte stade I de Couchoix-Duparc 4 semaines après l'ablation de matériel et a été traité avec succès par un parage avec un ECMES ulnaire, un autre **cas** a subi une refracture 53 semaines après l'ablation de matériel et a été traité par un embrochage répété du radius, et **3 cas** ont été traitées orthopédiquement par une réduction fermée et un plâtre.

Dans la série d'**Antabak et al. [81]**, **un seul cas** de re-fracture a été signalé 5 semaines après ECMES (**1,1%**), ainsi qu'**un cas** de fracture itérative (**1,1%**) chez un enfant de 13ans : l'ablation de matériel a été réalisée 4 mois après l'ECMES ; cette complication a été traitée orthopédiquement avec un excellent résultat final.

Dans la série de **Lyman et al. [86]**, un cas de fracture itérative a été signalé (**1,1%**) : il s'agissait d'une re-fracture 9 semaines après l'ablation des broches, traitée

avec succès par une immobilisation plâtrée. L'ablation des broches dans ce cas-là a été faite 4,5 mois après l'ECMES.

Dans notre série, 3 cas ont présenté une re-fracture à 6 semaines du post-op suite à une nouvelle chute (2,6%), ayant bénéficié d'une réduction fermée et un plâtre avec une bonne évolution clinico-radiologique : consolidation à 3 mois à et AMOS à 6mois.

➤ **Cal vicieux:**

Le but principal du traitement des fractures par ECMES est de restaurer la longueur radio-ulnaire normale, de rétablir la longueur musculaire, de rétablir l'alignement rotationnel indispensable à la rotation de l'avant-bras et de restaurer l'arc radial normal [80] [81].

La perte de l'arc radial normal à cause d'une réduction insuffisante de la fracture ou d'une pré-courbure insuffisante de la broche radiale peut provoquer une perte de rotation de l'avant-bras. Pour maintenir l'espace interosseux, les pointes des broches cubitales et radiales doivent être tournées l'une vers l'autre et vers l'espace interosseux. Le taux de cal vicieux cliniquement important nécessitant une réduction répétée ou autre procédure a été faible après l'ECMES [106] [41] [9]. L'immobilisation post-opératoire, avec une attelle ou un plâtre, est recommandé pour les fractures instables [35] [16] [41]. La surveillance est recommandée s'il reste plus de deux ans pour atteindre l'âge de croissance et que le remodelage soit attendu [75] [9]. Le cal vicieux du radius et du cubitus avec une perte importante de rotation de l'avant-bras et des déficits fonctionnels doit être traité avec **une ostéotomie, un réalignement et une fixation par une plaque vissée** [9].

En effet, Le cal vicieux après l'ECMES des fractures de l'avant-bras chez les enfants est rare. Un certain nombre d'études ont signalé une perte mineure (<15°) de

la rotation de l'avant-bras après l'ECMES, sans preuve radiologique de cal vicieux [17] [18].

Le déficit fonctionnel le plus courant après le cal vicieux des fractures de l'avant-bras est notamment le **mouvement réduit de la prono-supination**.

Dans la série d'**Antabak et al. [81]**, 4 cas de cal vicieux ont été signalé (4,5%).

Dans notre série, 1 seul cas a présenté un cal vicieux (0,8%) d'une fracture transversale ouverte stade I de Couchoix-Duparc des 2 os du tiers distal des deux os de l'avant-bras traitée par ECMES sans abord du foyer fracturaire. La fracture s'est consolidée avec un cal vicieux angulaire et un retard de 11 mois avec AMOS à 12 mois

➤ **Synostose radio-ulnaire :**

La **Synostose Radio-ulnaire** est une complication rare des fractures pédiatriques des 2 os de l'avant-bras et est généralement associée à un traumatisme énergétique élevé [107][88].

Cullen et al. [87] a noté un cas de synostoses radio-ulnaire après ECMES des fractures de l'avant-bras dans leur série de 20 patients [87] [88]. Dans cette série, une synostose incomplète s'est produite chez deux adolescents ; dont un qui nécessitait une résection de la synostose. En effet, les deux synostoses se sont produites chez les adolescents ayant un retard de consolidation radiologiquement ; l'un des cas était une blessure à haute énergie.

Dans la série de **Martus et al. [88]**, la synostose radio-ulnaire a été rapportée dans 2 cas (1%) : le 1^{er} était une synostose incomplète ayant une perte de pronation de 15° et une perte de supination de 75°, qui était asymptomatique après 20 mois du post-op. Le 2^{ème} cas présentait aussi une synostose incomplète avec une perte de pronation de 10° et une perte de supination de 70°. Elle a été traitée par une résection de la synostose associée à une interposition d'une greffe graisseuse avec une bonne amélioration fonctionnelle [88].

Dans notre série, aucun cas de synostose radio-ulnaire n'a été signalé.

Complications n (%)	Auteurs					
	Série de Taza 2010 (Afifi) [97]	Fernandez et al. 2010 (Allemagne) [96]	Lyman et al. 2016 (Suède) [86]	Martus et al. 2013 (États Unis) [88]	Antabak et al. 2013 (Croatie) [81]	Notre série
Pseudarthrose	-	7 (1,2%)	-	-	-	5 (4%)
Retard de consolidation	-	14 (2,5%)	-	9 (4,5%)	1 (1,1%)	3 (2,3%)
Infection sur matériel	-	6 (1%)	-	2 (1%)	3 (3,4%)	2 (1,5%)
Irritation ou perforation sur broches	5 (17%)	19 (3%)	3 (3,4%)	14 (7%)	9 (10,2%)	16 (12,5%)
Re-fractures (sur matériel)	-	27 (4,8%)	-	5 (2,5%)	1 (1,1%)	3 (2,3%)
Fractures itératives	-	13 (2,3%)	1 (1,1%)	5 (2,5%)	1 (1,1%)	-
Cal vicieux Défaut d'alignement	-	-	-	-	4 (4,5%)	1 (0,8%)
Sd de loges	-	-	2 (2,3%)	4 (2%)	-	-
Perte de réduction	-	6 (1%)	-	1 (0,5%)	-	-
Malplacement des broches	-	1 (0,1%)	-	2 (1%)	-	-
Migration de l'implant	-	-	3 (3,4%)	3 (1,5%)	-	1 (0,8%)
Lésion du nerf radial superficiel	-	15 (2,7%)	3 (3,4%)	4 (2%)	6 (6,8%)	-
Lésion du nerf ulnaire	-	-	6 (6,9%)	1 (0,5%)	-	-
Lésion du nerf interosseux antérieur (AIN)	-	-	2 (2,3%)	1 (0,5%)	-	-
Lésion du nerf médian	-	-	1 (1,1%)	-	-	-
Lésion tendon long extenseur (EPL)	-	-	3 (3,4%)	1 (0,5%)	-	-
Synostose radio-ulnaire	-	-	-	2 (1%)	-	-

Tableau 23 : complications de l'ECMES de l'Avant-Bras

IV.4. Humérus :

La plupart des fractures pédiatriques de l'humérus peuvent être traitées avec succès par un traitement orthopédique ; Cependant, l'ECMES a ses indications dans certaines situations particulières. Toutefois, L'attention portée aux détails peut limiter les complications de cette procédure [108].

- **Age :**

Dans la série de Marrakech (Aghoutane) [109], l'âge moyen était de 9.15 ans avec des âges extrêmes de 5 et 14 ans, et dans la série de Gordon et Garg [110], l'âge des enfants a varié de 4 à 16 ans au moment de la chirurgie (Tableau 24).

Dans notre série, l'âge moyen est de 12 ans avec des extrêmes de 10 et 15 ans.

Auteurs	Moyenne d'âge+– SD (ans)	Âges extrêmes (ans)
Série de Marrakech 2016 (Aghoutane) [109]	9.15	[5-14ans]
Gordan et Garg 2010 (Etats- unis) [110]	9,5	[4-16ans]
Notre série	12	[10-15ans]

Tableau 24 : Répartition de l'âge selon les séries

- **Sexe :**

Dans la **série de Marrakech (Aghoutane) [109]**, on note une prédominance masculine avec un sexe ratio de **1,37**.

Dans notre étude, le sexe ratio est de **1**.

- **Fractures ouvertes :**

Dans la **série de Marrakech (Aghoutane) [109]**, 1 cas sur 40 présentait une fracture ouverte (2,5%), alors que **dans notre série**, toutes les fractures étaient fermées.

