



LES RESULTATS DU TRAITEMENT CHIRURGICAL DES PSEUDARTHROSES ASEPTIQUES DE LA DIAPHYSE FEMORALE

Mémoire présenté par
Docteur BOULLAH EBY EL MEALY

Né le 10/08/1985

Pour l'obtention du Diplôme de Spécialité en Médecine

Option : Traumatologie– Orthopédie

Sous la direction du Professeur : Boutayeb FAWZI

Session Juin 2024

Pr. BOUTAYEB Fawzi
Chirurgien - Orthopédiste
Chef de Service
C.H.U Hassan II - FES

À Mon Maître

Monsieur le Professeur BOUTAYEB FAWZI

*C'est avec une grande émotion et un profond respect que j'ai l'honneur
aujourd'hui d'écrire ce modeste mot afin de rendre hommage à mon maître
monsieur le professeur FAWZI BOUTAYEB qui a guidé mes premiers pas dans
l'apprentissage de la chirurgie traumatologique et orthopédique.*

*Nous avons eu le grand plaisir de travailler sous votre direction, et nous
avons trouvé auprès de vous le conseiller et le guide qui nous a reçus en toute
circonstance avec sympathie, sourire et bienveillance.*

*Vos compétences professionnelles incontestables ainsi que vos qualités humaines
vous valent l'admiration et le respect de tous.*

*Vous êtes et vous serez pour nous l'exemple de rigueur et de droiture dans
l'exercice de la profession.*

*Veuillez, cher Maître, trouver dans ce modeste travail l'expression de ma
haute considération, de ma sincère reconnaissance et de mon profond respect.*

À Mon Maître

Monsieur le Professeur ELMRINI ABDELAMAJID

Votre compétence, votre dynamisme, votre modestie, votre rigueur et vos qualités humaines et professionnelles ont suscité en nous une grande admiration et un profond respect, ils demeurent à nos yeux exemplaires. Nous voudrions être dignes de la confiance que vous nous avez accordée et vous prions, cher Maître, de trouver ici le témoignage de notre sincère reconnaissance et profonde gratitude.

À Mon Maître

Monsieur le professeur AMINE MARZOUKI

Je vous conserve toujours ma profonde reconnaissance en souvenir de votre modestie de savoir : Vos compétences professionnelles incontestables ainsi que vos qualités humaines vous valent l'admiration et le respect de tous.
Je vous prie de trouver, ici, le témoignage de mon profond respect et de ma haute estime pour tous vos efforts et votre implication dans notre formation.

À Mon Maître

Monsieur le professeur LAHRACH KAMAL

J'ai eu le grand plaisir de travailler avec vous, et j'ai trouvé auprès de vous le conseiller et le guide qui nous a reçu en toute circonstance avec sympathie, sourire et bienveillance.
Votre compétence, votre dynamisme, votre rigueur et vos qualités humaines et professionnelles ont suscité en nous une grande admiration et un profond respect.
Je vous prie, chère Maître, de trouver ici le témoignage de notre sincère reconnaissance et profonde gratitude

A notre maître

Monsieur le professeur JIHAD RADI

Nous vous remercions pour la gentillesse et la spontanéité

Nous avons apprécié votre aide malgré vos multiples préoccupations. Vos qualités professionnelles et la sympathie que vous témoignez à tous ceux qui vous sollicitent suscitent notre admiration.

Que ce travail soit l'occasion de vous exprimer l'expression de ma plus profonde gratitude et de mon respect.

PLAN

PLAN	1
LISTE DES ABREVIATIONS	6
INTRODUCTION	7
MATERIELS ET METHODES.....	10
I. Matériels :.....	11
1. Les critères d'inclusion:	11
2. Les critères d'exclusion :.....	11
II. Méthode d'évaluation	12
Fiche d'exploitation.....	13
III. Evaluation des résultats :.....	17
1. Résultats osseux :	17
2. Résultats fonctionnels :.....	18
3. Les résultats globaux :.....	19
RESULTATS	20
I. Données épidémiologiques :	21
1. L'incidence :.....	21
2. Le sexe :.....	21
3. L'âge :.....	22
4. Coté atteint :.....	23
II. Etude de la fracture initiale :.....	24
1. Terrain :	24
2. Etiologies :.....	24
3. Clinique :.....	25
4. Lésions cutanées :	25
5. Lésions traumatiques associés :.....	25
6. Etude radiologique :.....	26
7. Traitement de la fracture initiale :	29
Lieu du traitement initial :	29
III. Etude de la pseudarthrose :.....	32
1. Causes et délai d'évolution vers la PSA :	32
a. Causes probables d'échec du traitement initial :.....	32
b. Délai d'évolution vers la PSA:.....	34
2. Etude radioclinique de la PSA :	35
a. Etude clinique :	35
b. Etude radiologique et type de la PSA :.....	35

3. Traitement de la PSA :	43
a. L'anesthésie :	43
b. La voie d'abord :	43
c. Ostéosynthèse :	43
d. Traitement adjuvant :	44
4. Suites post-opératoires :	44
5. Evolution :	45
a. Complications précoces :	45
b. Complications secondaires :	45
c. Complications tardives :	45
6. Résultats du traitement :	45
a. Délai de consolidation :	45
b. Les résultats osseux :	46
c. Résultats fonctionnels :	48
d. Résultats globaux :	48
e. Résultats analytiques :	49
DISCUSSION :	54
I. La consolidation :	55
1. La consolidation indirecte ou secondaire :	55
1.1. La réponse inflammatoire aigue :	55
1.2. Le recrutement des cellules mésenchymateuses :	56
1.3. Cal mou :	56
1.4. Cal dur :	60
1.5. Remodelage :	60
2. La consolidation directe :	62
II. Etude épidémiologique :	64
1. La fréquence :	64
2. L'âge et le sexe :	64
3. ATCD/Terrain :	64
4. Etiologie de la fracture initiale :	65
III. Etude clinique et radiologique de la fracture initiale :	66
1. Lésions cutanées :	66
2. Lésions associées :	67
3. Etude radiologique :	68
IV. Traitement de la fracture initiale :	70
1. Délai entre la fracture initiale et le traitement initial :	70
2. Analyse du traitement initial :	71

a.	L'enclouage centromédullaire	72
b.	La plaque vissée :	74
c.	La fixation externe :	75
V.	Pseudarthrose :	76
1.	Définition et diagnostic de la pseudarthrose :	76
2.	Les facteurs étiopathogéniques de la PSA :	76
a.	Les facteurs systémiques :	76
b.	Les facteurs locaux :	79
c.	Facteurs liés au traitement :	79
3.	Etude clinique et paraclinique de la PSA:	82
a.	Signes fonctionnels :	82
b.	Signes physiques :	82
c.	Les signes de la PSA septique	82
d.	Imagerie de la PSA.....	83
e.	Biologie.....	84
4.	Classification :	85
a.	Classification selon weber et cech	85
b.	Classification selon des critères radiologiques	87
5.	Evolution vers la PSA :	90
VI.	Traitement de la PSA :	91
1.	Historique :	91
2.	Le but et le principe du traitement :	93
3.	Abord du foyer :	94
a.	Parage du foyer	94
b.	Reperméabilisation du canal médullaire.....	94
c.	Excision de l'os nécrotique	95
4.	Stimulation de l'ostéogenèse :	95
a.	Décortication :	95
5.	Moyens de stabilisation :	114
a.	La dynamisation d'un enclouage :	114
b.	Changement de clou ou enclouage primaire :	115
c.	ECM après plaque :	116
d.	Plaque vissée :	116
e.	Transport osseux par fixation et clou :	119
VII.	Suites opératoires-complications :	120
1.	Complications Immédiates :	120
2.	Complications tardives :	121

VIII. Résultats thérapeutiques :	122
1. Le taux de consolidation :	122
2. Le délai de consolidation :	123
3. Résultats osseux/fonctionnels :	123
IX. Prévention :	124
1. Prévention primaire :	124
2. Prévention secondaire :	124
3. Prévention tertiaire :	124
CONCLUSION	125
RESUMES	128
REFERENCES.....	134

LISTE DES ABREVIATIONS

PSA	: Pseudarthrose
CHU	: Centre hospitalier universitaire
AVP	: Accident de la voie publique
ECM	: Enclouage centromédullaire
FE	: Fixateur externe
PV	: Plaque vissée
NFS	: Numération formule sanguine
AG	: Anesthésie générale
GCS	: Greffe cortico-spongieuse
GO	: Greffe osseuse
DOM	: Décortication ostéomédullaire
AINS	: Anti-inflammatoire non stéroïdiens
IRM	: Imagerie par résonance magnétique
BMP	: Protéine inductrice osseuse

INTRODUCTION

La pseudarthrose diaphysaire quelle soit septique ou aseptique constitue l'une des complications les plus redoutables en chirurgie traumatologique tant par ces conséquences immédiates que lointines. Elle succède souvent à une fracture avec ostéosynthèse mal faite et constitue un sujet d'actualité débattu en raison des difficultés de son traitement. Celui-ci reste un défi long et difficile.

La survenue de la pseudarthrose après un traitement de la fracture de la diaphyse fémorale est relativement rare et estimée entre 5 et 10% de l'ensemble des fractures de la diaphyse fémorale et peut atteindre jusqu'à 30% en cas de facteurs de risques locaux et généraux.[11,58]

Parmi les facteurs de risques, on différencie ceux liés à la fracture elle-même, au traitement de celle-ci, et ceux liés au patient. Certains demeurent non influençable, tel que la localisation anatomique, les lésions cutanées ou vasculaires provoquées par le traumatisme, l'âge ou le terrain particulier du patient, contrairement à ceux liés au traitement.

Le traitement de ces lésions est difficile et encore plus en présence d'un faible capital osseux, de fragments osseux de petite taille difficiles à stabiliser. Diverses techniques chirurgicales ont été proposées: l'enclouage centromédullaire, la plaque vissée, le fixateur externe ,avec des gestes associés (la greffe osseuse et la décortication de judet).

Ces techniques visent d'une part à stabiliser le foyer, et d'autre part à permettre la consolidation osseuse. L'irradication de l'infection nécessite parfois une excision osseuse étendue créant soit de grands défauts osseux soit des raccourcissements importants. Ce qui entraîne des séquelles

fonctionnelles, avec retentissement socio-économique important puisque la pseudarthrose touche essentiellement l'adulte jeune socialement actif la pseudarthrose touche essentiellement l'adulte jeune socialement actif.

L'objectif de ce travail consiste en l'analyse des différentes prises en charge de la pseudarthrose aseptique de la diaphyse fémorale et l'évaluation des résultats du traitement, en étudiant rétrospectivement 20 cas de PSA de la diaphyse fémorale opérés au service de Traumatologie-Orthopédique A du CHU Hassan II de Fès.

MATERIELS ET METHODES

I. Matériels :

C'est une étude descriptive rétrospective à propos de 20 cas de pseudarthrose de la diaphyse fémorale, colligées au service de traumatologie-orthopédie A du CHU Hassan 2 Fès à propos de 20 cas , sur une période de 8 ans, allant de janvier 2014 à décembre 2022.

Le but de notre travail est d'évaluer les résultats des différentes prises en charge chirurgicales de la PSA aseptique intéressant la diaphyse fémorale. Nous avons utilisé :

Les registres des hospitalisations.

Une fiche de renseignement pour chaque patient.

1. Les critères d'inclusion:

Adultes présentant une PSA aseptique post-fracturaire de la diaphyse fémorale basée sur les données cliniques, radiologiques et le résultat biologique du prélèvement per-opératoire traités dans le service de traumatologie A CHU Hassan

2. Les critères d'exclusion :

Seront exclus de cette étude :

- ⤴ Patients aux dossier incomplets
- ⤴ Patients âgés de moins de 15 ans
- ⤴ Patients n'ayant pas accepter la prise en charge thérapeutique.
- ⤴ Les PSA septiques

II. Méthode d'évaluation (Fiche d'exploitation)

La collecte des données s'est faite à partir des registres d'hospitalisation de service de traumatologie orthopédie A du CHU HASSEN II, des dossiers médicaux des patients et Comptes rendus opératoires au moyen d'une fiche d'exploitation (voir l'HOSIX)

Fiche d'exploitation

Nom et Prénom : N° de dossier : IP :

Age : Sexe :

Date d'entrée :

Date de sortie : ATCD:

Date du traumatisme initiale :

Circonstances du traumatisme initial :

☐ AVP ☐ accident de travail

Accident domestique ☐ chute d'un lieu élevé Accident du sport

☐ autres

Examen initial :

Etat de choc : ☐ oui ☐ non Douleur : ☐ oui ☐ non

Impotence fonctionnelle : ☐ oui ☐ non Coté atteint : ☐ droit ☐ gauche

Lésions associées :

Lésions cutanées : ouverture cutanée (cauchoix et duparc)

☐ Type 1

☐ Type2

Type3 Vasculo-nerveuses : ☐ oui ☐ non

Traumatismes associés :

Radiographie initiale :

Type de la fracture : ☐ simple

☐ Complexe Siège de la fracture : ☐ supérieur

☐ Moyen

☐ Inférieur Trait : ☐ Transversal ☐ Spiroïde

☐ Oblique

Perte de substance osseuse : ☐oui ☐ non Prise en charge initiale :

Lieu du traitement :

Délai entre le traumatisme et le traitement : Traitement :

Médical : ☐antalgique ☐antibiotique

☐ AINS ☐anticoagulant

Chirurgical : ☐ ECM ☐ FX ☐ PV ☐ AUTRES

Impotence fonctionnelle

☐Douleur

☐Autres

Signes radiologiques : Rx standard :

☐ Persistance du trait de fracture ☐ perte de substance osseuse

☐ Séquestre ☐ fracture de matériel

☐Défaut d'axe Type de PSA :

☐Hypertrophique

☐Atrophique

☐Eutrophique Traitement de PSA :

Médical : ☐ antalgique ☐ AINS

Antibiotique ☐autres Chirurgical :

Techniques opératoires :

Type d'anesthésie : ☐ AG

Rachianesthésie

Antibioprophylaxie Installation : ☐ sur table orthopédique

☐ Sur table ordinaire Voie d'abord : ☐proximale

☐ postéro- latérale Matériels d'ostéosynthèses :

ECM : ☐ dynamique ☐ statique

☐PV

☐FX Gestes associés :

☐Décortication de judet

☐ greffe osseuse

☐substitut osseux Soins post-opératoires :

Antibioprophylaxie

Anticoagulants

Ablation de drain

Rééducation

☐Lever précoce

Complications précoces : ☐ troubles liés à l'anesthésie

Infection

Hématome Complication secondaire : ☐ escarres

☐démontage du matériel

Troubles trophiques

Troubles liés au décubitus : Complications tardives : ☐ persistance de PSA

☐ cal vicieux

☐Troubles de rotation

☐raccourcissement

Résultats :

Délai de consolidation :

Résultats osseux(Classification ASAMI) : Consolidation :☐oui ☐non

Déformation>7°:☐oui ☐non L'infection: ☐oui ☐non

LES RESULTATS DU TRAITEMENT CHIRURGICAL DES PSEUDARTHROSES ASEPTIQUES
DE LA DIAPHYSE FEMORALE

Le raccourcissement > 2,5 cm: ☐oui ☐non

Classement : Très bon ☐ Bon ☐ Moyen ☐ Mauvais ☐ Résultats

fonctionnels :

Patient actif : ☐oui ☐non Boiterie : ☐oui ☐non

Raideur (perte d'extension > 15°) : ☐oui ☐non Dystrophie

sympathique réflexe : ☐oui ☐non

Classement : Très bon ☐ Bon ☐ Moyen ☐ Mauvais ☐ Résultats globaux:

Bon ☐ Moyen ☐ Mauvais ☐

III. Evaluation des résultats :

1. Résultats osseux :

Pour l'évaluation des résultats osseux nous avons utilisé la classification d'ASAMI qui est basée sur quatre paramètres :

- Consolidation (ou persistance de la PSA)
- Absence d'infection
- Déformation
- Raccourcissement (Inégalité des membres)

Tableau 1:Résultats osseux selon la classification ASAMI

Très bon	Consolidation +les 3 critères suivants : .Absence d'infection et .Déformation <7° et .Inégalité de la longueur des membres <2,5 cm
Bon	Consolidation+ 2 des critères suivants : .Absence d'infection .Inégalité de la longueur des membres <2,5 .Déformation <7°
Moyen	Consolidation+1 des critères suivants : .Absence d'infection .Inégalité de la longueur des membres <2,5 .Déformation <7°
Mauvais	Absence de consolidation ou refracture ou l'absence des 3 critères

2. Résultats fonctionnels :

Pour l'évaluation des résultats fonctionnels la classification d'ASAMI est basée sur cinq paramètres :

- L'activité
- La douleur
- La boiterie
- La dystrophie sympathique réflexe
- La raideur

Tableau 2: Résultats fonctionnels selon la classification ASAMI

Très bon	.Activité normale .Pas de boiterie .Pas de douleur ou douleur légère . Pas de raideur ou raideur minime(perte d'extension du genou <15°) .Pas de dystrophie
Bon	.Le patient réalise presque toutes ses activités avec des difficultés minimales avec absence d'un des critères Précédents
Moyen	Activité conservée avec absence de deux des critères précédents
Mauvais	Inactif (incapable d'accomplir les activités quotidiennes)

3. Les résultats globaux :

Les résultats globaux du traitement ont été jugés :

➤ **Bon si :**

- Consolidation radio clinique parfaite
- Absence de douleur
- Raccourcissement inférieur à 2,5 cm
- Mobilité des articulations sus et sous-jacentes
- Pas de troubles trophiques.

➤ **Moyen si :**

- Consolidation radio clinique parfaite
- Absence de douleur
- Raccourcissement entre 2,5 et 3,5 cm
- Mobilité des articulations sus et sous-jacente légèrement diminuée
- Pas de troubles trophiques

➤ **Mouvais si :**

- PSA récurrente
- Cal douloureux
- Raccourcissement supérieur à 3,5 cm
- Mobilité des articulations sus et sous-jacentes diminuée
- Troubles trophiques

RESULTATS

I. Données épidémiologiques :

1. L'incidence :

Dans la période d'étude (janvier 2014–janvier 2022), 410 fractures ont été prises en charge au service de traumatologie A CHU Hassan II soit une incidence globale de PSA de 5,7%.

2. Le sexe :

On a observé une nette prédominance masculine avec 17 hommes soit 85% et 3 femmes 15%. Le sexe ratio dans notre série est de 6H /1F.

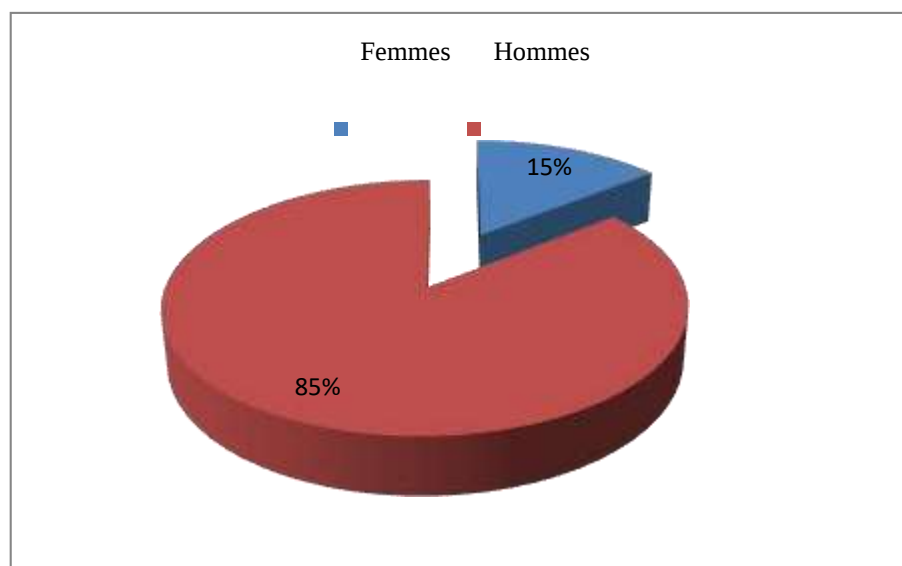


Figure 1: Répartition des malades selon le sexe

3. L'âge :

L'âge de nos patients au moment de l'intervention variait entre 21 ans et 70 ans, avec une moyenne d'âge de 38,4 ans. La répartition des classes d'âge des patients opérés est représentée sur le tableau ci-dessous montre que 76% de nos patients avaient un âge compris entre 25 et 45ans.

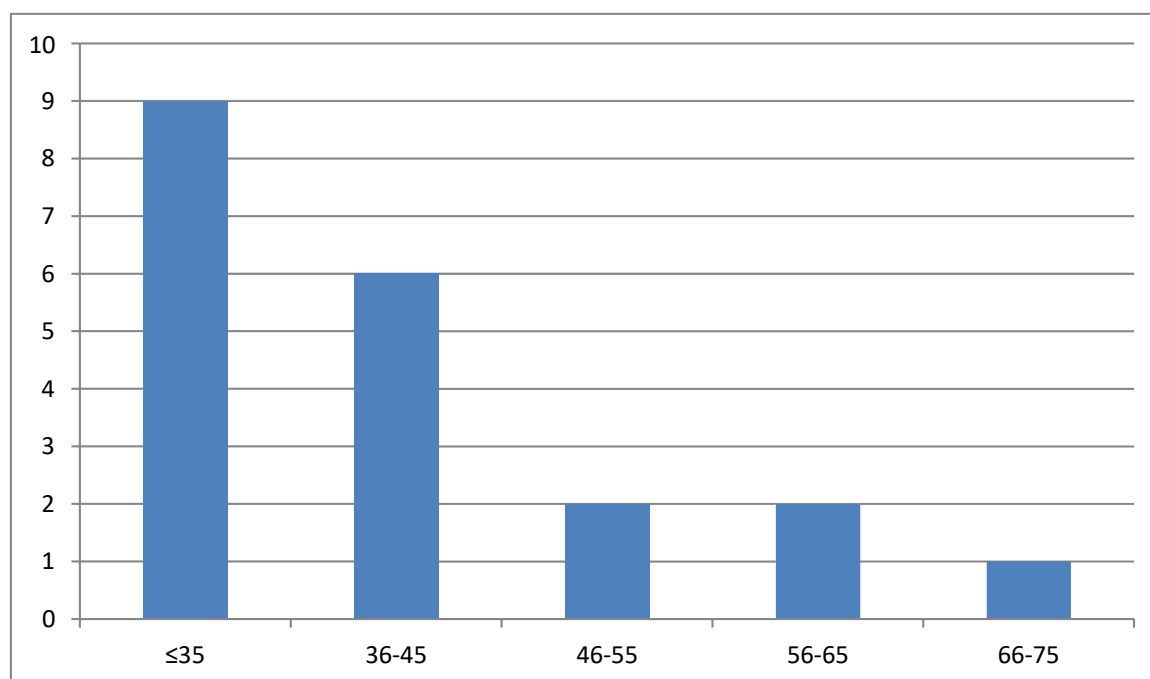


Figure 2: Répartition des cas selon l'âge

4. Côté atteint :

Dans notre série, le côté droit était atteint dans 35%(7 cas) alors que le côté gauche a été majoritaire dans 60%(12 cas). Un patient avait une atteinte bilatérale de son fémur.

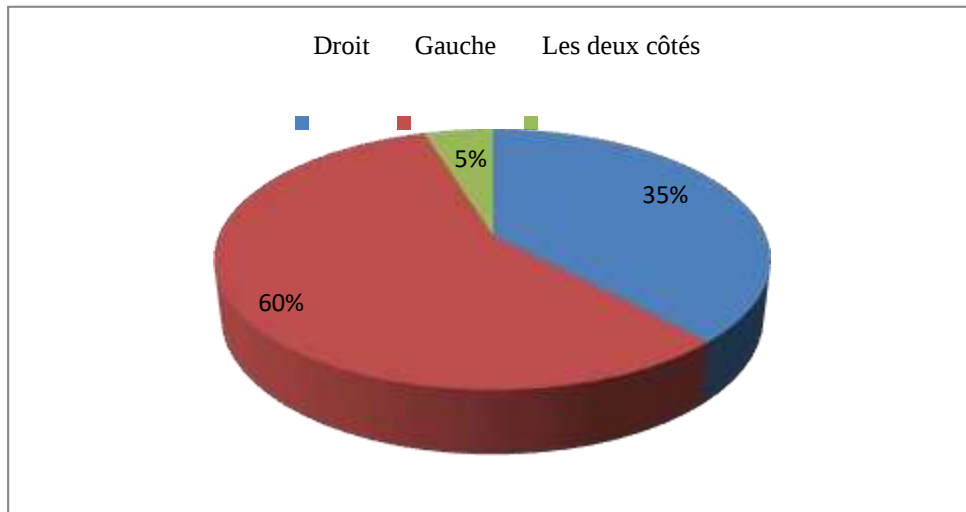


Figure 3: Répartition selon le côté atteint

II. Etude de la fracture initiale :

1. Terrain :

Dans notre série un patient était diabétique et tabagique. Un patient était diabétique et hypertendu.

