

PLAN

INTRODUCTION	4
PERTE DE SUBSTANCE OSSEUSE POST INFECTIEUSE	6
1-Pseudarthrose septique	7
2-Dans le cadre de l'OMC	12
TECHNIQUE DE MASQUELET	15
1 / Historique	16
2/ Caractéristiques de la membrane induite	17
A / Propriétés histologiques	17
B -Propriétés mécaniques	20
C. Propriétés biologiques	20
3/ Technique opératoire	23
MATERIELS ET METHODES	33
A/ Type d'étude	34
B/ Critères d'inclusion	34
C/ Critères d'exclusion	34
D/ Critères de consolidation.....	35
E/ Observations	36
RESULTATS	64
DISCUSSION	70
A-Introduction.....	71
B-indications chirurgicales	71
C-Résultats.....	73
D-Analyse des résultats	74
E-Complications de la technique de Masquelet	77
CONCLUSION	81
RESUMES	83
BIBLIOGRAPHIE	88

LISTE DES ABREVIATIONS :

- **IL** : Interleukine
- **BMP** : Bone morphogenetic protein.
- **ECMES** : Enclouage centro-médullaire élastique stable.
- **FE** : Fixateur externe
- **ILMI** : Inégalité de longueur des membres inférieurs.
- **MI** : Membrane induite
- **OMC** : Ostéomyélite chronique
- **PMMA** : Polyméthylmétacrylate
- **PSO** : Perte de substance osseuse.
- **RIA** : Reamer Irrigator Aspirator.
- **RUST** : Radiographic union scale in tibial fracture
- **SOFCOT** : Société française de chirurgie orthopédique et traumatologique.
- **T1** : Premier temps de Masquelet.
- **T2** : Deuxième temps de Masquelet.
- **TGFβ1** : Transforming growth factor beta-1.
- **TOLV** : Transfert osseux libre vascularisé.
- **VEGF** : Vascular endothelial growth factor.

INTRODUCTION

La reconstruction osseuse des pertes de substances segmentaires post infectieuses demeure toujours un problème thérapeutique en chirurgie ostéo-articulaire.

La technique de la membrane induite imaginée et popularisée par AC Masquelet [1] et l'équipe de Bobigny constitue une véritable révolution dans la chirurgie de reconstruction des défauts osseux où seules les allogreffes et les greffes vascularisées étaient possibles.

Cette technique est devenue une technique de référence chez l'enfant pour la reconstruction osseuse segmentaire et permet de reconstruire des pertes de substance osseuse (PSO) longue jusqu'à 30-50% de la longueur totale de l'os sans microchirurgie, en urgence ou en secondaire, au membre inférieur comme au membre supérieur. [2]

La prise en charge des larges PSO dans un contexte de pseudarthrose septique, par la technique de la membrane induite est un challenge thérapeutique et nécessite une chirurgie en plusieurs temps opératoires. Il est reconnu que le traitement doit comporter un geste d'excision pluritissulaire comportant l'exérèse de la zone d'ostéite ainsi que des tissus mous macroscopiquement pathologiques associé à une stabilisation du foyer de pseudarthrose et une antibiothérapie efficace.

La technique de Masquelet fait appel à l'utilisation de deux temps opératoires espacés de quelques semaines. Le principe est de combler la perte de substance osseuse par un matériel inerte (du ciment), afin de créer une membrane à corps étranger autour de celui-ci. Cette dernière délimite une chambre qui, lors du retrait du ciment, est capable de recevoir une greffe osseuse spongieuse massive et de favoriser la consolidation. [1]

Nous rapportons l'expérience du service de traumatologie-orthopédie-pédiatrique du CHU HASSAN II de Fès à travers une série de 7 patients ayant bénéficié de la technique de Masquelet pour reconstruction de leurs défauts osseux d'origine infectieuse.

PERTE DE SUBSTANCE

OSSEUSE POST INFECTIEUSE

A/ Perte de substance osseuse post infectieuse :

1 – Pseudarthrose septique :

- Définition :

La pseudarthrose infectée constitue une des complications les plus redoutables à laquelle puisse être confrontée un chirurgien, car elle relève à la fois de la non-consolidation et de l'infection. Ce double processus souvent auto-entretenu n'est pas toujours facile à juguler.

La pseudarthrose d'une fracture peut se définir par l'absence définitive de consolidation aboutissant classiquement à la création d'une néo-articulation. En dehors d'une perte osseuse importante, on ne parle pas de pseudarthrose avant un délai de 6 à 8 mois après la fracture initiale [3, 4, 5].

Cet état était, avant l'avènement de la radiologie, estimé cliniquement par la persistance de douleurs, mais surtout par l'appréciation d'une mobilité résiduelle dans le foyer de fracture par le chirurgien. Actuellement la pseudarthrose est définie par l'absence de tout cal osseux radiologiquement significatif. Ceci est la conséquence de la création d'un tissu fibreux faiblement vascularisé et pauvre en cellules à potentiel de différenciation osseuse [5].

Le caractère septique vient assombrir le pronostic car en présence d'une infection osseuse, tout retard de consolidation évolue après le troisième mois vers une pseudarthrose infectée. Cette notion importante doit être prise en compte pour une prise en charge chirurgicale rapide, minimale et adéquate.

Ce caractère septique peut se définir soit par une infection osseuse évidente du fait de l'existence d'une fistule, soit certaine du fait d'antécédent de suppuration prolongée ou de multiples interventions en vue d'assèchement.

- Classifications :

Les pertes de substance osseuse font l'objet de plusieurs classifications : celle de la SOFCOT [6] ou celle de Paley et Catagni [7].

- La classification de la SOFCOT décrit la PSO, en 4 groupes, en fonction de sa taille et de son caractère en biseau ou segmentaire.

Tableau 1: Classification de la SOFCOT pour les pertes de substance osseuse [6]

Type 1	PSO < 2cm
Type 2	2cm < PSO < 5cm
Type 3	5cm < PSO < 10cm
Type 4	PSO ≥ 10

- La Classification de Paley et Catagni : étudie les pertes de substance osseuse et les groupe selon 2 types :

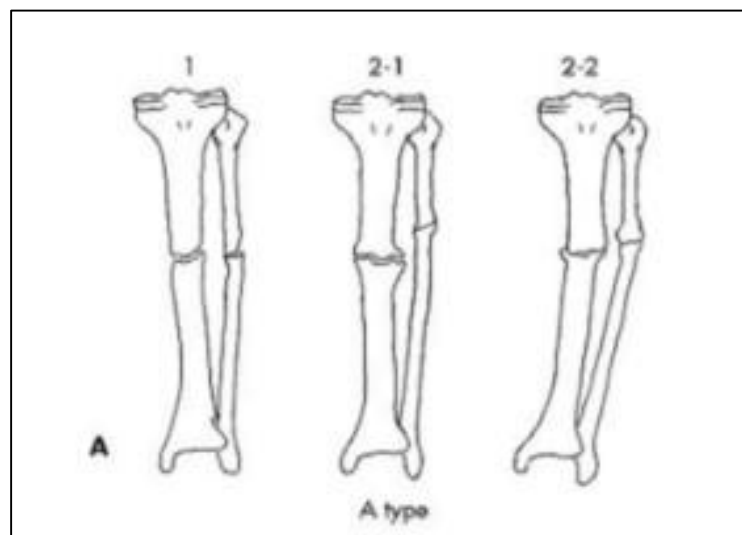
✓ Type A : les pertes de substance osseuse segmentaires inférieures à 1 cm

A1 : foyer mobile

A2 : foyer non mobile

-A2-1 : sans déformation

-A2-2 : avec déformation fixée



✓ **Type B** : les PSO segmentaires supérieures à 1cm avec des sous-types étudiant le raccourcissement

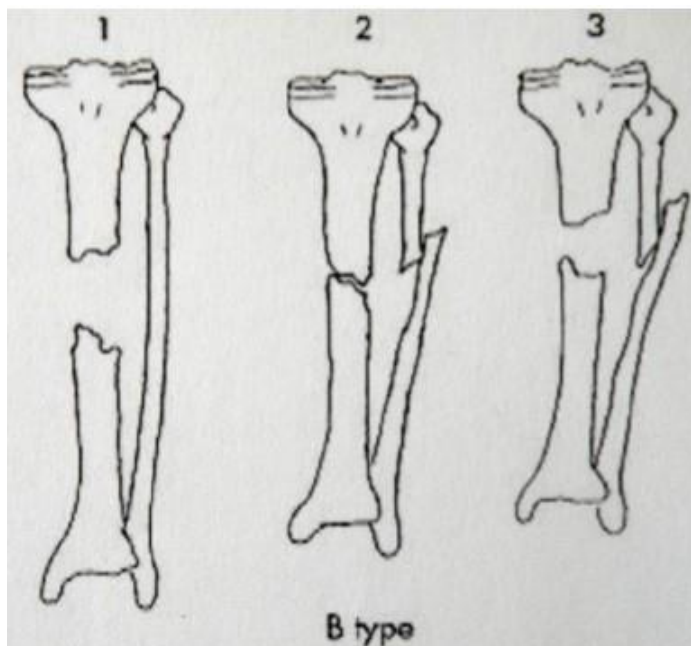


Figure 1 : Classification de Paley et Catagni sur les PSO segmentaires supérieures à 1cm

1) PSO sans raccourcissement

2) absence de PSO apparente avec un raccourcissement à évaluer

3) perte de substance osseuse associée à un raccourcissement

Il existe la notion de PSO de taille critique. En traumatologie cela correspond à une PSO qui est associée à un traumatisme de haute énergie. Il s'agit d'un défaut osseux qui ne peut se combler sans intervention. Il n'existe pas de consensus sur la définition de cette taille critique, mais Mauffrey et al la définissent à partir de 2 cm et/ou supérieur à 50% d'un défaut circonférentiel (8).

Ils le pondèrent en fonction de l'état de santé du patient et de son âge.

Ziran définit une perte de substance de taille critique par la plus petite PSO qui ne va pas consolider spontanément (9).

- Etiopathogénie de pseudarthrose septique :

L'ostéite est le résultat de la contamination de l'os par un ou des micro-organismes, le plus souvent par inoculation directe (traumatisme, chirurgie ou ponction) ou par contiguïté. Elle peut être circonscrite à une seule ou plusieurs structures anatomiques osseuses (médullaire, corticale, périoste...).

L'os infecté devient alors le siège d'une réaction inflammatoire à l'origine de la production de cytokines pro-inflammatoires par les leucocytes et les macrophages. Ces cellules vont activer les ostéoclastes d'une part, responsables d'une ostéolyse aboutissant à la destruction osseuse, et les ostéoblastes d'autre part, entraînant une reconstruction osseuse, dont témoigne la réaction périostée. Lorsque cette réaction inflammatoire se prolonge au-delà de dix jours, elle entraîne une nécrose osseuse et la formation de séquestres osseux par occlusion des vaisseaux sanguins [10].

L'infection osseuse chronique, définie par une évolution supérieure ou égale à six semaines, est caractérisée par la présence d'une inflammation modérée due à la persistance des micro-organismes. Ceux-ci adhèrent aux tissus, séquestres et/ou au matériel étranger, s'entourent de biofilm [11,12] et/ou pénètrent dans les ostéoblastes, échappant ainsi au système immunitaire et à l'action bactéricide des antibiotiques. Ces bactéries entrent alors dans une phase de quiescence ou de croissance très ralentie, donnant naissance aux microcolonies, et devenant extrêmement résistantes aux antibiotiques [13, 14].

Les mécanismes physiopathologiques de la chronicisation de l'infection sont complexes et font intervenir des facteurs locaux (vasculaires, nécrose osseuse, présence de corps étrangers...), généraux (diabète, immunodépression...) et bactériens (virulence, protéines d'adhérences, mécanisme de résistance aux antibiotiques varié avec en particulier le développement de biofilm et de microcolonies...)

La classification de Cierny-Mader résume les différents types d'ostéites diaphysaires des os longs en fonction du mécanisme de survenue, et du type d'atteinte osseuse (Figure 2), et est directement liée au pronostic de ces infections [15].

Stade	Site anatomique	Étiologie	Traitement
Stade I	Ostéite intramédullaire	Hématogène	ATB, drainage chirurgical
Stade II	Ostéite superficielle	INF contiguïté	ATB, débridement
Stade III	Ostéite localisée, séquestre cortical	Traumatisme, iatrogène	ATB, débridement, séquestrectomie, greffe
Stade IV	Ostéite diffuse circonférentielle	Traumatisme, iatrogène	ATB, débridement, stabilisation, séquestrectomie, greffe, amputation

ATB = antibiothérapie, INF = infection

Figure 2: Classification de cierny-Mader des ostéites diaphysaires des os longs [7].

2- Particularités du passage à la chronicité des OMA hématogènes :

➤ Définition :

Le terme d'ostéomyélite désigne classiquement une atteinte de l'os par voie hématogène, mécanisme le plus fréquent chez l'enfant [16]. Elle siège préférentiellement au niveau des métaphyses des os longs.

Elle doit être distinguée des autres atteintes osseuses par inoculation directe ou par contiguïté.

➤ Etiopathogénie :

L'ostéomyélite aiguë peut se définir actuellement comme un processus de dévascularisation de l'os. Cette dévascularisation est secondaire à deux mécanismes de l'infection : la thrombophlébite et la réaction inflammatoire.

Au cours de l'évolution de l'ostéomyélite aiguë, différents stades de dévascularisation peuvent apparaître, ils sont à l'origine de la classification Essaddam – Dargouth : [17]

• **Stade 0 :**

Lors d'une septicémie ou une bactériémie, le germe atteint l'os par voie sanguine. Au niveau de la métaphyse, le flux sanguin est ralenti ce qui favorise la fixation et le développement des germes.

• **Stade 1 :** stade d'ostéomyélite aiguë :

L'infection osseuse commence par une thrombophlébite au niveau des veines métaphysaires, ce qui va avoir pour conséquence un arrêt du flux artériel en amont et une inflammation avec œdème. Cet œdème inflammatoire entraîne une hyperpression intra osseuse qui complète l'arrêt de la vascularisation endostée. L'hyperpression explique la douleur de l'ostéomyélite.