- **Indications de l'ECMES :**

La plupart des fractures humérales pédiatriques peuvent être traitées avec succès par un traitement orthopédique ; Cependant, **l'incapacité de maintenir une réduction acceptable, les fractures ouvertes, en particulier avec une importante lésion des tissus mous, des fractures ipsilatérales concomitantes de l'avant-bras (coude flottant), un traumatisme crânien et un polytraumatisme** sont des indications relatives pour un traitement chirurgical [110].

Dans la série de **Gordon et Garg [110]**, Le polytraumatisme nécessitant une mobilisation précoce des membres supérieurs a été l'indication la plus fréquente. Un coude flottant, une incapacité à maintenir une réduction adéquate et un traumatisme crânien associé ont également été des indications. L'embrochage rétrograde a été utilisé chez la plupart des patients et l'embrochage antérograde a été utilisé chez les patients présentant un traumatisme important des tissus mous au niveau du coude. Certains de ces patients ont eu un traumatisme grave avec un certain nombre ayant des fractures ouvertes de Gustillo classe III [110].

Dans notre série, l'ECMES a été réalisé chez les polytraumatisés dans **50 %** des cas, l'instabilité des fractures **25%** des cas, et l'irréductibilité **25%** des cas.

- **Délai moyen de chirurgie :**

Dans notre série, le délai moyen de chirurgie était de 3 jours.

- **Choix des broches :**

Les broches élastiques en titane sont efficaces pour obtenir une consolidation avec un faible taux de complication. Il est important de placer les broches de manière rétrograde pour un forage complet des deux colonnes de l'humérus dans le canal médullaire et d'utiliser une taille de la pointe carré adéquate pour effectuer cette manœuvre [110].

Cependant, l'éclatement au niveau du site de la fracture peut entraîner une migration des broches à travers la peau ou la proéminence des broches sous la peau [110].

Dans la série de Lascombes [6], le rapport ND/DCM était de $30 \pm 6 \%$ (SD) dans les fractures diaphysaires et de $34 \pm 6 \%$ (SD) dans les fractures métaphysaires et recommandent donc de respecter un rapport minimum DC/DCM de 33 % pour l'humérus.

Dans notre série, des broches de 2,5mm ont été utilisées avec un rapport ND/DCM de 33%.

Les fractures pédiatriques de l'humérus peuvent être stabilisées par soit par une approche antérograde ou rétrograde. Une approche rétrograde est généralement préférée car elle évite la lésion de la coiffe des rotateurs. L'embrochage antérograde est indiqué chez les patients chez qui une lésion des tissus mous au niveau du coude contre-indique une approche chirurgicale à travers une région contaminée [110].

Tous nos cas ont bénéficié d'un ECMES ascendant.

- **Abord du foyer fracturaire :**

Comme dans la plupart des séries [108] [6] [109]. L'ECMES était réalisé sans abord du foyer fracturaire.

- **Immobilisation post-opératoire :**

L'attelle temporaire ou un plâtre ne doit être utilisé que pendant 1 ou 2 semaines après ECMES pour permettre un mouvement plus précoce et prévenir la raideur [108].

Dans notre série, une attelle brachio-antébrachiale ou un bandage à la mayo clinique a été utilisée dans tous les cas étudiés pour une durée de 2 semaines.

- **Durée d'hospitalisation :**

Dans la série de Lascombes [6], la durée d'hospitalisation est de $2,9 \pm 3,1$ (SD) dans les fractures diaphysaires et de $2,8 \pm 2,4$ (SD) dans les fractures métaphysaires.

Dans notre série, la durée d'hospitalisation est de 4,5 jours (extrêmes 3 et 6 jours).

- **Moment d'ablation de broches :**

En ce qui concerne le moment de l'ablation des broches, il n'y a pas de consensus dans la littérature quant à savoir si ces implants doivent ou non être retirés. Cependant, il est probablement plus sûr d'enlever les broches lorsqu'un cal osseux conséquent est présent au niveau du site de la fracture, en particulier si les implants sont douloureux ou s'ils rendent la peau tendue. Si la proéminence précoce des implants n'est pas un problème, les broches sont idéalement enlevées entre 6 et 12 mois [108].

Dans la série de Lascombes [6], le délai d'ablation de broche est de $4,6 \pm 1,2$ mois (SD) dans les fractures diaphysaires et de $4,7 \pm 2,3$ mois (SD) dans les fractures métaphysaires.

Dans notre série, le délai d'ablation de broche est de 6 mois en moyenne après une consolidation à 3 mois du post-op en moyenne.

- **Complications de l'ECMES de l'humérus:**

- **Complications précoces :**

- a. **Infection sur matériel :**

Les infections après ostéosynthèse par ECMES d'une fracture chez l'enfant représentent 2%, allant des infections mineures superficielles aux infections profondes [35].

Métaizeau [111] recommande de laisser le matériel en place jusqu'à consolidation en cas d'infection superficielle ; et l'ablation de matériel et son remplacement par un fixateur externe en cas d'infection profonde.

Dans notre étude, aucune des fractures n'a présenté de complications infectieuses postopératoires comme dans la plupart des séries.

- b. **Problèmes de broches :**

- **La Malposition de la broche :** a été noté dans 2 cas dans la série de Marrakech (Aghoutane) [109]. La radiographie de contrôle postopératoire avait objectivé une broche en intra-articulation. Un repositionnement a été fait le jour même.
- **La Saillie de la broche par la peau :** La complication la plus fréquemment rapportée de l'ECMES dans les fractures pédiatriques de l'humérus est la **proéminence de l'implant** [6] [108]. Cette complication est la plus commune dans les montages ascendants de l'ECMES avec l'irritation de la peau et parfois l'infection [108].

Pour éviter ce problème, quelques suggestions :

- Ne pas introduire la broche trop près de la physe distale de l'humérus qui est sous-cutanée, mais plutôt commencer à quelques centimètres plus proximal [8].

- Couper l'extrémité des broches en douceur avec une pince coupe broche.
- Ne pas plier le bout de la broche à un angle très large, et éviter les exercices de flexion complète du coude avant d'enlever les broches [8].

La proéminence de l'implant a été observée dans **6 cas (15% cas)** dans la série de Marrakech (Aghoutane) [109].

Dans la série de **Gordon et Garg 2010 [110]**, un patient a présenté une irritation cutanée avec une **proéminence des broches** au niveau du coude 6 semaines après la chirurgie. Le patient n'a pas présenté de retard de consolidation et a bénéficié d'une ablation de broches à temps. Un second patient a présenté 3 semaines après un ECMES rétrograde de l'humérus une proéminence latérale de la broche. La broche a été retirée puis remplacée par une autre broche. La fracture s'est consolidée sans incident et les broches ont été retirées plusieurs mois plus tard [110].

Dans notre série, 4 cas ont présenté une perforation cutanée par une proéminence des broches qui a été traitée par une recoupe de broches. Les fractures se sont consolidées à 3 mois avec AMOS à 6 mois.

c. Paralysie radiale

La lésion du nerf iatrogène est une complication rare mais dévastatrice [112] [108].

Dans la **série de Marrakech (Aghoutane) [109]**, un seul cas de paralysie radiale était observé, le patient a récupéré après 3 mois.

La fréquence diminuée de cette complication est justifiée par le fait qu'il est interdit d'orienter les broches vers l'arrière de l'humérus puis de les pousser vers les parties molles postérieures afin d'éviter l'apparition d'une paralysie radiale postopératoire.

Dans notre série, il n'y avait pas de cas de paralysies radiales rapportées.

➤ **Complications tardives :**

• **Retard de consolidation et Pseudarthrose**

Comme dans la plupart des séries, il n'y avait pas de retard de consolidation ni de pseudarthrose dans notre étude.

• **Cal vicieux :**

Alors que certains cals vicieux peuvent être tolérés dans la fracture humérale pédiatrique consolidées, il est préférable de l'éviter complètement. Pour éviter les cals vicieux, les broches doivent avoir le même diamètre, être largement opposés au niveau de la fracture et remplir 70% à 80% du diamètre du canal intramédullaire. Les broches qui se courbent dans la même direction au niveau du site de la fracture ou qui ont une taille inadéquate peuvent entraîner un cal vicieux [108].

Dans la série de **Gordon et Garg 2010** [110], toutes les fractures se sont consolidées avec un alignement acceptable.

Dans notre série, il n'y avait pas de cas de cal vicieux.

• **Raideur articulaire :**

La raideur des épaules et des coudes est commune après un traumatisme des membres supérieurs chez les enfants. Un plâtre ou une attelle devrait être utilisés seulement pour une durée de une à 2 semaines en post-opératoire pour permettre une mobilisation précoce et éviter la raideur [108].