2. Etiologies :

La survenue de la fracture de la diaphyse fémorale a été consécutive à :

Un AVP : 17 cas

Une chute du 1^{er} étage : 1 cas Une Réception d'objet lourd : 1 cas

Une chute de sa hauteur : 1 cas

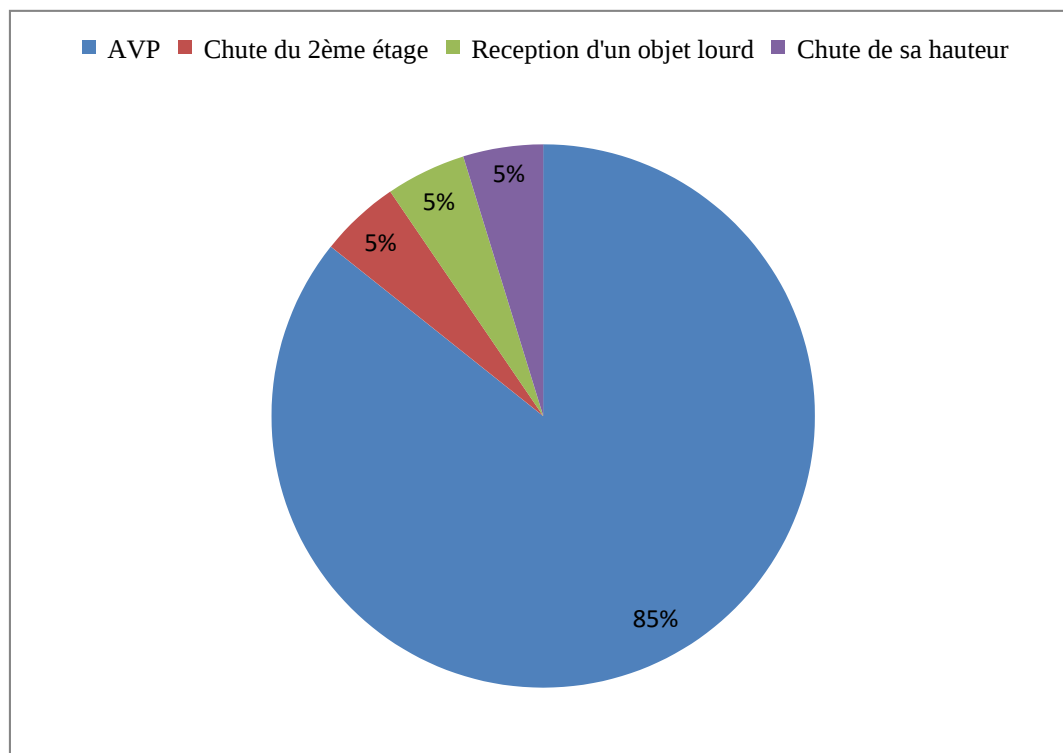


Figure 4: Répartition selon l'étiologie de la fracture initiale

3. Clinique :

Presque tous nos patients ont présenté :

- ▲ Une impotence fonctionnelle absolue avec raccourcissement et impossibilité de décoller le membre inférieur atteint du plan de la table.
- ▲ Une douleur de la cuisse traumatisée, vive et persistante.
- ▲ Une attitude vicieuse en abduction et rotation externe.
- ▲ Une tuméfaction de la cuisse traumatisée.

4. Lésions cutanées :

Sur les 20 cas de fractures de la diaphyse fémorale, nous avons noté 18 cas de fractures fermées soit 90% avec 2 cas de fractures ouvertes soit 10% dont 1 classée type 3 et une autre type 1 selon la classification de Cauchoix et Duparc

5. Lésions traumatiques associées :

Dans notre série la fracture de la diaphyse fémorale était :

- ▲ Isolée dans 11 cas soit 55 %
- ▲ 4 patients étaient des polytraumatisés :
 - ▲ 1 polytraumatisé avec points d'impacts multiples notamment thoracique
 - 3 polytraumatisés avec points d'impact crâniens
- ▲ 5 patients étaient des polyfracturés : Fracture de la malléole interne : 1 cas Fracture des 2 os de l'avant-bras : 1 cas

Fracture comminutive de la palette humérale : 1 cas Fracture fermée de la jambe controlatérale : 1 cas

Un patient avait une fracture des 2 fémurs dont une a évolué vers la PSA

et l'autre a consolidé.

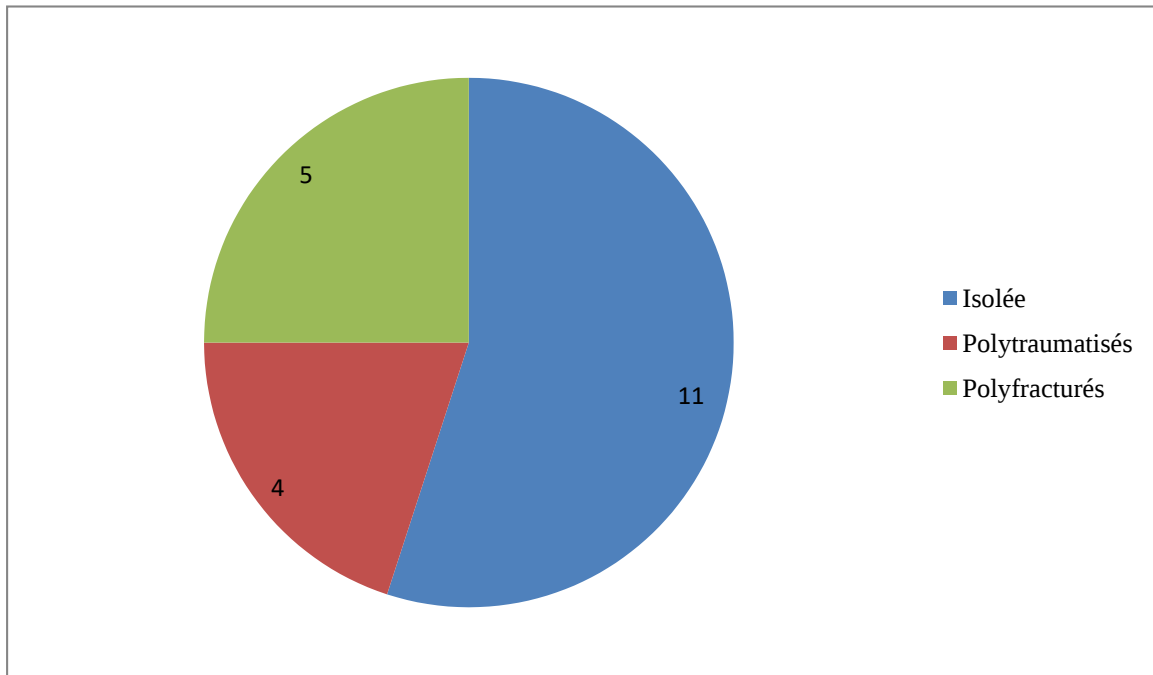


Figure 5: Répartition des patient selon les lésion associées

6. Etude radiologique :

L'analyse radiologique de la fracture initiale faite sur les incidences de face et de profil a permis de retenir les résultats suivants:

- **Siège de la fracture :**

Tableau 3: Siège du trait de la fracture

Siège de la fracture	Nombre de Type de PSA
1 /3 INF	2
1 /3 MOYEN	14
1 /3 SUP	4
Total général	20

Les fractures du 1 /3 moyen étaient majoritaires dans notre série.

Type de la fracture :

Tableau 4: Répartition des cas selon le type de fractures

Type de trait de fracture	Fractures simples			Fractures complexes
	Transverse	Spiroïde	Oblique	
Nombre de cas	1	4	3	12
Pourcentage	40%			60%

Les fractures complexes étaient prédominantes avec un pourcentage de 60% des cas.

Dans le tableau suivant les fractures sont réparties selon la classification AO :

Tableau 5: Fractures initiales selon la classification AO

Classification AO Nombre de Type de PSA

A1	4
A2	3
A3	1
B1	2
B2	2
B3	3
C1	2
C2	2
C3	1

Total général 20

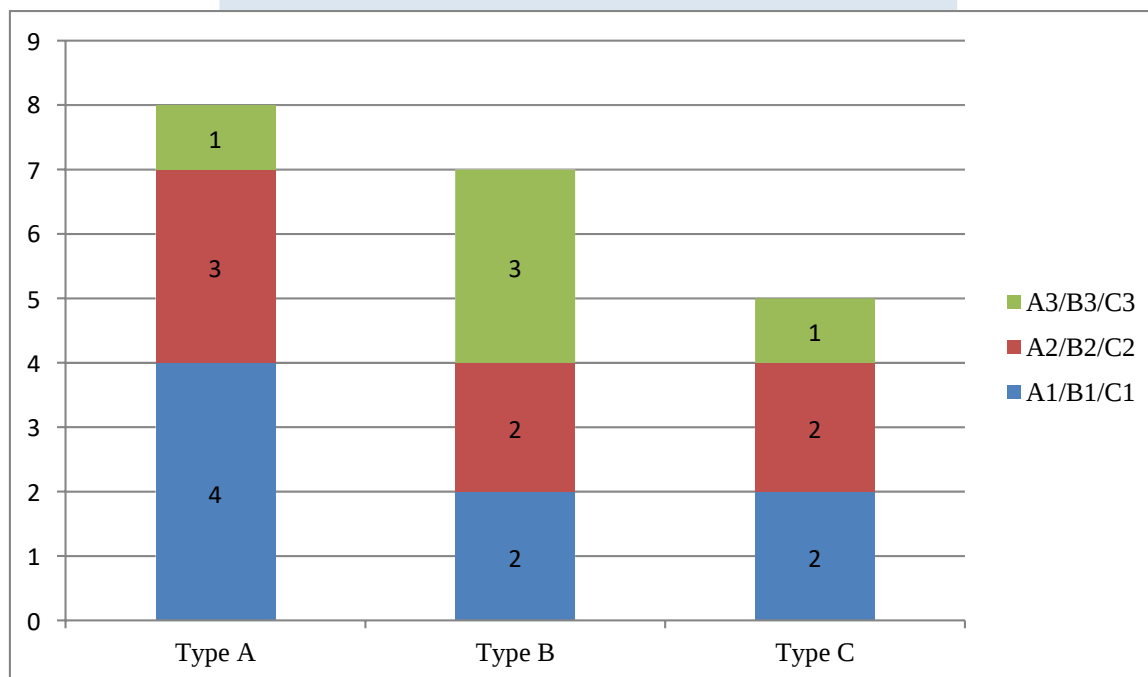


Figure 6: Répartition des fractures selon la classification AO

7. Traitement de la fracture initiale :

Lieu du traitement initial :

Tous les patients de la série ont été opérés initialement au CHU HASSAN II Fès. Parmi les 20 cas, 17 ont été opérés au bloc des urgences.

Délai entre le traumatisme et le traitement initial:

Les patients de notre échantillon ont été opérés entre la 6^{ème} heure et le 5^{ème} jour après le traumatisme.

Une patiente a été référée d'une autre structure hospitalière après 14 jours du traumatisme.

Type de traitement initial :

Dans notre série le traitement initial:

La PV a été utilisée dans 4 cas soit 20 % de la série et l'ECMV dans 16 cas soit 80% dont 4 ont été réalisés à foyer fermé et 12 à foyer ouvert. Dans 4 cas l'enclouage a été associé à un cerclage.

Tableau 6: Répartition des cas selon le type du traitement initial

Type du traitement	Le nombre de cas	Pourcentage
L'ECMV	16 cas	80%
La plaque vissée	4 cas	20%



Figure 7 : Radio montrant une fracture de la diaphyse fémorale
(Service de Traumatologie-Orthopédique A CHU HASSAN II FES)



Figure 8: La fracture (figure 6) après ostéosynthèse par ECMV (Service de Traumatologie-Orthopédique A CHU HASSAN II FES)

III. Etude de la pseudarthrose :

1. Causes et délai d'évolution vers la PSA :

a. Causes probables d'échec du traitement initial :

Les hypothèses retenues comme causes de PSA dans notre série étaient:

➤ Pour les 4 cas traités initialement par PV :Vis intrafocale : 1 cas

Déperiostage : 1 cas

Vissage insuffisant avec appui précoce : 2 cas

➤ Pour les 16 cas traités initialement par un ECMV :Appui précoce : 6 cas

Diastasis interfragmentaire > 1 cm : 5 casDéperiostage+cerclage : 2 cas

Taille de clou inadaptée (diamètre ; longueur) :3 cas



**Figure 09 : Patiente de 38 ans présentant une PSA hypertrophique du tiers moyen de la diaphyse fémorale traitée initialement par PV
(Service de Traumatologie–Orthopédique A CHU HASSAN II FES)**



Figure10 : Image A+B :fracture du clou revèlant une PSA
(Service de Traumatologie–Orthopédique A CHU HASSAN II FES)



Figure 11:Une PSA secondaire à une vis intra focale avec vissage insuffisant
(Service de Traumatologie–Orthopédique A CHU HASSAN II FES)

b. Délai d'évolution vers la PSA:

Le graphique donne le temps après lequel les 20 patients de l'échantillon ont été repris pour une première cure de pseudarthrose (temps entre la date du traitement de la fracture et la date de la première cure). La cure de pseudarthrose la plus précoce est effectuée 3 mois après l'ostéosynthèse et la plus tardive après 48 mois. Le temps moyen entre le traitement de la fracture et la première cure est de 13 mois tandis que le temps médian est de 8 mois.

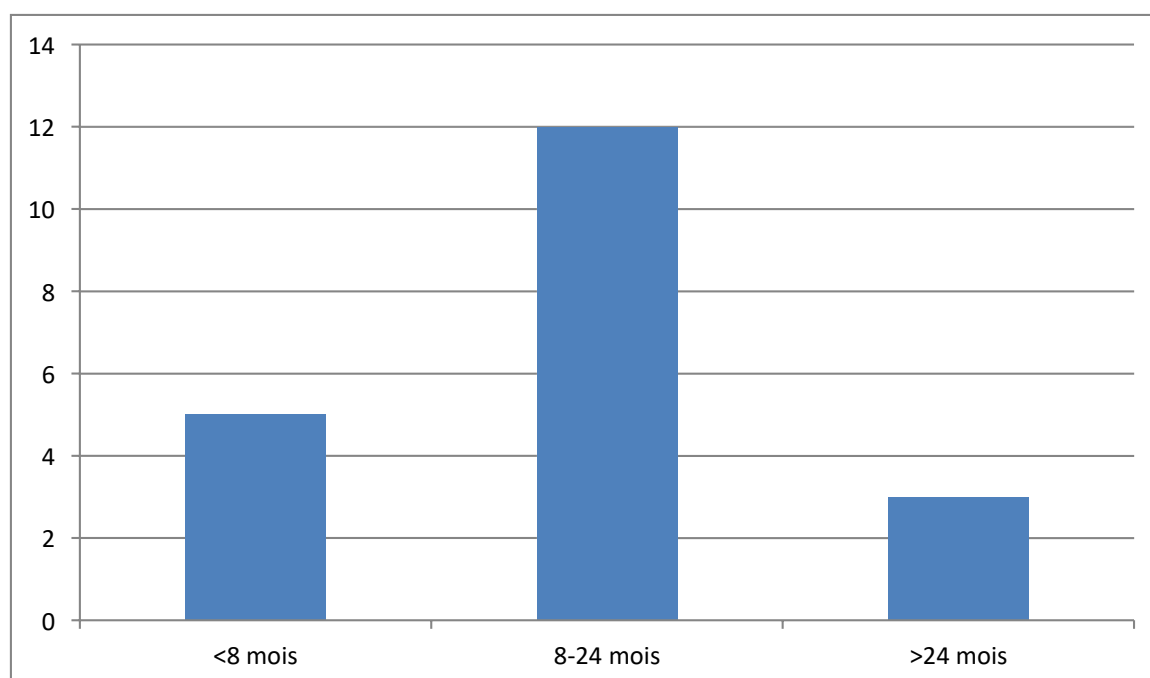


Figure 12 : Répartition des cas selon le délai d'évolution vers la PSA

2. Etude radioclinique de la PSA :

a. Etude clinique :

a.1. Signes fonctionnels :

Le symptôme principal qui a été présent chez tous nos patients est la douleur. La douleur a été apparentée presque chez tous nos patients à une impotence fonctionnelle partielle ou totale du membre concerné, une sensation d'instabilité du membre.

a .2. Signes physiques :

L'examen clinique de nos patients a objectivé :

- Une douleur en regard du foyer de PSA : chez 20 cas.
- Une mobilité anormale en regard de foyer fracturaire chez 15 patients.
- Une tuméfaction de la cuisse a été retrouvée chez 9 cas.
- Nous n'avons pas relevé de troubles vasculo-nerveuses

b. Etude radiologique et type de la PSA :

La classification en pseudarthroses hypertrophiques, atrophiques ou mixtes est effectuée en analysant les données radiologiques et selon la constatation per- opératoire (PSA hypertrophique : gros cal mou lâche pontant une des berges de la fracture ; PSA atrophique : absence totale de cal sauf du tissu fibreux pontant les berges fracturaire).

Les pseudarthroses ont été considérés hypertrophiques dans 11 cas, atrophiques dans 7 cas et dans les 2 autres cas eutrophiques.

A noter que l'interprétation radiologique peut varier d'un observateur à un autre.

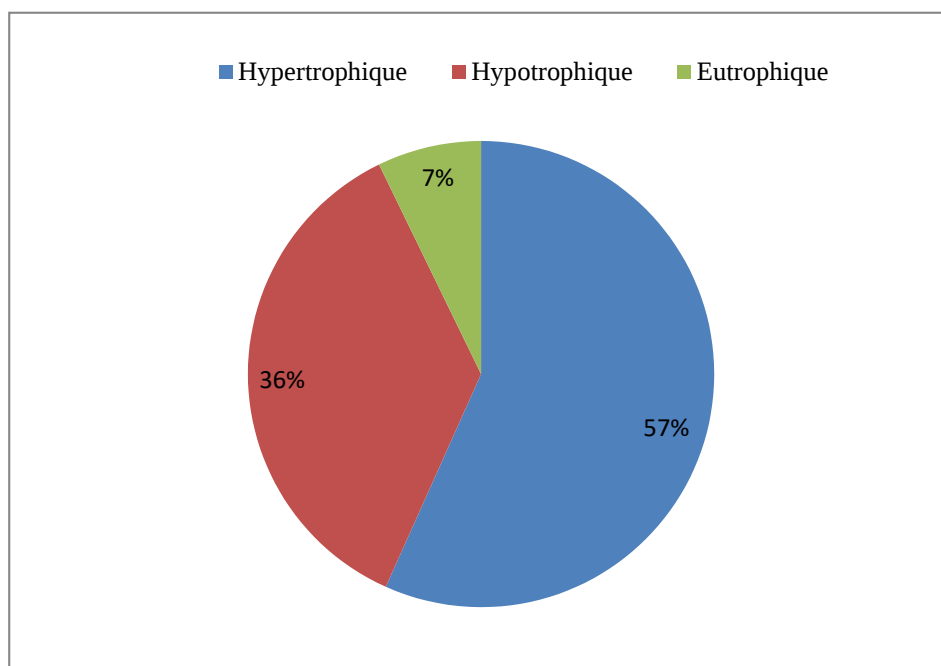


Figure 13: Répartition selon le type de PSA



Figure14 :PSA hypertrophique

(Service de Traumatologie–Orthopédique A CHU HASSAN II FES)



Figure 15 : PSA atrophique

CAS CLINIQUE



Figure 16:Une fracture médiodiaphsaire du fémur à trait simple déplacée en chevauchement

(Service de Traumatologie–Orthopédique A CHU HASSAN II FES)



Figure 17:ostéosynthèse initiale

Le patient a bénéficié initialement d'un ECMV 10/400 (Service de Traumatologie–Orthopédique A CHU HASSAN II FES)



Figure 18: Le patient a bénéficié d'une dynamisation après 4 mois(Service de Traumatologie-Orthopédique A CHU HASSAN II FES)



Figure 19 : 4 mois après la dynamisation

(Service de Traumatologie-Orthopédique A CHU HASSAN II FES)



Figure 20: PSA hypertrophique

Radiographie confirmant une PSA à 10 mois de la fracture initiale

(Service de Traumatologie–Orthopédique A CHU HASSAN II FES)

3. Traitement de la PSA :

a. L'anesthésie :

Dans notre série, 19 patients soit 95% ont bénéficié d'une rachianesthésie et 1 patient soit 5% a bénéficié d'une anesthésie générale.

b. La voie d'abord :

La voie d'abord utilisée lors des cures de la PSA est la voie latérale de la cuisse. Pour la mise en place du clou la voie latérale sus trochantérienne approximative a été utilisée.

c. Ostéosynthèse :

Dans les 20 cures réalisées dans notre série, l'enclouage centromédullaire avec un clou de taille supérieure au clou initial a été utilisé dans 17 cures soit 85% et 2 cures avec plaque DCP soit 10%.

Un patient a bénéficié d'une cure avec dynamisation secondaire du clou initial.

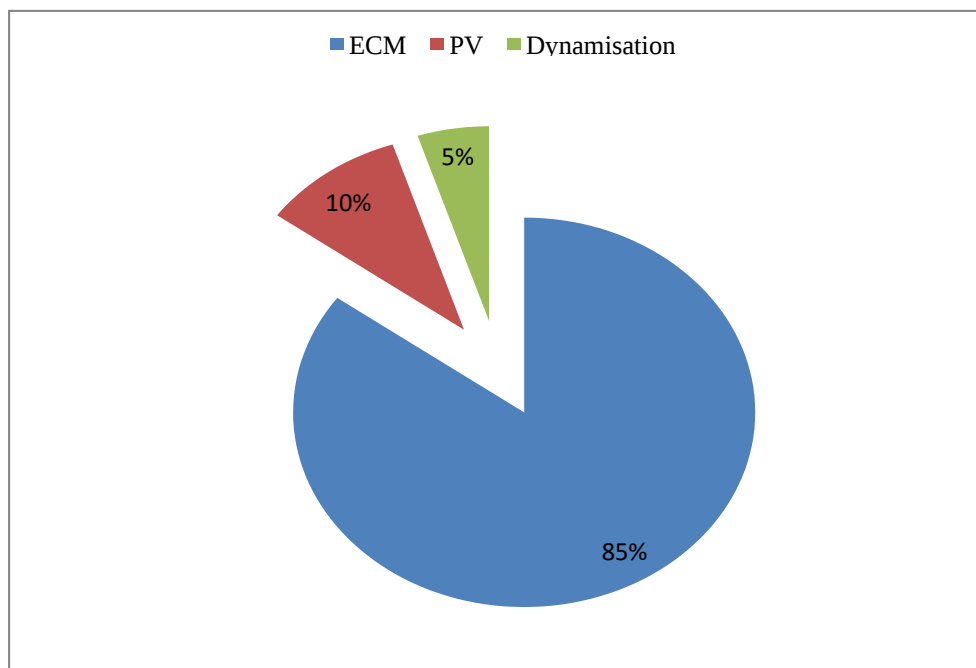


Figure 21: Répartition selon le traitement appliqué à la PSA

d. Traitement adjuvant :

La décortication+ greffe cortico-spongieuse prélevée au niveau de la crête iliaque a été réalisée dans 9 cures, la décortication avec substitut osseux dans 5 cures et la décortication seule dans 2 cures sans aucun traitement adjuvant.

Dans 4 cures le traitement associé était une décortication +greffe cortico- spongieuse+substitut osseux.

Tableau 7:Récapitulatif des traitements réalisés dans notre série

Type de traitement	Nombre de cas
ECMV seul	1
ECMV+decortication+greffe	6
ECMV+decortication+substitut osseux	4
ECM+decortication	2
ECMV+greffe+decortication+substitut Osseux	4
PV+decortication+greffe	2
Dynamisation+decortication+greffe	1

4. Suites post-opératoires :

Tous nos patients ont bénéficié :

- ▲ D'une antibioprophylaxie
- ▲ D'une héparinothérapie à dose prophylactique
- ▲ D'un traitement antalgique
- ▲ D'un drainage pour une durée moyenne de 3 jours
- ▲ La rééducation était systématique démarrée après la sortie (mobilisation du genou+hanche+renforcement musculaire +amplitudes articulaires)

5. Evolution

a. Complications précoces :

- Un hématome post-opératoire : aucun cas
- Un accident thromboembolique : aucun cas

b. Complications secondaires

- Escarres : aucun cas
- Troubles liés au décubitus : aucun cas Démontage du matériel :
aucun cas

c. Complications tardives :

- Cal vicieux : aucun cas
- Raccourcissement : 3 cas avec une moyenne de 3 cm.

6. Résultats du traitement :

a. Délai de consolidation :

Le temps d'union osseuse est calculé comme suit :

Temps d'union de la pseudarthrose = Temps entre ostéosynthèse de la fracture et dernière cure de pseudarthrose + 6 mois.

La durée moyenne est de 25 mois et la médiane est de 20 mois.