- **Stade 2 :**

La diffusion de l'infection se fait à travers le système Haversien et les canaux de VOLKMANN de la corticale jusqu'à atteindre le périoste. Ce dernier s'épaissit, se soulève et délimite un abcès sous périosté.

- **Stade 3 :**

Il se caractérise par l'extension de l'abcès et donc de la dévascularisation périostée qui va déterminer l'étendue de l'ischémie osseuse. Cette évolution qui était classique et appelée ostéomyélite aiguë abcédée ou prolongée ne doit plus se voir.

L'abcès va finir par se fistuliser ou se rompre dans les parties molles et définir l'abcès sous-cutané.

- **Stade 4 : ostéomyélite chronique :**

C'est le résultat de la double dévascularisation, et donc c'est le stade de la nécrose osseuse qui peut évoluer vers la résorption de la zone mortifiée ou vers son détachement avec constitution de séquestres. Les petits séquestres sont généralement englobés ou évacués spontanément par une fistule cutanée. Les plus grands doivent être extirpés chirurgicalement.

- Evolution :

Correctement traitées à un stade précoce, les ostéomyélites aiguës peuvent guérir sans laisser des séquelles. Mais des évolutions défavorables ne sont pas exceptionnelles, surtout dans notre contexte. Et sont généralement la conséquence d'un traitement inadéquat ou débuté tardivement ou le germe en cause est très virulent comme le cas du staph aureus PVL + (Leucocidine de Panton et Valentine).

[18]

Les souches du *S. aureus* productrices de PVL sont classiquement associées à des infections ostéo-articulaires sévères caractérisées par un taux important de séquelles. La PVL induit une lyse des monocytes et des macrophages. Cette altération

de la fonction phagocytaire de l'organisme entrave la destruction normale des bactéries et permet de ce fait la persistance des germes au niveau osseux. Si l'infection n'est pas rapidement contrôlée par la fonction phagocytaire de l'hôte, la libération de substance pro-inflammatoire et de toxines bactériennes va alors conduire à une destruction articulaire. De plus, la réaction inflammatoire peut perdurer après la résolution de l'infection et continuer à endommager l'articulation. Ce qui va aboutir à des complications majeures :[19]

❖ Les pertes de substance osseuse :

Elles constituent une complication redoutable de l'ostéomyélite aigue hématogène [20]. Elles résultent le plus souvent de la résorption progressive d'un séquestre ou de son élimination spontanée [21]. Dans certains cas, la perte de substance osseuse est la conséquence d'une séquestrectomie chirurgicale, et dans ce cas elle est souvent très importante [22].

❖ Les fractures pathologiques et pseudarthrose :

La fragilité osseuse au cours de l'évolution de l'ostéomyélite relève de la conjoncture de plusieurs facteurs [23]. En effet, les remaniements tissulaires provoqués par l'infection, les gestes chirurgicaux et l'immobilisation, sont à l'origine d'une ostéoporose diffuse. Les fractures sont occasionnées par des traumatismes minimes et peuvent se produire également au cours des séquestrectomies chirurgicales [22]. La gravité de ces fractures tient aux difficultés et retard de leur consolidation avec important risque de pseudarthrose [20].

LA TECHNIQUE DE MASQUELET

1 / Historique :

La reconstruction d'une perte de substance osseuse segmentaire demeure toujours un problème thérapeutique en chirurgie ostéo-articulaire. Les pertes de substance limitées restent des indications d'autogreffes prélevées aux crêtes iliaques sous diverses modalités (spongieuse, cortico-spongieuse fragmentée ou monobloc). Au-delà d'une taille critique, de l'ordre de 5 cm ces greffes subissent un phénomène de résorption. [24]

Dans la deuxième moitié du xxe siècle des avancées notables dans la conservation de membres ont été réalisées grâce à l'opération de Papineau ou greffe-reconstruction à l'air libre [25], la méthode d'Illizarov qui implique la mobilisation progressive d'un segment osseux [26] et le transfert osseux vascularisé, popularisé par Taylor [27]. Toutes ces techniques ont leurs avantages et leurs inconvénients.

La technique de reconstruction osseuse par membrane induite, d'introduction récente, a été décrite pour la première fois par Masquelet en 1986 [28], Il s'agit d'une technique innovante en 2 temps chirurgicaux qui permet le traitement de PSO des os longs, étendue sans limite théorique de taille ,cette équipe a pu reconstruire des grandes pertes osseuses diaphysaires des os longs du membre inférieur en deux temps opératoires, par autogreffe spongieuse à l'intérieur d'une membrane constituée autour d'un Spacer en polyméthylmétacrylate (PMMA), par réaction à corps étranger, préalablement interposé dans une pseudarthrose septique de jambe.

Le succès de cette technique a permis à cette équipe chirurgicale de reconstruire des pertes d'os de 5 à 25 cm de longueur sans recours à une autogreffe vascularisée, utilisée initialement dans le traitement des pseudarthroses septiques de jambe, l'interposition de ciment de PMMA permet d'éviter le comblement de la zone de résection par du tissu d'interposition et permet de différer la reconstruction quand le sepsis est contrôlé médicalement. Ce n'est qu'à cette condition qu'est envisagée une

reconstruction osseuse dans un deuxième temps. Dès la première chirurgie pratiquée, une membrane biologique, aujourd'hui appelée « membrane induite» est mise en évidence autour du ciment d'interposition, à partir de la 2^{ème} semaine après le premier temps opératoire.

La solidité apparente de cette membrane biologique et le saignement excessif que l'excision de celle-ci aurait entraîné, ont amené le chirurgien à conserver cette membrane et à greffer de l'os spongieux morcelé dans cet espace clos. Cette approche chirurgicale a donné lieu à une reconstruction osseuse rapide (14 semaines) et efficace (structure osseuse d'excellente qualité) de la zone lésée.

Ainsi, les travaux menés par l'équipe de Masquelet [28] et de Romana [29] renforcent l'intérêt de la « chambre biologique » afin d'optimiser la reconstruction osseuse chez l'Homme. Cette membrane induite (MI) est décrite comme un élément biologique capable de prévenir la résorption des greffons et simultanément de favoriser leur vascularisation et la corticalisation de la zone greffée.

2/ Caractéristiques de la membrane induite :

A / Propriétés histologiques :

Les études expérimentales ont succédé aux constatations cliniques (30). Ces expérimentations animales cherchaient à expliquer comment cette membrane induite, à corps étranger, protégeait la greffe de la lyse en milieu vascularisé et comment elle en favorisait la corticalisation (2). La formation de cette membrane pseudo-synoviale correspond à une métaplasie.

Il s'agit d'une membrane composée de 2 couches. La couche interne ou endoluminale est composée de cellules disposées en palissade avec un épithélium interne au contact du ciment. La couche externe se structure parallèlement au corps étranger et se compose de fibroblastes, de myofibroblastes et de collagène de type I (31).

Pélissier a montré qu'à partir de la deuxième semaine, la membrane ressemble à une membrane à corps étranger avec un grand nombre de cellules multinucléées. Il a réalisé une étude histologique et biochimique chez le lapin (32) et a étudié la membrane à 2, 4, 6, 8 semaines après l'implantation du ciment.

➤ A deux semaines :

L'examen microscopique révèle la formation d'une membrane fibreuse bi-couche.

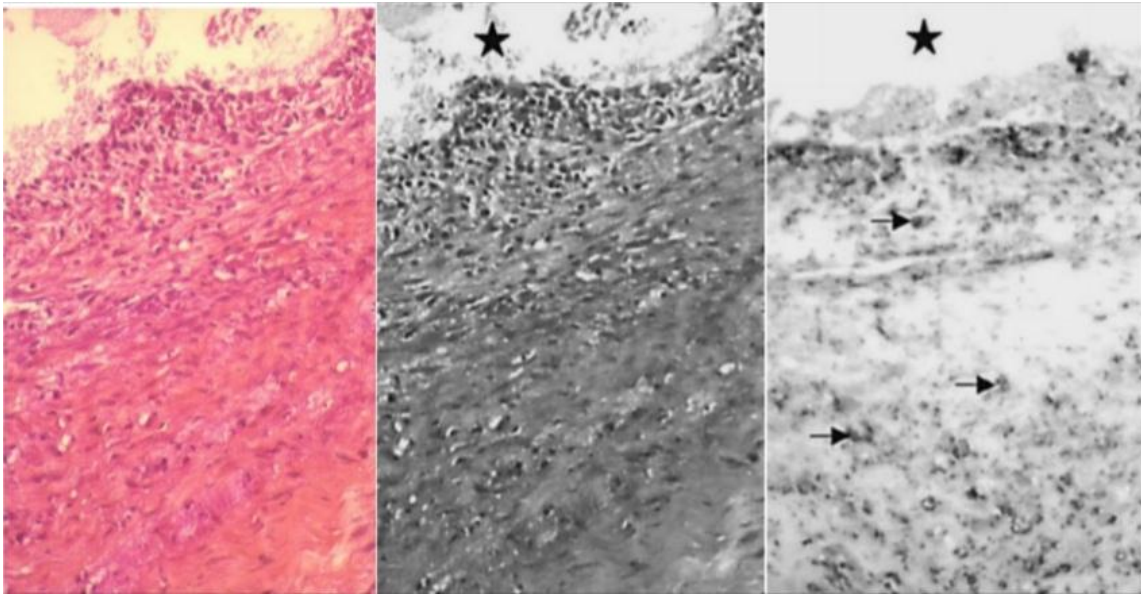


Figure3: *Examen microscopique à deux semaines de la membrane induite.*

(* : Ciment ; ➔ : Immuno-coloration du VEGF) [32]

- ❖ A deux semaines, la membrane induite possédait les caractéristiques suivantes:
 - un grand nombre de cellules multinucléées (inflammatoires).
 - un épithélium interne (face du ciment) pseudostratifié équivalent à une membrane synoviale et une partie extérieure composée de fibroblastes, myofibroblastes et de collagène.
 - une vascularisation extrêmement riche.

➤ A quatre semaines :

Il existait un aspect identique, la différence était :

- ❖ un appauvrissement de la réaction œdémateuse.
- ❖ La couche externe s'organise parallèlement à la surface du spacer en ciment.
- ❖ Quelques microvillosités sont apparues. Il existe une proportion de microvillosités différentes en fonction du caractère lisse ou rugueux du spacer.
- ❖ De larges vaisseaux se sont développés dans la couche externe.

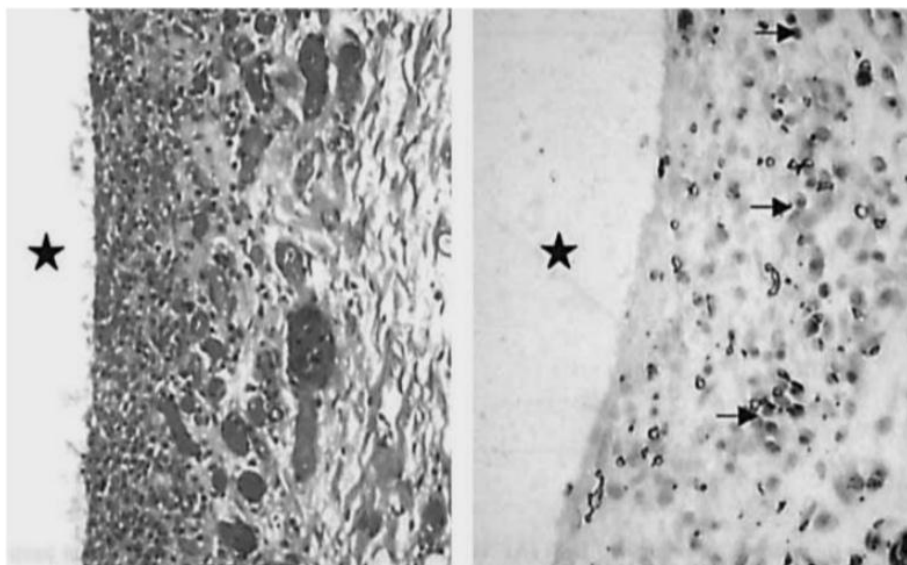


Figure4: Aspect histologique de la membrane induite à 4 semaines.

(* : Ciment ; → : immuno-coloration du VEGF) [32]

➤ A six et huit semaines :

L'étude a montré une diminution de la réaction inflammatoire et du nombre de cellules multinuclées.[32]

B –Propriétés mécaniques :

Il est désormais acquis que la membrane est une membrane pseudo-synoviale richement vascularisée et efficace pour promouvoir la revascularisation d'une greffe placée en son sein. Elle permet aussi de prévenir la résorption de la greffe dans les grandes pertes de substance et, de plus, avait un effet positif sur la consolidation de l'autogreffe (33).

Compte tenu des travaux expérimentaux (surtout ceux de Viateau [34]), confirmés par les applications sur les humains, toutes les membranes induites étudiées ont les mêmes propriétés mécaniques:

- Elles ont une épaisseur de 1 à 2 mm et ne sont pas adhérentes au PMMA (reproduisant le modèle humain)
- Leur résistance est telle qu'elles sont suturées sans déchirure
- Elles permettent un confinement étanche des greffons qu'elles recevront et qu'elles maintiennent l'espace et le volume créé par l'entretoise cimentée sans collapsus après l'ablation du ciment.

Ainsi la MI permet d'éviter la formation d'os ectopique, en effet elle garde et confine les greffons in situ, d'où le concept de « chambre biologique » que joue effectivement cette membrane.

C. Propriétés biologiques: [31]

La propriété la plus surprenante de la membrane induite est l'expression de plusieurs substances comme la BMP-2, la TGF-Bêta, le VEGF, le Von Willebrand factor, l'interleukine-6, l'Interleukine-8, le collagène type 1, le stroma derived factor-I (STD-1), l'angiotensine-2 (ANG-2), le fibroblast growth factor (FGF-2) et la prostaglandine E2 (PGE-2).