Dans notre série, il n'y avait pas de cas de raideur articulaire.

V. Conclusion :

L'ECMES est la méthode de choix pour les patients en pédiatrie, car il est bien adapté au calibre réduit des os. De plus, l'insertion mini-invasive des broches crée le meilleur environnement pour la consolidation des fractures infantiles. Ainsi, l'ECMES permet d'allier :

- le respect de l'hématome fracturaire, du périoste et du cartilage de croissance,
- la stabilité du foyer de fracture par des broches qui sont suffisamment résistantes, avec la conservation de la micro-mobilité qui est bénéfique pour la consolidation.

Les résultats sont en général très bons que ce soit sur le plan fonctionnel que cosmétique. Il permet un appui et une reprise de l'activité quotidienne précoce, sans immobilisation plâtrée.

Toutefois, comme toute chirurgie, l'ECMES n'est pas exempt de complications, le plus souvent minimes, mais parfois plus grave, nécessitant une reprise chirurgicale.

Ces complications sont souvent liées à des erreurs techniques, à l'ouverture cutanée, au type de fracture, ou à la nécessité d'aborder le foyer fracturaire.

Le respect de des principes fondamentaux de l'ECMES et de ses indications est le gage du bon résultat.

VI. Résumé:

L'embrochage centromédullaire élastique stable (ECMES) est une méthode d'ostéosynthèse des fractures des os longs de l'enfant qui est caractérisée par : une approche chirurgicale mini invasive, le respect de la physiologie de la réparation des fractures, l'innocuité vis-à-vis des structures de croissance, et la récupération fonctionnelle précoce rendant non nécessaire dans la majorité des cas une immobilisation postopératoire.

Cependant, comme toute chirurgie, l'ECMES n'est pas exempt de complications ; le plus souvent minime, mais parfois plus sévères nécessitant une reprise chirurgicale.

L'objectif de cette étude est :

- Comprendre les **principes** de la technique chirurgicale pour éviter les complications.
- Déterminer l'efficacité de l'embrochage intramédullaire élastique stable et d'établir l'**incidence** des différentes complications associées à cette technique dans les fractures des os long chez les **enfants squelettiquement immatures**, afin de mieux comprendre les **facteurs** amenant à des résultats non satisfaisants.
- D'**examiner** les complications associées à l'utilisation de l'ECMES pour le traitement des fractures des os longs chez l'enfant, et fournir des **techniques** pour éviter ces complications.

Notre travail est une étude rétrospective étalée sur **6 ans (2010– 2016)** portant sur **373 patients** opérés pour des fractures de tous les segments (membres supérieures et inférieures) en utilisant l'ECMES comme technique d'ostéosynthèse au sein du service de chirurgie pédiatrique orthopédique de Fès. Les données démographiques, l'ouverture cutanée, les indications de l'ECMES, le diamètre de la broche et du canal médullaire, l'abord du foyer fracturaire, le moment d'ablation des

broches, l'évaluation clinique, les radiographies de suivi et toutes les complications ont été enregistrées.

Toutes les fractures pathologiques ont été exclues.

Les dossiers médicaux de tous les enfants ayant bénéficié d'un ECMES pour des fractures des os longs ont été étudié avec un âge moyen de **12 ans**, des âges extrêmes de **6 et 15 ans**, et une prédominance du sexe masculin.

Trente fractures avaient des lésions associées. Le délai entre l'hospitalisation et la chirurgie était de **3 jours**. La durée moyenne du séjour à l'hôpital était de **5,7 jours**.

L'appui total était possible après une durée moyenne de **8,8 semaines**. Tous les enfants ont atteint la consolidation dans un délai moyen de **3 mois en moyenne pour les membres supérieurs et 4 mois pour les membres inférieurs avec l'AMOS à 6 mois en moyenne**. La période de suivi moyenne était de **12 mois**.

75 complications ont été enregistrées chez **63 enfants**, et comprenaient : **16 retard de consolidation, 7 pseudarthroses, 5 infections sur matériel, 4 re-fracture sur matériel, 5 enroulement de broches, 3 cal vicieux, 2 migrations de broches, 30 irritations cutanées, et 3 cas de raideur du genou**. Une révision chirurgicale inattendue était nécessaire dans **36 cas** mais la majorité d'entre elles étaient des complications mineures avec une irritation cutanée due aux broches proéminentes (**30cas**) ; cependant **7 reprises** ont fait suite à de complications majeures. Aucune séquelle à long terme n'a été observée chez nos patients.

Bien que cette étude suggère que nous avons un nombre raisonnable de complications en utilisant la technique de l'ECMES pour le traitement des fractures des os longs chez l'enfant, la majorité de ces complications sont mineurs et peuvent être évitées.

C'est une technique bien établie qui est sûre, mini-invasive, n'interfère pas avec la croissance, avec une courte durée d'hospitalisation et un retour rapide à l'activité physique.

La compréhension des principes de cette technique est donc nécessaire pour atteindre des résultats satisfaisants.

Mots clés :

Fracture ; Enfant ; Embrochage Elastique ; Complications.

Abstract

Elastic Stable Intamedullary Nailing (ESIN) is a method of children's long bones fractures' osteosynthesis which is characterized by: a minimally invasive surgical approach, respect for the physiology of fracture repair, safety regarding the growth structures, and early functional recovery making it unnecessary in the majority of cases postoperative immobilization.

However, as in any surgery, ESIN is not free of complications; usually minimal, but sometimes more severe requiring reoperation.

The objectives of the main research are:

- To understand of surgical methods' **principles** to avoid complications.
- To determine the effectiveness of ESIN, to establish the **incidence** of the various complications associated with this technique in long bone fractures of skeletally immature children, and to better understand the **factors** leading to unsatisfactory results.
- **To examine** the complications associated with the use of ECMES for the treatment of long bone fractures in children and provide **methods** to avoid these complications.

Our work is a five-year retrospective study (2010–2016) of 373 patients operated on fractures of all segments (upper and lower limbs) using ECMES as an osteosynthesis technique in the CHU of FEZ pediatric surgery department.

The demographic data, open fractures, ESIN's indications, the nail's and the medullar canal's diameter, open surgery, the moment of nail's removal, clinical evaluation, follow-up X-rays and all the complications were recorded.

We exclude all pathological fractures.

We studied the medical records of all children who benefited from an ESIN for long bone fractures with mean age of 12 years, extreme ages of 6 and 15 years, and a male predominance.

Thirty fractures had associated lesions. The delay between hospitalization and surgery was **3 days**. The average length of stay in the hospital was **5, 7 days**.

Weight bearing was possible after an average duration of **8.8 weeks**. All children reached union within an average of 3 months for upper limbs and 4 months for lower limbs. Nail's removal was on an average of 6 months.. The average follow-up period was **12 months**.

75 Complications were recorded in **63 patients** and consisted of **16 delayed union, 7 non-union, 5 infections, 4 refractures, , 5 cross-crew phenomenon, 3 malunions, 2 nail migrations, 30 skin irritations, and 3 cases of stiffness of the knee**. A reoperation was required in 36 patients, but the majority of them were minor complications with skin irritation due to prominent nails (30cas), but 7 reoperations were for major complications. No long-term sequelae have been observed in our patients.

Although this study suggests that we have a reasonable number of complications using the ECMES technique for treating long bone fractures in children, the majority of these complications is minor and we can avoid them.

It is a well-established technique that is safe, minimally invasive, does not interfere with growth, with a short hospital stay and a rapid return to physical activity.

Understanding the principles of this technique is therefore necessary to achieve satisfactory results.

KEYWORDS: Fracture; Child; Elastic Nailing; Complications.