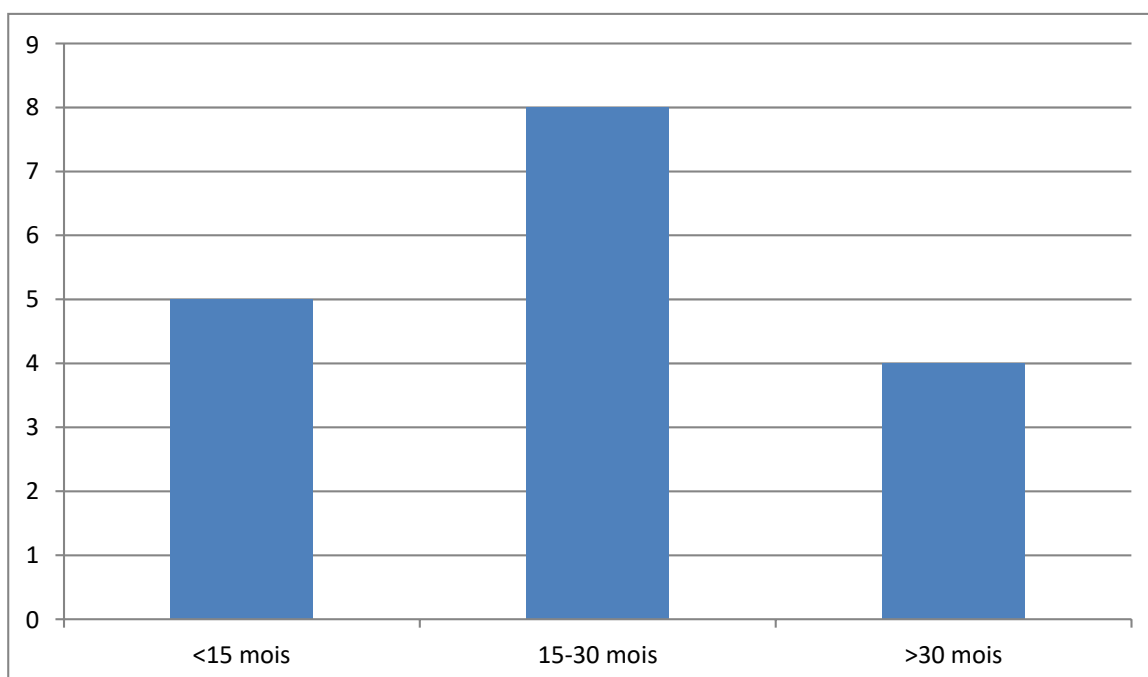


Figure 22: Répartition des cas qui ont consolidé selon le délai de consolidation

b. Les résultats osseux :

b.2. Le taux d'union

Le taux de consolidation dans notre série était de 85%(17/20).

Chez 3 patients la consolidation n'a pas été obtenue et avaient besoin de curessupplémentaires de PSA.

b.2. Résultats osseux selon la classification ASAMI

Les critères sur lesquels nous nous sommes basés pour évaluer notre traitement sont les critères d'ASAMI :

- ♣ La consolidation osseuse : 17 cas soit 85%
- ♣ La déformation en varus : 1 cas soit 5%
- ♣ Le raccourcissement >2,5 cm : 3 cas soit 15%
- ♣ Persistance de PSA : 3 cas soit 15%

Tableau 8: Répartition des cas selon la classification ASAMI

Résultats osseux	Nombre de cas	Pourcentage
Très bon	14	70%
Bon	2	10%
Moyen	1	5 %
Mauvais	3	15 %



**Figure 23:Image d'un patient de la série qui a présenté un raccourcissement
demembre**

Patient âgé de 45 ans, victime d'un AVP en 2015. L'examen avait objectivé une fracture bifocale (trait de fracture sous trochantérienne + trait de médiadiaphysaire) associée à une fracture fermée de la jambe controlatérale. Le patient a bénéficié initialement d'un EMV à foyer par clou gamma long pour son fémur et d'un ECMV à foyer fermé de sa jambe. Il a été repris pour une cure de PSA avec un ECMV.

c. Résultats fonctionnels :

Tableau 9: Répartition des cas selon la classification ASAMI

Résultats fonctionnels	Nombre de cas
Très bon	14
Bon	2
Moyen	1
Mauvais	3

d. Résultats globaux :

Dans notre série, parmi les 20 cas de PSA, nous avons noté :

- 14 bons résultats soit 70%
- 3 moyens résultats soit 15%
- 3 mauvais résultats soit 15%

e. Résultats analytiques :

a.1. En fonction du délai d'évolution :

Tableau 10: Résultats globaux en fonction du délai d'évolution

Résultats globaux	Moyenne du délai d'évolution
Bon	10 mois
Moyen	13 mois
Mauvais	16 mois

a.2. En fonction du traitement appliqué :

Tableau 11: Résultats globaux en fonction du traitement

Type de traitement	Bon	Moyen	Mauvais
ECM seul	1	0	0
ECM+décortication+greffe	4	1	1
ECM+décortication+substitut osseux	2	1	1
ECM+décortication	1	0	1
ECM+greffe+décortication+substitut osseux	3	1	0
PV+décortication+greffe	2	0	0
Dynamisation+décortication+greffe	1	0	0



Figure 24: Figure B : montre une consolidation à 6 mois de la cure de PSA.

(Service de Traumatologie-Orthopédique A CHU HASSAN II FES)

Patient de 36 ans victime d'un accident de travail(chute d'objet lourd sur la cuissedroite) occasionnant une fracture fermée complexe tiers supérieur de son fémur ayant bénéficié initialement d'un ECMV à foyer fermé et qui a été repris après 8 mois pour une PSA atrophique avec une Vis plaque DCS +décortication de Judet

+greffe cortico spongieuse prélevée au niveau de la crête iliaque.

CAS Clinique N°2



Figure 25:

(Service de Traumatologie–Orthopédique A CHU HASSAN II FES)

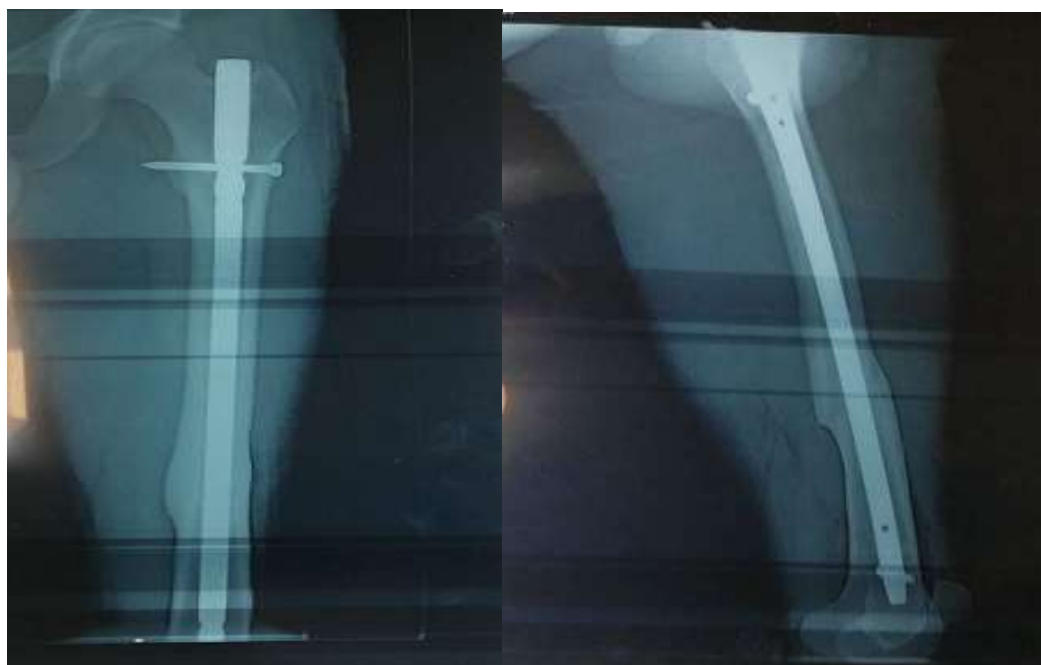
Patient âgé de 30 ans victime d'un AVP en 2012 qui a bénéficié initialement d'un traitement par ECMV qui a été dynamisé après 5 mois et repris à 24 mois post dynamisation pour cure de PSA avérée (radiographie ci-dessus) traité par réenclouagealèse par un clou de diamètre supérieur au précédent a foyer ouvert + décortication de judet.

Noter le remplissage du fut médullaire et 3 points d'appui corticaux avec une compression du foyer sur les images radiologiques successives à 6mois, 18 mois, 30mois après la cure.



Radio après 6 mois

(Service de Traumatologie–Orthopédique A CHU HASSAN II FES)



Radio après 18 mois

(Service de Traumatologie–Orthopédique A CHU HASSAN II FES)



Radiographie après 30 mois de la cure

(Service de Traumatologie-Orthopédique A CHU HASSAN II FES)

DISCUSSION

I. La consolidation :[1][2]

La consolidation des fractures est un processus de cicatrisation tout à fait original puisqu'il est le seul à aboutir à la restitution ad integrum du tissu lésé. La fracture vient perturber un tissu structuré, vivant, vascularisé et en perpétuel remodelage. Ce remodelage assure sa maintenance biologique et mécanique.

C'est est un phénomène très complexe qui aboutit à la formation de l'os après une fracture.

On décrit deux modes de consolidation : la consolidation indirecte ou secondaire et la consolidation directe.

1. La consolidation indirecte ou secondaire :

C'est la voie la plus courante car la guérison osseuse directe nécessite une réduction anatomique et des conditions de stabilité rigide, généralement obtenues uniquement par réduction ouverte.

La guérison par fracture indirecte (secondaire) consiste en une guérison osseuse endochondrale et intramembraneuse.

La consolidation indirecte se produit généralement lors d'un traitement orthopédique et dans certains traitements chirurgicaux dans lesquels certains mouvements se produisent sur le site de la fracture, tels que l'enclouage centromédullaire, fixation externe.

1.1. La réponse inflammatoire aigue :

Quelques heures après le traumatisme s'installe une réaction inflammatoire dans les tissus périfracturaires : augmentation du lacis capillaire, exsudation de plasma et de leucocytes. Des histiocytes et des

macrophages apparaissent. Les macrophages et les cellules géantes détruisent les débris, tandis que quelques ostéoclastes érodent les surfaces osseuses.

Une sécrétion brève et très régulée des molécules pro-inflammatoires après la lésion aiguë est cruciale pour la régénération des tissus. La réponse inflammatoire aiguë atteint son point culminant dans les premières 24 heures et s'achève au bout de 7 jours, bien que les molécules pro-inflammatoires jouent également un rôle important plus tard dans la régénération.

1.2. Le recrutement des cellules mésenchymateuses :

Pour que les os se régénèrent, des cellules souches mésenchymateuses spécifiques doivent être recrutées, proliférées et différenciées en cellules ostéogéniques.

La provenance exacte de ces cellules n'est pas totalement élucidée. Bien que la plupart des données indiquent que ces cellules souches sont dérivées des tissus mous et de la moelle osseuse environnants.

Plusieurs facteurs moléculaires interviennent pour ce phénomène de recrutement et sont sujets de plusieurs études, notamment les protéines morphogénétiques osseuses BMP-2 et BMP-7.

Les données actuelles suggèrent que stromal cell-derived factor-1 (SDF-1) et son récepteur CXCR-4 couplé aux protéines G forment un axe (SDF-1 / CXCR-4) qui est un régulateur clé du recrutement et de la surveillance des cellules mésenchymateuses spécifiques.

1.3. Cal mou :

La transformation de l'hématome donne naissance à un tissu de granulation qui est essentiellement fibrovasculaire et riche en collagène.

C'est dans le décollement du périoste, sur chaque fragment, que va apparaître le cal primaire.

Les deux fragments s'unissent par un manchon souple fusiforme. Ce manchon est limité par une membrane fibreuse, correspondant à la couche externe du périoste reconstituée.

Sous ce nouveau périoste fibreux les cellules précurseurs se différencient en deux types de cellules à évolutions différentes :

- ▲ En ostéoblastes qui élaborent une matrice organique appelée substance ostéoïde. Celle-ci contient des fibres collagènes sans arrangement spatial organisé. Le pourcentage de collagène de type I augmente progressivement. La minéralisation de la substance ostéoïde produit très rapidement, sur chaque fragment et sous la couche fibreuse du périoste, un manchon d'os immature (woven bone) à travées obliques qui s'accroissent en s'écartant du foyer de fracture.
- ▲ Autour du foyer lui-même et sous l'influence de la mobilité de celui-ci (facteurs physiques), les cellules précurseurs prennent une forme ronde, se transforment en chondrocytes et commencent à produire une matrice cartilagineuse riche en collagène de type II. Les chondrocytes se multiplient et forment, autour du foyer, un anneau de cartilage sous-périosté, appuyé sur le manchon d'os immature. Ce passage par un stade cartilagineux correspond à la classique ossification enchondrale. Le manchon de cartilage immobilise progressivement le foyer ce qui fait disparaître l'ostéoinduction physique vers la différenciation cartilagineuse. Les chondrocytes

s'hypertrophient et leur métabolisme s'oriente vers la production de tissu osseux.

Le cartilage se minéralise progressivement, le cal mou va devenir un cal dur. Une lamelle osseuse se forme d'abord, pontant les fragments au contact du périoste fibreux. Cette écaille osseuse fragile est souvent visible sur les radiographies. La minéralisation se poursuit ensuite, progressant du manchon d'os immature vers le foyer.

La création d'un pont interfragmentaire est l'étape la plus importante.

Si les contraintes physiques qui s'exercent sur le foyer de fracture sont trop importantes, le manchon cartilagineux n'est pas assez rigide pour supprimer l'ostéo-induction physique vers la différenciation cartilagineuse. Le foyer reste fibrocartilagineux et la consolidation ne se fait pas. L'évolution se fait vers la pseudarthrose, c'est ce qui se produit par exemple en cas d'appui répété intempestif sur un membre fracturé.

Au stade du cal mou, les corticales ne participent pas à la formation du cal, le but à atteindre est l'immobilisation du foyer, indispensable à la minéralisation. C'est au périoste qu'est dévolu ce rôle.

Une revascularisation adéquate est nécessaire pour le phénomène de consolidation, cela implique des voies angiogéniques mais également une apoptose des chondrocytes et une dégradation cartilagineuse pour permettre la pénétration des vaisseaux sanguins au niveau du site de réparation.

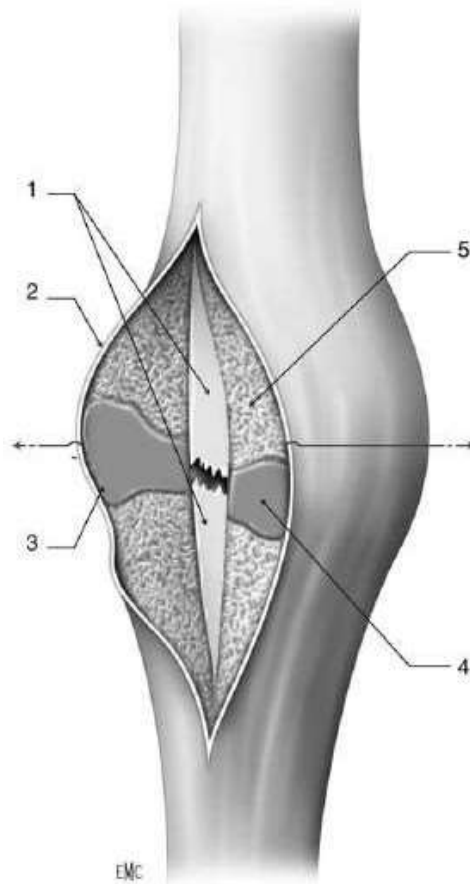


Figure 25:Cal mou

Incision du cal périosté. Sous le périoste, un manchon d'os immature entoure chaque fragment. Anneau de cartilage autour du foyer. 1. Corticales fracturées ; 2. Périoste ; 3. Écaille osseuse en formation ; 4. Manchon de cartilage ; 5. Substance ostéoïde et os immature
(Consolidation des fractures, J.-P. Meyrueis.EMC Rhumatologie-Orthopédie)

1.4. Cal dur :

L'os immature va se transformer en os lamellaire primaire. Cette transformation commence à la quatrième semaine. À 8 semaines et plus tard, cet os lamellaire primaire multidirectionnel pénètre dans les extrémités fracturaires. À 16 semaines, l'os immature a pratiquement disparu.

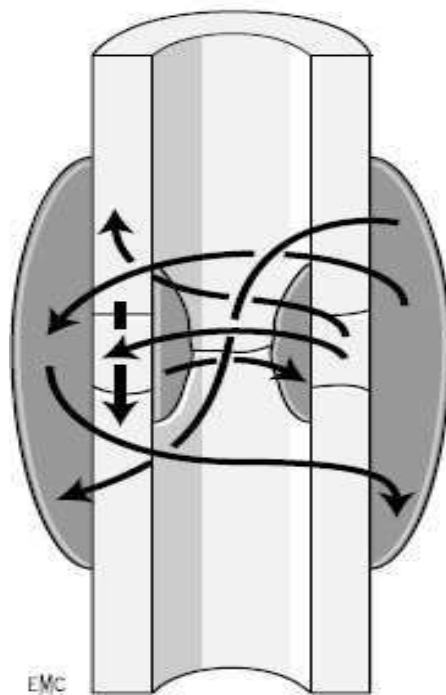


Figure 26:Cal dur

L'os lamellaire primaire est orienté dans tous les plans de l'espace car il se forme en fonction des contraintes

(Consolidation des fractures, J.-P. Meyrueis. EMC Rhumatologie-Orthopédie)

1.5. Remodelage

Bien que le cal dur soit une structure rigide offrant une stabilité biomécanique, il ne restaure pas complètement les propriétés biomécaniques de l'os normal. C'est le remodelage qui va rétablir une structure histologique normale de l'os. L'os lamellaire primaire à orientation multidirectionnelle va

être remplacé progressivement par de l'os lamellaire secondaire dont les ostéons sont orientés longitudinalement. Il est encore incomplet après 1 an, à 18 mois, l'os retrouve son architecture normale.

Au niveau cortical, ce remodelage est assuré par des dispositifs spécifiques regroupant plusieurs types cellulaires, des matériaux intercellulaires et des capillaires communiquant entre eux. Ces dispositifs ont été décrits par Frost en 1964. Il les a nommés bone modelizing unit : BMU. Histologiquement, l'unité comporte une tête foreuse constituée par un ensemble d'ostéoclastes travaillant côte à côte au sommet hémisphérique d'un canal ; ils résorbent le tissu osseux dur. Les ostéoclastes coiffent un capillaire qui les suit dans leur progression à l'intérieur de l'os compact. Les vaisseaux sont eux-mêmes accompagnés de cellules qui se différencient en ostéoblastes. Ceux-ci déposent l'os en lamelles concentriques sur les parois du canal de résorption. Il se crée ainsi une structure de type haversien qui, dans l'os définitif, s'oriente en fonction des contraintes mécaniques.

Au niveau du site fracturaire la résorption est intense, ce qui confère à l'os un aspect porotique, certains auteurs parlent même de « spongialisation ».

Cette spongialisation est donc un phénomène normal et temporaire de remodelage qui va ralentir avec le temps. Chez l'homme, l'aspect porotique, signe de remodelage, est visible radiologiquement après un délai de 4 semaines et la restauration complète demande plus d'un an.

1.6. Le modelage :

Le modelage c'est le processus qui rend à l'os son aspect général initial, le cal externe se résorbe, le canal médullaire se restaure. Il dure plusieurs années, il est limité chez l'adulte et peut être complet chez l'enfant.

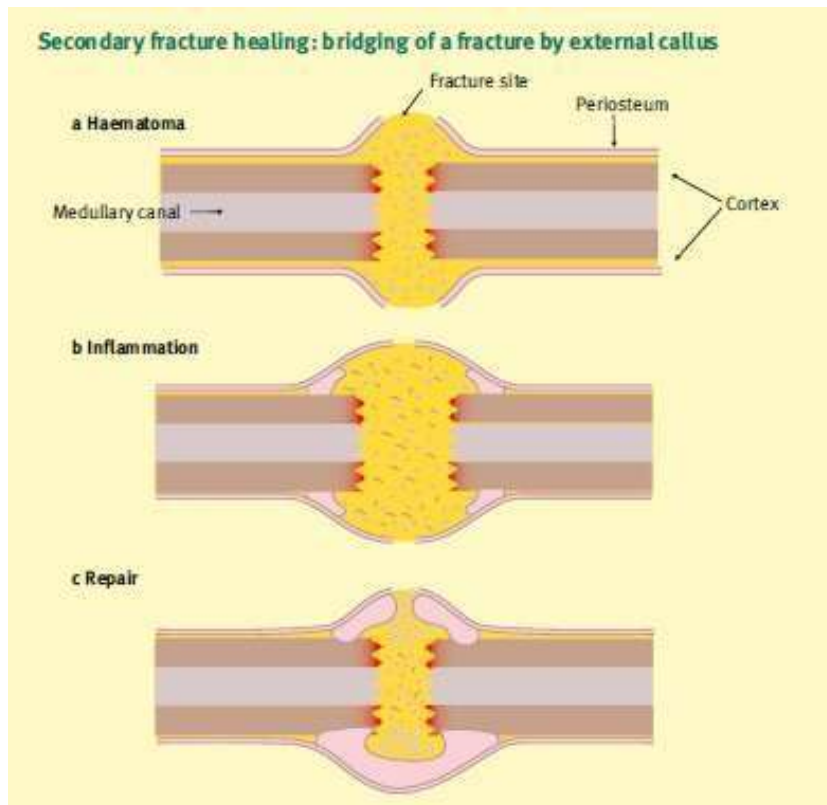


Figure 27:Schéma montrant la consolidation indirecte ou secondaire (Rajeev Jahagirdar.Principles of fracture healing and disorder of bone healing)

2. La consolidation directe :

La consolidation directe ou primaire signifie que ni tissu conjonctif ni cartilagen'a été présent avant la formation de l'os.

Ce type de consolidation nécessite :une réduction anatomique correcte (espacefracturaire $<200\mu\text{m}$) une immobilisation stricte du foyer fracturaire Quand ces conditions sont remplies les ostéoclastes creusent des tunnels a travers lafracture, les ostéoblastes suivent ces derniers, déposent de

la matrice osseuse et rétablissent la continuité entre les systèmes haversiens, ce type de consolidation est comparable au remodelage naturel de l'os.

Tableau 12: Tableau montrant le type de consolidation selon le type du traitement

Traitement	Type de consolidation
Orthopédique	Secondaire : ossification endochondrale
Fixateur externe	Secondaire : ossification endochondrale
Enclouage centromédullaire	Secondaire : ossification endochondrale
Plaque vissée	Primaire : Haversien

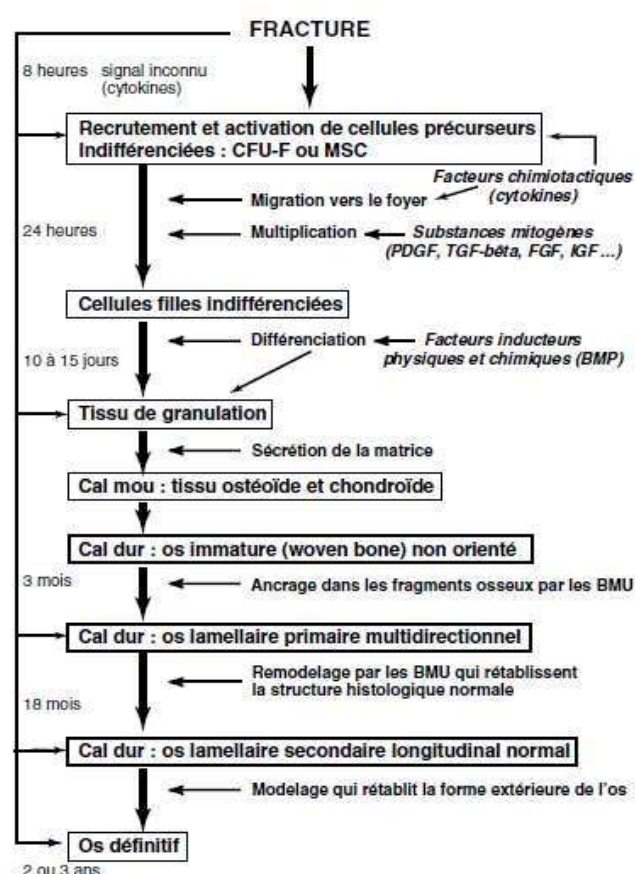


Figure 28: Schéma montrant les différentes étapes de la consolidation
(Consolidation des fractures, J.-P. Meyrueis. EMC Rhumatologie-Orthopédie)

II. Etude épidémiologique :

1. La fréquence :

L'incidence dans notre série qui était de 5,7% rejoint celle de la littérature puisque cette dernière varie dans les différentes séries de 1 à 10%. Le taux de pseudarthrose se situe le plus souvent autour de 3%[3]

2. L'âge et le sexe :

Tableau 13: Répartition des patients selon l'âge et le sexe dans différentes études

Auteur	Année	Nbr de patients	Age moyen	Sexe	
				Femme	Homme
Giannoudis[4]	2000	32	35	6	26
El Moumni[5]	2008	27	27	8	32
Panagiotis[6]	2008	30	33,7	6	24
L.Talibi[7]	2017	20	34 ,8	2	18
Notre série	2020	20	38,4	3	17

La forte prédominance masculine et le jeune âge sont notés dans toutes les statistiques.