Des études réalisées sur l'animal [35] ou à partir d'échantillons de membrane prélevés sur des patients [36] ont par ailleurs montré que les membranes au niveau des défauts osseux contiennent des cellules souches de la lignée mésenchymateuse. On a également montré que des ostéoblastes et des précurseurs étaient présents dans la membrane [37].

Les rôles des facteurs de croissance sécrétés par cette membrane sont les suivants :

- Le VEGF (Vascular endothelial growth factor) : est le principal facteur de l'angiogenèse. Il joue un rôle important dans la régulation du remodelage osseux en attirant les cellules endothéliales et les ostéoclastes, et en stimulant la différenciation des ostéoblastes.
- Le TGF- β 1 (transforming growth factor beta 1) : est une cytokine qui stimule la prolifération des ostéoblastes et assure un rôle dans la production de la matrice extracellulaire.
- La BMP2 (Bone Morphogenetic Protein 2): est une protéine ostéo inductrice qui favorise la régénération osseuse, et elle est impliquée dans la prolifération de cellules souches issues de la moelle osseuse humaine et activent leur différenciation en cellules ostéoprogénitrices. Dont le pic est observé 4 semaines après la mise en place de l'entretoise de PMMA.

Tableau 2 : Rôle des différents facteurs de croissance [38]

Facteurs immunohistochemiques	Rôle
Protéine osseuse morphogénétique (BMP2)	Anabolisme
Facteur de croissance de l'endothélium vasculaire (VEGF)	Angiogenèse
Facteur de von willebrand (vWF)	Angiogenèse
Facteur de croissance transformant (TGFβ)	Rôles multiples
Interleukine 6 (IL-6)	Inflammation
Interleukine 8 (IL-8)	Inflammation

La vascularisation de la membrane diminue du premier au cinquième mois. Il en est de même pour la sécrétion de VEGF et IL6 (39).

Les auteurs ont comparé les facteurs de croissance sécrétés par la membrane induite avec un groupe témoin. Le groupe témoin était du tissu sous cutané. L'étude a retrouvé des différences significatives en faveur de la membrane induite. Un pic de BMP2 à 4 semaines a été observé, indiquant le meilleur moment pour réaliser le deuxième temps T2. La membrane sécrète une forte concentration de ces facteurs de croissance. (40)

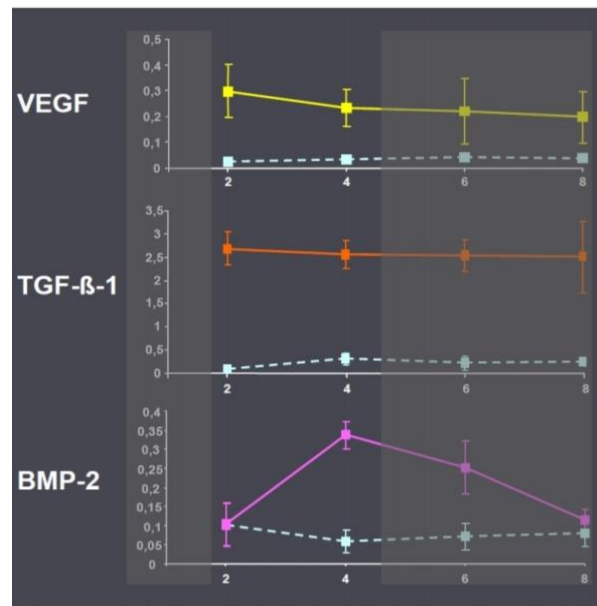


Figure 5: Comparaison des facteurs de croissances sécrétés par la membrane induite avec un groupe témoin.

Trait plein : membrane induite, trait discontinu : groupe témoin, (abscisses : temps en semaines, ordonnées : concentration) [31].

3/ Technique opératoire :

Le principe de la membrane induite, comme il a été décrit par Masquelet consiste à provoquer une réaction à corps étranger en interposant une entretoise de ciment dans la perte de substance osseuse. Une membrane induite par ce corps étranger crée un effet de chambre biologique qui s'oppose à la résorption de la greffe en lui apportant sa vascularisation et des facteurs de croissance. La technique de la membrane induite se déroule en deux temps opératoires [41,42]:

2-1 Le premier temps opératoire:

a. La perte de la substance osseuse:

La zone de perte osseuse doit dans tous les cas être nettoyée de tout composant nécrotique ou infecté. [42]

Cette étape comporte l'excision large des tissus non viables et infectés tant au niveau des parties molles que de l'os lui-même. Cette excision osseuse doit aboutir, en amont et en aval de la zone lésionnelle, des extrémités osseuses saines et vascularisées. Ensuite l'opérateur réalise la réparation des parties molles et tente d'effectuer une fixation la plus stable possible. En outre, une infection locale éventuelle, doit être bilantée et traitée.

b. La stabilisation osseuse:

La stabilité mécanique est un facteur essentiel pour une reconstruction réussie. Cela dépend bien sûr du segment osseux et de la longueur de l'os à reconstruire.

Après le débridement, il est nécessaire de réaliser une fixation stable avant d'insérer le ciment à l'aide d'un fixateur externe, d'une plaque vissée, d'un enclouage ou embrochage centromédullaire.

Le plus avantageux est la stabilisation de la plaque avec des vis de verrouillage dans la plupart des endroits, en supposant que la couverture cutanée est suffisamment épaisse et saine pour qu'aucun risque d'exposition de matériau ne soit pris. Ce type de stabilisation est particulièrement indiqué dans l'os métaphysaire et épiphysaire à l'aide d'une plaque en T pour une perte osseuse plus importante, notamment au niveau du tibia ou de l'humérus distal, une double stabilisation à l'aide d'une plaque médiale et latérale peut être prévue. [43]

La stabilisation chez le très jeune enfant reste problématique [44] et peut être confiée à un clouage intramédullaire ou parfois clouage transphysaire télescopique.

Néanmoins, la méthode de fixation n'est pas suffisamment stable pour une reconstruction dans de bonnes conditions et l'ajout d'une immobilisation dans un plâtre est recommandé après la deuxième phase chirurgicale.

Les conditions locales ou la gestion des soins urgents nécessitent parfois une fixation externe. Le choix du type de fixation externe est bien entendu parfois imposé par l'endommagement de la zone diaphysaire ou métaphysaire-épiphysaire du segment osseux concerné. Néanmoins, il semble qu'un fixateur externe circulaire, qui favorise les contraintes de compression et prévienne les contraintes de cisaillement, soit plus favorable à une technique de reconstruction membranaire induite qu'un fixateur externe monoplan [44-45]

En cas de localisation métaphysaire, le choix d'une plaque ou d'un fixateur externe circulaire peut être une meilleure option du fait du peu d'os disponible. De plus, le choix d'une plaque ou d'un enclouage centromédullaire métallique dans un contexte infectieux pourrait être contre-productif et entretenir le sepsis. [46]

C. L'entretoise:

Une fois le débridement-parage réalisé, la zone de perte de substance osseuse est comblée par une entretoise en ciment chirurgical à savoir du polyméthylmétacrylate (PMMA). Cette entretoise est mise en place avant sa solidification et doit couvrir la zone tant dans sa longueur que dans son diamètre. Pour favoriser la fusion aux deux extrémités de la résection, le ciment doit manchonner l'os sain sur au moins 1 cm et ceci sur toute sa circonférence. Alors, la MI va se former autour du ciment en réaction à un corps étranger.

Ensuite la fermeture de la plaie est réalisée par suture directe chaque fois que possible ou par un lambeau de réparation des parties molles. Parfois, dans les cas d'infection sévère, le site de résection est laissé ouvert, un second débridement-

parage est éventuellement réalisé et l'implantation définitive de l'entretoise est faite secondairement.

Quand une récurrence de l'infection se manifeste alors que le ciment a été mis en place, un débridement-parage est de nouveau programmé, le ciment est enlevé, la membrane est excisée en totalité, les extrémités osseuses et les parties molles sont de nouveau nettoyées et réséquées, une nouvelle entretoise est implantée et l'abord chirurgical est fermé sur drainage.



Figure 6: Image clinique montrant la mise en place du ciment lors du 1^{er} temps de Masquelet

2-2 Le deuxième temps opératoire :

La seconde étape chirurgicale est programmée après cicatrisation complète et définitive des parties molles. Le moment optimal pour réaliser cette seconde étape est de l'ordre d'un mois après la première étape. En réalité, la cicatrisation des parties molles n'est pas entièrement acquise avant six ou huit semaines, notamment quand un lambeau s'est avéré nécessaire pour réparer la perte de substance des parties molles. De plus, on doit absolument s'assurer qu'il n'y a pas d'infection résiduelle

avant de greffer. Pour toutes ces raisons, la seconde étape chirurgicale est reportée, en pratique, à la fin du second mois. [47,48]

Ce deuxième temps permet la réalisation de prélèvements à but bactériologique et un deuxième débridement des tissus nécrotiques et/ou infectés. En cas de persistance d'infection ce temps permet un nouveau débridement et la mise en place d'un nouveau spacer cimenté, il s'agit alors du temps T1 bis.

a. L'ablation du ciment:

Réalisée par une incision longitudinale de la membrane formée autour du Spacer cimenté (figure7), en limitant au maximum le décollement. La libération latérale de la membrane induite en regard du ciment acrylique est effectuée avec précaution. La membrane est incisée dans l'axe de l'os à reconstruire. Il n'adhère pas au ciment, mais il ne peut pas être dissocié du muscle environnant.

Le ciment est ensuite retiré par morcellement. La fragmentation pas à pas permet l'ablation de l'entretoise au ciment dans son intégralité, sans lésion de la membrane induite entourant, puis les segments de ciment situés en intramédullaire sont relevés. L'avivement est enfin réalisé en intra-médullaire par l'ablation de la partie de la membrane situé à l'intérieur de l'os.

Une fois retiré, l'entretoise révèle une cavité parfaitement délimitée par la membrane brillante et vascularisée. Les extrémités osseuses sont exposées à l'intérieur de cette cavité.

Les deux extrémités osseuses sont décortiquées, de manière à augmenter au maximum la surface de contact entre l'os néoformé et l'os d'origine. [49]

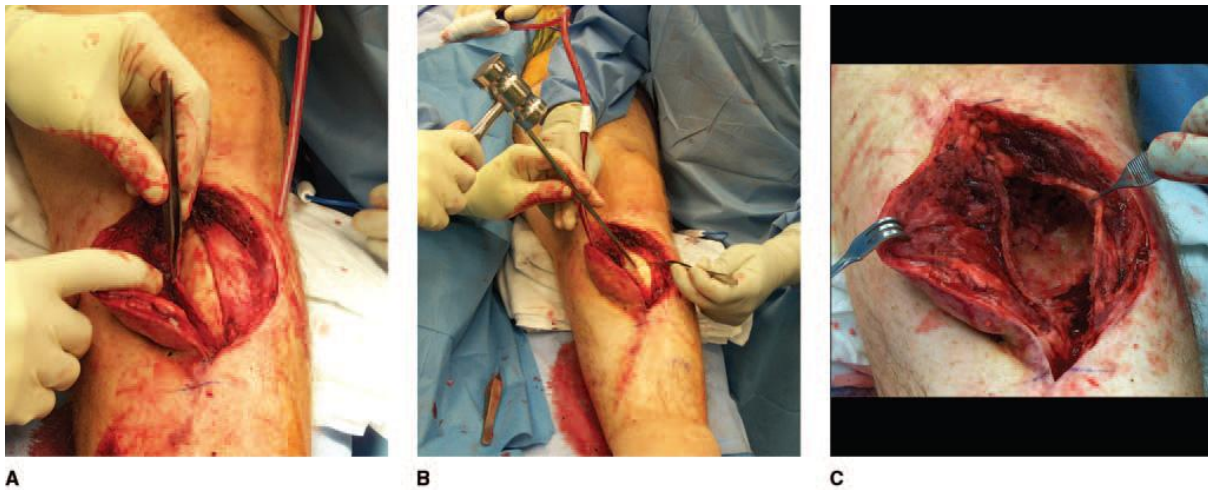


Figure 7 : images peropératoires montrant :

- A- Incision prudente de la membrane induite lors du T2 de la technique de Masquelet pour PSO diaphysaire tibiale proximale.
 B- Ablation du ciment chirurgical.
 C- L'aspect de membrane induite après l'ablation de l'entretoise de ciment : ici la membrane induite mesure 3 mm d'épaisseur.

b . La greffe osseuse :

Lors du second temps opératoire, plusieurs types de greffe osseuse peuvent être envisagés parmi lesquelles nous retrouvons la greffe autologue cortico-spongieuse de crête iliaque, la greffe spongieuse à l'aide d'un RIA et l'allogreffe segmentaire d'os de banque.

Les greffes autologues possèdent des propriétés ostéogéniques, ostéo-conductrices et ostéo-inductrices qui permettent une consolidation optimale. Les cellules présentes dans la greffe sont capables de répondre aux stimuli locaux en libérant des facteurs de croissance permettant l'angiogenèse et la formation d'os. Le succès des autogreffes dans le traitement des PSO, et en particulier dans les pseudarthroses septiques, a bien été établi.

Les avantages d'une greffe de crête iliaque reposent sur la facilité de prélèvement, sa disponibilité et son faible coût.

Alors, le meilleur matériel pour remplir la cavité est de l'os spongieux prélevé aux crêtes iliaques antérieures et postérieures; avec possibilité d'utiliser les crêtes tibiales et péroné vascularisé ou non dans les cas où la perte de substance à combler est massive.

La taille des greffons qui remplissent la cavité ne doit pas dépasser 2 à 3 mm de l'homogreffe osseuse ou des substituts osseux peuvent être ajoutés à l'autogreffe fraîche mais avec un ratio qui ne doit pas dépasser 1/3, mais il s'agit là d'une notion empirique. Une bonne solution actuellement pour augmenter le volume de la greffe ou pour épargner les crêtes iliaques est d'utiliser le produit osseux de l'alésage du canal médullaire fémoral par la technique du RIA (reaming, irrigating, aspirating) [50,51].

Cette greffe est déposée à l'intérieur de la membrane afin de couvrir l'ensemble du champs de résection osseuse (Figure 8).