ملخص

علاج كسور العظام عند الطفل باستعمال المسامير النخاعية المرنة هو طريقة تثبيت طرفي العظم من كسور العظام الطويلة للطفل، الذي يتميز بالنهج الجراحي الدقيق واحترام فسيولوجيا إصلاح الكسر والسلامة فيما يتعلق بهياكل النمو والانتعاش الوظيفي في وقت مبكر. ومع ذلك، مثل أي عملية جراحية، المسامير النخاعية المرنة ليست خالية من المضاعفات. عادةً ما تكون بسيطة، ولكن في بعض الأحيان أكثر شدة تتطلب إعادة الجراحة. الهدف من هذه الدراسة هو:

- فهم مبادئ التقنية الجراحية لتجنب المضاعفات.
 - تحديد فعالية استعمال المسامير النخاعية المرنة وتحديد حدوث مضاعفات مختلفة المرتبطة بهذه التقنية في كسور العظام الطويلة عند الأطفال غير الناضجة الهيكل العظمي من أجل فهم أفضل للعوامل التي تؤدي إلى نتائج غير مرضية.
 - النظر في المضاعفات المرتبطة باستخدام المسامير النخاعية المرنة لعلاج كسر في العظام الطويلة عند الأطفال، وتوفير التقنيات اللازمة لتجنب هذه التعقيدات.
- تتمحور دارستنا حول تحليل المضاعفات عند 373 حالة كسر من جميع الأطراف (العلوية والسفلية) لدى الطفل، تمت معالجتها بالمسامير النخاعية المرنة بقسم جراحة الاطفال بالمركز الاستشفائي الجامعي بمدينة فاس، خلال الفترة الممتدة ما بين 2010 و2016.
- تم تسجيل البيانات الديموغرافية، مؤشرات استعمال المسامير النخاعية المرنة، وقطر المسامير والنخاع، وقت إزالة المسامير، والتقييم الفحصي، والمتابعة بالصور الشعاعية وتسجيل جميع المضاعفات.
- تم استبعاد جميع حالات كسر للعظام الغير السليمة.
- درست ملفات جميع الأطفال الذين اجريت لهم العملية لكسور العظام الطويلة عند الأطفال الذين تتراوح اعمارهم ما بين 6 و15 عاما مع متوسط العمر 12 عام مع هيمنة الذكور.
- كان لدا 30 حالات كسر اصابات ملازمة. التدخل الجراحي تم في اجل متوسط بلغ 3 أيام. المدة المتوسطة للإقامة في المستشفى هي 5,7 أيام.

كان الارتكاز الكلي على الساق ممكنا بعد 8,8 أسابيع في المتوسط. جميع الأطفال حققوا التوظيف في غضون 3 اشهر في المتوسط للأطراف العلوية و 4 اشهر في المتوسط للأطراف السفلية

مع نزع المسامير في اجل 6 اشهر في اغلب الحالات. بلغ متوسط فترة المتابعة 12 شهرا. عدد المضاعفات المرتبطة باستخدام المسامير النخاعية المرنة هو 75 مضاعفة عند 63 طفلاً: المضاعفات الكبرى الأكثر العثور عليها تأخر الالتحام تليها عدم الالتحام والتعفن. المضاعفات الصغرى الأكثر العثور عليها هي خروج المسامير المرنة. على الرغم من أن هذه الدراسة تشير إلى أن لدينا عدد معقول من المضاعفات باستخدام تقنية المسامير النخاعية المرنة لعلاج كسور العظام الطويلة عند الأطفال، فإن معظم هذه المضاعفات هي بسيطة و يمكن تجنبها. إن هذه التقنية مضبوطة و دقيقة، لا تؤثر على النمو، مع البقاء في المستشفى لمدة قصيرة والعودة السريعة إلى النشاط البدني. ولذلك فإن فهم مبادئ هذه التقنية ضروري لتحقيق نتائج مرضية.

الكلمات الرئيسية :

كسر؛ الطفل؛ المسامير المرنة؛ مضاعفات.

VII. REFERENCES :

1. Lascombes, P., Steiger, C., Gonzalez, A., De Coulon, G., and Dayer, R. (2015) Trente-cinq années d'embrochage centro médullaire élastique stable (ECMES) dans les fractures de l'enfant: une méthode toujours jeune. *e-Mémoires l'Académie NatlChir.* 14(1), pp109-114. Available from :http://www.academie-chirurgie.fr/ememoires/005_2015_14_1_109x114.pdf [Accessed: 2nd January 2017].
2. Li, Y., Stabile, K.J., &Shilt, J.S. (2008) Biomechanical analysis of titanium elastic nail fixation in a pediatric femur fracture model. *Journal of Pediatric Orthopaedics.* 28(8), pp874-878. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2008/12000/Biomechanical_Analysis_of_Titanium_Elastic_Nail.16.aspx [Accessed: 27th December 2016].
3. Mahar, A., Sink, E., Faro, F., Oka, R., and Newton, P.O. (2007) Differences in biomechanical stability of femur fracture fixation when using titanium nails of increasing diameter. *Journal of children's orthopaedics.* 1(3), pp211-215. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11832-007-0040-6> [Accessed: 22nd December 2016].
4. Furlan, D., Pogorelic´, Z., Biocˇic´, M., Juric´, I., Budimir, D., Todoric´, J., Šušnjar, T., Todoric´, D., Meštrovic´, J., Milunovic´, K.P. (2011) Elastic Stable Intramedullary Nailing for Pediatric Long Bone Fractures: Experience with 175 Fractures. *Scandinavian Journal of Surgery.* 100(1), pp208-215. Available from:<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/145749691110000313> [Accessed: 20th January 2017].

5. Helenius, I., Lamberg, T.S., Kääriäinen, S., Impinen, A., and Pakarinen, M.P. (2009) Operative Treatment of Fractures in Children is increasing. *The Journal of Bone & Joint Surgery*. 91(11), pp2612–2616. Available from: http://journals.lww.com/jbjsjournal/Fulltext/2009/11000/Operative_Treatment_of_Fractures_in_Children_Is.12.aspx [Accessed: 22nd January 2017].
6. Lascombes, P., Nespola, A., Poircuitte, J.M., Popkovb, D., de Ghelderec, A., Haumont, T., Journeua, P. (2012) Early complications with flexible intramedullary nailing in childhood fracture: 100 cases managed with precurved tip and shaft nails. *Orthopaedics&Traumatology:Surgery&Research*. 98(1), pp369—375. Available from : <file:///C:/Users/hp/Desktop/SPEECH/2012+complication%20ECM%202012%20ok%20+++pdf>[Accessed: 3rd January 2017].
7. Wall, E.J., Jain, V., Vora, V., Mehlman, C.T., and Crawford, A.H. (2008) Complications of titanium and stainless steel elastic nail fixation of pediatric femoral fractures. *J Bone Joint Surg Am*. 90(6), pp1305–1313. Available from: <http://journals.lww.com/jbjsjournal/pages/default.aspx> [Accessed: 20th December 2016].
8. Lascombes, P., Haumont, T., and Journeau, P. (2006) Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 26(6), pp827–834. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2006/11000/Use_and_Abuse_of_Flexible_Intramedullary_Nailing.31.aspx [Accessed: 12th November 2016].
9. Shital, N.P., Viral, V.J., Jaime, D., Junichi, T., Charles, T.M., James, J.M., Eric, J.W., and Alvin, H.C. (2012) Complications of Elastic Stable Intramedullary Nailing in Pediatric Fracture Management. *THE JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY*. 94(24), pp1 - 14.

10. Flynn, J.M., Hresko, T., Reynolds, R.A., Blasier, R.D., Davidson, R., and Kasser, J. (2001) Titanium elastic nails for pediatric femur fractures: a multicenter study of early results with analysis of complications. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 21(1), pp4–8. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2001/01000/Titanium_Elastic_Nails_for_Pediatric_Femur.3.aspx [Accessed: 15th October 2016].
11. Vallier, H.A., Cureton, B.A., and Patterson, B.M. (2011) Randomized, prospective comparison of plate versus intramedullary nail fixation for distal tibia shaft fractures. *Journal of orthopaedic trauma*. 25(12), pp736–741. Available from: http://journals.lww.com/jorthotrauma/Abstract/2011/12000/Randomized,_Prospective_Comparison_of_Plate_versus.6.aspx [Accessed: 17th January 2017].
12. Makridis, K.G., Tosounidis, T., and Giannoudis, P.V. (2013) Management of infection after intramedullary nailing of long bone fractures: treatment protocols and outcomes. *The open orthopaedics journal*. 7(1), pp219–226. Available from: <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOORTHJ/TOORTHJ-7-219.pdf> [Accessed: 5th January 2017].
13. Mani, K.K.C., Dirgha Raj, R.C., and Parimal, A. (2015) Pediatric Femoral Shaft Fractures Treated By Flexible Intramedullary Nailing. *Chinese Journal of Traumatology*. 18(1), pp284–287. Available from: [file:///C:/Users/info/Downloads/2015%20MANI%20et%20al%20%20ecmes%20femur%20comprar%C3%A9%20A%20FLEXIBLE%20nails%20ET%20fixation%20externe%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/info/Downloads/2015%20MANI%20et%20al%20%20ecmes%20femur%20comprar%C3%A9%20A%20FLEXIBLE%20nails%20ET%20fixation%20externe%20(1).pdf) [Accessed: 28th October 2017].