Cette prédominance peut être expliquée par le fait que le sujet jeune de sexe masculin est exposé plus que la femme aux accidents de la voie publique et de travail.

3. ATCD/Terrain

Dans notre série deux patients étaient diabétiques dont un est tabagique. Des associations significatives entre le tabagisme et le

développement de pseudarthrose ont été démontré par McKee et al [8].

Frey et al [9] ont conclu que le diabète contribuait à la survenue de la PSA. Le faible pourcentage de comorbidités dans notre étude peut être expliqué par le jeune âge des patients de la série.

Certains auteurs ont évoqué l'importance de certaines comorbidités qui pourraient avoir un rôle favorisant dans la survenue de la PSA, telles que la malnutrition, l'obésité morbide, l'immunodépression.

Chez les dialysés rénaux et les insuffisants rénaux chroniques, la consolidation est souvent retardée [7].

Tableau 14: Les facteurs de risque [7]

Facteurs généraux	Facteurs locaux
Malnutrition	Stase veineuse
Insuffisance rénale	Lymphœdème
Alcoolisme	Lésion vasculaire
Diabète-tabac	Artérite
Immunodéficience	Atteinte majeure des parties molles
Tumeur-Patient âgé	Antécédents de radiothérapie

4. Etiologie de la fracture initiale :

La relation entre type de traumatismes et type de patient est conforme à ce que l'on retrouve dans la littérature en termes d'énergie du traumatisme.

Les patients âgés de 60 ans et plus sont victimes pour la plupart (1 cas sur 2) de traumatismes à basse énergie, surtout des chutes de leur hauteur. La population jeune de l'étude (jusqu'à 59 ans) est majoritairement victime de traumatismes à haute vélocité comme les accidents de la voie publique ou les

chutes de plusieurs mètres (18 /18).

Tableau 15:Le pourcentage des AVP dans les traumatismes initiaux

Séries	Année	% des AVP dans les traumatismes causaux
Giannoudis[4]	2000	84%
El Moumni[5]	2008	88,78%
Panagiotis[6]	2009	80%
Kanakaris[10]	2009	80%
L.Talibi[7]	2017	90%
Notre série	2020	85%

III. Etude clinique et radiologique de la fracture initiale :

1. Lésions cutanées :

Dans notre série on a rapporté 2 cas de fractures ouvertes dont un stade I et une autre stade III selon la classification Cauchoix et Duparc.

Les résultats de notre série concordent avec celles des autres études comme en témoigne le tableau ci-dessous avec un faible pourcentage d'ouverture cutanée uniquement dans 10% des cas.

Tableau 16:Etude comparative selon l'ouverture cutanée de la fracture initiale

Série	Nombre de cas	Fractures ouvertes
Allouche	17	17,64%
Raoufi	19	5,3%
Arslan	12	10%
L.Talibi	20	10%
Notre série	20	10%

Arslan [11]a rapporté l'association de l'ouverture cutanée avec la pseudarthrose du fémur.

En effet, l'ouverture du foyer de fracture en dehors de toute infection doit faire envisager une consolidation plus lente, d'une part parce qu'elle traduit un traumatisme appuyé des parties molles avec risque important d'interposition musculaire qui serait non favorable à la consolidation, d'autre part cette ouverture cutanée perturbe la vascularisation musculaire et périostique locales, allongeant ainsi le délai de consolidation.

2. Lésions associées :

La fracture de la diaphyse fémorale est généralement causée par un traumatisme à haute énergie et peut être associée à de multiples lésions.

La prise en charge initiale doit prendre en considération les lésions associées.

C'est l'un des facteurs qui contribuent à l'incidence de l'infection profonde, et l'incidence de la pseudarthrose[7].

Leur association à une fracture du bassin peut mettre en jeu le pronostic vital et impose la réalisation d'un angioscanner à la recherche de signes de saignement actif.

Une fracture non contiguë de l'extrémité supérieur du fémur associée à la fracture de la diaphyse fémorale, surviennent dans 2 à 9% des cas.

La fracture du fémur associée à une fracture non contiguë de l'extrémité inférieur du fémur, surviennent dans environ 3% des cas. Il s'agit presque toujours d'une fracture supra- ou unicondylienne latérale [12] exceptionnellement d'une fracture de Hoffa ou fracture- séparation à trait

coronal du condyle fémoral médial.

Les lésions des parties molles du genou sont à envisager dans les traumatismes à haute énergie.

Les lésions du pivot central associées sont aux alentours de 10% à 20 % et des ligaments collatéraux de 15% à 20%[13], il s'agit d'une lésion associée classique mais dont le diagnostic est souvent retardé.

La fracture bilatérale du fémur constitue une association classique pouvant survenir dans 2 à 10% [13].

Chez un polytraumatisé la fracture du fémur peut, selon sa gravité prendre une place importante dans la sévérité du polytraumatisme. 20 % des fractures du fémur (4 cas) dans notre série ont été associées à d'autres lésions.

La présence de lésions associées semble être un facteur d'évolution de la pseudarthrose[7].

3. Etude radiologique :

Dans notre série les fractures du 1 / 3 moyen étaient majoritaires avec un taux de 70%.

Le 1 / 3 moyen est caractérisé par sa pauvreté vasculaire.

Benoit[14] a étudié tout particulièrement le rôle du siège de la fracture ,il a divisé la diaphyse en 4 segments (Les segments 1 et 2 représentent la partie rétrécie du canal médullaire ; Le segment 3 correspond au début de l'élargissement du canal ; le segment 4 est la zone du tromblon proprement dit) et a trouvé que les zones 3 et 4 seraient des zones à pseudarthrose.

Cependant Yokoyama [15]a trouvé un taux élevé de pseudarthrose au niveau de 1 / 3 distal.

Yokoyama et al[15] ont également montré une relation significative entre les fractures de type C et les pseudarthroses.

En ce qui concerne notre étude, la taille réduite de l'échantillon ne nous a pas permis de trouver une relation entre le siège et la comminution de la fracture initiale et le risque d'évolution vers la PSA.

Nous avons remarqué lors de la collecte des cas de pseudarthroses que les patients qui ont présenté une fracture bifocale de la diaphyse fémorale ostéosynthétisée quelle que soit les moyens d'ostéosynthèse (clou, plaque) et malgré une réduction suffisante, un foyer a consolidé et l'autre a évolué vers la PSA.

Tableau 17: Etude comparative du siège initial de la fracture

	Année	Nombre de cas	Localisation au 1 / 3 moyen
Jorge[16]	2006	25	88%
El Moumni[5]	2008	108	90,74%
Rafaoui[17]	2012	17	52,94%
L.Talibi[7]	2017	20	60%
Notre étude	2020	20	70%

IV. Traitement de la fracture initiale :

1. Délai entre la fracture initiale et le traitement initial :

Le délai d'intervention suscite de nombreuses controverses. GROSSE[18], PAHUD[19] estiment que l'intervention urgente :

- N'augmente pas le risque de pseudarthrose pour l'enclouage.
- Diminue les complications cardiovasculaires.
- Facilite le nursing.
- Diminue la durée d'hospitalisation.
- Diminue le risque d'embolie graisseuse.

Ainsi que SEDEL WILBER [20] et CHARNLEY [21] ont noté qu'une intervention différée conduit régulièrement et plus rapidement à la consolidation et à un taux de pseudarthrose beaucoup plus bas que l'intervention urgente.

Dans une étude comprenant 89 fractures fémorales, la réduction opératoire a été réalisée en six jours pour 54 cas et entre sept et trente jours pour les 35 restants. Dans le groupe traité par une prise en charge chirurgicale précoce, l'incidence des retards de consolidation était de 18% et des PSA de 18%. Dans le groupe traité tardivement, l'incidence des retards de consolidation était de 3% et il n'y a eu aucun cas de PSA[22].

A noter que le traitement utilisé dans cette étude est la plaque (la plaque élimine l'hématome péri-fracturaire).

D'après Boss [23] chez le polytraumatisé surtout avec le traumatisme thoracique associé, le retard d'intervention augmente l'incidence des complications pulmonaires (pneumonie, syndrome de détresse respiratoire,

embolie graisseuse, et embolie pulmonaire).

2. Analyse du traitement initial :

La prise en charge de la fracture de la diaphyse fémorale, quelle que soit l'étiologie, est devenue presque exclusivement opératoire dans les pays développés. Dans les pays en voie de développement les méthodes conservatrices telles la traction ou le plâtre restent encore utilisées[24].

Une fois le patient est stable sur le plan hémodynamique, les différents traitements d'une fracture de diaphyse fémorale incluent un système de fixation interne ou externe (Figure). L'enclouage centromédullaire et la plaque vissée sont les deux principales techniques utilisées. Chaque prise en charge comporte des avantages et des inconvénients et il est important d'ajuster chaque traitement à la fracture en tenant compte de plusieurs paramètres (les comorbidités du patient, ses capacités de rééducation et l'expérience du chirurgien dans une méthode)[24].

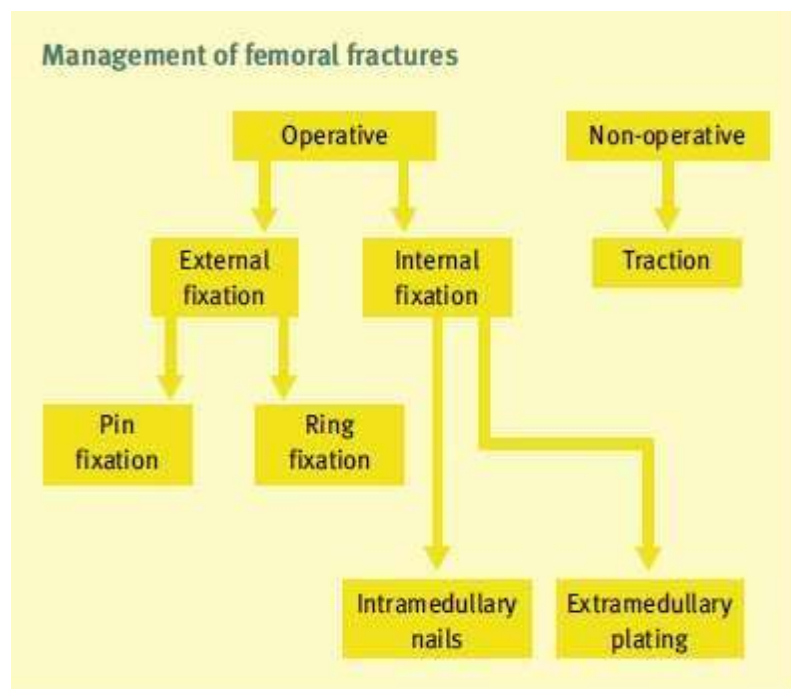


Figure 29:Les différentes PEC de la fracture de la diaphyse fémorale

a. L'enclouage centromédullaire

L'ostéosynthèse de la fracture est dans 16 cas sur 20 un enclouage centromédullaire. Cette technique est la plus utilisée dans notre série, est également la technique de choix dans les travaux rapportés par Gelalis et al. [25] ou Buijze et al [26].

Il a l'avantage d'être moins invasif comparé à une plaque et apporte la stabilité nécessaire tout en permettant la marche en charge jusqu'à douleur.

Dans un deuxième temps, il offre la possibilité de dynamiser le clou ou de l'échanger.

L'enclouage avec ou sans alésage :

L'alésage permet l'implantation de clou de diamètre plus important mais altère la vascularisation endomédullaire.

A-Bing Li et al [27] ont préconisé après une métaanalyse incluant 8 études randomisées portant sur 1078 patients l'utilisation de l'alésage lors du traitement de la fracture de la diaphyse fémorale puisque l'enclouage avec alésage a été corrélé à un délai de consolidation plus court, un taux réduit de pseudarthrose et de retard de consolidation.

Ils ont aussi conclu que l'enclouage avec alésage n'augmentait pas le taux de mortalité, de syndrome de détresse respiratoire aiguë par rapport à l'enclouage sans alésage.

Une étude canadienne a étudié l'incidence du syndrome de détresse respiratoire aiguë lors du traitement d'une fracture de la diaphyse fémorale par ECMV et n'ont trouvé aucune différence significative entre l'enclouage avec alésage et l'enclouage sans alésage [28].

Bonnomet et al[13] préconisent le recours systématique à l'alésage en dehors de quelques circonstances particulières (fracture du fémur avec signe d'embolisation graisseuse, fractures bilatérales du fémur avec une hémodynamique instable et/ou une gazométrie perturbée).

Verrouillage statique ou dynamique :

Dans le montage statique, le verrouillage est proximal et distal, il neutralise la rotation, le télescopage et l'angulation. Il permet la mobilisation immédiate mais non la mise en charge.

Dans le montage dynamique, le verrouillage n'intéresse qu'une des extrémités, la plus proche du trait de fracture ; il contrôle la rotation et permet dans les traits de fracture simples la mise en charge immédiate.

Omerovic et al[29] ont comparé entre l'enclouage à verrouillage statique et l'enclouage à verrouillage dynamique dans le traitement des fractures fémorales et tibiales et ont conclu que le délai de consolidation moyen était plus court lors de l'enclouage statique.

A.Khan[29] ont étudié 50 cas de fractures de diaphyse fémorale, ces cas ont été répartis en deux groupes, l'un traité par ECMV à montage statique et l'autre par ECMV à montage dynamique .

Le groupe traité par ECMV à montage statique a présenté moins de complications avec un délai de consolidation plus court.

Tableau 18: Tableau comparatif (montage statique VS dynamique) [29]

Complications	Montage statique	Montage dynamique
Liées à l'anesthésie	0	0
Infection	0	0
Raideur du genou	3	3
Retard de consolidation	2	0
PSA	0	0
Raccourcissement	0	1

Tableau 19:Le délai de consolidation moyen(montage statique vs montage dynamique)

	Montage statique	Montage dynamique
Délai de consolidation moyen	16,11 mois	19,37 mois

Le clou gamma long :

Chamoune et al[30] préconisent l'utilisation du clou gamma long dans les fractures sous trochantérienne du fémur à condition d'une technique rigoureuse, ils ont employé un clou gamma long chez 59 de fractures complexes sous trochantérienne.

La consolidation a été obtenue chez 57 cas (2 patients ont présenté une PSA).

Le nombre de complications mécaniques était faible (migration de la vis céphalique 4 cas, clavettes de verrouillage cassées 9 cas, rupture du clou 1 cas).

b. La plaque vissée :

Dans notre série la plaque vissée n'a été utilisée que dans 4 cas sur 20. Jusqu'à la fin des années soixante-dix l'ostéosynthèse par la plaque vissée a été le traitement le plus utilisé pour les fractures de la diaphyse fémorale où elle a commencé à céder la place à l'enclouage centromédullaire.

Les inconvénients de cette ostéosynthèse sont multiples: vaste voie d'abord cutanée, déperiostage néfaste à la consolidation avec risque de nécrose osseuse, qualités mécaniques médiocres imposant une décharge stricte de 2 à 3 mois, risque élevé de refracture après ablation du matériel.

L'ostéosynthèse par plaque vissée doit respecter certaines règles Impératives :

- Utilisation d'une plaque assez longue et assez résistante pour supporter les énormes contraintes auxquelles elle serait soumise.
- Déperiostage limité, réduction parfaite et impaction par appareil à compression (tendeur de plaque), ou utilisation de plaque DCP.

La technique mini-invasive permet en respectant le périoste et les tissus mous environnants par absence d'abord chirurgical une synthèse biologique avec conservation de l'hématome comme lors de l'enclouage centromédullaire.

Elle diminue le temps de consolidation, l'alitement et les complications de décubitus, en autorisant la remise en charge si le montage le permet.

c. La fixation externe :

Pour les patients polytraumatisés la fixation externe peut être la méthode de choix dans un premier temps. Une fois le patient en état de subir une intervention chirurgicale le fixateur externe est converti en enclouage

centromédullaire[31]

V. Pseudarthrose :

1. Définition et diagnostic de la pseudarthrose :

Une définition uniforme pour la pseudarthrose n'existe pas.

La consolidation est dite retardée (environ 5 à 10% de toutes les fractures) si elle n'a pas eu lieu dans le laps de temps attendu, généralement dans les trois à six mois, mais qu'elle continue à progresser et que le processus de guérison reste incertain[32].

La FDA (Food and Drug Administration) américaine définit une pseudarthrose comme une «fracture qui manque de potentiel de guérison sans intervention additionnelle», neuf mois après le traumatisme et 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.

Le diagnostic de pseudarthrose repose sur trois paramètres :

- Le temps écoulé depuis l'intervention,
- Les éléments radiographiques caractéristiques,
- L'expression clinique typique reconnaissable à l'anamnèse ou à l'examen [31] .

2. Les facteurs étiopathogéniques de la PSA :

Plusieurs facteurs peuvent être responsables de la PSA, on peut schématiquement diviser ces facteurs en facteurs systémiques et facteurs locaux :

a. Les facteurs systémiques :

❖ **La malnutrition :**

La diminution des protéines affecte la formation du cal osseux.

Guarniero et al. ont montré dans leur étude l'importance du soutien nutritionnel protéique sur la consolidation des os longs.

La carence en vitamine B6 provoque des modifications osseuses qui provoquent un déséquilibre entre l'activité des ostéoblastes et ostéoclastes par une diminution marquée de l'activité du glucose-6 phosphate (G6PD) dans la région périostée et dans le cal en développement, cela suggère que le statut en vitamine B6 peut être important.

❖ **Diabète :**

La neuropathie diabétique pourrait être impliquée dans le mécanisme conduisant à la PSA, ainsi que la microangiopathie distale habituelle dans cette maladie.

Frey et al.[9] ont conclu que le diabète contribuait à la PSA de la cheville. Perlman et Thordarson⁴ ont trouvé un taux de 28% de PSA chez les patients diabétiques.

❖ **Tabac :**

Brown et al.[33] ont trouvé un taux de 40% de pseudarthrose chez les patients fumeurs vs 8% chez les non-fumeurs, la différence a été attribuée à une moyenne desaturation d'oxygène diminuée chez les tabagiques (78,5% vs 92,9%). Dans une étude prospective randomisée utilisant un modèle de lapin, Wing et al.[34] ont démontré que l'exposition chronique à la nicotine était associée à une diminution des taux de fusion vertébrale. L'arrêt du tabac avant la chirurgie, améliore le taux.

Feitelson et al. [35]a constaté qu'après 2 semaines de traitement par la nicotine le flux sanguin osseux diminuait.

❖ **Ostéoporose :**

La relation entre la guérison des fractures et l'ostéoporose est complexe et les preuves cliniques disponibles ne sont pas concluantes.

La recherche animale sur des rates ovariectomisées a montré une réduction significative de la masse osseuse et un retard de guérison des fractures. Les preuves disponibles suggèrent que l'ostéoporose semble retarder la maturation des cals et ralentit la guérison des fractures.

❖ **AINS :**

Le mécanisme de l'inhibition de l'ostéogénèse par les AINS n'est pas clairement élucidé. Les études animales montrent une réversibilité des effets des AINS lorsque le taux des prostaglandines E2 se restaure après un traitement de courte durée[36].

Il existe une corrélation entre la prise des AINS et la pseudarthrose, surtout lorsque les AINS sont utilisés pendant plus de 4 semaines[4].

Bien que tous les AINS inhibent la consolidation des fractures, il s'est avéré que la cyclooxygénase-2 (inhibiteurs de la Cox-2) affecte la consolidation des fractures plus que les AINS moins spécifiques[36].

Les preuves actuelles suggèrent que l'évitement des AINS dans la période post- opératoire peut empêcher les pseudarthroses.

Les AINS inhibent l'activité ostéogénique et la consolidation des fractures, dans une étude rétrospective de 228 patients Glassman et al.[37]ont rapporté un ordre ratio de PSA multiplié par cinq avec la prise des AINS.

b. Les facteurs locaux :

❖ **L'infection :**

L'infection peut contribuer à la pseudarthrose par le biais de la mort cellulaire. La réponse inflammatoire contre les bactéries crée des lacunes osseuses, perturbe la formation du cal et augmente les écarts entre les fragments.

❖ **Vascularisation inadéquate :**

L'étendue des lésions vasculaires est directement corrélée à l'échec de la réparation squelettique.

Cependant, les mécanismes exacts et les effets sous-jacents liés à l'ischémie sur la consolidation osseuse ne sont pas bien compris. Lu et al.[38] dans une étude animale, ont constaté que l'ischémie au site fracturaire a diminué la formation de la masse osseuse.

Reed et al.[39] ont démontré que le nombre des vaisseaux sanguins dans les PSA atrophiques était beaucoup moins que lors d'une consolidation normale, et ont conclu que la diminution précoce de la vascularisation peut empêcher la consolidation.

La perte sanguine est plus importante dans les fractures ouvertes. Karladani et al.[40] ont montré que le risque de développer une PSA était plus élevé chez les patients ayant des fractures ouvertes, le taux de pseudarthrose dans les fractures tibiales ouvertes de type III était de 20 à 30%.

❖ **La perte de substance osseuse :**

c. Facteurs liés au traitement :

Selon Watson-Jones il faut incriminer plus le chirurgien que les

ostéoblastes encas de PSA.

La stabilité du site fracturaire et les conditions mécaniques résultantes influencent la consolidation.

Epari et al.[41] ont montré que le manque de rigidité de la fixation augmentait le temps nécessaire à la consolidation des fractures.

La position des fragments est importante pour le processus de réparation, un diastasis de plus d'un millimètre peut être source de PSA évoqué dans les études animales.

Déperiostage excessif en cas de PV, taille de clou inadaptée ou verrouillage antéropostérieur insuffisant.

❖ **En cas de PV :**

- L'évacuation de l'hématome fracturaire et du blastème
- Le déperiostage plus ou moins entendu
- La persistance d'un écart inter-fragmentaire sous une ostéosynthèse ce qui ne stabilise pas parfaitement les micromouvements au niveau du foyer.

❖ **En cas de l'ECM :**

- Taille de clou inadaptée
- Mauvaise réalisation technique
- Réalisation d'un montage dynamique alors que le type de fracture aurait nécessité un montage statique ou le contraire.
- Verrouillage antéropostérieure insuffisant ne prenant pas la corticale opposée.

❖ **En cas de FE :**

- Le montage qui est insuffisamment rigide
- Intolérance cutanée locale au niveau des fiches du fixateur, constituant une porte d'entrée infectieuse, source de nécrose osseuse responsable d'une instabilité du montage.

Tableau 20: Les facteurs de risque de la PSA (Pseudarthroses aseptiques des os longs. Eric Thein ; François Chevalley. Revue médicale Suisse)

Localisation anatomique Fractures diaphysaires plus à risque que fractures métaphysaires; région sous-trochantérienne; avant-bras	Age Age biologique > âge chronologique
Hypovascularité Localisation par rapport aux vaisseaux nutritifs: col fémoral, humérus proximal, astragale, scaphoïde	Status nutritionnel Carence en calories, protéines, vitamines et oligoéléments
Dévascularisation locale Os et/ou parties molles, soit par le traumatisme, soit iatrogène (par exemple, déperiostage excessif, cerclages multiples...)	Comorbidités Diabète, vasculopathies, hypothyroïdie, déficience en hormones de croissance et oestrogènes
Syndrome des loges Double la durée nécessaire à la consolidation osseuse	Drogues Alcoolisme, tabagisme chronique
Position/mobilité des fragments Diastasis > 2 mm, fractures segmentaires, interposition de tissus mous, mobilité excessive des fragments	Médicaments AINS, anticoagulants, certains antibiotiques (ciprofloxacine), immunosuppresseurs, chimiothérapie
Status neurologique Lésions des structures neurales proprioceptives	Antécédents locaux Traumatisme, chirurgie, irradiation
Infection	

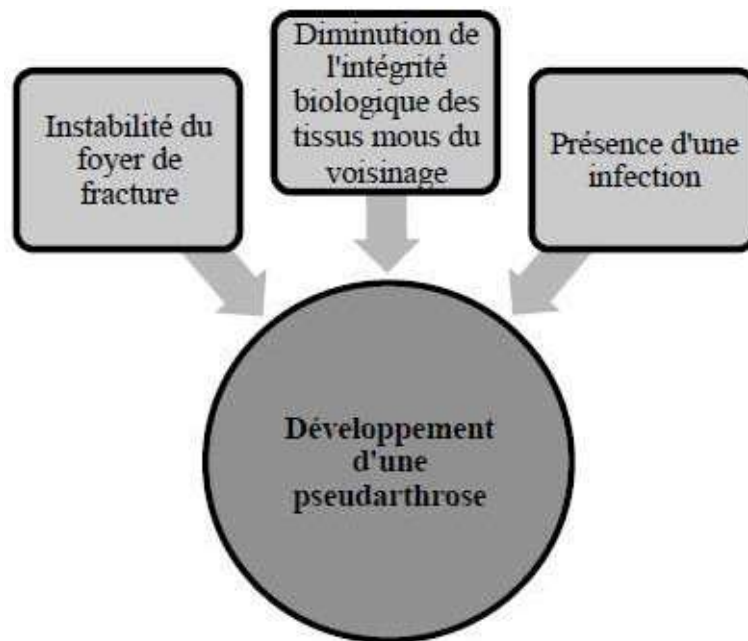


Figure 30: Les facteurs qui peuvent causer la PSA

3. Etude clinique et paraclinique de la PSA:

a. Signes fonctionnels :

- La douleur est le critère clinique prépondérant
- Une impotence fonctionnelle totale ou partielle
- Une limitation de la mobilité du membre

b. Signes physiques :

- Une douleur provoquée au niveau du foyer de la PSA
- Une déviation de l'axe anatomique
- Une inégalité de longueur des membres, un raccourcissement du membre traumatisé
- Une mobilité anormale du foyer fracturaire
- Une amyotrophie peut exister[31]

c. Les signes de la PSA septique

Ce sont les mêmes symptômes avec :

Syndrome infectieux local

Œdème, érythème et hyperthermie locale peuvent être des signes de l'instabilité en dehors de toute infection mais sont généralement absents dans la PSA aseptique.