La membrane induite est ensuite soigneusement suturée au fil résorbable sur aiguille ronde de manière à ne pas la déchirer.

Il est important de bien refermer la membrane pour éviter que la greffe ne migre en dehors de la perte de substance. Il faut à cet instant vérifier la qualité de la stabilisation osseuse, qui doit être parfaite pour autoriser un appui précoce et une meilleure corticalisation de la greffe [50].

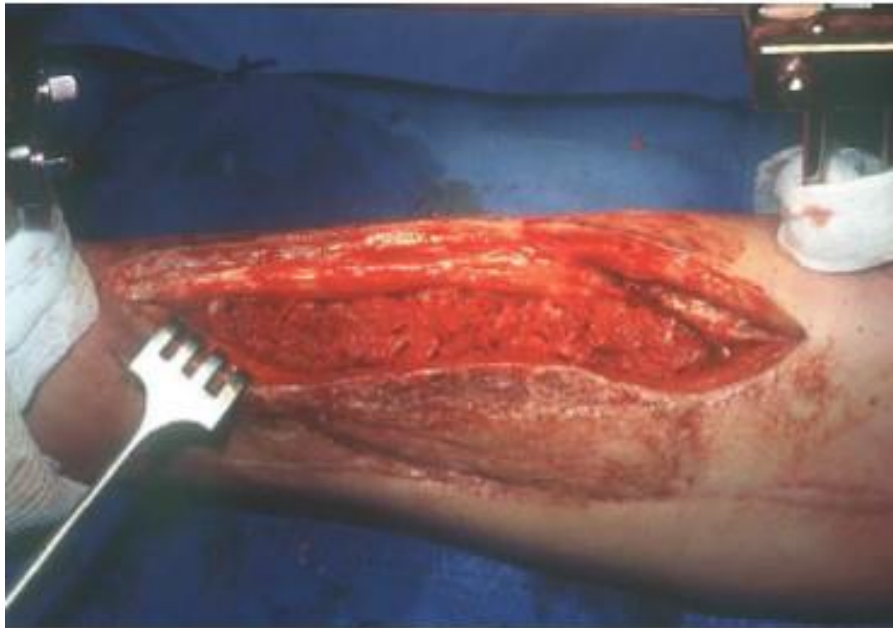


Figure 8: Image peropératoire montrant la mise en place de l'autogreffe spongieuse morcelée



Figure 9 : Image peropératoire montrant la fermeture de la membrane induite.

a. Détails techniques :

Cette technique est d'une apparente simplicité mais des détails techniques doivent être respectés (52).

➤ Au premier temps :

- Résection de tous les tissus pathologiques.
- Ostéosynthèse solide jusqu'à la consolidation.
- Le ciment doit manchonner les extrémités osseuses saines et débridées.
- Le ciment doit être surdimensionné en calibre (53), et doit couvrir toute la perte de substance osseuse en longueur et en diamètre.
- Au segment jambier, le ciment doit se poser sur la fibula qu'il faut intégrer au projet de reconstruction.
- L'insertion de l'entretoise est réalisée lorsque le ciment est encore malléable. Les extrémités osseuses seront ainsi encapuchonnées par le ciment et ce dernier est poussé en intramédullaire sur un bon centimètre de longueur. Après polymérisation, le bloc de ciment devient stable puisque accroché en proximal et en distal de l'os, à la fois en intra et en extra-médullaire (54).
- Couverture musculaire et cutané de bonne qualité.

➤ Au deuxième temps :

- Incision prudente de la membrane.
- Ablation prudente du ciment à la scie ou à l'ostéotome.
- Reperméabilisation du canal médullaire de manière bilatérale pour permettre la libre circulation de facteurs de croissance, une décortication est pratiquée aux deux extrémités en détachant de fins copeaux d'os cortical qui restent attachés à la membrane périphérique.
- La greffe autologue spongieuse doit fournir des copeaux de l'ordre de 1 à 2mm³.

- La greffe spongieuse ne doit pas être lavée.
- En cas d'insuffisance, la greffe peut être complétée par du substitut osseux synthétique ou de l'allogreffe à condition de ne pas dépasser le ratio 1 pour 3 en faveur de l'autogreffe spongieuse.
- Masquelet conseille de « tasser la greffe spongieuse jusqu'à obtenir au doigt une résistance élastique comparable à celle d'un ballast de chemin de fer lors du passage du train ».
- Le renforcement ou le changement de l'ostéosynthèse doit être discuté.
- Si le moyen d'ostéosynthèse est une plaque ou une ostéosynthèse centromédullaire, il ne doit pas être modifié au deuxième temps.

MATERIELS

ET METHODES

A/ Type d'étude :

Il s'agit d'une étude rétrospective menée au sein du service traumatologie-orthopédie pédiatrique, CHU HASSAN II de Fès, sur une période étalée entre 2011 et 2018, à propos d'une série de 7 patients traités pour PSO post infectieuse par la technique de Masquelet.

B/ Critères d'inclusion :

Ont été inclus tous les patients pris en charge au service de traumatologie-orthopédie pédiatrique du CHU HASSAN II de Fès, selon la technique de la membrane induite pour des PSO segmentaires post infectieuses de janvier 2011 à décembre 2018.

C/ Critères d'exclusion :

Les patients traités pour une perte de substance osseuse non infectieuse ont été exclus.

Au total 07 patients ont été retenus pour la présente étude.

D/ Critères de consolidation :

Nos critères principaux de jugement pour l'évaluation de la technique de la membrane induite étaient la consolidation osseuse et la guérison de l'infection.

Pour évaluer la consolidation osseuse, on a utilisé le score d'union radiographique pour le tibia (RUST).

➤ **Définition :**

RUST est un outil radiographique permettant d'évaluer quantitativement la cicatrisation d'une fracture à l'aide d'un système de score cortical, il a été développé par Wealen [55] et ses collaborateurs afin d'évaluer la guérison des fractures du tibia.

Ainsi, le score RUST peut potentiellement servir de système de notation fiable pour aider à quantifier la guérison dans d'autres localisations notamment l'humérus et dans d'autres contextes cliniques notamment la pseudarthrose septique. [56]

Le score RUST utilise 2 signes radiographiques fiables pour évaluer la consolidation osseuse sont : (57)

- Le pontage cortical radiographique par cal
- Et l'absence de ligne de fracture

Chaque cortex (antérieur, postérieur, médial, et latéral) s'est vu attribuer un score de 1 à 3, en fonction de son apparence.

- Un cortex avec une ligne de fracture visible et sans cal a reçu un score de 1.
- Un cortex où un cal est présent avec ligne de fracture visible est noté 2.
- Un cortex avec une ligne de fracture invisible et un cal présent est noté 3.

Les scores de tous les cortex ont ensuite été combinés, ce qui donne une valeur totale pour chaque ensemble de radiographies ; 4 est le score minimum (certainement pas guéri) et 12 est le score maximum (complètement guéri).

Un score ≥ 7 équivaut à un minimum de trois cortex avec callosités osseuses. Une fracture avec ce score peut être considérée comme consolidée radiologiquement. [58]

Tableau 3 : vue d'ensemble de l'échelle de l'union radiographique dans la fracture du tibia (RUST) [59]

Score par cortex	Cal	Ligne de fracture
1	Absent	Visible
2	Présent	Visible
3	Présent	Invisible

E/ Observations :

➤ Observation n°1:

Il s'agit de l'enfant R .Nabil âgé de 7 ans.

Suivi dans notre formation pour un délabrement post traumatique de la cheville et de l'extrémité inférieure de la jambe droite avec mise à nu de l'os, associé à une fracture ouverte du tibia et une atteinte du cartilage de conjugaison, suite à un AVP.

Le patient a bénéficié d'un parage en urgence et d'une greffe cutanée après contrôle de l'infection et bourgeonnement des tissus.

L'évolution fut marquée par l'apparition d'une ostéite et une pseudarthrose du foyer fracturaire d'où la décision de combler le défaut osseux selon la technique de membrane induite.

Le premier temps de l'intervention a consisté en l'excision des tissus macroscopiquement infectés et l'avivement des berges osseuses. Des prélèvements bactériologiques multiples ont été réalisés à la recherche d'une éventuelle infection. Ensuite une ostéosynthèse par broche intra médullaire de Métaizeau a été faite. Et à la fin, du ciment chirurgical a été appliqué au niveau de PSO estimée à 4 cm et représente 18 % de longueur totale de l'os. (Figure 11)

8 semaines plus tard, le patient a été repris pour le 2^{ème} temps de Masquelet. Il a bénéficié après reprise de l'ancienne incision, d'une ouverture longitudinale de la membrane induite, et d'une ablation du ciment chirurgical. Ensuite, un comblement du défaut osseux par un greffon spongieux prélevé au niveau de la crête iliaque homolatérale a été fait.

Les suites post opératoires étaient simples, l'enfant a été déclaré sortant sous couverture d'antibiotiques avec attelle cruro-pédieuse postérieur pendant 10 jours puis résine cruro-pédieuse jusqu'à consolidation qui a été obtenue 6 mois plus tard. (Figure 12)

Après un recul de 2 ans, une bonne consolidation a été notée par ailleurs le patient a gardé une ILMI estimée à 6 cm pour laquelle il a bénéficié d'un allongement du tibia par fixateur externe.

Le résultat définitif était satisfaisant avec un gain de 5 cm de longueur et reprise d'une marche normale. (Figure 14).



*Figure10 : Radiographie initiale de la jambe montrant le foyer de pseudarthrose
(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)*



*Figure 11 : Radiographie de la jambe après T1
(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)*



*Figure 12 : Radio montrant la consolidation osseuse à 6mois
(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)*



Figure 13 : Allongement de tibia par fixateur externe



Figure 14: radio de la jambe de face montrant le résultat final après allongement de 5cm

(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)

➤ **Observation n°2 :**

Il s'agit de l'enfant A. Karima âgée de 11 ans. Sans antécédents pathologiques notables.

Suivie dans notre formation pour une fracture ouverte du fémur gauche avec mise à nu de l'os suite à un AVP. Le malade a bénéficié d'une pose de fixateur externe en urgence.

L'évolution fut marquée par l'apparition d'une ostéite et une pseudarthrose du foyer fracturaire avec séquestration osseuse d'où la décision de faire une séquestrectomie et d'un traitement par antibiothérapie jusqu'à contrôle de l'infection.

Puis la décision de réaliser une technique de Masquelet a été prise. Le 1^{er} temps a consisté en une résection des tissus nécrotiques et fibreux, d'un avivement des berges osseuses. Ensuite une ostéosynthèse par un fixateur externe a été réalisée. Et à la fin, la mise en place du ciment chirurgical au niveau de PSO, estimée à 7 cm et représente 23 % de longueur du fémur, a été faite. (Figure 16)

8 semaines plus tard, le patient a été repris pour le 2^{ème} temps de Masquelet. Il a bénéficié après reprise de l'ancienne incision, d'une ouverture longitudinale de la membrane induite, d'une ablation du ciment chirurgical et d'un comblement par un greffon cortico-spongieux prélevé au niveau de la crête iliaque homolatérale et une crête tibiale vu l'importance de PSO.

Les suites post opératoires étaient simples, la patiente a été déclarée sortante sous couverture d'antibiotiques et antalgiques.

La consolidation a été obtenue 5 mois plus tard. (Figure 17)

Le résultat définitif était très satisfaisant avec une bonne consolidation osseuse et reprise d'une marche normale avec une ILMI de 2 cm.



Figure15 : radio du fémur de face montrant la pseudarthrose et le séquestre osseux après ablation du fixateur externe

(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)



(A) Figure 16 : Rx du fémur en post-op immédiat de T1

(B) figure17 : Rx à 5 mois de T2 montrant une consolidation satisfaisante

➤ **Observation n°3:**

Il s'agit de l'enfant S. Abderrahmane, âgé de 10 ans.

Traité dans une autre formation pour ostéomyélite chronique du fémur droit.

Admis initialement dans notre formation pour fracture négligée du fémur droit sur os pathologique et une inégalité des membres inférieurs, d'où la décision de réduire chirurgicalement la fracture avec résection du cal et mise en place du fixateur externe. (Figure 19)

Vu l'absence de consolidation, la persistance d'un défaut osseux important du fémur droit et la présence du séquestre osseux, la décision était de réaliser une séquestrectomie puis traiter selon la technique de Masquelet.

Le premier temps de Masquelet a consisté en l'abord antéro-externe de la cuisse droite en regard de la perte de substance osseuse, un avivement des berges osseuses, une stabilisation par un fixateur externe. Et à la fin, comblement du défaut osseux de 7cm par du ciment chirurgical. (Figure 20)

9 semaines plus tard, le patient a été réadmis pour le 2ème temps de Masquelet. Il a bénéficié après reprise de l'ancienne incision, d'une ouverture longitudinale de la membrane induite, et une ablation du ciment chirurgical par morcellement, ensuite une mise en place d'un greffon cortico-spongieux prélevé au niveau de la crête iliaque a été faite.

Les suites post opératoires étaient simples, l'enfant a été déclaré sortant sous couverture d'antibiotiques.

Après un recul de 7 mois, le résultat définitif était satisfaisant avec une bonne consolidation osseuse, mais l'enfant a gardé une inégalité de longueur des membres inférieures pour laquelle, il a été repris pour allongement.



Figure 18 : Rx montrant une fracture négligée du fémur déplacée en angulation et en chevauchement, avec cal osseux



*Figure 19: Rx après 3 mois de la réduction chirurgicale de la fracture montrant une pseudarthrose avec présence de séquestres osseux.
(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)*



(A) Figure 20 : 1er temps de masquelet avec ostéosynthèse par fixateur externe.

(B) Figure 21 : radio montrant l'aspect du fémur 4mois après le 2ème temps de

Masquelet

(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)



Figure 22 : radio montrant le résultat final avec un recul d'un an.

Persistance d'une ILMI : un allongement est prévu.

➤ **Observation n°4 :**

Il s'agit de l'enfant L. farah âgée de 7ans.