14. Mani, K.K.C., Parimal, A., Sigdel, A. (2016) Titanium Elastic Nailing System (TENS) for Tibia Fractures in Children: Functional Outcomes and Complications. *J Nepal Med Assoc.* 55(204), pp55–60. Available from: [file:///C:/Users/info/Downloads/2016TENS%20outcomes%20TIBIA\(%20discussion+++\)%20FAIT%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/info/Downloads/2016TENS%20outcomes%20TIBIA(%20discussion+++)%20FAIT%20(1).pdf) [Accessed: 28th October 2017].
15. Deakin, D.E., Winter, H., Jain, P., and Bache, C.E. (2010) Malunion following flexible intramedullary nails for tibial and femoral fractures in adolescents. *Journal of children's orthopaedics.* 4(6), pp571–577. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11832-010-0300-8> [Accessed: 12th January 2017].
16. Ho, C.A., Skaggs, D.L., Tang, C.W., and Kay, R.M. (2006) Use of flexible intramedullary nails in pediatric femur fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics.* 26(4), pp497–504. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2006/07000/Use_of_Flexible_Intramedullary_Nails_in_Pediatric.14.aspx [Accessed: 3rd February 2017].
17. Lascombes, P., Prevot, J., Ligier, J.N., Metaizeau, J.P., and Poncelet, T. (1990) Elastic stable intramedullary nailing in forearm shaft fractures in children: 85 cases. *Journal of Pediatric Orthopaedics.* 10(2), pp167–171. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/1990/03000/Elastic_Stable_Intramedullary_Nailing_in_Forearm.5.aspx [Accessed: 2nd February 2017].
18. Kanellopoulos, A.D., Yiannakopoulos, C.K., &Soucacos, P.N. (2005). Flexible intramedullary nailing of pediatric unstable forearm fractures. *American journal of orthopedics (Belle Mead, NJ).* 34(9), pp420–424. Available from: <http://europepmc.org/abstract/med/16250482> [Accessed: 3rd February 2017].

19. Makki, D., Kheiran, A., Gadiyar, R., and Ricketts, D. (2014) Refractures following removal of plates and elastic nails from paediatric forearms. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. 23(3), pp221–226. Available from: http://journals.lww.com/jpo-b/Abstract/2014/05000/Refractures_following_removal_of_plates_and.3.aspx [Accessed: 3rd January 2017].
20. Johnson, C.W., Carmichael, K.D., Morris, R.P., and Gilmer, B. (2009) Biomechanical study of flexible intramedullary nails. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 29(1), pp44–48. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2009/01000/Biomechanical_Study_of_Flexible_Intramedullary.10.aspx [Accessed: 13th December 2016].
21. Soni, J.F., Schelle, G., Valenza, W., Pavelec, A.C., and Souza, C.D.A. (2012) Unstable femoral fractures treated with titanium elastic intramedullary nails, in children. *Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)*. 47(5), pp575 – 580. Available from: http://ac.els-cdn.com/S2255497115300069/1-s2.0-S2255497115300069-main.pdf?_tid=b695ec4c-1c89-11e7-b27d-00000aab0f26&acdnat=1491676525_27ad79be5fb72b0d3229677ca7907666 [Accessed: 3rd December 2016].
22. Mutimer, J., Hammett, R.D., and Eldridge, J.D. (2007) Assessing leg length discrepancy following elastic stable intramedullary nailing for paediatric femoral diaphyseal fractures. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 127(5), pp325–330. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00402-006-0251-1> [Accessed: 5th December 2016].

23. Sink, E.L., Gralla, J., and Repine, M. (2005) Complications of pediatric femur fractures treated with titanium elastic nails: a comparison of fracture types. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 25(5), pp577–580. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2005/09000/Complications_of_Pediatric_Femur_Fractures_Treated.3.aspx [Accessed: 13th December 2016].
24. Carey, T.P., &Galpin, R.D. (1996) Flexible intramedullary nail fixation of pediatric femoral fractures. *Clinical orthopaedics and related research*. 332(1), pp110–118. Available from: http://journals.lww.com/corr/Abstract/1996/11000/Flexible_Intramedullary_Nail_Fixation_of_Pediatric.15.aspx [Accessed: 4th December 2016].
25. Narayanan, U.G., Hyman, J.E., Wainwright, A.M., Rang, M., and Alman, B.A. (2004) Complications of elastic stable intramedullary nail fixation of pediatric femoral fractures, and how to avoid them. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 24(4), pp363–369. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2004/07000/Complications_of_Elastic_Stable_Intramedullary.4.aspx [Accessed: 10th December 2016].
26. Anastasopoulos, J., Petratos, D., Konstantoulakis, C., Plakogiannis, C., &Matsinos, G. (2010). Flexible intramedullary nailing in paediatric femoral shaft fractures. *Injury: International Journal of the Care of the Injured*. 41(6), pp578–582. Available from: [http://www.injuryjournal.com/article/S0020-1383\(09\)00541-5/pdf](http://www.injuryjournal.com/article/S0020-1383(09)00541-5/pdf) [Accessed: 3rd December 2016].
27. Belahcen, M. (2014) Les Complications De L'embrochage Centromedullaire Elastique Stable Dans Le Traitement Des Fractures De La Diaphyse Femorale Chez L'enfant Experience Du Centre Hospitalier Regional De Oujda (A propos de 15 cas). *Universite Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculte De Medecine Et De Pharmacie*. Pp1–133. Available

- from :file:///C:/Users/info/Downloads/these%20oujda%20(1).pdf [Accessed: 28th October 2017].
28. Zerhouni, H. (2016) L'embrochage centromedullaireelastique stable dans le traitement des fractures diaphysaires du femur chez l'enfant : Experience du service des UCP de rabat a propos de 74 cas. *FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE - RABAT*. Pp1-158. Available from: file:///C:/Users/info/Downloads/these%20complications%20ecmes%202016%20femur.pdf [Accessed: 28thOctober 2017].
29. Afifi, M.A. (2010) L'embrochage Centromédullaire Élastique Stable Des Fractures Diaphysaires Du Fémur Chez L'enfant (A Propos De 100 Cas). *Universite Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculte De Medecine Et De Pharmacie Fes*. Pp1-112. Available from :file:///C:/Users/info/Downloads/these%20%20ecmes%202010%20%20femur%20novo%20(2).pdf [Accessed: 28th October 2017].
30. Pai, V.S., Gwynne-Jones, P.D., and Theis, J.C. (2005) Femoral Elastic Nailing In The Older Child: Proceed With Caution. *Injury Extra*. 36(1), pp185—189. Available from: file:///C:/Users/info/Downloads/2005%20femoral%20emes%20older%20children%20(4).pdf [Accessed: 28th October 2017].
31. Metaizeau, J. P. (1988) *Ostéosynthèse chez l'enfant*. Montpellier : SaurampsMedical. 12(1).
32. Ettaybi, F. (2010) Embrochage centromedullaireelastique stable dans les fractures diaphysaires du femur chez l'enfant. *Universite Mohammed V Faculte De Medecine Et De Pharmacie -Rabat*. Pp1-120. Available from :file:///C:/Users/info/Downloads/theses%20ecmes%20rabat%202010%20femur%20(2).pdf [Accessed: 28th October 2017].