La fistule oriente toujours vers une PSA infectée[42].

Et /ou Syndrome infectieux général

d. Imagerie de la PSA

➤ La radiologie standard

Elle constitue la base du diagnostic d'une PSA ainsi que pour sa classification.

Cet examen comportera des clichés radiographiques de face, de profil et parfois une incidence oblique.

Il est nécessaire de comparer des radiographies successives dans le temps afin de juger l'évolution du trait de fracture, la présence d'une continuité corticale, la présence du cal osseux.

On recherchera sur ces clichés des signes de non consolidation de la fracture :

- Ligne de fracture persistante
- Un épaissement sclérotique de part et d'autre du trait
- Une résorption progressive des berges du foyer
- Rupture du matériel d'ostéosynthèse
- Si la fracture est stabilisée au moyen d'un clou centromédullaire, l'absence d'un cal peut faire évoquer une pseudarthrose (Dans le cas de traitement par plaque le cal n'est pas toujours visible).

- L'élargissement du cal périphérique avec persistance du trait de fracture.

➤ **La TDM et L'IRM**

Leurs réalisation n'est pas systématique, elle est indiquée quand les radiographies n'ont pas apporté des informations suffisantes, surtout lors de pseudarthroses en région métaphysaire, ainsi que pour la planification préopératoire précise, le scanner est l'examen de choix, avec 100% de sensibilité et 62% de spécificité.[43]

L'IRM peut être demandée en cas de suspicion d'une pseudarthrose septique, avec la possibilité d'étudier l'étendue de l'infection, que ça soit au niveau de l'os ou des parties molles. Mais la présence de matériel d'ostéosynthèse perturbe de façon significative la qualité des images et la différenciation de l'œdème (post-traumatique, postopératoire, infection) n'est pas possible avec certitude. Ceci diminue la qualité d'évaluation des images. [43]

e. Biologie

Lors d'une PSA septique on peut noter une augmentation de la protéine C réactive(CRP), mais une CRP normale n'exclut pas une infection à bas bruit.[42] Chez les patients sans facteurs de risques évidents on pourrait être amené à demander un bilan endocrinologique avec dosage du calcium, de la vitamine D, du phosphate, de la phosphatase alcaline et de la thyroïdostimuline(TSH).[44]

4. Classification :

a. Classification selon weber et cech

Après réalisation de scintigraphie avec application de strotium radioactif, ils ont différencié les pseudoarthroses vitales /réactives disposant d'un potentiel de guérison intact des pseudarthroses avitales/aréactives avec un potentiel de guérison perturbé.

- Les pseudarthroses vitales/réactives regroupent la pseudarthrose hypertrophique (« patte d'éléphant »), riche en cal, la pseudarthrose légèrement hypertrophique (« sabot de cheval »), avec peu de cal, et la pseudarthrose oligotrophique, sans cal.
- Les pseudarthroses avitales/aréactives regroupent la pseudarthrose partiellement nécrotique (dystrophique), la pseudarthrose nécrotique (par comminution), le défaut osseux (perte de fragments intermédiaires, soit lors du traumatisme, soit par infection (séquestres)), et la pseudarthrose atrophique, qui correspond à l'état final des trois précédents types, et qui est déficiente de tout potentiel ostéogénique, avec des extrémités partiellement résorbées. A une certaine distance des extrémités, les fragments principaux sont vivants, seules les régions impliquées dans la pseudarthrose ont une vascularisation fortement perturbée

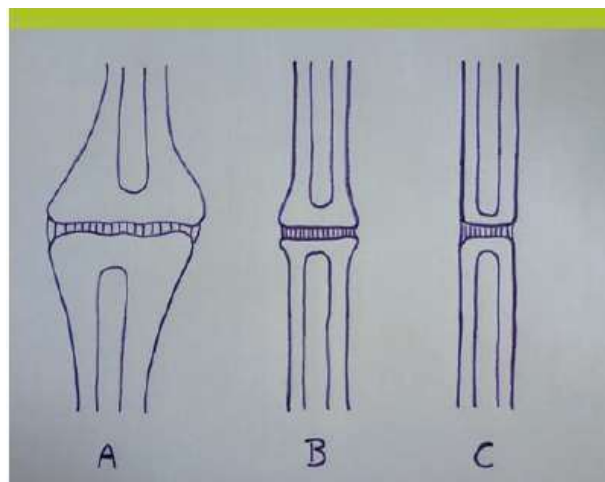


Figure 31: Schéma des PSA vitales

Schéma des pseudarthroses vitales/réactives selon la classification de Weber et Čech⁷

A. hypertrophique (« patte d'éléphant ») ; B. légèrement hypertrophique (« sabot de cheval ») ; C. oligotrophique (sans cal).

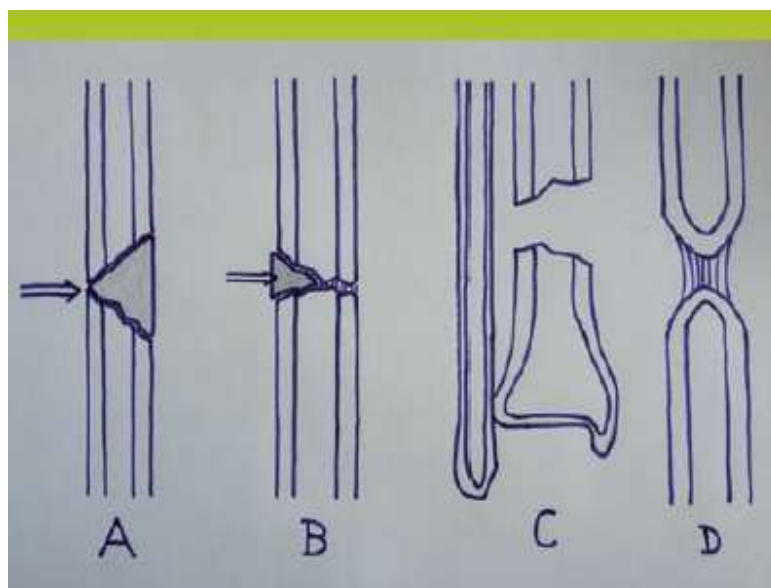


Figure 32: Schéma des PSA avitales

Schéma des pseudarthroses avitales/aréactives selon la classification de Weber et Čech⁷

A. partiellement nécrotique (dystrophique) ; B. nécrotique (par comminution) ; C. défaut osseux ; D. atrophique. (E.Thein,F.Chevally.Pseudarthrose des os longs. Revuemédicales suisse)

b. Classification selon des critères radiologiques

Il est important qu'il y ait en pratique une classification simple sans avoir recours à la scintigraphie. Cette classification simple se base sur les critères radiologiques correspondant aux types de pseudarthroses citées :

PSA hypertrophique est caractérisée par une stabilité insuffisante mais une biologie préservée ; radiologiquement, la pseudarthrose hypertrophique montre une diminution du cal avec formation osseuse en patte d'éléphant ou à cheval.

PSA atrophique dans ce type la stabilité est suffisante mais la biologie est inadéquate; radiologiquement, la pseudarthrose atrophique montre typiquement une faible formation du cal autour d'un tissu fibreux

PSA oligotrophique entre les deux formes citées précédemment existent des formes intermédiaires. Ces pseudarthroses mixtes (appelées aussi pseudarthroses oligotrophiques) montrent une certaine vitalité et une stabilité suffisante sans aboutir à une consolidation et sans être purement d'un type ou d'un autre.

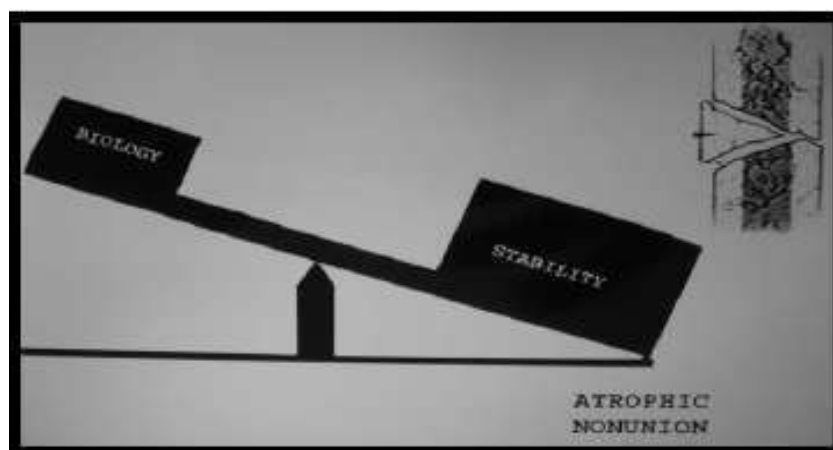


Figure 33:PSA Hypotrophique

La PSA est stable mais la biologie est inadéquate



Figure 34: Radio d'une PSA atrophique

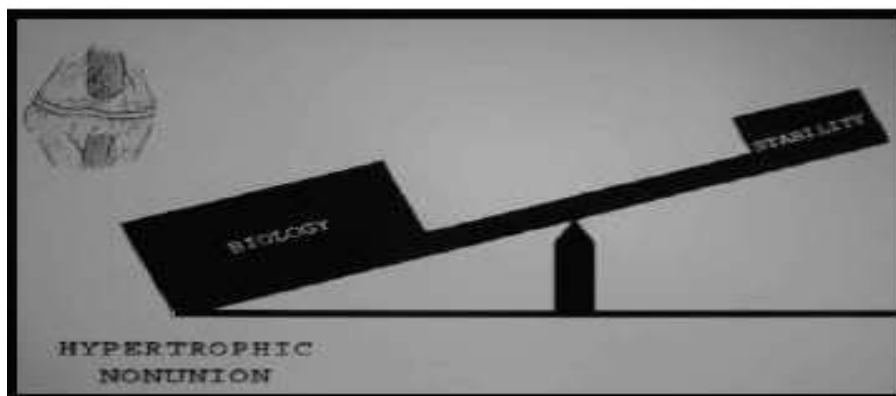


Figure 35: PSA hypertrophique La PSA est insuffisamment stable



Figure 36: Radio d'une PSA hypertrophique

Tableau 21: Comparaison des types de PSA dans différentes études

	Hypertrophique	Atrophique	Eutrophique
De Vries et al. 33 patients (fractures du tiers proximal de la diaphyse fémorale)	14	14	5
Echantillon CHUV 16 patients (fractures de la diaphyse fémorale)	2	7	7
L.Talibi et al. Traitement chirurgical des PSA de la diaphyse fémorale à propos de 20 cas. Marakkech	9	5	6
Notre série	11	7	2

L'évaluation des types de pseudarthroses se fait en fonction des images radiologiques et celle-ci est observateur dépendant. Cela peut expliquer la différencedé répartition entre les études.

5. Evolution vers la PSA :

La durée médiane du développement de la pseudarthrose est de 8 mois alors que la durée moyenne est de 13 mois.

10% des patients du collectif sont repris dans une période de moins de 6 mois. La définition littéraire de la pseudarthrose dit qu'un délai d'au moins 6 mois doit s'être écoulé avant de poser le diagnostic de pseudarthrose[31].Cela signifie que d'un point de vue purement sémiologique, un dixième des pseudarthroses de notre échantillon peuvent être considérées comme unions retardées à très haut risque d'évoluer en pseudarthroses.

La majorité des patients (13/20) sont repris dans une période allant de 6 à 12 mois. Cette durée correspond à ce qui est attendu en théorie. 20% des patients (5/20) sont repris pour la première cure après plus d'une année. La durée

D'installation de la pseudarthrose correspond au temps que certains signes mettront pour se manifester et rendre la cure de pseudarthrose nécessaire (douleurs inhabituelles ou persistante au-delà du délai d'union attendu, signes radiologiques typiques).

La diversité des temps avant cures mesurés dans l'échantillon s'explique:

Le patient repris à 3 mois avait présenté un arrêt d'évolution radiologique du processus de consolidation avec une cassure du clou.

Parmi les 5 patients qui ont été repris après 12 mois 4 ont présenté une

cassure de matériel d'ostéosynthèse associé à des images en <<pattes d'éléphant>>.

VI. Traitement de la PSA :

1. Historique :

La connaissance des pseudarthroses et de leur traitement remonte au XVIIIème siècle. Parallèlement à l'évolution des idées concernant la pathogénie des pseudarthroses, différents moyens thérapeutiques ont été développés.

On a considéré pendant longtemps que le tissu du foyer de PSA est un tissu de mauvaise qualité qui doit être réséqué.

Ce n'est qu'en 1935 que cette idée a été remise en question grâce à PAUWELS. La conception ancienne :

- En 1760, WHITE voyait que les tissus pseudarthrosiques sont de « mauvaise qualité » et préconisait la résection des foyers de pseudarthrose, afin d'obtenir la consolidation.
- En 1842, ASTLEY COOPER évoque la nécessité de respecter toutes les conditions mécaniques essentielles à la consolidation du cal, (le repos et une mise en pression des surfaces fracturaires l'une sur l'autre). Il préconisait, lui aussi, de réséquer les extrémités osseuses et de les aviver.
- En 1886, HAHN et NUSSBAUM décrivent pour la première fois, les pseudarthroses par perte de substance et préconisent un traitement par greffe du péroné.
- En 1918, MATTI comme l'avait décrit ASTLEY COOPER, met l'accent sur l'importance de la stabilité mécanique à apporter

dans le traitement des pseudarthroses et recommande le fixateur externe de LAMBOTTE.

- En 1920 ALBEE, 1921 HOFMANN, 1922 LEXER : Insistaient toujours sur la mauvaise qualité des tissus pseudarthrosiques et se basaient dans leur traitement sur la résection de la totalité du tissu pseudarthrosique ainsi que l'ouverture du canal médullaire et la stimulation de l'ostéogenèse osseuse corticale.

La nouvelle conception :

PAUWELS a introduit en 1935 la conception que le tissu de la pseudarthrose est susceptible de consolider si les conditions mécaniques et biologiques sont bonnes.

- J. Zahradniček a été l'une des personnalités principales impliquées dans le développement historique du traitement des pseudarthroses. En 1939, il a présenté ses résultats du traitement de 145 cas ainsi que leur classification. Il a également introduit le traitement par greffon cortical en cas de défaut osseux important.
- En 1958 les frères J. et R. Judet rejetaient le concept traditionnel d'infériorité biologique des pseudarthroses, puis en 1960, sur la base de deux études supplémentaires, différenciaient deux types de pseudarthrose complètement différents d'un point de vue biologique, la pseudarthrose avasculaire à extrémités nécrotiques et la pseudarthrose hypervasculaire à extrémités hyperostotiques

- B. G. Weber et O. Čech ont publié, en 1973, sur l'expérience des résultats obtenus d'environ 700 cas traités à St-Gall et à Prague, un monographe qui a offert un concept novice sur la pathophysiologie des pseudarthroses et introduit des guidelines thérapeutiques claires dans la pratique clinique. Celles-ci ont été validées depuis 40 ans, et la majorité d'entre elles reste valable de nos jours[32].

2. Le but et le principe du traitement :

Le but final du traitement est :

- La consolidation osseuse.
- L'utilisation indolore et la récupération de la fonction de l'extrémité concernée.

La consolidation osseuse est un processus dynamique qui est conditionné par plusieurs facteurs.

Le *diamond concept* décrit cinq conditions qui en sont les bases :[32]

- Stabilité mécanique ;
- Ostéogenèse : présence de cellules vivantes à potentiel ostéogénique ;
- Ostéo-induction : stimulation de la formation d'os nouveau par recrutement de cellules mésenchymateuses pluripotentes grâce à la présence de facteurs de croissance;
- autoconduction : échafaudage servant de matrice à l'incorporation de tissu périvasculaire et à la prolifération de cellules ostéoprogénitrices ;

- Vascularisation de l'os.

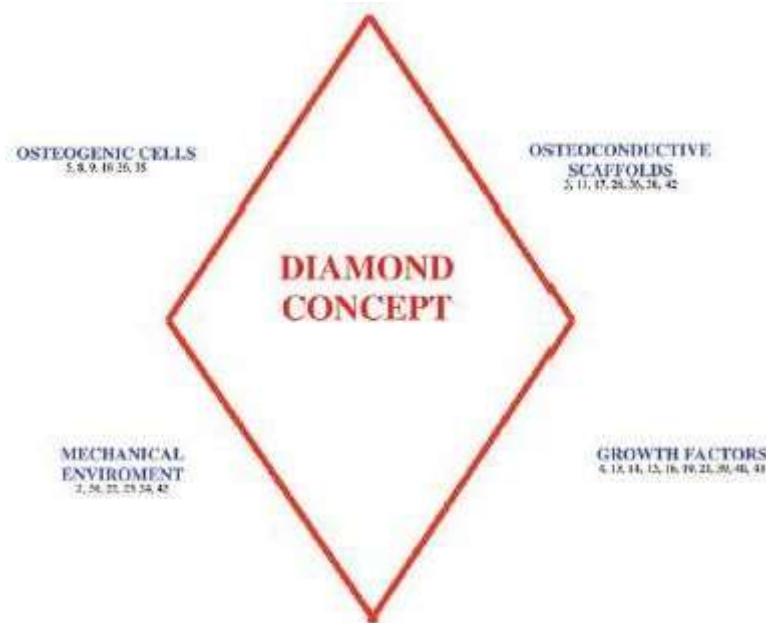


Figure 37: Le modèle "Diamond concept" de la consolidation osseuse

3. Abord du foyer :

a. Parage du foyer

Ce geste, destiné à exciser tout le fibreux de la pseudarthrose n'est en général pas nécessaire. Il risque de déstabiliser le foyer surtout s'il s'agit d'une pseudarthrose serrée. Il n'amène pas une consolidation plus rapide mais contribue à une dévascularisation plus importante. Parfois, ce parage peut être nécessaire pour la correction d'une déviation axiale, en permettant une meilleure mobilisation des fragments.

b. Reperméabilisation du canal médullaire

Elle impose un démontage du foyer avec les inconvénients cités précédemment si elle est réalisée à ciel ouvert. L'alésage du foyer de pseudarthrose, quand il est possible, permet de ne pas aborder le foyer et de réaliser un apport osseux par le produit d'alésage.

c. Excision de l'os nécrotique

La conduite à tenir vis-à-vis de l'os nécrotique n'est pas univoque. En effet, surtout séquestre doit être enlevé, il ne faut pas réaliser une excision extensive conduisant à une perte de substance massive de réparation difficile. Seules les pseudarthroses septiques peuvent imposer de tels gestes : l'excision doit, dans ce cas, être complète, quel que soit le sacrifice osseux qui en résultera, pour obtenir l'assèchement du site.

4. Stimulation de l'ostéogénèse :

a. Décortication :

La décortication ostéopériostée a été imaginée et mise en œuvre au début des années soixante par Robert et Jean Judet.

Son principe consiste à détacher au ciseau frappé des copeaux de corticale osseuse en les laissant adhérents au périoste qui les enveloppe et aux muscles qui s'y insèrent.

L'incision est faite, traversant la couche musculaire juxta-osseuse et le périoste. Avec un ciseau frappé fin et bien tranchant, on va soulever des copeaux de la couche superficielle de la corticale. L'attaque sera presque tangentielle à l'os. On détache de proche en proche sur 12 à 15 centimètres de hauteur de part et d'autre de la PSA les deux tiers ou les trois quarts de la circonférence de l'os. Les copeaux ont 1 mm à 1,5 mm d'épaisseur. On crée ainsi, tout autour de la pseudarthrose, un manchon de petits fragments qui joueront le rôle de greffons ostéo-périostés pédiculés bien vivants. L'hématome entre les copeaux et l'os joue un rôle important pour la constitution du cal.

Le manchon de copeaux périphériques sera épaissi rapidement en 2 mois et deviendra continu. La consolidation commence toujours à la périphérie et plus tardivement au niveau du foyer de pseudarthrose.

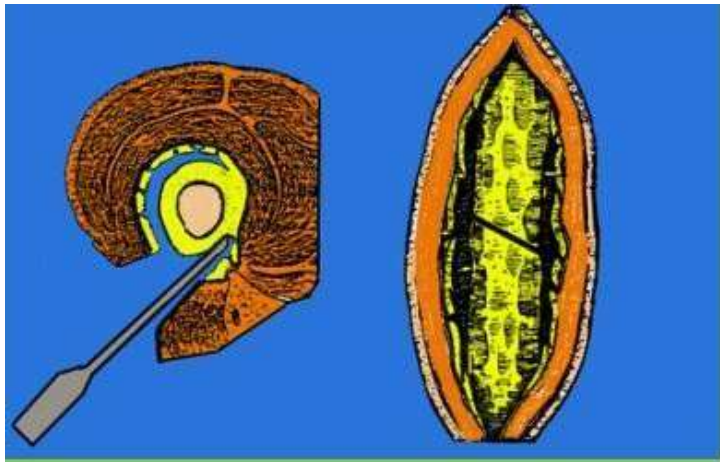


Figure 38: Décortication de Judet

Détachement par un ciseau frappé de nombreux petits copeaux osseux restants attachés aux muscle

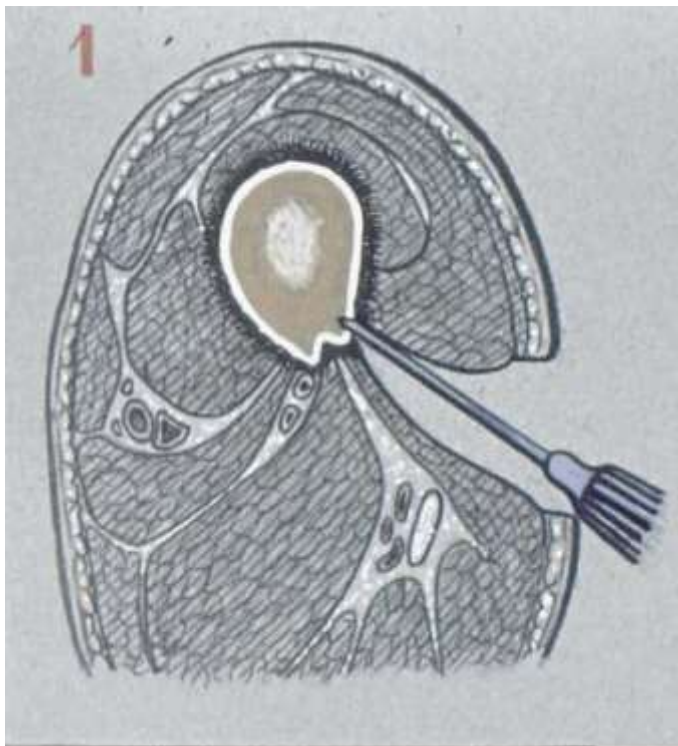
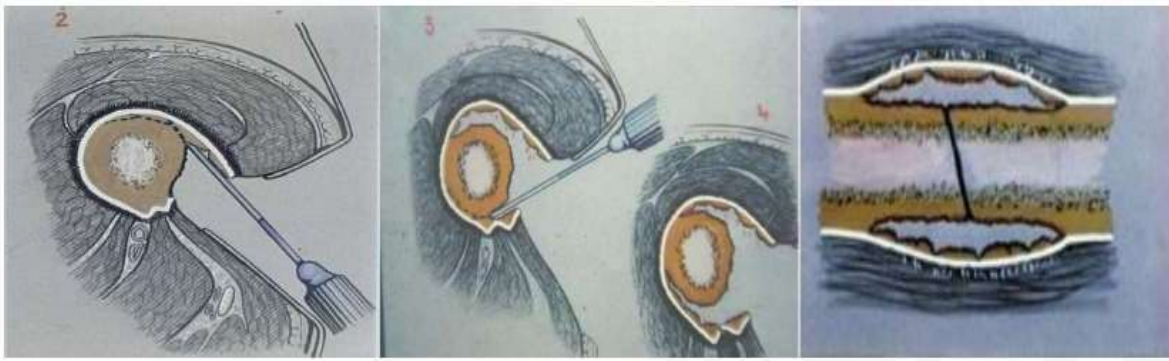


Figure 39: L'attaque de l'os de façon radiaire



**Figure 40: La création du <<fourreau >> de décortication sur 8 à 12 cm
de long**

TECHNIQUE :

On aura besoin de deux instruments :

- Un ciseau à os : il doit posséder un biseau et être parfaitement tranchant. Si le biseau n'est pas bien affûté la décortication est irréalisable. D'où l'intérêt de vérifier soi-même l'affûtage avant l'intervention.
- Un maillet : on utilise de préférence un maillet de « nylon » permettant un travail plus souple, plus précis et une meilleure perception de ce qui se passe au bout du ciseau.