Admise initialement au service pour luxation congénitale de la tête radiale et d'un cubitus valgus, traitée par ostéotomie d'allongement du cubitus sur fixateur externe. (Figure 24)

5 mois plus tard, une ostéite est survenue sur matériel d'ostéosynthèse d'où la décision de son ablation.

Un an après, l'évolution fut marquée par l'apparition d'une pseudarthrose au foyer d'ostéotomie avec absence de réduction de la tête radiale et un ulna grêle et court, d'où la décision d'intervenir selon la technique de membrane induite.

Le premier temps de Masquelet a consisté en un débridement des tissus nécrotiques et l'avivement des berges osseuses. Ensuite, une ostéosynthèse par broche intramédullaire de Métaizeau au niveau de cubitus a été réalisée. Et à la fin un comblement du défaut osseux , estimé à 4,5 cm et qui représente 22% de l'os, par du ciment chirurgical a été fait. (Figure 26)

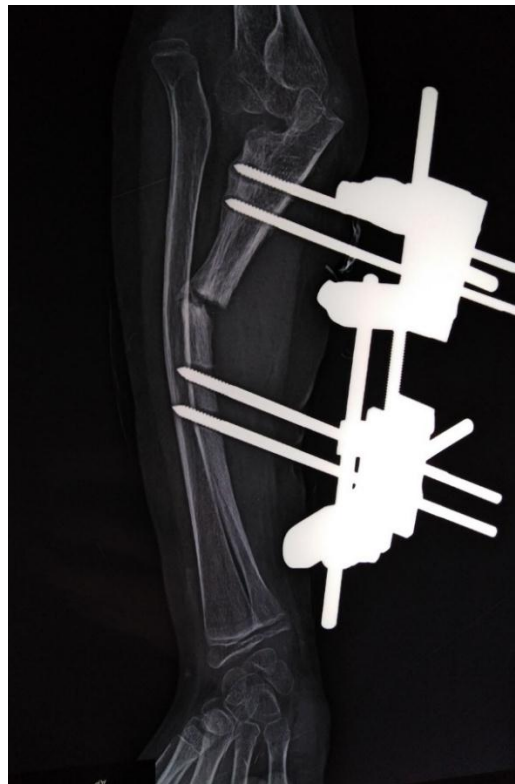
Le 2^{ème} temps a été réalisé 9 semaines plus tard, il a consisté après reprise de l'ancienne incision d'une ouverture longitudinale de la membrane induite, une ablation du ciment chirurgical, ensuite un comblement du défaut osseux par un greffon prélevé au niveau de la crête iliaque. (Figure 27)

Les suites post opératoires étaient simples, l'enfant a été déclarée sortante sous couverture d'antibiotiques avec attelle brachio-antébrachio-palmaire postérieure.

Après un recul de 1an, le résultat définitif a été marqué par persistance de pseudarthrose cubitale avec absence de consolidation osseuse. (Figure 28)



Figure 23: radio de l'avant-bras montrant une luxation congénitale de la tête radiale



*Figure 24 : traitement initial de la luxation par allongement du cubitus par fixateur
externe*



Figure 25: radio de l'avant-bras montrant pseudarthrose septique du foyer d'ostéotomie cubitale avec fracture déplacée en angulation



Figure 26 : radio montrant la mise en place du ciment chirurgical lors de T1



Figure 27 : radiographie post opératoire du 2ème temps de Masquelet



Figure 28 : radio montrant résorption de la greffe spongieuse et échec de la technique de Masquelet.

(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)

➤ **Observation n°5:**

Il s'agit de l'enfant M. Amine, âgé de 11 ans.

Admis initialement pour ostéoarthrite du genou et de l'extrémité supérieure du tibia droit, pour laquelle il a bénéficié de plusieurs drainages chirurgicaux avec traitement médical par antibiothérapie.

L'évolution a été marquée par un passage à la chronicité avec la constitution d'une pseudarthrose septique.

Devant le défaut osseux séquellaire mesurant 6cm et qui représente 20% de longueur du tibia, l'intervention selon la technique de Masquelet a été posée.(Figure 29)

Le premier temps de Masquelet a été réalisé le mois 07/2015. Le patient a bénéficié d'une incision supérieure en regard de la crête tibiale, libération des bouts proximal et distal de la perte de substance du tibia après libération des adhérences, ensuite l'introduction de deux broches au niveau de l'épiphyse tibiale supérieure, et à la fin comblement du défaut osseux par du ciment chirurgical et la mise en place d'une attelle postérieure. (Figure 30)

Le 2ème temps de Masquelet réalisé 9 semaines plus tard soit le mois 09/2015, il a consisté après reprise de l'ancienne incision, en une ablation du ciment biologique en respectant la membrane induite et une mise en place du greffon spongieux prélevé au niveau de la crête iliaque. (Figure 31)

Après un recul de 2ans, les radio ont montré le comblement de PSO mais avec persistance d'une pseudarthrose au niveau du bout proximal du tibia. La décision était de reprendre le patient pour avivement et greffe osseuse avec mise en place d'une plaque vissée.

Cependant, un échec de la reprise a été constaté à 6 mois du post-opératoire. (Figure 33)



Figure 29 : Radio montrant les séquelles d'OMC avec PSO du tibia proximal de 6 cm



*Figure30 : radio post opératoire du premier temps de Masquelet
(Service de traumatologie orthopédique pédiatrique CHU H.II)*



Figure 31 : radio post opératoire du 2^{ème} temps de Masquelet



Figure 32 : résultat à 8 mois après technique de Masquelet montrant l'absence de consolidation et la persistance de pseudarthrose.

(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)



*Figure 33 : radio post opératoire à 6mois de l'avivement-greffe montrant la
persistance de la pseudarthrose*

(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)

➤ Observation n°6:

Il s'agit de l'enfant I. Samia âgée de 8 ans.

Suivie pour une ostéomyélite chronique de l'humérus gauche. L'évolution a été marquée par la survenue d'une fracture diaphysaire proximale sur os pathologique d'où son transfert dans notre formation pour suite de prise en charge.

A son admission l'infection locorégionale a été contrôlée d'où la mise en place d'un embrochage centromédullaire élastique stable plus une greffe avec bonne évolution et consolidation de l'humérus.

Ensuite, l'enfant a présenté une fracture itérative de l'humérus avec cassure du matériel d'ostéosynthèse et reprise de l'infection locale. Une ablation du matériel d'ostéosynthèse a été réalisée avec contrôle de l'infection locorégionale par une antibiothérapie. L'évolution était marquée par une pseudarthrose du foyer fracturaire avec une perte de substance osseuse estimée à 3 cm et qui représente 14% de longueur de l'humérus, d'où la décision de réaliser la technique de Masquelet. (Figure 35)

Lors du premier temps de Masquelet, la patiente a bénéficié d'un abord antéro-externe du bras gauche en regard de la perte de substance osseuse, d'une excision des tissus nécrotique et d'un avivement des berges osseuses. Ensuite, une ostéosynthèse par broche de Métaizeau au niveau de l'humérus a été faite. Et à la fin, une mise en place du ciment chirurgical a été réalisée. (Figure 36)

Le 2ème temps de Masquelet a été réalisé 8 semaines plus tard, il a consisté après reprise de l'ancienne incision, en l'ablation du ciment biologique en respectant la membrane induite et le comblement du défaut osseux par un greffon cortico-spongieux prélevé au niveau de la crête iliaque.

Les suites post opératoires étaient simples, la patiente a été déclarée sortante sous couverture d'antibiotiques et antalgiques avec une attelle brachio-antébrachio-palmaire.

La consolidation osseuse a été obtenue à 9 mois selon le score RUST. (Figure 37).

La patiente avait gardé une importante inégalité de longueur traitée par allongement par fixateur externe avec un résultat final clinique et radiologique satisfaisant. (Figure 38)



Figure34 : image clinique montrant les séquelles d'ostéomyélite chronique de l'humérus avec présence d'une déformation et de fistules.

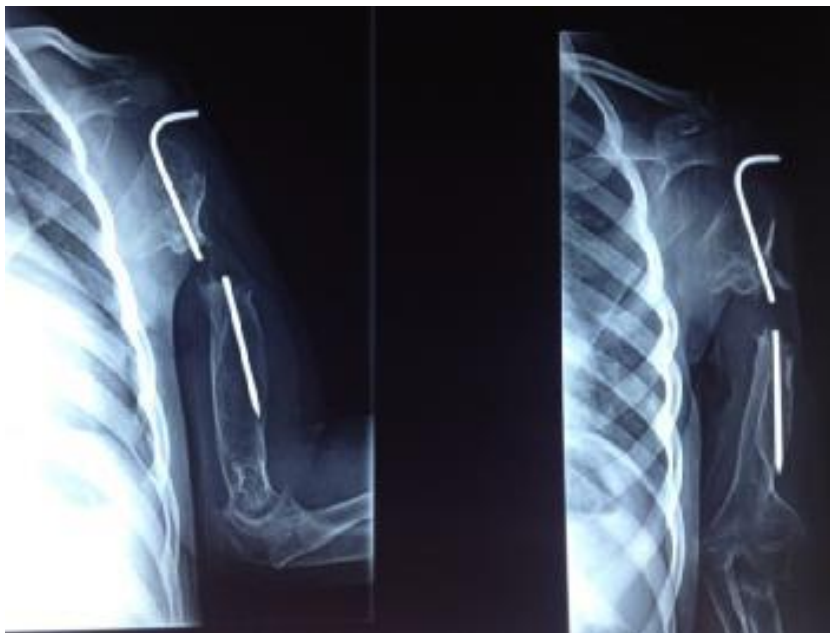


Figure 35 : Rx de l'humérus montrant une pseudarthrose avec PSO de 3 cm après fracture sur os pathologique et cassure du matériel d'ostéosynthèse



Figure 36 : radiographie post opératoire du 1^{er} temps de Masquelet



Figure 37 : résultat définitif satisfaisant avec une bonne consolidation osseuse à 9 mois du traitement par la technique de Masquelet



Figure 38 : Radio du bras montrant le résultat final après allongement de l'humérus de 4 cm

(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)

➤ Observation n°7:

Il s'agit de l'enfant L. Khadija âgée de 6 ans.

Admise initialement pour abcès sous périosté de l'extrémité inférieure du fémur droit drainé mais ayant évolué vers une OMC. L'évolution a été marquée par une fracture sur os pathologique pour laquelle elle a bénéficié d'une mise en place d'un fixateur externe.

Devant l'absence de consolidation osseuse à 8mois et persistance de la pseudarthrose la décision de traiter selon la technique de Masquelet a été posée.

Lors du premier temps de Masquelet, réalisé le mois 10/2015, la patiente a bénéficié d'un abord antéro-interne de la cuisse droite en regard de la perte de substance osseuse, d'une excision des tissus nécrotiques, et d'un avivement des berges osseuses. Ensuite, une mise en place d'un embrochage centro-médullaire au niveau du fémur a été faite. Et à la fin, comblement du défaut osseux mesurant 10,5cm par du ciment chirurgical et représentant 30% la longueur totale du fémur. (Figure 40)

7 semaines plus tard, la patiente a été admise pour le 2^{ème} temps de Masquelet. Elle a bénéficié après reprise de l'ancienne incision, d'une ouverture longitudinale de la membrane induite, une ablation du ciment chirurgical, ensuite le défaut osseux a été comblé par un greffon cortico-spongieux prélevé au niveau de la crête iliaque et au niveau du péroné homolatéral vu l'étendue de la PSO à combler.(Figure 41)

Les suites post opératoires étaient simples, la patiente a été déclarée sortante sous couverture d'antibiotiques et antalgiques avec confection d'un plâtre circulaire cruro-pédieux.

L'évolution a montré la persistance d'une pseudarthrose jonctionnelle à 7 mois (Figure 42). La décision de réaliser un avivement-greffe a été prise.

La consolidation a été obtenue à 5mois avec persistance d'une inégalité de longueur des membres inférieurs pour laquelle elle a bénéficié d'un allongement par fixateur externe.



Figure 39 : radio initiale de la cuisse montrant le foyer de pseudarthrose



*Figure 40 : radiographie de la cuisse en post opératoire du 1^{er} temps de Masquelet
(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)*



Figure41 : radio post opératoire du 2^{ème} temps de Masquelet



*Figure 42 : radio de la cuisse à 7 mois du post-opératoire montrant une persistance de la pseudarthrose
(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)*



*Figure 43 : résultat final après l'avivement-greffe avec bonne consolidation osseuse
(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)*



Figure 44 : allongement de la cuisse par fixateur externe



Figure 45 : radio montrant le résultat 8mois après allongement par fixateur externe avec une consolidation en cours.