33. Lascombes, P. (2001) Embrochage centromédullaire élastique stable en traumatologie pédiatrique: Données actuelles. *Cahiers d'enseignement de la SOFCOT*. 78(1), pp275–299.
34. De Billy, B., Gindraux, F., Langlais, J. (2014) Osteotomy and Fracture Fixation in Children and Teenagers. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 100(1), ppS139 – S148. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877056813002661> [Accessed: 27th October 2016].
35. Luhmann, S.J., Schootman, M., Schoenecker, P.L., Dobbs, M.B., and Gordon, J.E. (2003) Complications of titanium elastic nails for pediatric femoral shaft fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 23(4), pp443–447. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2003/07000/Complications_of_Titanium_Elastic_Nails_for.6.aspx [Accessed: 4th February 2017].
36. Bourdelat, D. (1996) Fracture of the femoral shaft in children: advantages of the descending medullary nailing. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. 5(2), pp110 – 114. Available from: http://journals.lww.com/jpo-b/abstract/1996/05020/fracture_of_the_femoral_shaft_in_children_.10.aspx [Accessed: 4th December 2016].
37. Fricka, K.B., Mahar, A.T., Lee, S.S., & Newton, P.O. (2004) Biomechanical analysis of Antegrade and Retrograde flexible intramedullary nail fixation of pediatric femoral fractures using a synthetic bone model. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 24(2), pp167–171. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2004/03000/Biomechanical_Analysis_of_Antegrade_and_Retrograde.6.aspx [Accessed: 3rd December 2016].
38. Kiely, N. (2002). Mechanical properties of different combinations of flexible nails in a model of a pediatric femoral fracture. *Journal of Pediatric*

- Orthopaedics*. 22(4), pp424–427. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2002/07000/Mechanical_Properties_of_Different_Combinations_of.2.aspx [Accessed: 5th December 2016].
39. Heinrich S.D., Drvaric D., Darr K., McEwen G.D. (1992) The operative stabilization of pediatric diaphyseal femur fractures with flexible intramedullary nails: A technique paper. *J Orthop Trauma*. 6(1), pp 452–9.
40. Mazda, K., Khairouni, A., Pennecot, G.F., and Bensahel, H. (1997) Closed flexible intramedullary nailing of the femoral shaft fractures in children. 6(3), pp198 – 202. Available from: http://journals.lww.com/jpob/Abstract/1997/07000/Closed_Flexible_Intramedullary_Nailing_of_the.8.aspx [Accessed: 12th December 2016].
41. Moroz, L.A., Launay, F., Kocher, M.S., Newton, P.O., Frick, S.L., Sponseller, P.D., and Flynn, J.M. (2006) Titanium elastic nailing of fractures of the femur in children. *Bone & Joint Journal*. 88(10), pp1361–1366. Available from: <http://www.bjj.boneandjoint.org.uk/content/jbjsbr/88-B/10/1361.full.pdf> [Accessed: 14th December 2016].
42. Sink, E.L., Faro, F., Polousky, J., Flynn, K., and Gralla, J. (2010) Decreased complications of pediatric femur fractures with a change in management. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 30(7), pp633–637. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2010/10000/Decreased_Complications_of_Pediatric_Femur.2.aspx [Accessed: 3rd December 2016].
43. Elmadi, A. (2007) Embrochage Centromédullaire Elastique Stable Des Fractures Du Fémur De L'enfant (A propos de 40 cas) et revue de la littérature. *Université Hassan II de Casablanca Faculté De Medecine et de pharmacie de Casablanca*.
44. Ahammou, H. (2012) Embrochage Centromédullaire Elastique Stable Des Fractures Du Fémur Chez L'enfant (A propos de 60 cas). *Université Cadi*

Ayad Faculté de médecine et de pharmacie de Marrakech.

45. Lambiris, E., Panagopoulos, A., Zouboulis, P., and Sourgiadaki, E. (2007) Current concepts: aseptic nonunion of femoral shaft diaphysis. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 33(2), pp120–134. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00068-007-6195-5?LI=true> [Accessed: 9th January 2017].
46. Oh, J.K., Bae, J.H., Oh, C.W., Biswal, S., and Hur, C.R. (2008) Treatment of femoral and tibial diaphyseal nonunions using reamed intramedullary nailing without bone graft. *Injury*. 39(8), pp952–959. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020138308001265> [Accessed: 9th January 2017].
47. Mercado, E.M., Lim, E.V., Stern, P.J., and Aquino, N.J. (2001) Exchange nailing for failure of initially rodded tibial shaft fractures. *Orthopedics*. 24(8), pp757–762. Available from: <http://www.healio.com/orthopedics/journals/ortho/2001-8-24-8/%7Bd1538682-84c1-4f56-9661-16cda54ede2d%7D/exchange-nailing-for-failure-of-initially-rodded-tibial-shaft-fractures> [Accessed: 9th January 2017].
48. Birjandinejad, A., Ebrahimzadeh, M.H., and Ahmadzadeh-Chabock, H. (2009) Augmentation plate fixation for the treatment of femoral and tibial nonunion after intramedullary nailing. *Orthopedics*. 32(6), pp409 – 413. Available from: <http://www.healio.com/orthopedics/journals/ortho/2009-6-32-6/%7B095c7db0-d442-4553-b231-2d819ecfcd68%7D/augmentation-plate-fixation-for-the-treatment-of-femoral-and-tibial-nonunion-after-intramedullary-nailing> [Accessed: 9th January 2017].
49. Ueng, S.W., Chao, E.K., Lee, S.S., and Shih, C.H. (1997) Augmentative plate fixation for the management of femoral nonunion after intramedullary nailing. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 43(4), pp640–644. Available

from:

http://journals.lww.com/jtrauma/Abstract/1997/10000/Augmentative_Plate_Fixation_for_the_Management_of.13.aspx [Accessed: 10th January 2017].

50. Ueng, S.W., and Shih, C.H. (1998) Augmentative plate fixation for the management of femoral nonunion with broken interlocking nail. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 45(4), pp747–752. Available from: http://journals.lww.com/jtrauma/Abstract/1998/10000/Augmentative_Plate_Fixation_for_the_Management_of.21.aspx [Accessed: 10th January 2017].
51. Nadkarni, B., Srivastav, S., Mittal, V., and Agarwal, S. (2008) Use of locking compression plates for long bone nonunions without removing existing intramedullary nail: review of literature and our experience. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 65(2), pp482–486. Available from: http://journals.lww.com/jtrauma/Abstract/2008/08000/Use_of_Locking_Compression_Plates_for_Long_Bone.41.aspx [Accessed: 10th January 2017].
52. Choi, Y.S., Kim, K.S. (2005) Plate augmentation leaving the nail in situ and bone grafting for nonunion of femoral shaft fractures. *IntOrthop*. 29(5), pp287–290.
53. Houshian, S., Gøthgen, C.B., Pedersen, N.W., and Harving, S. (2004) Femoral shaft fractures in children Elastic stable intramedullary nailing in 31 cases. *ActaorthopaedicaScandinavica*. 75(3), pp249–251. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00016470410001150?needAccess=true> [Accessed: 2nd February 2017].
54. Slongo, T.F. (2005) Complications and Failures of the ESIN Technique. . *Injury: International Journal of The Care of The Injured*. 36(1), ppS–A78 – S–A85. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020138304005029> [Accessed: 25th December 2016].

55. Heo, J., Oh, C.W., Park, K.H., Kim, J.W., Kim, H.J., Lee, J.C., and Park, I.H. (2016) Elastic nailing of tibia shaft fractures in young children up to 10 years of age. *Injury*. 47(4), pp832–836. Available from: [http://www.injuryjournal.com/article/S0020-1383\(15\)00626-9/pdf](http://www.injuryjournal.com/article/S0020-1383(15)00626-9/pdf) [Accessed: 3rd January 2017].
56. Kubiak, E. N., Egol, K. A., Scher, D., Wasserman, B., Feldman, D., and Koval, K. J. (2005) Operative treatment of tibial fractures in children: are elastic stable intramedullary nails an improvement over external fixation?. *J Bone Joint Surg Am*. 87(8), pp1761–1768.
57. Tolo, V.T. (1990) External fixation in multiply injured children. *The Orthopedic clinics of North America*. 21(2), pp393–400. Available from: <http://europepmc.org/abstract/med/2326055> [Accessed: 4th January 2017].
58. Griffet, J., Leroux, J., Boudjouraf, N., Abou-Daher, A., and el Hayek, T. (2011) Elastic stable intramedullary nailing of tibial shaft fractures in children. *Journal of children's orthopaedics*. 5(4), pp297–304. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11832-011-0343-5> [Accessed: 1st January 2017].
59. Dendane, M.A., Karrout, Y., Amrani, A., El Alami, Z.F., and Gourinda, H. (2009) L'embrochage centromédullaire élastique stable des fractures diaphysaires du tibia chez l'enfant. *Journal de Traumatologie du Sport*. 26(2), pp85–90.
60. Afifi, M.A. (2013) Embrochage Centromédullaire Elastique Stable Dans Les Fractures Diaphysaire Du Tibia Chez L'enfant (A Propos De 33 Cas). *Universite Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculte De Medecine Et De Pharmacie Fes*. Pp 1–78. Available from :file:///C:/Users/info/Downloads/these%20ecmes%20tibia%202013%20(1).pdf [Accessed: 28th October 2017].