Le chirurgien doit tenir le manche du ciseau à pleine main, le pouce au-dessus des doigts longs. Ceci lui permet d'avoir une tenue ferme, précise, et de guider son ciseau comme on le souhaite.

Pour le travail du biseau, le ciseau attaque l'os obliquement et le biseau revêt de ce fait une importance primordiale. Si le biseau est dirigé vers l'os, il tend, lors de son travail, à écarter le ciseau de l'os. La lamelle corticopériostée enlevée est très fine, voire inexistante, réalisant un dépériostage préjudiciable à toute consolidation. Si la planche du ciseau (côté plat opposé au biseau) est

dirigée contre l'os, le travail du ciseau se fait en profondeur.

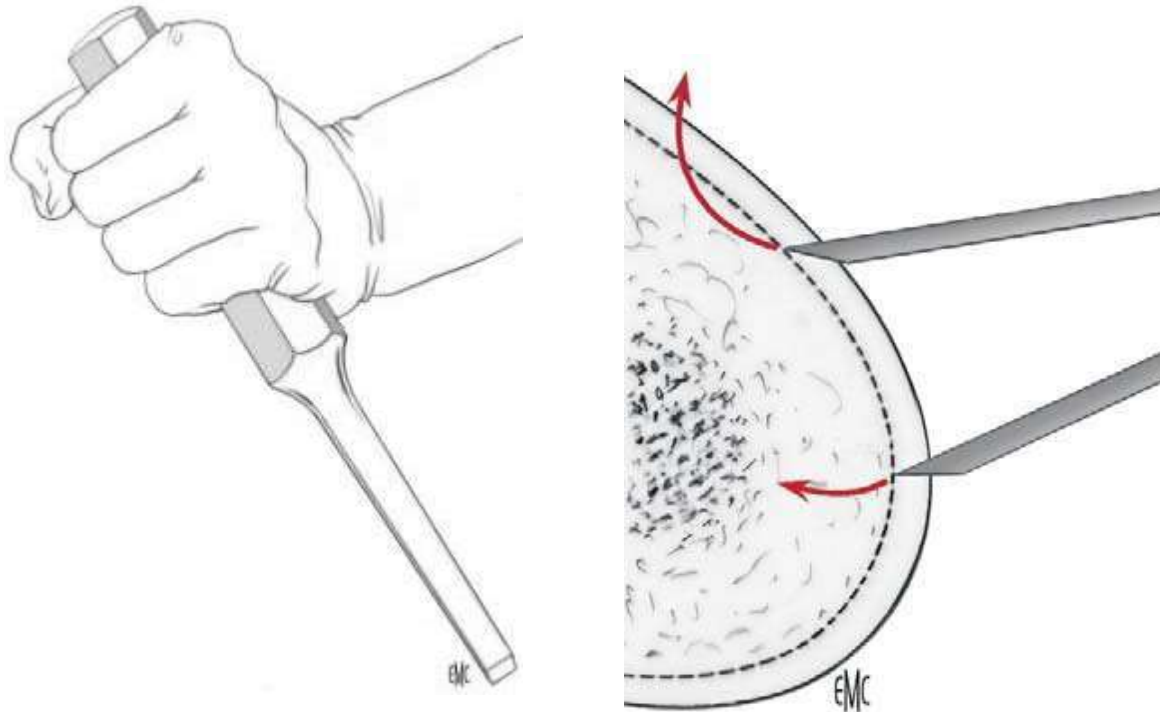


Figure 41:Travail du ciseau selon l'orientation du biseau **Figure 42:Tenue de ciseau (Traitement chirurgical des pseudarthroses diaphysaires aseptiques. J. Brilhault.EMCRhumato-orthopédie)**

La chronologie suivante doit être respectée pour que la décortication soit faite dans de bonnes conditions.

- Faire l'entaille du premier copeau ostéopériosté, planche contre l'os, pour obtenir une entaille de 2 à 3 mm de profondeur ;
- Retourner le ciseau et travailler le biseau contre l'os, progressivement, le ciseau remontant à la surface en détachant un copeau ostéomusculaire de bonne épaisseur ;
- Recommencer de la même façon pour le copeau suivant.

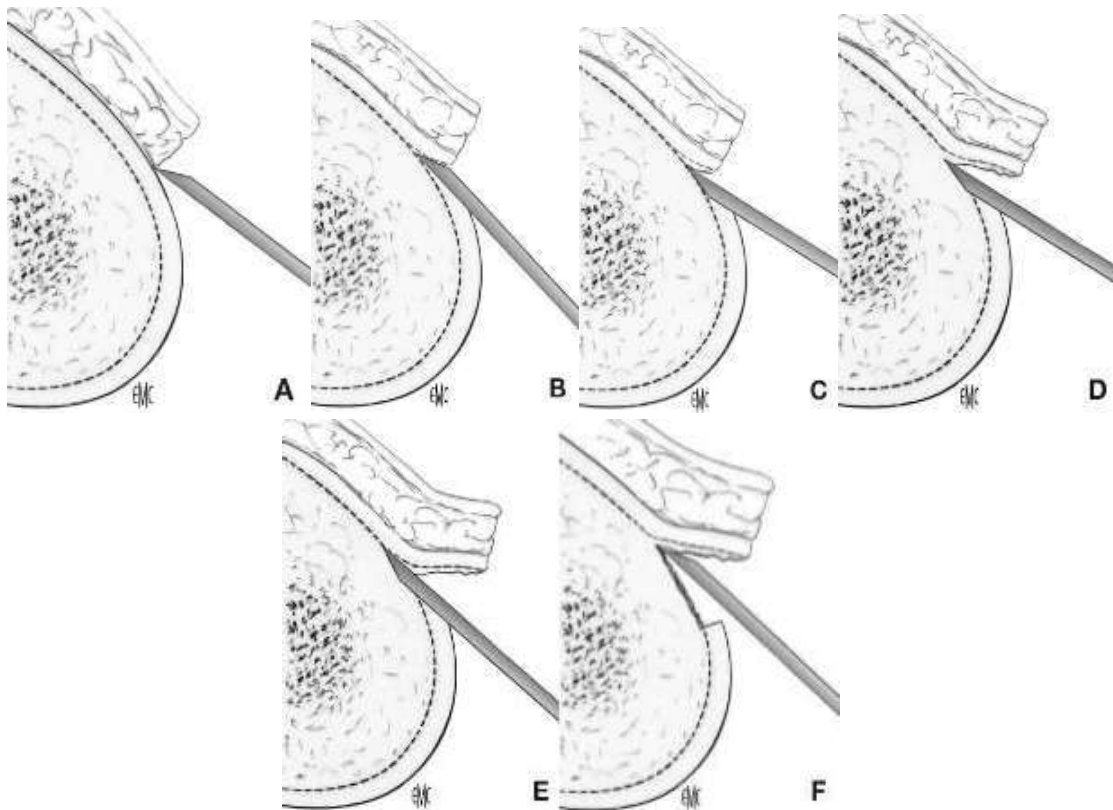


Figure 43:

Maniement du ciseau au cours de la décortication (A à F).

(Traitement chirurgical des pseudarthroses diaphysaires aseptiques. J. Brilhault.EMCRhumato-orthopédie)

Grefe osseuse :

➤ **Mécanisme d'action :**[45]

Ostéoinduction : les greffes osseuses autologues induisent une nouvelle formation osseuse, ce qui favorise la consolidation. Ils le font en fournissant des cellules ostéogéniques viables sur le site et en libérant des facteurs de croissance, qui induisent une réparation locale au site receveur en attirant de nouvelles cellules ostéoprogénitrices, en stimulant la différenciation ostéoblastique et en renforçant la synthèse de collagène osseux.

Osteoconduction : La greffe osseuse joue le rôle d'un pont au niveau de la fracture non consolidée ce qui constitue une liaison mécanique. L'os est considéré comme matériel ostéoconducteur lorsque sa structure sert de support passif pour la migration des cellules ostéogéniques de l'hôte. La formation du nouvel os se produira alors par invasion vasculaire et repopulation des cellules à l'intérieur de l'échafaudage.

Le comblement du defect osseux : la greffe agit non seulement par la stimulation de la consolidation mais aussi en apportant un soutien structurel.

➤ **Les types :**

Les greffons peuvent être de trois types : spongieux, corticospongieux ou corticaux.

La greffe spongieuse : ces greffons ont le plus grand potentiel ostéogénique mais ne fournissent pas un soutien structurel.

La greffe cortico-spongieuse : Ces greffons sont généralement prélevés au niveau de la crête iliaque. Ils offrent plus de soutien structurel que les greffes spongieuses pures et sont fréquemment utilisés pour ponter un defect osseux.

La greffe corticale pure : Ces greffons sont prélevés à partir de la crête iliaque ou du péroné. Ils sont utilisés pour combler les defects et fournir un soutien mécanique immédiat. L'union aux deux extrémités rétablit rapidement l'intégrité mécanique. Le prélèvement de greffe corticale augmente la morbidité du site donneur. Sur le site receveur, les greffons corticaux ont une incorporation plus lente que les greffons spongieux, une revascularisation moins rapide et fournissent moins de cellules ostéogéniques ainsi que de facteurs de croissance.

➤ **Technique de prise de greffons :**

Prise de greffons dans la crête iliaque antérieure :

L'accès facile de la crête iliaque antérieure permet de prélever des greffons corticospongieux de bonne qualité bien que le volume spongieux soit peu important (5 à 10 ml).

Les complications qui peuvent survenir sont : l'atteinte du nerf fémorocutané, la fracture de l'épine iliaque antéro-supérieure, la lésion de la branche postérieure du 12^e nerf thoracique, la perforation de l'aile iliaque.

Deux rapports nerveux sont à retenir. Le nerf cutané fémoral latéral (branche du plexus lombaire) et les branches du 12^e nerf thoracique.

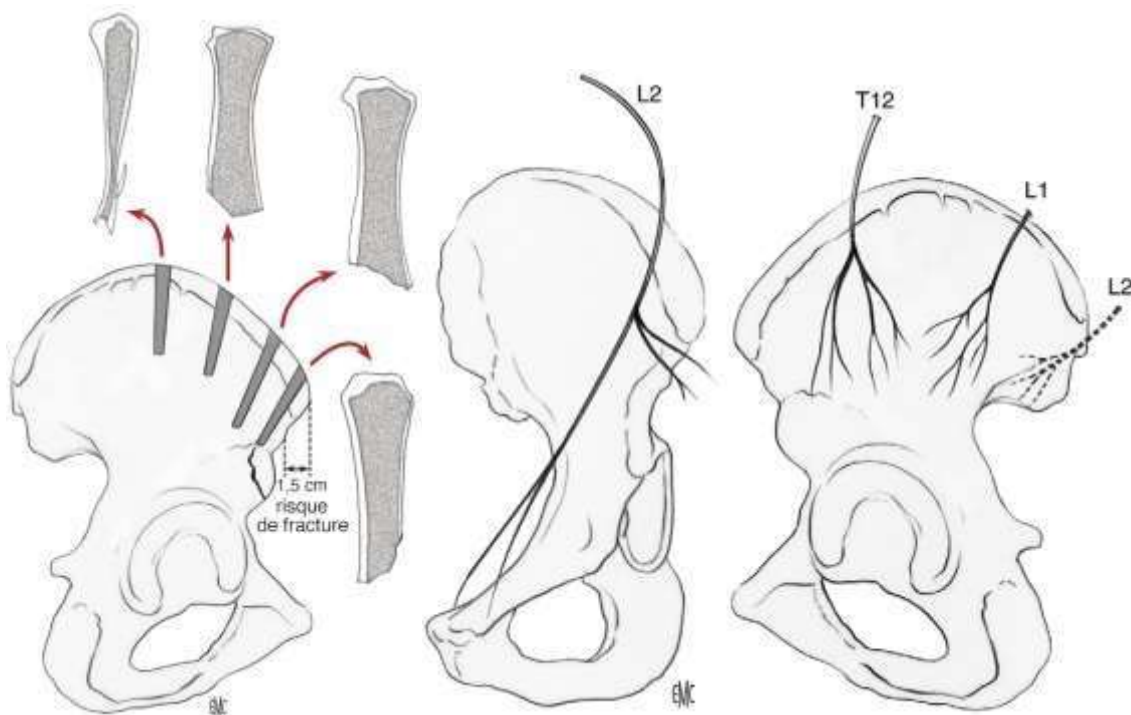


Figure 44: Architecture osseuse de l'aile iliaque.

Rapports neurologiques de l'aile iliaque.

(Traitement chirurgical des pseudarthroses diaphysaires aseptiques. J. Brillhault. EMC Rhumato-orthopédie)

Exposition de la crête iliaque antérieure :

L'installation du patient se fait le plus souvent en décubitus dorsal avec un coussin sous la fesse homolatérale. Elle peut se faire aussi en décubitus latéral mais il ne faut pas qu'il soit trop postérieur (il est prudent de marquer la crête et l'épine iliaque antéropostérieure).

L'incision cutanée est habituellement réalisée 1cm sous la crête. Il est possible, de décaler l'incision pour éviter qu'elle gêne en cas de port de ceinture ou pour la cacher plus haut dans un maillot. L'incision débute 1,5 cm en arrière de l'épine iliaque antérosupérieure pour ne pas léser le nerf cutané fémoral latéral et ne pas fracturer l'épine iliaque antérosupérieure en taillant un greffon trop antérieur. Sa longueur est fonction de la taille du prélèvement souhaité et de l'obésité du patient.

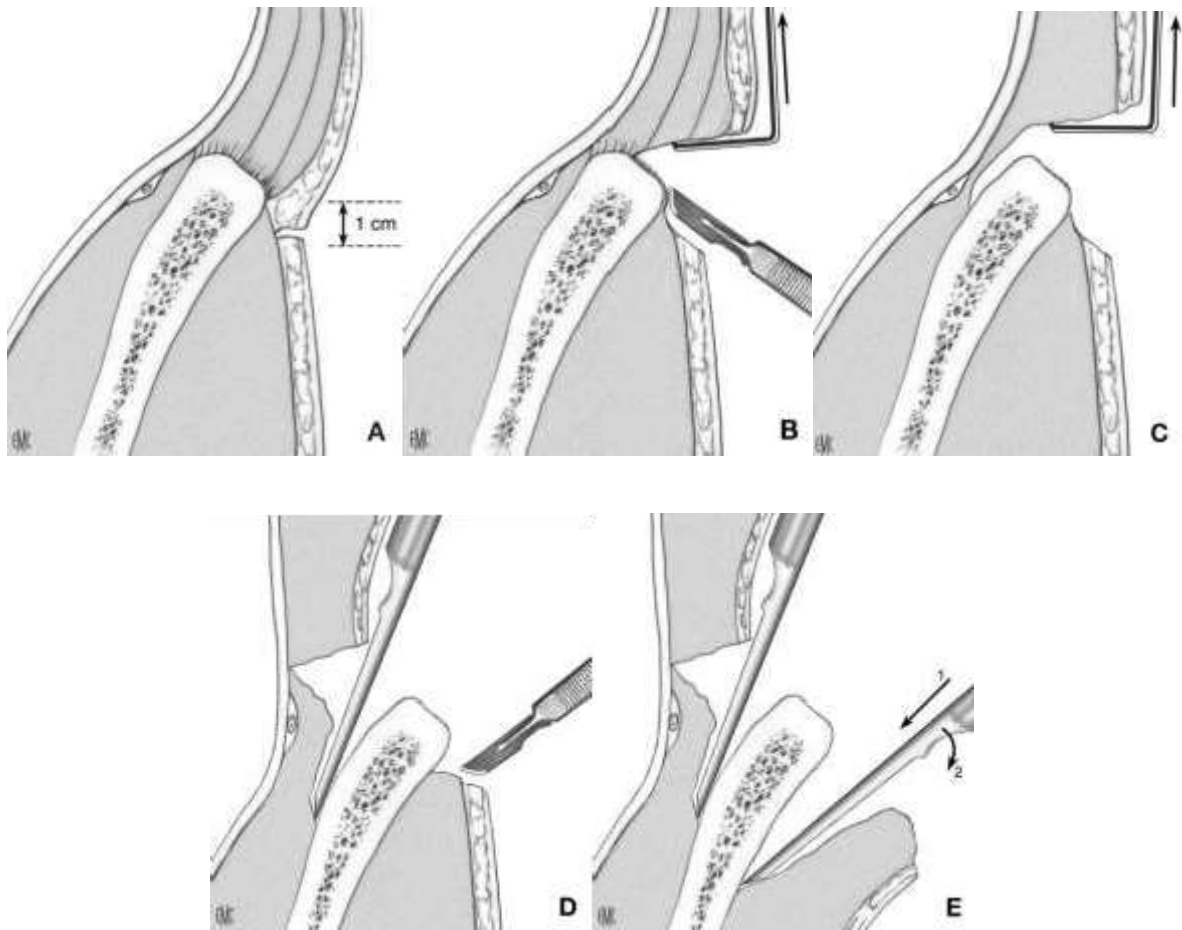


Figure 45: Exposition de la crête iliaque antérieure (A à E). (Traitement chirurgical des pseudarthroses diaphysaires aseptiques. J. Brilhault.EMC Rhumato-orthopédie)

Il faut repérer le bord inférieur des muscles abdominaux et relever ceux-ci jusqu'au bord supérieur de la crête (respecter le 12^e nerf intercostal en arrière du tubercule du moyen fessier). Il faut ensuite décoller le périoste au bistouri du bord externe au bord interne de la crête puis désinsérer toujours au bistouri le muscle iliaque de la crête jusqu'à voir la zone musculaire sur toute l'étendue du prélèvement

Prise d'un greffon en pleine crête (tricortical) :

Le site de prélèvement (antéropostérieur) et l'orientation du ciseau sont en fonction de la forme désirée pour le greffon et de la courbure de la crête iliaque. La zone de prélèvement (théorique) débute à 1,5 cm en arrière de l'épine iliaque antérosupérieure pour se prolonger jusqu'à 3cm en arrière du tubercule du moyen fessier où se situe la partie la plus mince de l'aile iliaque.

Une fois le site de prélèvement localisé, il faut réaliser la coupe postérieure

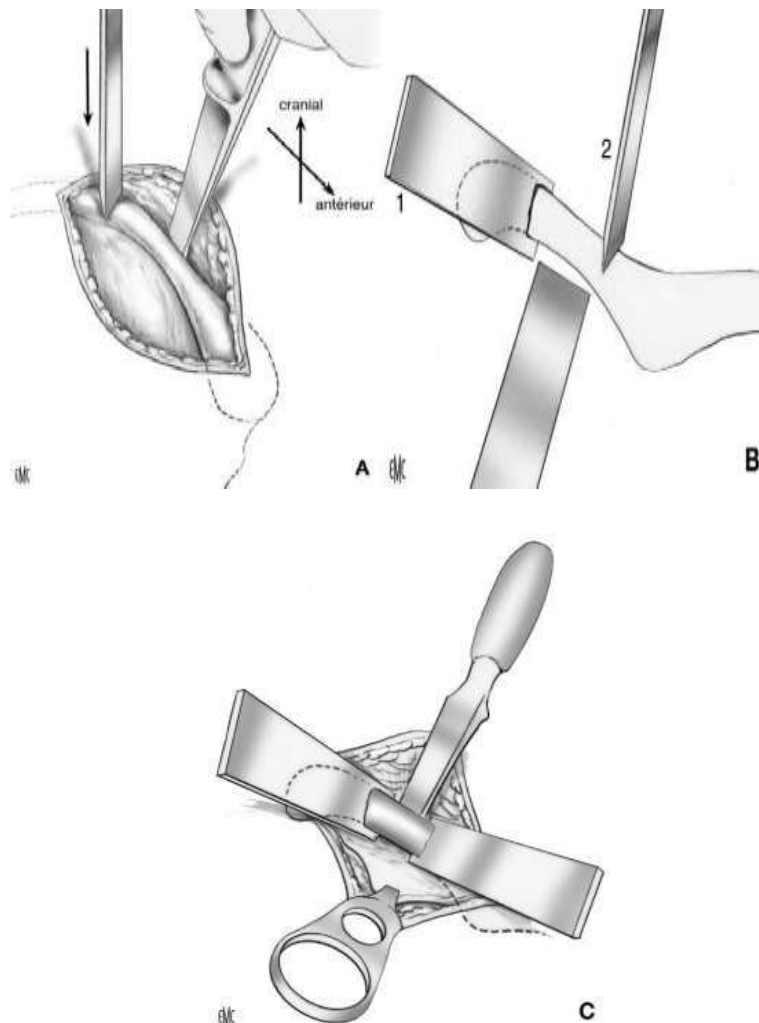


Figure 46:

Prélèvement d'un greffon tricortical sur l'aile iliaque antérieure (A, B, C).
(Traitement chirurgical des pseudarthroses diaphysaires aseptiques. J.
Brilhault. EMC Rhumato- orthopédie)

Dans le cas particulier de la prise de deux greffons de pleine crête juxtaposés, il faut réaliser successivement les traits d'ostéotomie suivants en laissant en place une lame de Pauwells dans chacun d'eux : trait antérieur, trait intermédiaire et enfin trait postérieur. Il ne faut pas libérer les deux greffons ensemble car le prélèvement complet du premier greffon rendrait difficile la prise du greffon adjacent. En effet, le défaut d'appui lié au défaut du premier greffon risque de fragiliser le second greffon lors de son prélèvement.

Fermeture :

Il faut suturer les aponévroses de fessiers et du muscle iliaque pour éviter les hernies. Vérifier qu'aucune compresse n'a été oubliée (et ne pas se fier au simple compte de celles-ci). Un drain de Redon sous-cutané est positionné (En évitant le nerf cutané fémoral latéral lors du passage de l'aiguille à l'aîne)

Les complications à éviter sont :

- L'atteinte du nerf fémoro-cutané ;
- La fracture de l'épine iliaque antérosupérieure ;
- La lésion de la branche postérieure du 12^{ème} nerf thoracique ;
- La perforation de l'aile iliaque ;
- L'oubli de compresses lors de la fermeture ;

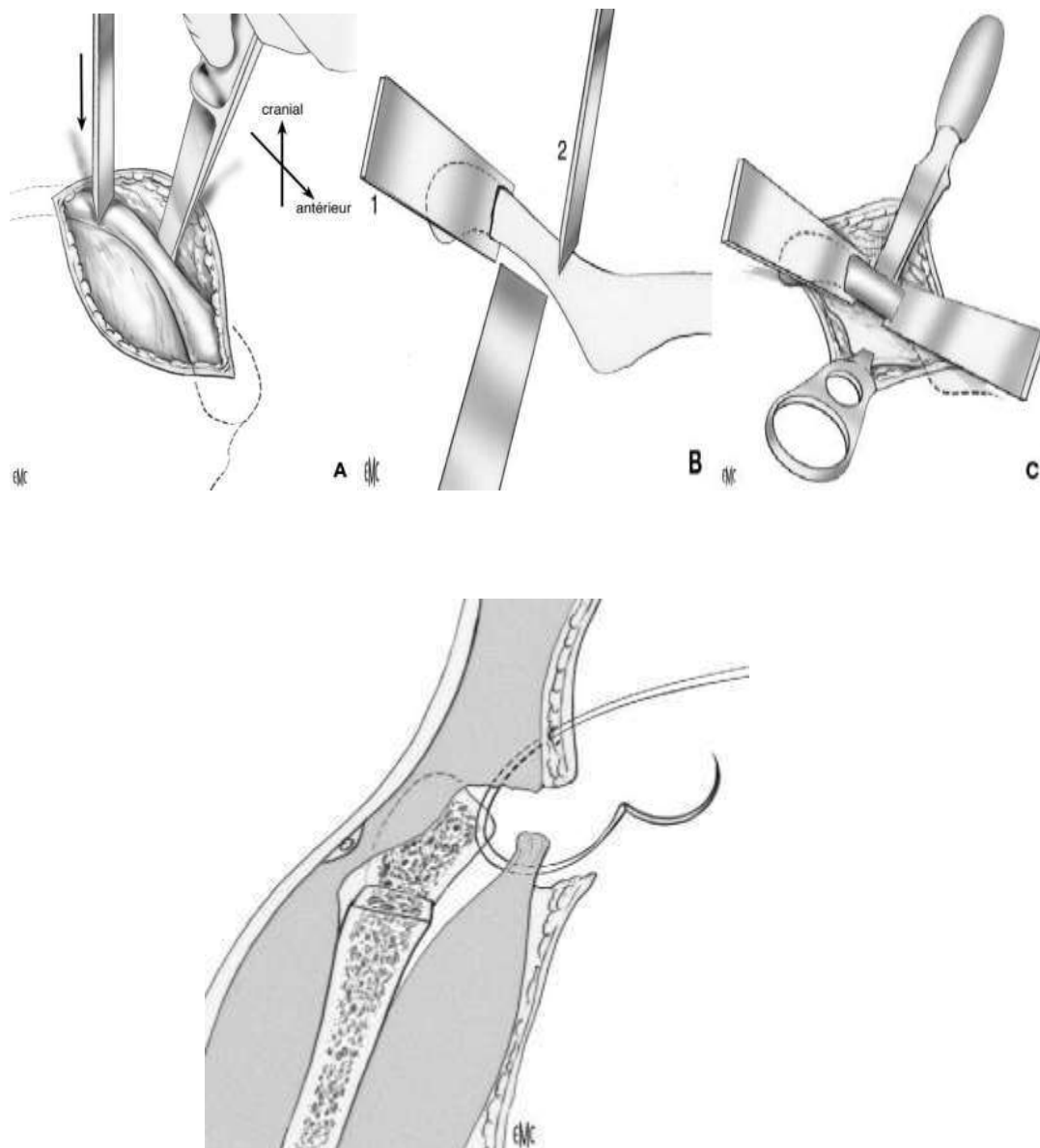


Figure 47 : Fermeture

**(Traitement chirurgical des pseudarthroses diaphysaires
aseptiques. J. Brilhault.EMCRhumato-orthopédie)**

Greffon crête iliaque postérieure :

Elle permet de prélever des greffons de grand volume et si nécessaire sur les deux crêtes dans une même installation. Cette installation se fait en décubitus ventral, le patient reposant sur les abords en postopératoire. Il n'est pas possible de prélever de greffon tricortical du fait de la présence de l'articulation sacro-iliaque.