(Service de traumatologie-orthopédie pédiatrique CHU H.II)

Tableau 5 : tableau récapitulatif des observations :

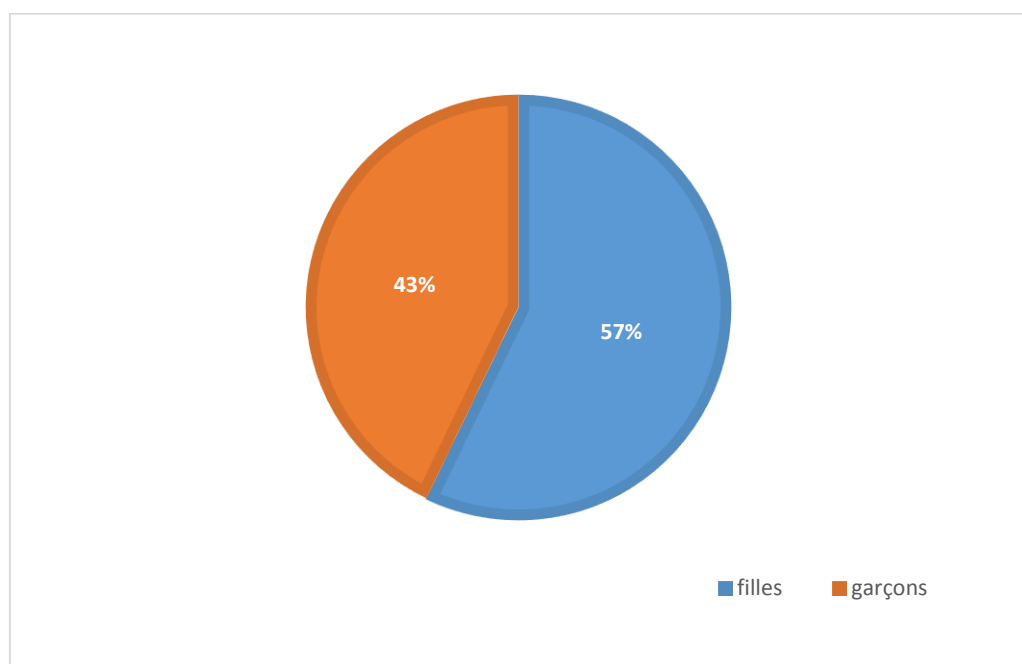
Patient	Age	Sexe	Etiologie	PSO en cm et % par rapport au segment osseux	Consolidation	Recul	Résultat
R. Nabil	7ans	G	Ostéite après fracture ouverte du tibia	4cm, 18% du tibia	Bonne à 6 mois	5ans	Satisfaisant, ILMI traitée par allongement
A. Karima	11ans	F	Ostéite après fracture ouverte du fémur	7cm, 23% du fémur	Bonne à 5 mois	2ans	Satisfaisant, ILMI traitée par allongement
S. Abderrahman	10 ans	G	Abcès sous périoste du fémur	7cm 20% de l'os	Bonne à 7 mois	4ans	Satisfaisant, ILMI : allongement prévu
L. Farah	7ans	F	Pseudarthrose septique du cubitus	4,5cm 22% de l'os	Absence	4ans	Echec avec persistance de pseudarthrose
M. Amine	11ans	G	Ostéomyélite chronique de la jambe	6cm 20% du tibia	Absence	4 ans	Insatisfaisant, avec persistance de pseudarthrose
I.Samia	8ans	F	Ostéomyélite chronique de l'humérus	3cm 14% de l'os	Bonne à 9mois	4ans	Satisfaisant, avec un bras court traité par allongement
L. Khadija	6ans	F	Abcès de la cuisse	10,5cm 30% de l'os	Absence	4ans	Insatisfaisant

RESULTATS

A/ Description des résultats :

1/ Caractéristiques de la population :

Nous avons utilisé un échantillon de 07 patients dans cette étude, avec une prédominance féminine : 4 filles et 3 garçons.



L'âge moyen lors du premier temps de reconstruction est de 8,5 ans avec extrêmes d'âge [6ans-11ans].

Tous les patients ont bénéficié d'une chirurgie de reconstruction selon la technique de la membrane induite et la perte de substance osseuse était d'origine infectieuse pour tous les enfants.

2/ Segments osseux concernés :

Humérus : 1 cas

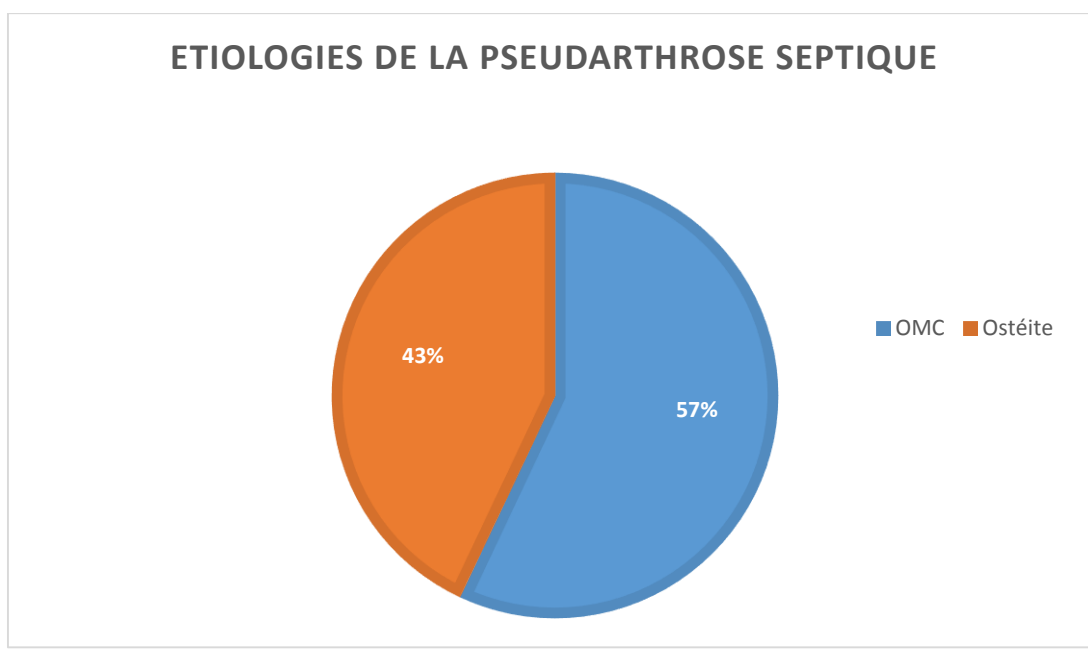
Cubitus : 1 cas

Fémur : 3 cas

Tibia : 2 cas

3/ Caractéristiques cliniques :

- Tous les patients présentaient une pseudarthrose septique secondaire soit à une ostéomyélite chronique dans 4 cas, soit à une ostéite après fracture ouverte dans 3 cas.



- La taille moyenne des PSO était de 6 cm avec des extrêmes [3cm–10,5cm]
- Le pourcentage moyen de la PSO par rapport à la longueur totale du segment osseux était de 21,14% avec des extrêmes [14%–32%].
- ✓ On peut classer la PSO selon la classification de la SOFCOT (tableau).

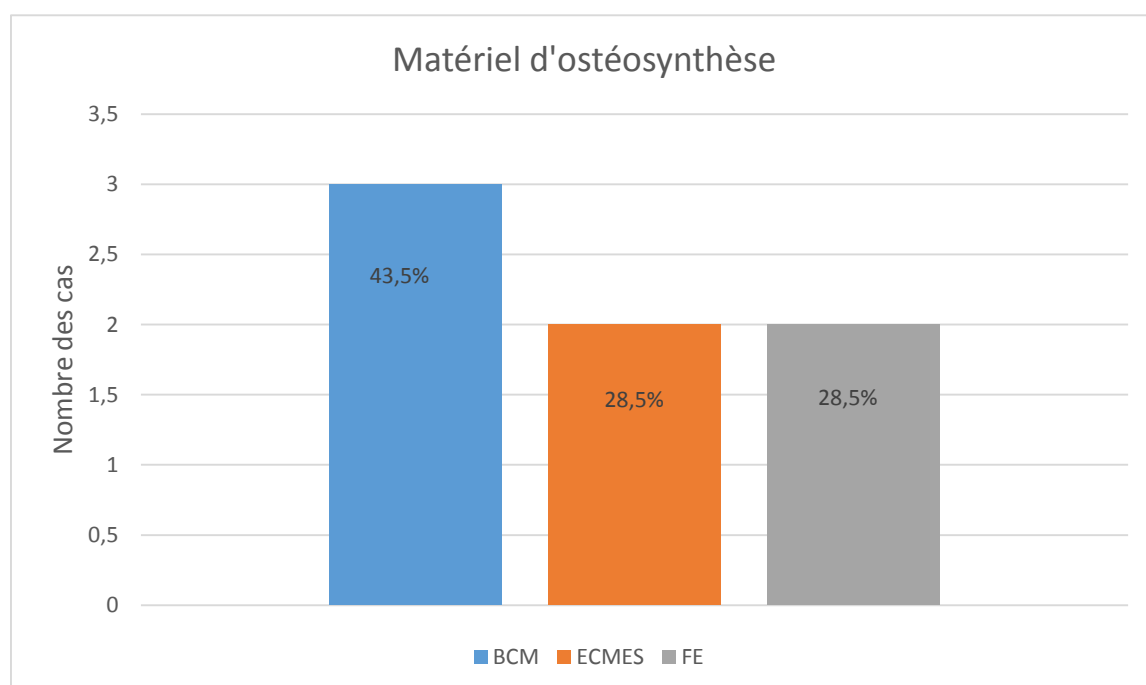
Tableau4 : taille des PSO selon la classification de la SOFCOT (59)

Type 1 : < 2cm	Type2 : entre 2 et 5 cm	Type 3 : entre 5 et 10 cm	Type 4 : > 10cm
0%	43%	43%	14%

4/ Matériel d'ostéosynthèse :

Au cours du deuxième temps chirurgical, parmi les moyens d'ostéosynthèse, nous retrouvons :

- 03 patients ont bénéficié d'un embrochage centromédullaire type Kirchner (BCM) (42,85%).
- 02 patients ont bénéficié d'un embrochage centromédullaire élastique stable : ECMES (28,5%).
- 02 patients ont bénéficié d'un fixateur externe (FE) seul (28,5%).



5/ Type de greffe :

- La greffe osseuse était issue des crêtes iliaques antérieures dans tous les cas, associée à :
 - + Une crête tibiale chez un seul malade.
 - + Une greffe au niveau du péroné non vascularisé pour un seul patient où la PSO était massive.
- Nous n'avons pas utilisé d'allogreffe ni de substitut osseux.

6/ Délai d'intervention :

Nous avons recueilli le temps en semaines entre les deux temps T1 et T2.

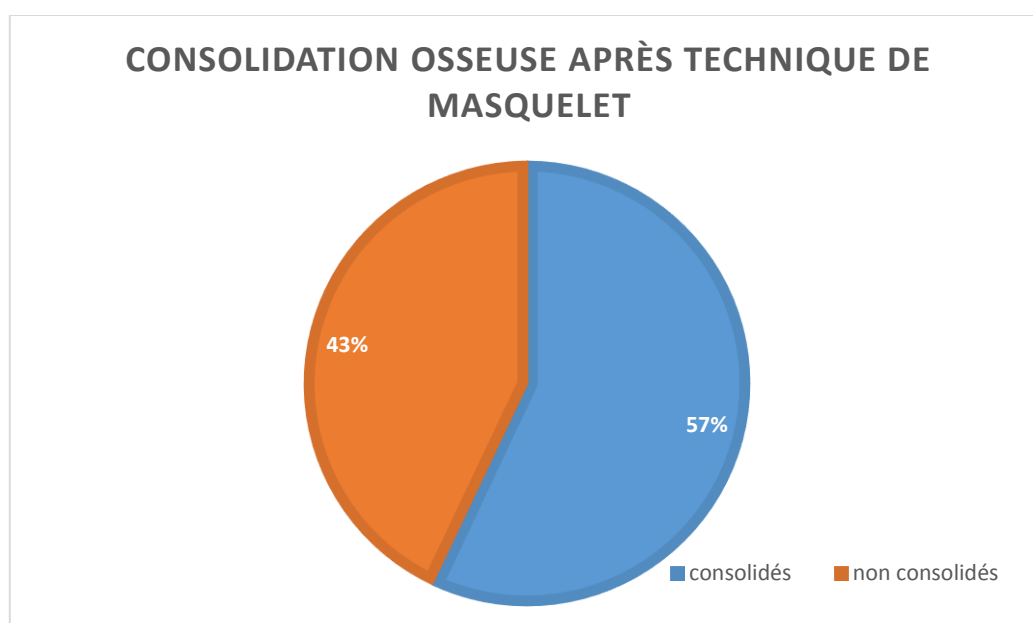
Le délai moyen entre T1–T2 était de 8,2 semaines avec des extrêmes [7sem–9sem].

7/ Consolidation :

Le délai moyen de consolidation depuis T2 était de 6,75 mois [5–9mois].

Après un recul moyen de 48 mois [24–60mois], 4 patients ont bien évolué avec bonne consolidation osseuse, selon le score RUST.

Vu la persistance d'une inégalité de longueur des membres inférieures, nous avons eu recours à un allongement osseux.



- Trois patients ont eu des complications avec absence de consolidation osseuse totale :

➤ Résorption du greffon chez un seul malade (observation n°4) :

Chez qui, on a comblé le défaut osseux, estimé à 4,5cm, au niveau du cubitus par un greffon prélevé au niveau de la crête iliaque antérieure. Et on a utilisé un embrochage intra-médullaire de Métaizeau comme moyen de fixation.

➤ Pseudarthrose jonctionnelle chez 2 patients (observations n°5 et 7) :

+ Le premier patient avait une PSO estimée à 6 cm, au niveau du tibia, et a été comblée par un greffon cortico-spongieux prélevé au niveau de la crête iliaque antérieure. La stabilisation osseuse a été assurée par un ECMES.

+ La 2ème patiente avait une PSO très importante mesurant 10,5 cm, au niveau du fémur droit. Le greffon cortico-spongieux utilisé a été prélevé au niveau de la crête iliaque homolatérale et au niveau du péroné homolatéral. La stabilisation osseuse a été assurée par un ECMES.

DISCUSSION

A- Introduction :

La prise en charge des pertes de substance osseuse post infectieuses est un sujet d'actualité très complexe avec de nombreuses difficultés concernant le choix thérapeutique de reconstruction osseuse, souvent compliquée par la gestion des complications infectieuses, et la nécessité d'une bonne couverture musculo-cutanée.

En cas de défaut osseux minime, il est admis de réaliser une greffe osseuse autologue en un temps. Quand cela n'est pas réalisable, plusieurs techniques chirurgicales de reconstruction sont envisageables. A partir des années 1950, la technique chirurgicale d'ostéotomie-distraktion d'Illizarov (60) puis le transport osseux (61) et l'allogreffe (62) étaient les gold-standard de la prise en charge des larges pertes de substance osseuse. Avec l'avènement de la microchirurgie, la greffe de fibula vascularisée s'était largement développée (63). A la fin du XXe siècle, Masquelet a décrit une nouvelle technique chirurgicale basée sur la membrane induite par un spacer en ciment.

Notre objectif était d'étudier l'évolution des patients traités par la technique chirurgicale de la membrane induite pour des pertes de substance osseuse post-infectieuses.