61. O'brien, T., Weisman, D.S., Ronchetti, P., Piller, C.P., and Maloney, M. (2004) Flexible titanium nailing for the treatment of the unstable pediatric tibial fracture. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 24(6), pp601–609. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2004/11000/Flexible_Titanium_Nailing_for_the_Treatment_of_the.1.aspx [Accessed: 14th November 2016].
62. Economedes, D.M., Abzug, J.M., Paryavi, E., and Herman, M.J. (2014) Outcomes using titanium elastic nails for open and closed pediatric tibia fractures. *Orthopedics*. 37(7), ppe619–e624. Available from: <http://www.healio.com/orthopedics/journals/ortho/2014-7-37-7/%7Bcda9350a-8845-4a19-b764-e56cde88a86c%7D/outcomes-using-titanium-elastic-nails-for-open-and-closed-pediatric-tibia-fractures> [Accessed: 25th December 2016].
63. Baldwin, K.D., Babatunde, O.M., Huffman, G.R., and Hosalkar, H.S. (2009) Open fractures of the tibia in the pediatric population: a systematic review. *Journal of children's orthopaedics*. 3(3), pp199–208. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11832-009-0169-6> [Accessed: 1st January 2017].
64. Pandya, N.K., and Edmonds, E.W. (2012) Immediate intramedullary flexible nailing of open pediatric tibial shaft fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 32(8), pp770–776. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2012/12000/Immediate_Intamedullary_Flexible_Nailing_of_Open.4.aspx [Accessed: 20th December 2016].
65. Sankar, W.N., Jones, K.J., Horn, B.D., and Wells, L. (2007). Titanium Elastic Nails for Pediatric Tibial Shaft Fractures. *Journal of children's orthopaedics*. 1(5), pp281–286. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11832->

- 007-0056-y [Accessed: 21st January 2017].
66. Salem, K.H., Lindemann, I., and Keppler, P. (2006) Flexible intramedullary nailing in pediatric lower limb fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 26(4), pp505-509. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2006/07000/Flexible_Intra-medullary_Nailing_in_Pediatric_Lower.15.aspx [Accessed: 20th January 2017].
67. Srivastava, A.K., Mehlman, C.T., Wall, E.J., and Do, T.T. (2008) Elastic stable intramedullary nailing of tibial shaft fractures in children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 28(2), 152-158. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2008/03000/Elastic_Stable_Intramedullary_Nailing_of_Tibial.5.aspx [Accessed: 3rd January 2017].
68. Gordon, J.E., Gregush, R.V., Schoenecker, P.L., Dobbs, M.B., and Luhmann, S.J. (2007) Complications after titanium elastic nailing of pediatric tibial fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 27(4), pp442-446. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2007/06000/Complications_After_Titanium_Elastic_Nailing_of.15.aspx [Accessed: 4th January 2017].
69. Gicquel, P., Giacomelli, M.C., Basic, B., Karger, C., and Clavert, J.M. (2005) Problems of operative and non-operative treatment and healing in tibial fractures. *Injury*. 36(1), ppS44-S50. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020138304004978> [Accessed: 2nd January 2017].
70. Qidwai, S.A. (2001) Intramedullary Kirschner wiring for tibia fractures in children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 21(3), pp294-297. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2001/05000/Intramedullary_Kirschner_Wiring_for_Tibia.6.aspx [Accessed: 3rd December 2016].
71. Court-Brown, C.M., Byrnes, T., and McLaughlin, G. (2003) Intramedullary nailing

- of tibialdiaphyseal fractures in adolescents with open physes. *Injury*. 34(10), pp781–785. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020138303000603> [Accessed: 15th January 2017].
72. McQueen, M.M., and Christie, J. (1996) Acute compartment syndrome in tibialdiaphyseal fractures. *J Bone Joint Surg Br*. 78(1), pp95–98. Available from: <http://bjj.boneandjoint.org.uk/content/jbjsbr/78-B/1/95.full.pdf> [Accessed: 9th January 2017].
73. Lascombes, P. (2009). *Flexible intramedullary nailing in children: the Nancy University manual*. Springer Science & Business Media. Available from: https://books.google.co.uk/books?hl=fr&lr=&id=_8TSYb_V3Y8C&oi=fnd&pg=PR3&dq=Lascombes+P.+Flexible+Intramedullary+Nailing+in+Children+The+Nancy+University+Manual.+Berlin,+Heidelberg:+Springer-Verlag%3B+2010.&ots=Pctd2oDhRu&sig=QMoYpfKs_sfpis6cDYBQQfnXXtl#v=onepage&q&f=false [Accessed: 15th November 2016].
74. Goodwin, R.C., Gaynor, T., Mahar, A., Oka, R., and Lalonde, F.D. (2005) Intramedullary flexible nail fixation of unstable pediatric tibialdiaphyseal fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 25(5), pp570–576. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2005/09000/Intramedullary_Flexible_Nail_Fixation_of_Unstable.2.aspx [Accessed: 12th February 2017].
75. Parikh, S.N., Wells, L., Mehlman, C.T., Scherl, S.A. (2010) Management of fractures in adolescents. *J Bone Joint Surg Am*. 92(18), pp2947–58.
76. Chotel, F., Bereard, J., Parot, R. (2002) *Fractures de jambe*. In: *Clavert JM, Karger C, Lascombes P, Ligier JN, Métaizeau JP, editors. Fractures de l'enfant Monographie du GEOP*. Montpellier: Sauramps médical.
77. Hansen, B.A., Greiff, J., Bergmann, F. (1976) Fractures of the tibia on children.

Acta Orthop Scand. 47(1), pp448–53.

78. Shannak, A.O. (1988) Tibial fractures in children: follow-up study. *Journal of Pediatric Orthopaedics.* 8(3), pp306–310. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/1988/05000/Tibial_Fractures_in_Children__Follow_Up_Study.10.aspx [Accessed: 3rd January 2017].
79. Buckley, S.L., Smith, G., Sponseller, P.D., Thompson, J.D., and Griffin, P.P. (1990) Open fractures of the tibia in children. *J Bone Joint Surg Am.* 72(10), pp1462–1469.
80. Connolly, J.F. (1997) Forearm fractures: management pitfalls, and how to avoid them. *Consultant* 37(3), pp547–556. Available from: <http://go.galegroup.com/ps/anonymous?p=AONE&sw=w&issn=00107069&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA19872592&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext&authCount=1&isAnonymousEntry=true> [Accessed: 3rd January 2017].
81. Antabak, A., Luetic, T., Ivo, S., Karlo, R., Cavar, S., Bogovic, M., and Medacic, S.S. (2013) Treatment outcomes of both-bone diaphyseal paediatric forearm fractures. *Injury.* 44, ppS11–S15. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020138313701906> [Accessed: 2nd January 2017].
82. Kraus, R., Pavlidis, T., Szalay, G., Meyer, C., and Schnettler, R. (2006) Elastic stable intramedullary nailing (ESIN) in pediatric forearm shaft fractures: intraoperative image intensifier times. *Zeitschrift fur Orthopadie und Unfallchirurgie.* 145(2), pp195–198. Available from: <http://europepmc.org/abstract/med/17492560> [Accessed: 29th December 2016].
83. Rousset, M., Mansour, M., Samba, A., Pereira, B., and Canavese, F. (2016) Risk factors for re-fracture in children with diaphyseal fracture of the forearm treated

- with elastic stable intramedullary nailing. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*. 26(2), pp145–152. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00590-015-1715-1> [Accessed: 28th December 2016].
84. Smith, V.A., Goodman, H.J., Strongwater, A., and Smith, B. (2005) Treatment of pediatric both-bone forearm fractures: a comparison of operative techniques. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 25(3), pp309–313. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2005/05000/Treatment_of_Pediatric_Both_Bone_Forearm.11.aspx [Accessed: 27th December 2016].
85. Barry, M., and Paterson, J.M.H. (2004) Flexible intramedullary nails for fractures in children. *JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY-BRITISH VOLUME*. 86(1), pp947–953. Available from: <http://medicaljobinterview.org.uk/orthopaediceducation/books/images/pdf/FRCS%20Orth%20evidence%20base%20course/Trauma/17%20Paediatric%20trauma/BARRY2~1.PDF> [Accessed: 21st November 2016].
86. Lyman, A., Wenger, D., and Landin, L. (2016) Pediatric diaphyseal forearm fractures: epidemiology and treatment in an urban population during a 10-year period, with special attention to titanium elastic nailing and its complications. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. 25(5), pp439–446. Available from: http://journals.lww.com/jpo-b/Abstract/2016/09000/Pediatric_diaphyseal_forearm_fractures___.8.aspx [Accessed: 25th December 2016].
87. Cullen, M.C., Roy, D.R., Giza, E., and Crawford, A.H. (1998) Complications of intramedullary fixation of pediatric forearm fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 18(1), pp14–21. Available from: <http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/1998/01000/Complications>