Cette zone de prélèvement a été rapportée pour être la moins pourvoyeuse de douleurs postopératoires

Les complications à éviter sont :

- La lésion des branches postérieures des premier et deuxième nerfs lombaires
- L'ouverture de l'articulation sacro-iliaque
- La plaie de l'artère fessière dans l'échancrure sciatique
- L'oubli de compresses lors de la fermeture

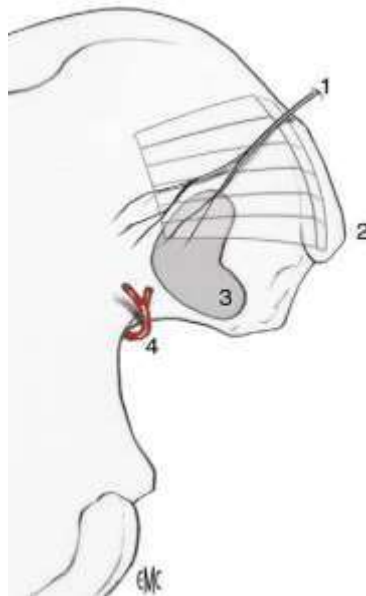


Figure 48 Rapports anatomiques de la crête iliaque postérieure.

1. Branche cutanée de L1 ; 2. épine iliaque postérosupérieure ;
3. projection de l'articulation sacro-iliaque ; 4. artère fessière
(danger anatomique).

L'incision cutanée doit être perpendiculaire au grand axe de la crête et parallèle aux rameaux nerveux cutanés pour limiter les lésions de ces derniers (et donc les douleurs postopératoires).

L'incision du périoste se fait entre les insertions du grand fessier et de l'aponévrose lombaire

Il faut ensuite mettre à nu la crête au bistouri. La fosse iliaque externe est exposée à la rugine. Cette exposition est maintenue à l'aide d'un écarteur de Hommanplanté dans l'os iliaque.

Techniques alternatives à l'apport spongieux :

L'alésage :

Le produit d'alésage peut réaliser un apport spongieux au foyer de pseudarthrose. Il peut être employé seul en dehors de l'enclouage centromédullaire.

Les greffes vascularisées :

Comparés aux greffons non vascularisés, ils ont une plus grande résistance mécanique pendant les six premiers mois après la transplantation. Cet avantage les rend idéales dans les grandes insuffisances squelettiques et dans les sites receveurs peu vascularisés. Les greffes vascularisées présentent une morbidité au niveau du site donneur et nécessitent un niveau élevé d'expertise technique.

Les greffes vascularisées nécessitent des périodes de protection prolongées pour prévenir les fractures tardives au site receveur.

Les greffes vascularisées ont prouvé leur supériorité par rapport aux autogreffes et aux allogreffes en termes de taux et de délai de consolidation. La littérature rapporte un taux de consolidation de 83% à 100% avec un délai de 5,1 à 7,5 mois [46].

Coulet et al[46] ont réalisés huit transferts de fibula vascularisés pour pertes osseuses métaphysaires (sept PSA du fémur et un chondrosarcome du tibia). La consolidation a été obtenue dans tous les cas avec un délai moyen de 6,4 mois. Les pertes de substance de plus de 7 cm sont de classiques indications aux greffes vascularisées.[47]

Les autres indications sont : les tumeurs, l'ostéomyélite, les anomalies congénitales osseuses.

Grefe selon papineau :

L'intervention de Papineau consiste en une excision-grefe à ciel ouvert en deux temps. La stabilisation du foyer est indispensable en utilisant le plus souvent un fixateur externe. La qualité de l'excision est jugée par l'apparition d'un bourgeon charnu qui couvre toute la cavité. La greffe est pratiquée entre le 10ème et le 15ème jour après l'excision. La cicatrisation est obtenue par épidermisation de surface.

Le traitement par Papineau au niveau de la diaphyse fémorale a permis dans la série de la Société Orthopédique de l'Ouest (SOO) qui était composé de 14 cas de guérir 100 % des patients [48].

Toutefois, s'il y a une large perte de substance. L'excision osseuse devant être prudente, elle est faite si besoin en deux temps [19].

Lortat[49] pense que cette technique doit être réservée aux cas qui ont une peau impossible à refermer après l'excision des tissus malades.

Les céramiques phosphocalciques :

Les céramiques sont des matériaux non organiques et bioactives. Elles possèdent des qualités mécaniques faibles. Elles sont implantées intimement

avec l'os, elles sont dissolues et dégradées suivant leurs compositions et leurs structures, ce qui aboutit à la précipitation des cristaux d'apatite : processus de calcification, ensuite peut se produire le processus d'ostéoconduction et de remodelage osseux haversien. Leur utilisation est aisée pour combler une perte de substance osseuse et également sert de revêtement de surface dans les prothèses non cimentées ou elles permettent une ostéointégration.

Perrier et al [50] ont obtenu 80% de consolidation au cours d'une étude à propos de 17 cas de pseudarthroses de la diaphyse humérale traitées par greffe de céramique phosphocalcique et greffe de moelle osseuse autologue.

Les autres traitements adjuvants :

➤ L'allo-greffe (substituts osseux et autres)

Les allo-greffes sont ostéoconducteurs, fournissant un échafaudage pour une nouvelle réparation. En outre, grâce à leurs couplages avec les protéines ostéo-inductrices, les allogreffes sont également faiblement ostéoinductrices. Cependant, contrairement aux autogreffes, ils ne fournissent pas de cellules ostéogéniques viables, et subissent une incorporation plus lente que les autogreffes. Par conséquent, elles sont moins efficaces pour stimuler la consolidation, portent également un plus haut risque d'infection.

Malgré ces inconvénients, la disponibilité sur le marché et l'absence de morbidité du site donneur ont conduit à l'utilisation croissante des allogreffes.[45] L'exemple typique d'une allogreffe serait les têtes fémorales prélevées lors des remplacements prothétiques de hanche.

➤ **Les protéines ostéoinductrices :**

Les plus connues sont le transforming growth factor b (TGF- β) et les bone morphogenetic proteins 2 et 7 (BMP). Les BMP-2 et BMP-7 recombinants ont été utilisées dans de grands essais cliniques qui ont montré que ces derniers ont une activité ostéoinductrice puissante.

L'utilisation systématique de BMP dans les fractures à risque de PSA permettrait de diminuer de 44% le risque de PSA[7].

➤ **Injection de moelle osseuse :**

La moelle osseuse a un potentiel ostéogénique intrinsèque en raison de la présence de cellules ostéoprogénitrices.

La moelle osseuse est généralement obtenue par une incision ouverte percutanée ou limitée à l'aide d'une aspiration à l'aiguille.

La moelle osseuse de la crête iliaque contient le pourcentage le plus élevé de cellules ostéogéniques et de facteurs ostéoinducteurs; par conséquent, c'est le site d'aspiration de choix[51].

Bien que le liquide aspiré soit hautement cellulaire, il contient à la fois des lignées de cellules hématopoïétiques et mésenchymateuses.

Les deux sont impliqués dans la formation osseuse, mais seule la lignée mésenchymateuse comprend les cellules ostéoprogénitrices, qui sont directement responsable de la formation osseuse. Malheureusement, la lignée mésenchymateuse ne représente qu'une petite fraction de les éléments cellulaires de la moelle osseuse[52].

La présence de ces cellules ostéoprogénitrices peut être confirmée par plusieurs méthodes biologiques.

Des études suggèrent que plusieurs facteurs peuvent altérer la composition de la moelle osseuse et le pool de cellules progénitrices : l'âge du patient, le sexe, le tabac, les corticostéroïdes, l'abus d'alcool et le vieillissement [53].

Les chercheurs ont évalué le nombre de cellules progénitrices nucléées qui étaient obtenu avec différents volumes d'aspiration et ont découvert que plus le volume d'aspiration est grand plus la concentration de cellules progénitrices d'ostéoblastes nucléées est diminuée et cela est dû à la dilution de l'échantillon de la moelle osseuse avec du sang périphérique. Une augmentation du volume d'aspiration de 1 à 4 ml provoque une diminution d'environ 50% dans la concentration finale.

En conséquence, les chercheurs ont recommandé que l'aspiration doit être limité à 2 ml ou moins pour maximiser la concentration cellulaire.

En outre, malgré que 20% à 25% de la variabilité cellulaire a été observée au cours des aspirations répétées chez le même patient, les chercheurs pensaient que près de 60% à 70% des variations étaient liées à la variabilité entre les sujets[51]. Ainsi, Cette solution paraît très prometteuse, mais elle nécessite un laboratoire à proximité.

➤ **Les champs électromagnétiques pulsés :**

Deux électrodes sont posées sur le membre de manière opposée vont délivrer des ondes électromagnétiques. Quand les ondes sont pulsées, un courant faible, similaire à celui créé par l'os en réponse à une déformation, traverse les tissus. Ce courant déclenche la minéralisation du foyer et induit la consolidation.

L'utilisation clinique des champs électromagnétiques dans le traitement des PSA date des années 70 avec un taux de consolidation proches de 80%[50]

➤ **Les ultrasons pulsés de basse intensité :**

Ils permettraient d'accélérer la formation du cal osseux primaire (enchondral) par une action spécifique sur les chondrocytes[54].

Le principal avantage de cette technique est son risque minimal.

➤ **Méthode de hyalocet :**

Selon A.C.TEKIN [55] l'utilisation d'Hyalonect semble être une méthode efficace dans le traitement chirurgical de la pseudarthrose, en particulier en l'absence de toute infection.

Une étude[55] qui a inclus 11 patients opérés d'une pseudarthrose en utilisant Hyalonect. Chaque patient a subi une réduction ouverte et une fixation interne. Une allogreffe a été appliquée sur la zone de pseudarthrose et recouverte d'Hyalonect. La consolidation a été obtenue chez les 11 cas avec un délai de consolidation moyenne de 6 mois.

➤ **Injection de plasma riche en plaquettes :**

La consolidation des fractures est un processus affecté par de nombreux facteurs. Bien que la PRP a été rapporté dans la littérature comme un traitement biologique qui augmente le taux, de consolidation, car reste un sujet controversé. Une étude faite par Say et al [56] comprenait 20 patients (8 patients avec un retard de consolidation et 12 patients avec une PSA).

Le sang prélevé sur les patients a été centrifugé pour séparer le PRP, qui a ensuite été activé par le chlorure de calcium. Le PRP préparé a été injecté dans la fracture au total trois fois par semaine.

La consolidation a été obtenue chez 6 des 8 patients qui présentaient un retard de consolidation.

Une étude de 21 cas a été faite par Philippe Chiron [57] sur des pseudarthroses aseptiques, stables, sans perte de substance osseuse majeure (inférieure à 5 millimètres) des os longs des membres supérieurs et inférieurs.

20 consolidations ont été obtenues dans les quatre mois qui ont suivi l'injection.

5. Moyens de stabilisation :

a. La dynamisation d'un enclouage :

Dans notre série un seul patient a bénéficié d'une dynamisation + décortication

+ greffe spongieuse.

La dynamisation du clou consiste à rendre un clou qui était verrouillé dynamique. Le retrait d'une ou plusieurs vis d'un clou verrouillé permet de rendre le clou dynamique.

Ce geste induit une redistribution des forces au niveau du foyer de fracture lorsque le membre est en charge. La tension qui s'exerce au niveau de la fracture stimule l'ostéogenèse et favorise l'union osseuse.

La dynamisation du clou induit le transfert des charges et permet d'obtenir la guérison. Ce type de prise en charge est relativement simple à effectuer mais nécessite une stabilité axiale de base. Il a été démontré qu'un délai relativement court (3 à 6 mois) entre la mise en place d'un clou centromédullaire verrouillé et la dynamisation du clou permet d'obtenir un taux de consolidation plus élevé comparé à une procédure plus tardive[31]. Si

le délai est plus long et qu'une pseudarthrose est établie, les chances de consolider la fracture avec une simple dynamisation sont plus faibles.

La dynamisation a permis d'obtenir un taux proche de 50% , la complication principale de cette méthode est le raccourcissement du membre de plus de 2 cm [58].

Basumallick et Bandopadhyay [10] ont suggéré que la dynamisation d'un ECM ouvert réduisait le temps nécessaire à la consolidation.

b. Changement de clou ou enclouage primaire :

Dans notre série l'enclouage centromédullaire a été majoritaire avec 79%, c'est le traitement de choix de la majorité des PSA fémorales, comme cela a été rapporté par plusieurs auteurs [25].

Cette méthode permet de partager les charges et offre la possibilité d'avoir une compression du foyer de fracture.

A noter que dans notre série l'échange a été fait avec un clou de diamètre supérieur au précédent environ d'un millimètre après alésage, cela permettrait une bonne compression et également une bonne stabilité du foyer.

L'alésage cause des dommages vasculaires considérables au niveau de l'endoste, ces dommages sont principalement causés par le premier alésage[25]. En revanche les fragments obtenus par alésage représentent une forte substance ostéoinductive.

En terme de consolidation de PSA après une première cure par ECMV nous avons obtenu un taux de 84% qui concordent avec les données de la littérature avec un taux avoisinant les 95% de consolidation avec un seul échange[31]. Il existe des études récentes qui remettent en question ce mode

opératoire constatant un taux d'union bien inférieur à ceux obtenus précédemment (notamment Weresh et al.)[59]

Kempf et al. ont évalué rétrospectivement les résultats de 27 PSA fémorales non infectées traitées avec enclouage centromédullaire verrouillé. Vingt-cinq des 27 (92,6%) pseudarthroses ont consolidé après une première opération dans un délai moyen de 15,7 semaines et les deux cas restants ont guéri après un second enclouage[25].

Une étude faite par Webb et al. sur 105 patients(61 retard de consolidation et 44 PSA) a rapporté un taux de consolidation global de 96% [60].

Dans une série de 72 patients la taux de consolidation a atteint 82% après le changement du clou et 18% ont nécessité un traitement supplémentaire[61] .

La contre-indication principale de cette technique opératoire est d'avoir des antécédents d'infections des tissus mous ou d'ostéomyélite.

c. ECM après plaque :

Quand la pseudarthrose survient sur une plaque vissée le choix le plus raisonnable est la conversion en ECM.

Wu et al [62] ont obtenu un taux de consolidation de 100% chez 21 patients avec pseudarthrose du fémur sur plaque traités par enclouage centromédullaire avec alésage.

d. Plaque vissée :

La plaque a été utilisée dans 17% du collectif, l'ostéosynthèse par plaque est également une technique efficace pour traiter la PSA du fémur.

Les inconvénients de cette technique sont la perte sanguine importante et le risque augmenté de l'infection. La mise en charge du membre doit être réduite parce qu'il y'a un risque de cassure de la plaque.

L'indication principale de cette technique est la PSA hypertrophique puisque ce type de PSA requiert une bonne stabilisation. Dans les PSA atrophiques ou oligotrophiques elle peut être associée à une greffe osseuse.

L'avantage de la réduction ouverte est l'accès au foyer qui permettra de placer les substances ostéoinductrices et la décortication.

Plusieurs études relèvent le manque de cohérence de l'enclouage + greffe puisque l'ouverture peu invasive lors de l'enclouage ne permet pas la mise en place des greffons au niveau de la pseudarthrose. Certains auteurs qui suggèrent d'éviter l'enclouage + greffe favorisent une prise en charge plutôt par ORIF(Open Reduced Internal Fixation)+ greffe en laissant le clou centromédullaire en place.[31]

Les taux d'union rapportés avec l'ostéosynthèse par plaque sont élevés [63].Ce taux est plus élevé lors de l'ostéosynthèse ouverte par plaque +greffe tout en laissant le clou en place[64].

Ostéosynthèse par plaque vissée en laissant le clou en place : (plate augmentation for femoral shaft nonunion after nailing)

Selon plusieurs études récentes c'est la technique avec le taux de succès le plus élevé[31].

Chin-Jung Lin et al[65] ont obtenu un taux de consolidation de 100% (22/22) en utilisant cette technique associée à une greffe cortico-spongieuse. Une étude multicentrique publiée récemment par Uliana et al[66]

a obtenu un taux de consolidation de 86% et a conclu que la technique devrait progressivement remplacer le changement d'enclouage pour la majorité des pseudarthroses fémorales qui surviennent après ECM.

Les résultats d'une méta-analyse chinoise [55] réalisée en 2020 où 506 patients ont été inclus ont montré que la technique de la plaque vissée en laissant le clou en place est jugée supérieure au changement de clou pour le traitement de la PSA de la diaphyse fémorale à la fois en peropératoire (temps d'opération plus court et moins de saignements) et en postopératoire (un taux de consolidation plus élevé avec un délai de consolidation plus court et taux de complications plus faible).

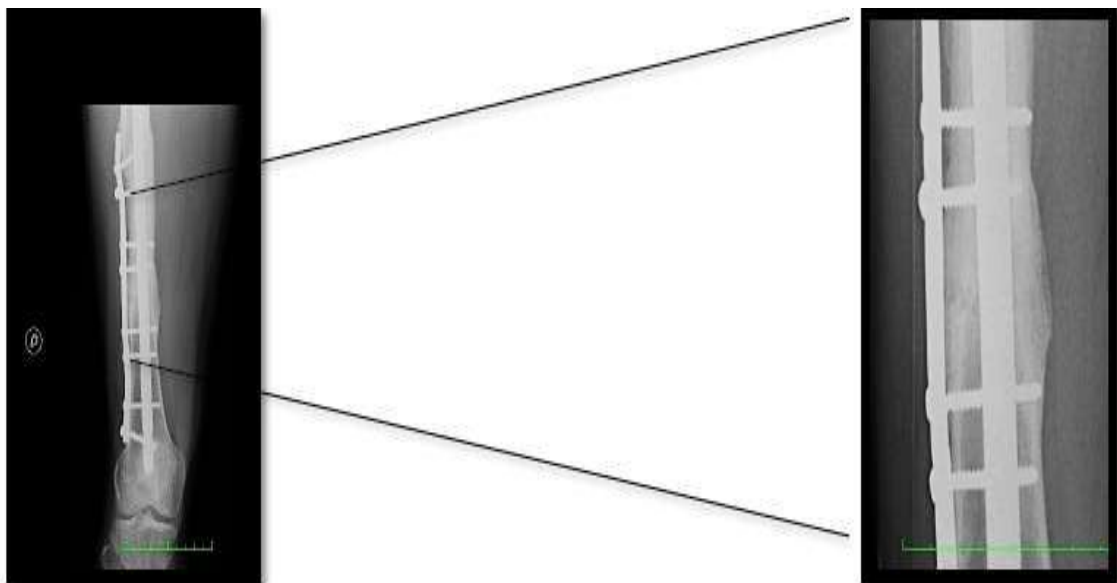


Figure 49: Une radio d'une PSA par plaque vissée tout en laissant le clou en place (B.Maeder *Revue de traitement chirurgical de la PSA fémorale. Université de Lausanne*)

Tableau 22. Plaque vissée en laissant le clou en place VS Changement de clou[55]

	Plaque vissée en laissant le clou en place	Changement de clou
Consolidation	98,7%	78,9%
Délai de consolidation moyen	9 mois	10,9 mois
Résultats per-opératoires	Délai plus court Moins de saignement per-opératoire	–
Complications (incluant l'infection et la persistance de PSA)	Moins de complications	–

e. Transport osseux par fixation et clou :

Cette technique n'est pas largement utilisée.

Il s'agit d'un transport osseux sur clou stabilisé par un fixateur externe.

Le clou mis en place a un petit diamètre pour faciliter le glissement des segments osseux, seule l'extrémité distale du clou est verrouillée. Puis un fixateur externe est mis en place et la compression est exercée. Dès que la consolidation est acquise, le fixateur est enlevé ; la présence du clou facilite la compression, limite les forces de cisaillement et de rotation et permet un appui total plus rapide.

Inan et al[67] ont étudié cette technique chez 11 cas de PSA , la consolidation a été obtenue chez tous les patients, cependant, la douleur nécessitant des agents analgésiques puissants et les complications liées aux broches consistant en une ostéomyélite, une arthrite septique et une rupture des broches dans le groupe des pseudarthroses atrophiques étaient une

limitation majeure de cette technique.

Une étude a été faite sur 37 patients (7 fémurs et 30 tibias) par Harshwal[68] sur le rôle de fixateur externe mono-latéral dans le traitement des pseudarthrose avec ou sans perte osseuse, et qui a montré une consolidation chez 34 cas (91,9%) avec un délai moyen de consolidation de 5 mois, 11,5% des patients ont été infectés.

VII. Suites opératoires-complications :

1. Complications Immédiates :

- L'infection : La fréquence de l'infection a diminué avec l'utilisation de l'antibioprophylaxie. Elle transforme une PSA aseptique en pseudarthrose septique dont le traitement associe schématiquement la stabilisation du foyer de pseudarthrose et le traitement de l'infection.
- Complications cutanées : à type de désunion ou de nécrose
- L'hématome
- Le déplacement secondaire qui peut survenir suite à un démontage de matériel.
- La paralysie : Les complications neurologiques postopératoires intéressent en premier lieu le nerf sciatique lors de l'ECM.
- la thrombose veineuse : elle doit être prévenue par un traitement anticoagulant préventif (héparine à bas poids moléculaire) en raison de la gravité vitale et des séquelles trophiques.
- l'embolie pulmonaire : l'alésage a été rendu responsable d'initier, voire d'aggraver la migration embolique, sa réalisation

technique doit répondre à des règles techniques strictes, ce qui diminue l'importance et la gravité de la migration embolique.

- Dans notre série, nous n'avons pas relevé de cas de thrombophlébites, d'escarres, d'infection urinaire ou d'embolie pulmonaire.
- Ceci peut être expliqué par l'âge jeune de nos patients et l'absence de comorbidités ainsi que l'utilisation de l'anticoagulation préventive et l'antibioprophylaxie.

2. Complications tardives :

Les complications les plus fréquemment rencontrées à long terme sont:

- Les cals vicieux : c'est la consolidation en mauvaise position : 10° pour le varus, 15° pour le valgus, 10° de rotation interne, 15° de rotation externe
- Le raccourcissement : Si le retentissement est important, il faut envisager une chirurgie d'égalisation du côté opposé.
- La neuroalgodystrophie :
 - La douleur
 - Les troubles trophiques : Ils sont favorisés par les lésions des parties molles, en particulier vasculaires et nerveuses, survenues lors du traumatisme initial, la longue immobilisation et parfois la thrombose veineuse
- la raideur articulaire : souvent secondaire à l'immobilisation prolongée.

- La fracture itérative.
- Socioprofessionnel et psychologiques: Une longue période d'inactivité due à des hospitalisations prolongées et répétitives.

La rééducation a été mise en route aussitôt que possible.