B- Indications chirurgicales :

La technique de la membrane induite est aujourd'hui devenue le gold-standard de la reconstruction biologique de la perte osseuse à long segment chez l'enfant.

L'expérience clinique initiale de la technique de la membrane induite concernait des pseudarthroses septiques post-traumatiques de jambe chez l'adulte.

Progressivement les indications ont été élargies à d'autres étiologies des pertes de substance osseuse comme les pseudarthroses septiques et congénitales chez

l'enfant, le sauvetage de membre inférieur dans le cas de fracture complexe [64], la reconstruction osseuse après résection tumorale et le traitement des pseudarthroses post-fracturaires aseptiques ou en tissus irradiés.

La reconstruction des extrémités (main, pied) est également du domaine de la technique de la membrane induite. Dans tous les cas, cette technique séquentielle a montré des résultats fiables et réguliers, confirmés par d'importantes séries cliniques.

Une des notions désormais admises est que le délai de consolidation permettant l'appui à pleine charge est de l'ordre de six à huit mois au membre inférieur et est indépendant de l'étendue de la reconstruction osseuse.

- **Reconstruction en pathologie infectieuse :**

Les infections ostéo-articulaires sont actuellement l'un des plus grands défis auxquels font face les chirurgiens orthopédiques. Donc le but ultime du traitement est d'éradiquer l'infection, et aussi de reconstituer avec succès les défauts osseux associés.

Dans le cadre de la chirurgie ostéo-articulaire septique l'entretoise en ciment sert à la fois à maintenir l'espace avant la greffe et à contrôler bactériologiquement. Ce ciment sans antibiotique peut ainsi être retiré en cas de septicémie incontrôlée. Après une préparation minutieuse, une nouvelle entretoise cimentée est alors interposée. Si l'infection est maîtrisée, la greffe peut être réalisée environ 2 mois après la mise en place du ciment.

Selon les conclusions et recommandations issues des travaux du Symposium consacré aux pertes de substance osseuse diaphysaires post traumatiques, à l'occasion du congrès de la Sofcot de novembre 2010 : [66]

En cas d'infection déclarée, l'attitude raisonnable consiste également à prévoir deux temps opératoires. Après excision radicale, l'entretoise en ciment maintient l'espace de reconstruction, joue le rôle de sentinelle apte à déceler une éventuelle

récidive de l'infection qui inciterait à une excision itérative, et induit une membrane à corps étranger qui possède elle-même un caractère inducteur sur la consolidation osseuse.

La reconstruction sera faite secondairement selon le procédé dont l'équipe a l'expérience: comblement par matériau traditionnel, transfert osseux vascularisé ou mobilisation osseuse à l'intérieur de la chambre biologique que forme la membrane.

Le bourgeonnement dirigé, après exérèse pluritissulaire extensive, ne nous semble pas un procédé fiable à la fois pour l'assèchement de l'infection et pour la restauration définitive des parties molles.

C'est d'ailleurs ce qui a conduit à l'abandon progressif de la technique de Papineau fondée sur une reconstruction par greffe spongieuse exposée [65,66].

Au stade séquellaire asséché, l'évaluation des parties molles est essentielle dans l'indication d'une technique de reconstruction.

C- Résultats :

Notre principal objectif était d'analyser le taux de consolidation après le 2^{ème} temps de Masquelet. Dans notre série, la consolidation était définie selon des critères radiologiques du score RUST. Il est de 57% (4 patients sur 7), avec un délai moyen de consolidation de 6,75 mois [5 - 9mois].

La définition du succès qu'on a choisie (la consolidation osseuse obtenue après le 2eme temps de Masquelet et avant toute chirurgie itérative), était stricte.

Si les chirurgies itératives sont considérées, le taux de réussite passe à 85% (6 patients sur 7):

La PSO a été complètement comblée après avivement-greffe chez la patiente qui a gardé une pseudarthrose jonctionnelle après la technique de Masquelet (observation n°7).

Chez l'autre patient (observation n°5), grâce à la technique de Masquelet, le défaut osseux, mesurant 6cm, a été comblé avec persistance d'une pseudarthrose d'extrémité.

Nos résultats sont en accord avec les données de la littérature qui révèlent des taux de consolidations de 41,6% à 100%. [67 -68]

Gouron trouvait un délai de consolidation moyen après le second temps de Masquelet de 9,1 mois (2—25mois).

Le taux de consolidation après T2 de la revue systématique d'Aurégan était 58%, ce pourcentage est passé à 87% après les chirurgies itératives. Les auteurs de la revue ont évalué la consolidation osseuse sur 2 incidences radiographiques orthogonales et ont conclu que la consolidation n'est obtenue que lorsque 3 corticales sont consolidées entre les 2 extrémités du défaut osseux, après le 2^{ème} temps de Masquelet et avant toute chirurgie itérative.

Les causes d'échec de la technique étaient variables : pseudarthrose, lyse osseuse, fracture, et l'infection qui a été noté chez un seul patient.[69]

D- Analyse des résultats de l'étude en fonction de :

Vu le nombre limité des séries pédiatriques qui analysent les résultats de la technique de Masquelet dans le contexte infectieux, la comparaison avec la littérature reste difficile.

1-Age :

Dans la série pédiatrique de Gouron 2012 [70], comportant 14 enfants ayant bénéficié d'une reconstruction osseuse segmentaire par la technique de Masquelet pour traiter des PSO d'étiologies différentes, l'âge moyen au premier temps chirurgical était de 10,6 ans [1- 17ans].

Dans sa revue systématique, de 12 études rapportant les résultats de la technique de la membrane induite pour le traitement des défauts osseux de taille critique chez l'enfant, Aurégan et son équipe retrouvaient un âge moyen lors du T1 équivalent à 10 ans avec des extrêmes (0,85–18). (69)

Alors que dans notre série l'âge moyen lors du premier temps de reconstruction était de 8,5 ans avec des extrêmes [6 – 11 ans].

2-Importance de PSO :

Dans la méta-analyse (69) réalisée par Aurégan, la taille moyenne de résection osseuse correspondait à 12,38cm avec des extrêmes [1–24 cm], ce qui représente un taux moyen de résection de 37,26%.

Par contre dans la série de Gouron, le pourcentage moyen d'os à reconstruire par rapport à la taille du segment osseux était de 32,9 % (13,9—51).

Ces résultats semblent être supérieurs à ceux de notre étude, puisque la taille moyenne des défauts osseux dans notre étude était de 6 cm [3 – 10,5], avec un pourcentage moyen de la zone à reconstruire par rapport à la taille totale du segment osseux de 21,14% [14–40%].

3- Délais T1-T2 :

Concernant la série d'Aurégan, (69) le délai moyen entre T1 et T2 était plus élevé par rapport au délai de 2 mois recommandé par Masquelet, ce dernier correspondait à 5,86 mois [1,25–20,30]. Les auteurs ont associé l'échec de la technique à un long délai entre les 2 temps opératoires : 7,17 mois est le délai moyen dans le groupe des patients chez qui la technique a échoué, en revanche 4,76 mois est le délai moyen dans le groupe qui a bien consolidé.

Alors que le délai moyen T1–T2 de notre étude était de 8,2 semaines avec des extrêmes [7sem–9sem].

Certains auteurs recommandent de réaliser T2 précocement après T1 puisque ils se basent sur des études expérimentales ayant montré qu'un taux maximal de facteur de croissance est atteint quelques semaines après T1 (6,28 sem). [71]

D'autres auteurs recommandent de retarder le 2^{ème} temps de Masquelet en fonction de la localisation du défaut osseux. La membrane prend plus du temps pour devenir mature au niveau de l'humérus et fémur à cause de la présence d'un seul axe vasculaire. [71]

4– Type d'ostéosynthèse :

Le choix du mode d'ostéosynthèse à utiliser dans la technique de Masquelet reste toujours controversé.

Dans la série de Fitoussi [72], chez 9 enfants d'âge moyen 13,5 ans traités pour une PSO diaphysaire étendue, la stabilisation finale a été assurée par une plaque (8 fois/9) ou par un fixateur externe (1 fois/9), chez un patient ayant un antécédent de sepsis. Avec un taux de consolidation de 88,8% obtenue après un délai moyen de 5,5 mois [4 – 8 mois].

Les auteurs de la série ont conclu que l'utilisation des plaques lors du deuxième temps de reconstruction semble limiter les retards de consolidation et éviter les complications, notamment la pseudarthrose. [72]

Aurégan [69] a conclu qu'il n'y a pas de différence entre les différents types d'ostéosynthèse. Cependant, une ostéosynthèse instable est responsable d'un taux élevé d'échec de la technique de Masquelet. Donc, la stabilité de la reconstruction est le principal facteur déterminant le succès de la technique, mais la difficulté réside dans la distance entre l'extrémité du défaut osseux et l'épiphyse restante, si la taille de l'épiphyse est petite, il est recommandé d'utiliser plutôt une fixation intra

médullaire qui permettra d'assurer une bonne stabilité mécanique tout en conservant l'axe diaphysaire, les plaques peuvent être utilisés aussi. [69]

Dans la série de Gouron et al, ils ont utilisés plusieurs types d'ostéosynthèse mais la pseudarthrose n'apparait que chez les patients ayant bénéficié d'une ostéosynthèse par fixateur externe monoplan ou un embrochage centro-médullaire élastique stable (ECMES). Après remplacement du fixateur monoplan par un fixateur externe circulaire, cela a permis d'obtenir la consolidation. [70]

Il semble, comme le suggère Karger et al [45], que le mode de fixation externe circulaire est à privilégier également chez l'enfant si une exo-fixation est choisie pour stabiliser la perte de substance osseuse.

Aucun patient avec ECMES n'a d'ailleurs consolidé dans la série de Villemagne et al. [50].

Dans notre série le foyer était stabilisé par une broche centromédullaire dans 42,85% des cas (3/7), un ECMES dans 28,5% des cas (2/7), et un fixateur externe seul dans 28,5% des cas (2/7).

La pseudarthrose s'est vue chez 3 patients, 2 parmi eux avaient bénéficié d'un ECMES et le 3ème avait une broche centromédullaire.

E- Complications de la technique :

Les complications et les problèmes de cette technique de reconstruction osseuse sont fréquents mais peuvent être en partie évités par une technique rigoureuse.

- La pseudarthrose jonctionnelle :

On parle de pseudarthroses quand il persiste une mobilité inter-fragmentaire et qu'il s'est avéré que le traitement institué n'amènera pas à la consolidation.

On distingue la pseudarthrose aseptique et celle septique. Son diagnostic implique une nouvelle décision thérapeutique, en l'occurrence une autogreffe au niveau du site de la pseudarthrose.

Le taux relativement élevé de la pseudarthrose aseptique compliquant les interventions chirurgicales selon la technique de Masquelet est expliqué essentiellement par des défauts techniques, à savoir : [73]

- Un manchonnage insuffisant par le ciment lors du premier temps. De ce fait lors du 2ème temps, l'autogreffe cortico-spongieuse ne recouvrait pas assez les berges osseuses et constitue probablement la cause de l'absence de fusion entre l'os néoformé et les berges de la résection.
- La décortication insuffisante de l'os natif ou une perméabilisation inadéquate du canal intramédullaire, ou le manque de matériel de greffe en contact avec cet os. Il faut donc être extrêmement minutieux pendant la phase de greffe et insister sur les zones de jonction proximale et distale.
- Une ostéosynthèse pas assez stable. En effet, des études expérimentales ont montré que le facteur déterminant la fusion entre hôte et greffe est la stabilité du montage.

Ceci nous a ainsi fait adapter notre technique opératoire lors du premier temps: un manchonnage important du ciment est réalisé de manière à ce que la membrane induite déborde sur les berges de la résection. Et une ostéosynthèse stable est réalisée (l'ECMES est utilisé quand le clou verrouillé n'est pas adapté et le fixateur externe circulaire est privilégié au fixateur monoplan).

En outre, la pseudarthrose septique constitue une complication redoutable associant la non consolidation à l'infection. Cela peut être causé par une infection du greffon en per opératoire, ou une rechute d'ostéomyélite chronique.

Dans une étude de Gouron [70], les complications étaient marquées par 35 % de pseudarthrose particulièrement au début de l'expérience. Une anomalie technique a été retrouvée pour chacun de ces cas (manchonage insuffisant par le ciment lors du premier temps ou ostéosynthèse insuffisamment rigide ou générant des contraintes en cisaillement).

Dans la revue systématique, les auteurs ont trouvé un taux de pseudarthrose relativement élevé, équivalent à 27,5% (19/69). Ils ont justifié ces résultats par le délai allongé entre T1 et T2 qui correspondait à 7,17 mois dans le groupe d'échec.

Nos résultats sont comparables à ceux rapportés par Gouron ; 2 cas sur 7 qui ont présenté cette complication ce qui correspond à un taux de 28% :

Chez ces 2 malades, le délai T1-T2 était respecté, et la stabilisation osseuse a été assurée par un ECMES.

- La résorption de la greffe spongieuse :

La résorption massive de la greffe est le seul véritable échec encore non expliqué, comme celui que Chotel [74] a constaté pour un cas de résorption complète de la greffe dans la membrane induite au cours de la reconstruction de 22 cm de fémur au cours du traitement d'un ostéosarcome.

Ce type de résorption n'avait jusqu'alors pas été constaté et incite à la plus grande prudence. Une meilleure compréhension des étapes cellulaires impliquées dans ce type de reconstruction, tout particulièrement de l'ostéoclastogenèse au sein de la membrane, s'impose pour expliquer ce type de complication et éviter qu'elle ne se reproduise pas.

Accadbled (75) rapporte 3 cas de résorption massive (2 garçons de 3 ans et 6 ans, fille de 9 ans). Selon lui, Cette complication pourrait s'expliquer par le délai important entre les deux temps opératoires, le type du greffon, les contraintes variantes propres à la localisation fémorale ou le défaut de stabilité de l'ostéosynthèse. [76]

Dans la revue systématique d'Aurégan, le taux de résorption de la greffe osseuse correspondait à 8,6% (6enfants /69). Cependant, les auteurs n'ont pas donné des explications convaincantes à ce type de complication.