- _of_Intramedullary_Fixation_of.4.aspx [Accessed: 11th February 2017].
88. Martus, J.E., Preston, R.K., Schoenecker, J.G., Lovejoy, S.A., Green, N.E., and Mencio, G.A. (2013) Complications and outcomes of diaphyseal forearm fracture intramedullary nailing: a comparison of pediatric and adolescent age groups. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 33(6), 598–607. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2013/09000/Complications_and_Outcomes_of_Diaphyseal_Forearm.3.aspx [Accessed: 27th December 2016].
89. Fuller, D.J., and McCullough, C.J. (1982) Malunited fractures of the forearm in children. *Bone & Joint Journal*. 64(3), pp364–367. Available from: <http://bjj.boneandjoint.org.uk/content/64-B/3/364.full.pdf> [Accessed: 27th December 2016].
90. Kang, S.N., Mangwani, J., Ramachandran, M., Paterson, J.M.H., and Barry, M. (2011) Elastic intramedullary nailing of paediatric fractures of the forearm. *Bone & Joint Journal*. 93(2), pp262–265. Available from: <http://bjj.boneandjoint.org.uk/content/jbjsbr/93-B/2/262.full.pdf> [Accessed: 27th December 2016].
91. Flynn, J.M., Jones, K.J., Garner, M.R., and Goebel, J. (2010) Eleven years experience in the operative management of pediatric forearm fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 30(4), pp313–319. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2010/06000/Eleven_Years_Experience_in_the_Operative.2.aspx [Accessed: 28th December 2016].
92. Richards, R.R. (1996) Chronic disorders of the forearm. *J Bone Surg (Am)*. 78(A), pp916–30.
93. Firl, M., and Wünsch, L. (2004) Measurement of bowing of the radius. *Bone & Joint Journal*. 86(7), pp1047–1049. Available from: <http://bjj.boneandjoint.org.uk/content/86-B/7/1047.full.pdf> [Accessed: 3rd

January 2017].

94. Zlotolow, D.A. Pediatric Forearm Fractures: Spotting and Managing the Bad Actors. *J Hand Surg Am* 2012. 37(2), pp363–366.
95. Luhmann, S.J., Gordon, J.E., and Schoenecker, P.L. (1998) Intramedullary fixation of unstable both-bone forearm fractures in children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 18(4), pp451–456. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/1998/07000/Intramedullary_Fixation_of_Unstable_Both_Bone.9.aspx [Accessed: 26th December 2016].
96. Fernandez, F.F., Langendörfer, M., Wirth, T., and Eberhardt, O. (2010) Failures and complications in intramedullary nailing of children's forearm fractures. *Journal of children's orthopaedics*. 4(2), pp159–167. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11832-010-0245-y> [Accessed: 10th February 2017].
97. Afifi, M.A. (2010) L'embrochage Centromédullaire Élastique Stable Dans Les Fractures Diaphysaires Des Deux Os De L'avant Bras Chez L'enfant (A Propos De 29 Cas). *Universite Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculte De Medecine Et De Pharmacie Fes*. Pp1–88. Available from :file:///C:/Users/info/Downloads/these%20ecmes%20avant%20bras%202010%20(4).pdf [Accessed: 28th October 2017].
98. Lobo-Escolar, A., Roche, A., Bregante, J., Gil-Alvaroba, J., Sola, A., and Herrera, A. (2012) Delayed union in pediatric forearm fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 32(1), pp54–57. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2012/01000/Delayed_Union_in_Pediatric_Forearm_Fractures.10.aspx [Accessed: 30th December 2016].
99. Schmittenebecher, P.P., Fitze, G., Gödeke, J., Kraus, R., and Schneidmüller, D. (2008) Delayed healing of forearm shaft fractures in children after intramedullary

- nailing. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 28(3), pp303–306. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2008/04000/Delayed_Healing_of_Forearm_Shaft_Fractures_in.5.aspx [Accessed: 11th January 2017].
100. Fernandez, F.F., Eberhardt, O., Langendörfer, M., and Wirth, T. (2009) Nonunion of forearm shaft fractures in children after intramedullary nailing. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. 18(6), pp289–295. Available from: http://journals.lww.com/jpo-b/Abstract/2009/11000/Nonunion_of_forearm_shaft_fractures_in_children.2.aspx [Accessed: 12th January 2017].
101. Adamczyk, M.J., and Riley, P.M. (2005) Delayed union and nonunion following closed treatment of diaphyseal pediatric forearm fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 25(1), pp51–55. Available from: http://journals.lww.com/pedorthopaedics/Abstract/2005/01000/Delayed_Union_and_Nonunion_Following_Closed.12.aspx [Accessed: 30th December 2016].
102. Ho, C.A., Jarvis, D.L., Phelps, J.R., and Wilson, P.L. (2013) Delayed union in internal fixation of pediatric both-bone forearm fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. 22(4), pp383–387. Available from: http://journals.lww.com/jpo-b/Abstract/2013/07000/Delayed_union_in_internal_fixation_of_pediatric.19.aspx [Accessed: 30th December 2016].
103. Ogonda, L., Wong-Chung, J., Wray, R., and Canavan, B. (2004) Delayed union and non-union of the ulna following intramedullary nailing in children. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. 13(5), pp330–333. Available from: http://journals.lww.com/jpo-b/Abstract/2004/09000/Delayed_union_and_non_union_of_the_ulna_following.9.aspx [Accessed: 11th January 2017].
104. Wright, T.W., and Glowczewskie, F. (1998) Vascular anatomy of the ulna. *The*

Journal of hand surgery. 23(5), pp800–804. Available from:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0363502398801536>
[Accessed: 12th January 2017].

105. Gorter, E.A., Vos, D.I., Sier, C.F.M., and Schipper, I.B. (2011) Implant removal associated complications in children with limb fractures due to trauma. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery.* 37(6), pp623–627. Available from:
http://download.springer.com/static/pdf/166/art%253A10.1007%252Fs00068-011-0087-4.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2Fs00068-011-0087-4&token2=exp=1492681536~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F166%2Fart%25253A10.1007%252Fs00068-011-0087-4.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Farticle%252F10.1007%252Fs00068-011-0087-4*~hmac=6c6d48eed0f0be517433fe9fc2d97018d40a82a5b34f8d1b6bbffaec2dfc8a44 [Accessed: 2nd February 2017].
106. Ligier, J. N., Metaizeau, J. P., Prévot, J., & Lascombes, P. (1988). Elastic stable intramedullary nailing of femoral shaft fractures in children. *Bone & Joint Journal.* 70(1), pp74–77. Available from:
<http://www.bjj.boneandjoint.org.uk/content/jbjsbr/70-B/1/74.full.pdf>
[Accessed: 8th December 2016].
107. Vince, K.G., Miller, J.E. (1987) Cross-union complicating fracture of the forearm. Part II: children. *J Bone Joint Surg Am.* 69(1), pp654–661.
108. Kelly, D.M. (2016) Flexible Intramedullary Nailing of Pediatric Humeral Fractures: Indications, Techniques, and Tips. *Journal of Pediatric Orthopaedics.* 36(1), ppS49–S55. Available from:

file:///C:/Users/info/Downloads/Flexible_Intramedullary_Nailing_of_Pediatric.14.pdf [Accessed: 12th November 2016].

109. Aghoutane, E. (2016) L'apport De L'embrochage Centromédullaire Elastique Stable Dans Les Fractures De L'humérus Chez L'enfant (Coude Exclus). *Faculte de Medecineet de Pharmacie Marrakech*. Pp1-121. Available from :file:///C:/Users/info/Downloads/these%20ecmes%20humerus%202016%20marrakech%20(6).pdf [Accessed: 28th October 2017].
110. Gordon, J.E., Gard, S. (2010) Pediatric Humerus Fractures: Indications and Technique for Flexible Titanium Intramedullary Nailing. *J PediatrOrthop*. 30(2), ppS73-S76. Available from: file:///C:/Users/info/Downloads/gordon%20humerus.pdf [Accessed: 28th October 2017].
111. Metaizeau, J.P. (1992) L'embrochage centromédullaire élastique stable (ECMES). *Service d'Orthopédie, Hôpital Belle-Isle MOUT*. pp1-19.
112. Eberl, R., Eder, C., Smolle, E. (2011) Latrogenic ulnar nerve injury after pin fixation and after antegrade nailing of supracondylar humeral fractures in children. *Acta Orthop*. 82(1), pp606-609.