VIII. Résultats thérapeutiques :

1. Le taux de consolidation :

Tableau 23: Comparaison du taux de consolidation dans différentes études

Auteurs	Technique	Le nombre de cas	Consolidatio naprès une Cure	Consolidatio naprès plus d'une cure
Oh et al[69]	ECM sans greffe osseuse	15	15(100%)	15(100%)
Cove et al[70]	PSA aseptiques : 21 PV, 3 ECM ; 2 Fixateurs externes ; 2 greffes iliaques ; 1 greffe prélevée au niveau du condyle fémorale	31	25 sur 31 (81%)	30 sur 31 (97%)
Weresh et al[59]	ECMV alésés	19	10/19(53%)	18/19(95%)
Hak et al[71]	ECMV (8 cas à montage dynamique verrouillé)	23	18 /23(78%)	20 / 23 (87%)
Echantillon CHU Lausanne[31]	ECM, PV, cerclage, 13/16 greffe osseuse	16	10/16(63%)	16 /16(100%)
Notre série	ECM, PV, 11 greffes prélevées sur crête iliaque + décortication, 5 substituts osseux + décortication, 4 greffes + décortication + SO, 2 décortications + ECM	20	17/20(85%)	20/20(100)

2. Le délai de consolidation :

Tableau 24: Etude comparative selon le délai de consolidation

Série	Nombre de cas	Délai de consolidation moyen(en mois)
Kanakaris	30	6,2
Mega[6]	30	7,93
Parsarn(72)	13	13
Jorge[16]	25	5,32
L.Talibi[7]	20	6,17
Notre série	20	6,1

Notre délai de consolidation moyen concorde avec la majorité des études

3. Résultats osseux/fonctionnels :

Nombreuses sont les cotations disponibles pour apprécier les résultats de la chirurgie du fémur, dans notre série on a utilisé la classification d'ASAMI

Tableau 25: Etude comparative selon les résultats thérapeutiques

Série	Résultats osseux		Résultats fonctionnels		
	Raccourcissement	Angulation	Raideur	Hanche	Douleur persistante
Jorge[16]	28	22	16	–	
Mega [6]	–	3,33	10	3	
Allouche (73)	23	–	15	–	7,69
L.Talibi[7]	15	–	20	–	10
Notre série	15%	5%	5%	–	–

IX. Prévention :

1. Prévention primaire :

Le traumatisme causal prédominant dans notre série est représenté par les AVPLa prévention inclut la sensibilisation et le respect du code de la route.

2. Prévention secondaire :

Celle-ci permet d'éviter l'évolution d'une simple fracture de fémur vers la pseudarthrose.

L'optimisation des facteurs de risque modifiables est importante tel que l'état nutritionnel, le tabagisme, l'utilisation d'AINS.

La prévention se situe également au niveau de 2 points essentiels :

- Le respect des règles biomécaniques du traitement d'une fracture du fémur.
- Le respect absolu des conditions d'asepsie rigoureuse.

3. Prévention tertiaire :

Elle consiste en une prise en charge adaptée d'une PSA installée.

CONCLUSION

La pseudarthrose est une complication redoutable, elle constitue un fardeau lourd pour le patient touché puisque ses conséquences contribuent grandement à réduire la qualité de vie du patient, pour le chirurgien, elle constitue un véritable défi. Le challenge thérapeutique représenté par cette intervention nécessite de bien comprendre les mécanismes qui entrent en jeu dans le développement et l'évolution d'une pseudarthrose (stabilité, biologie et infection).

Le but final du traitement est l'utilisation indolore de l'extrémité concernée, la récupération de la fonction et la consolidation osseuse.

Le traitement se base sur le trépied : optimisation de la mécanique, apport de biologie en optimisant la vascularisation, et traitement de l'infection (si la pseudarthrose est septique).

Il existe différentes interventions qui permettent de bien traiter la pseudarthrose de la diaphyse fémorale (dynamisation du clou centromédullaire, échange de clou centromédullaire ou enclouage primaire, réduction ouverte et ostéosynthèse par plaque, et des traitements adjuvants).

Une analyse correcte de la pseudarthrose oriente vers le traitement le plus convenable de celle-ci.

L'utilisation de l'ECM est de plus en plus fréquente et il s'agit de la méthode de choix selon plusieurs études.

Des articles scientifiques précisent aussi que la réduction ouverte et ostéosynthèse par plaque tout en laissant le clou en place constitue un mode opératoire avec un taux de succès élevé.

La prise en charge des patients avec pseudarthrose de la diaphyse fémorale dans notre série est bonne en termes de résultats finaux (consolidation). En revanche, il apparaît que la durée complète du traitement puisse être encore diminuée.

RESUMES

Résumé

La pseudarthrose constitue l'une des complications les plus redoutables en chirurgie traumatologique tant par ses conséquences immédiates que lointaines.

Le but de notre travail est d'évaluer les résultats des différentes prises en charge chirurgicales de la PSA aseptique de la diaphyse fémorale.

Il s'agit d'une étude rétrospective qui concerne 20 cas de PSA aseptique de la diaphyse fémorale réalisée au service de traumatologie-orthopédique à CHU Hassan II sur une période de 8 ans allant de janvier 2014 à janvier 2022.

L'âge moyen de nos patients était de 38.4 ans avec un sexe ratio de 6H/1F.

La survenue de la fracture initiale a été dans 85% des cas consécutive à un accident de la voie publique.

Dans 5 cas la fracture de la diaphyse fémorale a été associée à d'autres fractures et dans 4 cas elle est survenue dans un contexte de polytraumatisme.

Sur les 20 cas étudiés nous avons noté 2 cas de fractures ouvertes soit 10% des cas.

Les fractures complexes étaient majoritaires (60% des cas) .

Comme traitement initial la plaque vissée a été utilisée dans 4 cas soit 20 % de la série, et l'ECMV primaire dans 16 cas soit 80 % dont 4 ont été réalisés à foyer fermé et 12 à foyer ouvert. Dans 4 cas l'enclouage a été associé à un cerclage.

Le délai moyen entre le traitement de la fracture initiale et la prise en charge de la PSA est de 13 mois.

Cliniquement la douleur était le maître symptôme de la PSA, sur le plan radiologique les pseudarthroses étaient considérées hypertrophiques dans 11 cas, atrophiques dans 7 cas et dans les 2 autres cas eutrophiques.

Sur les 20 cures de pseudarthrose qui ont été effectuées, l'enclouage centromédullaire a été utilisé dans 17 cures soit 85 % des cas, la plaque vissée dans 2 cures soit 10% des cas.

Un patient a bénéficié d'une dynamisation de l'enclouage + décortication + greffe osseuse comme cure de pseudarthrose.

Le traitement adjuvant (greffe osseuse, décortication, SO) est très souvent complémentaire aux moyens de stabilisation lors des cures de pseudarthrose (19 cures).

Le délai moyen de consolidation était de 6.1 mois avec un taux de consolidation de 85% (17/20).

Les complications retrouvées chez nos patients étaient un raccourcissement > 2.5cm chez 3 patients, un seul cas de déformation en varus ; et un cas de raideur du genou.

Les résultats globaux selon les critères d'ASAMI ont été bons dans 14 cas (60%), moyen dans 3 cas (15%) et mauvais dans 3 cas (15%).

La pseudarthrose de la diaphyse fémorale est une complication grave, elle réduit voire abolit l'autonomie du malade et limite ses activités.

Le traitement doit être adapté afin d'augmenter la chance de réussite de la cure.

La prise en charge adéquate de la fracture initiale permet de prévenir le passage vers la PSA sans oublier l'intérêt de la prévention primaire des AVP qui

est un élément primordial, diminuant ainsi l'incidence des fractures de la diaphyse fémorale.

Abstract

Nonunion – also called pseudoarthrosis one of the most dreaded complications in trauma surgery, both for its immediate and far-reaching consequences.

The aim of our study is to assess the results of the various surgical treatments for aseptic nonunion of the femoral shaft.

Were viewed retrospectively the records of 20 patients treated for aseptic nonunion of the femoral shaft over an 8 year period from January 2010 and to 2018 in the trauma-orthopedic department at CHU Hassan II .

The sex ratio was 6M / 1F with a main age of 38.4 years.

The initial fracture occurred 85 % of the cases secondary to a traffic accident. In 5 cases the femoral shaft fracture was associated with other fractures and in 4 cases it occurred in a context of polytrauma.

Of these 20 cases, 2 compound fractures were noted (i.e. 10% of the cases). Complex fractures were dominant (60% of the cases).

Middle 1/3 fractures were the most commun in our series (70% of the cases).

As initial treatment, a plate-screw fixation was used in 4 cases (ie 20% of the series) and intramedullary nailing in 16 cases (i.e. 80%).

The average time between treatment of the initial fracture and management of nonunion is 13 months.

Clinically, pain was the main symptom of nonunion; radiologically nonunion was considered hypertrophic in 11 cases, atrophic in 7 cases and eutrophic in the other 2 cases.

Of the 20 nonunion cures that were performed, intramedullary nailing was used in 17 cures (i.e. 85% of the cases), and a plate-screw fixation in 2 cures (i.e. 10% of the cases).

One patient benefited from nail dynamization +bone decortication + bone grafting as a nonunion cure.

The adjuvant treatment (bone graft, bone decortication, bone substitute) is very often complementary to the means of stabilization during the cures of nonunion (19 cures).

The mean consolidation time was 6.1 months with an 85% consolidation rate (17/20).

The complications found in our patients were a shortening >2.5cm in 3 patients, one case of Varus deformity; and one case of knee stiffness.

According to the ASAMI criteria, the overall results were good in 14 cases (60%), average in 3 cases (15%) and poor in 3 cases (15%).

Femoral shaft nonunion is a serious complication, reducing or even abolishing the patient's autonomy and limit in this activities.

The treatment must be adapted in order to increase chances of success of the cure.

Appropriate management of the initial fracture helps prevent the transition to nonunion, not to mention the importance of the primary prevention of MVA as a key element of reducing the incidence of femoral shaft fractures.

REFERENCES

- [1] R. Marsell and T. Einhorn, "THE BIOLOGY OF FRACTURE HEALING," *NIH public access*, vol. 42, no. 6, pp. 551–555, 2012.
- [2] R. Jahagirdar and B. E Scammel, "Principles of fracture healing and disorders of bone union," *Surgery*, vol. 27, no. 2, pp. 63–69, 2008.
- [3] F. Passuti, N Waast, D Pietu, G Gouin, "Complications de la consolidation osseuse: les pseudarthroses," *Rev. Chir. Orthop. réparatrice l'appareil locomoteur*, pp. 8–11, 2003.
- [4] P. V. Giannoudis, D. A. MacDonald, S. J. Matthews, R. M. Smith, A. J. Furlong, and P. De Boer, "Nonunion of the femoral diaphysis," *J. Bone Jt. Surg. – Ser. B*, vol.82, no. 5, pp. 655–658, 2000.
- [5] M. el Moumni, P. A. Leenhouts, H. J. ten Duis, and K. W. Wendt, "The incidence of non–union following unreamed intramedullary nailing of femoral shaft fractures," *Injury*, vol. 40, no. 2, pp. 205–208, 2009.
- [6] M. Panagiotis, "Classification of non–union," *Injury*, vol. 36, no. SUPPL. 4, pp. 30– 37, 2005.
- [7] L. Talibi, "Le traitement chirurgical des pseudarthroses de la diaphyse fémorale," 2017.
- [8] M. D. McKee, D. J. DiPasquale, L. M. Wild, D. J. G. Stephen, H. J. Kreder, and E. H. Schemitsch, "The effect of smoking on clinical outcome and complication rates following Ilizarov reconstruction," *J. Orthop. Trauma*, vol. 17, no. 10, pp. 663–667, 2003.
- [9] C. Frey, N. M. Halikus, T. vu–Rose, and E. Ebramzadeh, "A Review of Ankle Arthrodesis: Predisposing Factors to Nonunion," *Foot Ankle Int.*, vol. 15, no. 11, pp. 581–584, 1994.

- [10] A. Basumallik, M Bandopadhay, "Effect of dynamization in open interlocking nailing of femoral fractures.A prospective randomized comparative study of 50cases with a 2-year followup.," *Injury*, vol. 40 Suppl 3, no. January 2004, pp. S54-S61, 2009.
- [11] Arslan.H, "Femoral Non union:Risk Factors and Treatment Options," *J. Am. Acad. Orthop. Surg.*, vol. 49, no. 7, pp. 1266-1271, 2008.
- [12] A. Butler, MS Brumback, RJ Ellison, TS Poka, A Bathon, GH Burgess, "Interlockingintramedullary nailing for ipsilateral fractures of the femoral shaft and distal partof the femur," pp. 1-73, 1991.
- [13] J.-M. Bonnomet, F Clavert, P Cognet, "Fracture de la diaphyse fémorale," *EMC –Radiol. Imag. médicale – Musculosquelettique – Neurol. – Maxillofac.*, vol. 4, no.3, pp. 1-11, 2009.
- [14] Y. Benoit, J;Ciotteau, "Etude critique des échecs dans le traitement des fracturesfraiches de la diaphyse fémorale à propos de 330 cas.," *Rvue Chir. orthop*, vol.60, no. 1, 1994.
- [15] K. Yokoyoma, K;Itoman, K;Nakamura, "Deep infection and fracture healing in immediate and delayed locked intramedullary nailing for open femoral fractures," *Orthopedics*, vol. 47, no. 2, pp. 365-375, 1999.
- [16] L. Jorge, S Coco, "The wave plate method in non union femoral shaft fractures treatment."
- [17] Rafaoui, "Les pseudarthroses aseptiques de la diaphyse fémorale," 2014.
- [18] M. Grosse, A Christie, J Taglang, G Court-Brown, C McQuenn, "Open adult femoral shaft fracture treated by early intramedullary nailing.," 1394.

- [19] H. Pahud, B Vasey, "Delayed internal fixation of femoral shaft fractures-- is therean advantage?A review of 320," *J.Bone Jt. Surg*, p. 300, 1987.
- [20] J. SEDEL, L VAREILLES, "Consolidation des fractures," *Encycl.Méd.Chir*, vol. 8, no.9, pp. 1-58, 1992.
- [21] A. CHARNLEY, J GUINDY, "Delayed operation in the open reduction of fracturesof long bone.," *J Bone Jt. Surg*, vol. 53, no. 9, pp. 1689-1699, 1961.
- [22] E. Wilbert, M.C Evan, "Fractures of the femoral shaft treated surgically comparative results of early and delayed stabilization."
- [23] B. Bosse, M.J MACKENZE, E.J RIEMER, "Adult respiratory distress syndrome,pneumonia and mortality following thoracic injury and a femoral fracture treated either with intramedullary nailing with reaming or with plat.," *J.Bone Jt. Surg*, no. 1990, pp. 12-30, 1997.
- [24] D. L. Bridgens, J P Douglas, "Fractures of the femoral shaft," *Low. LIMB TRAUMA*, vol. 37, no. 4, pp. 114-116, 2003.
- [25] I. D. Gelalis *et al.*, "Diagnostic and treatment modalities in nonunions of the femoral shaft. A review," *Injury*, vol. 43, no. 7, pp. 980-988, 2012.
- [26] G. A. Buijze, S. Richardson, and J. B. Jupiter, "Successful reconstruction for complex malunions and nonunions of the tibia and femur," *J. Bone Jt. Surg. -Ser. A*, vol. 93, no. 5, pp. 485-492, 2011.
- [27] A. B. Li, W. J. Zhang, W. J. Guo, X. H. Wang, H. M. Jin, and Y. M. Zhao, "Reamed versus unreamed intramedullary nailing for the treatment of femoral fractures A meta-analysis of prospective randomized controlled trials," *Med. (United States)*, vol. 95, no. 29, pp. 1-9, 2016.

- [28] J. N. Powell *et al.*, "Reamed versus unreamed intramedullary nailing of the femur: Comparison of the rate of ARDS in multiple injured patients," *J. Orthop. Trauma*, vol. 20, no. 6, pp. 384–387, 2006.
- [29] D. Omerovic, F. Lazovic, and A. Hadzimehmedagic, "Static or dynamic intramedullary nailing of femur and tibia," *Med. Arch. (Sarajevo, Bosnia Herzegovina)*, vol. 69, no. 2, pp. 110–113, 2015.
- [30] F. Chamoun, M. Nebunescu, A. Roche, "Utilisation du clou gamma long dans les fractures complexes du fémur: à propos de 59 cas," *Rev. Chir. Orthopédique Traumatol.*, no. 549, pp. 4–30, 2004.
- [31] B. Maeder, "Revue du traitement chirurgical de la pseudarthrose de la diaphyse fémorale," Université de Lausanne, 2012.
- [32] E. Thein, F. Chevalley, and O. Borens, "Pseudarthroses aseptiques des os longs," *Rev. Med. Suisse*, vol. 9, no. 411, pp. 2390–2396, 2013.
- [33] C. W. Brown, T. J. Orme, and H. D. Richardson, "The rate of pseudarthrosis (Surgical nonunion) in patients who are smokers and patients who are nonsmokers: A comparison study," *Spine*, vol. 11, no. 9, pp. 942–943, 1986.
- [34] K. J. Wing, C. G. Fisher, J. X. O'Connell, and P. C. Wing, "Stopping nicotine exposure before surgery: The effect on spinal fusion in a rabbit model," *Spine (Phila. Pa. 1976)*, vol. 25, no. 1, pp. 30–34, 2000.
- [35] J. B. A. Feitelson, P. P. Rowell, C. S. Roberts, and J. T. Fleming, "Two week nicotine treatment selectively increases bone vascular constriction in response to norepinephrine," *J. Orthop. Res.*, vol. 21, no. 3, pp. 497–502, 2003.

- [36] L. C. Gerstenfeld *et al.*, "Selective and nonselective cyclooxygenase-2 inhibitors and experimental fracture-healing: Reversibility of effects after short-term treatment," *J. Bone Jt. Surg. – Ser. A*, vol. 89, no. 1, pp. 114–125, 2007.
- [37] S. D. Glassman, S. M. Rose, J. R. Dimar, R. M. Puno, M. J. Campbell, and J. R. Johnson, "The effect of postoperative nonsteroidal anti-inflammatory drug administration on spinal fusion," *Spine*, vol. 23, no. 7, pp. 834–838, 1998.
- [38] M. D. H. Chuanyong, Lu Theodore, "Ischemia Leads to delayed-union during Fracture Healing: A Mouse Model," *J Orthop Res*, vol. 23, no. 1, pp. 1–7, 2008.
- [39] A. A. C. Reed, C. J. Joyner, S. Isefuku, H. C. Brownlow, and A. H. R. W. Simpson, "Vascularity in a new model of atrophic nonunion," *J. Bone Jt. Surg. – Ser. B*, vol. 85, no. 4, pp. 604–610, 2003.
- [40] A. H. K. H. Granhed and J. K. J. Styf, "The influence of fracture etiology and type on fracture healing tibial fracture.pdf," *Arch Orthop Trauma Surg*, vol. 121, pp. 325–328, 2001.
- [41] D. R. Epari, H. Schell, H. J. Bail, and G. N. Duda, "Instability prolongs the chondral phase during bone healing in sheep," *Bone*, vol. 38, no. 6, pp. 864–870, 2006.
- [42] O. Borens, F. Nussbaumer, R. Baalbaki, and A. Trampuz, "Diagnostic et traitement des infections d'implants orthopédiques," *Rev. Med. Suisse*, vol. 5, no. 230, pp. 2563–2568, 2009.
- [43] T. Bhattacharyya, K. A. Bouchard, A. Phadke, J. B. Meigs, A. Kassarian,

- and H. Salamipour, "The accuracy of computed tomography for the diagnosis of tibial nonunion," *J. Bone Jt. Surg. – Ser. A*, vol. 88, no. 4, pp. 692–697, 2006.
- [44] J. A. Bishop, A. A. Palanca, M. J. Bellino, and D. W. Lowenberg, "Assessment of compromised fracture healing," *J. Am. Acad. Orthop. Surg.*, vol. 20, no. 5, pp. 273–282, 2012.
- [45] J. Marsh, "Principles of Bone Grafting: Non–union, Delayed Union," *Surg.*, vol. 21, no. 9, pp. 213–216, 2003.
- [46] B. Coulet, J.–F. Pflieger, S. Arnaud, C. Lazerges, and M. Chammas, "Reconstruction des régions métaphysaires par greffe fibulaire dédoublée," *Rev. Chir. Orthopédique Traumatol.*, vol. 96, no. 8, pp. 961–969, 2010.
- [47] A. Tarek A EL–Gammal Anis, Shiha Alam el–Denn, Mohammed EL–Sayed, "Management of traumatic tibial defects using free vascularized fibula or ilizarov bone transport: a comparative study," *Microsurgery*, vol. 5, no. 1, pp. 1–5, 2014.
- [48] F. Dubrana, "Pseudarthroses infectées du femur. Conférence 2008."
- [49] A. Lortat–Jacob, "Traitement chirurgical de l'infection osseuse," pp. 1–2, 2014.
- [50] J.–M. Perrier, C. Philippeau, "Evaluation du traitement des pseudarthroses par la technique des champs électromagnétiques: utilisation du système orthopulse," *Rev. Chir. orthopédique réparatrice l'appareil locomoteur*, pp. 114–115, 2004.

- [51] F. H. Shen, D. Samartzis, and H. S. An, "Cell technologies for spinal fusion," *Spine J.*, vol. 5, no. 6 SUPPL., pp. S231–S239, 2005.
- [52] N. J. Zvaifler *et al.*, "Mesenchymal precursor cells in the blood of normal individuals," *Arthritis Res.*, vol. 2, no. 6, pp. 477–488, 2000.
- [53] J. Erdmann, C. Kögler, I. Diel, R. Ziegler, and J. Pfeilschifter, "Age-associated changes in the stimulatory effect of transforming growth factor beta on human osteogenic colony formation," *Mech. Ageing Dev.*, vol. 110, no. 1–2, pp. 73–85, 1999.
- [54] M. Boukhari, "Les pseudarthroses du fémur," 2008.
- [55] "Comparing Augmentative Plating and Exchange Nailing for the Treatment of Nonunion of Femoral Shaft Fracture after Intramedullary Nailing: A Meta-analysis," *Chinese Orthop. Assoc.*, no. July 2019, pp. 50–57, 2020.
- [56] F. Say and E. Türkeli, "Is platelet-rich plasma injection an effective choice in cases of non-union?," *Acta chir Orthop*, 2014.
- [57] E. Chiron, P. Reina, N. Cavaignac, "Traitement des pseudarthroses par injection de plasma riche en plaquettes," 2013.
- [58] H. K. Pihlajamäki, S. T. Salminen, and O. M. Böstman, "The treatment of nonunions following intramedullary nailing of femoral shaft fractures," *J. Orthop. Trauma*, vol. 16, no. 6, pp. 394–402, 2002.
- [59] C. G. Finkemeier and M. W. Chapman, "Treatment of Femoral Diaphyseal Nonunions," *Clin. Orthop. Relat. Res.*, no. 398, pp. 223–234, 2002.
- [60] L. Webb, R. Wingquist, and Hansen ST, "Intramedullary nailing and reaming for delayed union or nonunion of the femoral shaft. A report of

- 105 consecutive cases.," *Clin. Orthop. Relat. Res.*
- [61] C. Hierholzer *et al.*, "Reamed intramedullary exchange nailing: treatment of choice of aseptic femoral shaft nonunion," *J. Orthop. Surg. Res.*, vol. 9, p. 88, 2014.
- [62] C. C. Wu, C. H. Shih, W. J. Chen, and C. L. Tai, "Effect of reaming bone grafting on treating femoral shaft aseptic nonunion after plating," *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, vol. 119, no. 5-6, pp. 303-307, 1999.
- [63] A. M. Abdel-Aa, O. A. Farouk, A. Elsayed, and H. G. Said, "The use of a locked plate in the treatment of ununited femoral shaft fractures," *J. Trauma - Inj. Infect. Crit. Care*, vol. 57, no. 4, pp. 832-836, 2004.
- [64] Y. S. Choi and K. S. Kim, "Plate augmentation leaving the nail in situ and bone grafting for non-union of femoral shaft fractures," *Int. Orthop.*, vol. 29, no. 5, pp. 287-290, 2005.
- [65] C. J. Lin *et al.*, "Effectiveness of plate augmentation for femoral shaft nonunion after nailing," *J. Chinese Med. Assoc.*, vol. 75, no. 8, pp. 396-401, 2012.
- [66] C. Saliba, U. Fernando, B. Kodi, and K. Vincenzo, "Augmentation plating leaving the nail in situ is an excellent option for treating femoral shaft nonunion after IM nailing : a multicentre study," *Eur. J. Trauma Emerg. Surg.*, no. 123456789, 2020.
- [67] M. Inan, S. Karaoglu, F. Cilli, C. Y. Turk, and A. Harma, "Treatment of femoral nonunions by using cyclic compression and distraction," *Clin. Orthop. Relat. Res.*, no. 436, pp. 222-228, 2005.

- [68] R. K. Harshwal, S. S. Sankhala, and D. Jalan, "Management of nonunion of lower-extremity long bones using mono-lateral external fixator – Report of 37 cases," *Injury*, vol. 45, no. 3, pp. 560–567, 2014.
- [69] M. . Indong, Oh Stanley, H Nahigian, "closed intramedullary nailing for united femoral shaft fractures." .
- [70] J. Cove, D. Lhowe, J. Jupiter, and J. Siliski, "The management of femoral diaphyseal non unions," *Othhop Trauma*, vol. 98B, no. 7, pp. 884–891, 1997.
- [71] J. Hak, DJ Lee, SS Goulet, "Success of exchange reamed intamedullary nailing for femoral shaft non union or delayed union.," *J. Orthop. Trauma*, vol. 6, no. 11, pp. 1–10, 2000.
- [72] Prasarn M.L, Ahn J, Achor T, Matuszewski P. Management of infected femoral nonunions with a single-staged protocol utilizing internal fixation. *Injury Int J Care Injured* 2009; 40: 1220–5.
- [73] Mlle.Allouche. les pseudarthroses de Fémur Thèse de médecine de casablanca 2012