Or, dans notre étude, un seul cas de résorption dans les suites de membrane induite a été noté et représente 14% de population étudiée :

Chez ce patient, le manchonnage par le ciment était satisfaisant, le délai entre les 2 temps opératoires a été respecté. Et la stabilisation osseuse a été assurée par un embrochage intra-médullaire de Métaizeau.

- Autres complications plus rares :
 - ❖ Fracture du greffon spongieux
 - ❖ Nécrose et désunion cutanées et des parties molles.
 - ❖ Raccourcissement et désaxation du membre traité.

Dans notre série 5 patients ont gardé une inégalité de longueur des membres inférieurs, pour laquelle ils ont bénéficié d'un allongement par fixateur externe avec des bons résultats finals.

CONCLUSION

La technique de membrane induite, est une alternative séduisante dans les reconstructions des PSO post infectieuse, car elle est simple, rapide et fiable. Elle trouve son indication dans les limites des autres procédés de reconstruction, là où la greffe conventionnelle est insuffisante et dans les cas où le transfert osseux libre vascularisé semble être une solution excessive ou impossible à appliquer.

Elle a été initialement utilisée en traumatologie après résection de pseudarthroses septiques, puis utilisée après résection de tumeurs malignes ou bénignes, ainsi que pour les pseudarthroses congénitales.

Cette méthode est parfaitement faisable chez l'enfant à condition d'adapter l'ostéosynthèse et d'envisager une expansion de greffe d'autant plus que l'enfant est jeune.

L'apparente simplicité de la technique nécessite néanmoins une rigueur d'exécution tant sur le plan du manchonnage par le ciment que sur le plan de la stabilité du montage. C'est à ces conditions que peut être évitée la principale complication qu'est la pseudarthrose. La résorption de greffe est possible mais n'est pas encore comprise.

Cette technique a permis de réaliser des résultats surprenants et parait donc être une méthode fiable pour répondre aux principales situations de perte de substance osseuse, septique ou non, rencontrées en orthopédie pédiatrique.

RESUMES

RESUME :

La reconstruction des pertes de substance osseuse segmentaire post infectieuse constitue toujours un défi pour le chirurgien orthopédique.

La technique chirurgicale de la membrane induite pour les reconstructions osseuses a été mise au point par Masquelet et son équipe, il y a trente ans. Et fait appel à l'utilisation de temps opératoires.

Le principe en est simple : la perte de substance osseuse est comblée dans un premier temps par du ciment chirurgical qui induit la formation d'une membrane, par réaction à un corps étranger. Après un intervalle de quelques semaines le ciment est enlevé et la cavité, tapissée par la membrane, est comblée par de l'autogreffe d'os spongieux.

La durée de consolidation des segments reconstruits est indépendante de l'étendue de la perte de substance initiale ; elle est de l'ordre de 6-8 mois au membre inférieur et permet, au terme de ce délai, une remise en appui total sans protection.

La membrane induite joue un rôle à la fois mécanique (une véritable chambre d'implantation assurant la protection du greffon), et biologique qui, outre la caractéristique d'être richement vascularisée, sécrète des facteurs de croissance favorisant l'ostéogenèse et l'angiogenèse.

Notre travail a consisté en une étude rétrospective portant sur une période de 7ans, réalisé au sein du service de chirurgie orthopédique pédiatrique du CHU HASSAN II de FES, et concernant 7 cas (4 filles et 3 garçons), traités pour une perte de substance osseuse segmentaire post infectieuse, par la technique de Masquelet.

L'âge moyen était de 8,5 ans (avec des extrêmes de 6ans et 11ans) lors du premier temps de reconstruction.

Le délai moyen de consolidation était 6,75 mois.

Après un recul moyen de 48 mois, 6 patients ont eu des résultats satisfaisants :

- 4 patients ont bien évolué d'emblée avec une bonne consolidation osseuse. Par ailleurs, ils ont gardé une ILMI d'où la nécessité d'un allongement osseux.
- 2 patients ont eu une bonne consolidation osseuse, après chirurgies itératives.

Abstract :

The reconstruction of segmental bone loss is a challenge for the orthopedic surgeon.

The induced membrane technique for bone defect reconstruction was described, thirty years ago, by Masquelet. And it involves the use of two operating times.

The surgical procedure implies two stages: in a first time a bone cement spacer is inserted into the bone defect. Secondly the spacer is removed and the cavity is filled up with cancellous bone autograft.

Time healing, which is about 6–8 months at the lower limb, is independent of the extent of loss of bone substance.

Induced membrane plays a role in both mechanical (a real implantation chamber protecting the graft), and biological: the secretion of growth factors promoting osteogenesis.

Our work is a retrospective study of a series of 7 cases (4 girls and 3 boys) treated in the service of pediatric traumatology–orthopedic of university hospital HASSAN II of FEZ, over a period of seven years for a loss of segmental bone by induced membrane technique. With twenty–four months of decline.

The bone loss was infectious for all patients.

The average age was 8,5 years (with a range of 6 years to 11 years) at the first time of reconstruction.

The average time to union was 6,75 months.

With a mean of 48 months :

- The technique was successful with satisfactory results in 4 patients. All of them, had a limb length inequality where elongation.
- 2 others patients had good bone union after iterative surgeries.

ملخص

تشكل إعادة ترميم فقدان العظام الجزئي الناتج عن التعففات العظمية تحدياً لأخصائي جراحة العظام. تقنية الغشاء المستحث، المبتكرة من طرف ماسكوليه، منذ ثلاثون عاماً، تعتمد على عمليتين جراحيتين و يتمثل مبدؤها في ملء الفراغ على مستوى العظم بمادة خاملة (الإسمنت الجراحي) مما سيؤدي إلى تكون غشاء حول هذا الأخير. يحدد هذا الغشاء حجرة يتم ملؤها بعد إزالة الإسمنت بكمية كبيرة من العظم الإسفنجي. يلعب هذا الغشاء المستحث دورين أساسيين، الأول ميكانيكي و يتمثل في كونه يحدد حجرة حقيقية تمكن من الحفاظ على العظم الإسفنجي، و الثاني بيولوجي يتجسد في كونه يفرز عوامل النمو التي تمكن من تكون العظم و الأوعية الدموية. تألف عملنا من دراسة استيعادية على مدى سبع سنوات في مصلحة جراحة العظام و المفاصل للأطفال بالمستشفى الجامعي الحسن الثاني بفاس وتخص 7 حالات (4 بنات و 3 أولاد) خضعوا لعلاج بواسطة تقنية ماسكولي. كان متوسط العمر 8,5 سنوات (مع مجموعة من 6 إلى 11 سنة) في المرحلة الأولى لإعادة الإعمار. أما متوسط الوقت لإتحاد العظم فكان 6,75 أشهر. في هذه السلسلة فقدان العظام الجزئي كان سببه تعفناً في جميع الحالات. وقد عرفت هذه العملية نجاحاً مع نتائج مرضية لدى 6 مرضى , خضعوا لعملية استئصاله بسبب عدم تساوي طول الأطراف.

BIBLIOGRAPHIE

1. Masquelet AC, Fitoussi F, Begue T, Muller GP. Reconstruction of the longbones by the induced membrane and spongy autograft. *Ann Chir Plast Esthet* 2000;45:346-53
2. Masquelet AC. Le concept de membrane induite pour la reconstruction des pertes de substance des os longs. *e-mem Acad Natl Chir* 2008;7(3):34-8.
3. Van Cauwenberge H, Hauzeur J.P, Gillet Ph. Actualités dans le traitement des pseudarthroses aseptiques *Rev Med Liège* 2007; 344-62 : 5-6 : 344-351
4. Bonneville P. Fractures diaphysaires de l'adulte (fractures pathologiques exclues). *EMC-Rhumatologie Orthopédie* 2005;2:394-410.
5. Brilhault J, Favard L. Traitement chirurgical des pseudarthroses diaphysaires aseptiques. *EMC-Rhumatologie Orthopédie* 2005;2:217-47.
6. Masquelet A-C, Sales de Gauzy J, Bauer T, Fabre A, Fitoussi F, Hannouche D, et al. Reconstruction des pertes de substance osseuse diaphysaires d'origine traumatique. Stratégies, recommandations, perspectives. *Rev ChirOrthopédiqueTraumatol.* févr 2012;98(1):94-103.
7. Atef A, El-Tantawy A. Management of open infected comminuted tibial fractures using Ilizarov concept. *Eur J OrthopSurgTraumatol.* avr 2014;24(3):403-8.
8. Mauffrey C, Barlow BT, Smith W. Management of Segmental Bone Defects. *J Am AcadOrthop Surg.* 2015;23(3):143-53.
9. Ziran NM, Smith WR. The 'Ziran' wrap: reconstruction of critical-sized long bone defects using a fascial autograft and reamer-irrigator-aspirator autograft. *Patient Saf Surg.* 2014;8(1):1-15.
10. NORDEN CW, BUDINSKY A. Treatment of experimental chronic osteomyelitis due to *Staphylococcus aureus* with ampicillin/sulbactam. *J Infect Dis* 1990 ; 161 : 52-3.

11. COSTERTON JW, STEWART PS, GREENBERG EP. Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science* 1999 ; 284 : 1318–22.
12. DONLAN RM, COSTERTON JW. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. *Clin Microbiol Rev* 2002 ; 15 : 167–93.
13. PROCTOR RA, BALWIT JM, VESGA O. Variant subpopulations of *Staphylococcus aureus* as cause of persistent and recurrent infections. *Infect Agents Dis* 1994 ; 3 : 302–12.
14. VON EIFF C, BETTIN D, PROCTOR RA, et al. Recovery of small colony variants of *Staphylococcus aureus* following gentamicin bead placement for osteomyelitis. *Clin Infect Dis* 1997 ; 25 : 1250–1.
15. CIERNY G, MADER JT, PENNINCK JJ. A clinical staging system for adult osteomyelitis. *Clin Orthop Relat Res* 2003 : 114 : 7–24.
16. – LO Gentry. Antibiotic therapy for osteomyelitis. Section 5, Chapter 29, p 421–434, in *Musculoskeletal Infection*, Eds JL Esterhai, AG Gristina, R Poss, American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1992, ISBN 0–89203–053–4
17. Dargouth M, Essaddam H, Ben Hamida H, et al. : The value of ultrasound in acute osteomyelitis. *J Orthop Surg* 1989 ; 3 : 174– 180
18. Ducou Le Pointe H, Sirinelli D. Les urgences des membres de l'enfant *J Radiol* 2005;86:237–49
19. LG Miller BA Diep Clinical practice : colonization, fomites, and virulence : rethinking the pathogenesis of community-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infection. *Clin Infect Dis* 2008 (46)
- 20 . Daoud A, Martini M. Treatment of sequestra, pseudarthrosis, and defects in the long bones of children who have chronic hematogenous osteomyelitis. *J. Bone joint surg.* 1989;71:1448–11468

- 21 . A. Refass, M. Elandaloussi, Jp. Padovani, A, Harou A. Refass, M. Elandaloussi, Jp. Padovani, A, Harouchi. Les Ostéomyélites Complicquées. In Morin C,Herbeaux B, editors. Les Infections Ostéoarticulaires De L'enfant. Paris : Sauramps Médical : 1995.P :117–28.
- 22 . OdentTh, Péjin, PéjinZ, Cadilhac, CadilhacC, Ferroni, FerroniA, GlorionCh. Infections ostéo–articulaires aiguës de l'enfant : place du traitement chirurgical. Archives de Pédiatrie 2010;17:764–765
- 23 . ViolasP, Rabier ,Chapuis, ChapuisM, Fraisse, B. Infections ostéoarticulaires de l'enfant . Encyclo. Med. Chir, Appareil locomoteur 2009;14:178–A–10
- 24 . Merle d'Aubigné R, Lamare J. Traitement des pseudarthroses de jambe. Mem Acad Chir. 1954; 80:484–99.
25. Papineau LJ, Alfageme A, Dalcourt JP, Pilon L. Chronic osteomyelitis: open excision and grafting after saucerisation. Int Orthop. 1979;3:165–76
26. Aronson J, Johnson E, Harp JH. Local bone transportation for treatment of intercalary defects by the Ilizarov technique. Clin Othop Rel Res. 1989;243:71–9.
27. Taylor GI, Miller GD, Harm FJ. The free vascularised bone graft. A clinical extension of microvascular technique. Plast Reconstr Surg. 1975;55:533–44.
- 28 . Masquelet AC. Traitement des pertes de substance osseuse diaphysaires post–traumatiques. Rev Chir Orthop Reparatrice ApparMot 2007;93(7):28.
29. Romana MC, Masquelet AC. Vascularized periosteum associated with cancellous bone graft: an experimental study. Plast Reconstr Surg 1990; 85: 587–92.
30. Pelissier P, Martin D, Baudet J, Lepreux S, Masquelet A–C. Behaviour of cancellous bone graft placed in induced membranes. Br J Plast Surg. oct 2002;55(7):596- 8.
31. Pelissier PH, Masquelet AC, Bareille R, Pelissier SM, Amedee J. Induced membranes secrete growth factors including vascular and osteoinductive factors and could stimulate bone regeneration. J OrthopRes. janv 2004;22(1):73- 9.

32. Pélissier P, Lefevre Y, Delmond S, Villars F, Vilamitjana–Amedee J. Influence des membranes induites sur l'ostéogenèse hétérotopique au sein d'un complexe ostéo–inducteur. Étude expérimentale chez le lapin. *Ann Chir Plast Esthét.* févr 2009;54(1):16- 20.
33. Viateau V, Guillemain G, Calando Y, et al. Induction of a barrier membrane to facilitate reconstruction of massive segmental diaphyseal bone defects: an ovine model. *Vet Surg* 2006; 35: 445–52.
34. Viateau V, Bensidhoum M, Guillemain G, et al. Use of the induced membrane technique for bone tissue engineering purposes: animal studies. *Orthop Clin North Am* 2010; 41:49 56.
35. Cuthbert, R.J., Churchman, S.M., Tan, H.B., McGonagle, D., Jones, E., Giannoudis, P.V.: Induced periosteum a complex cellular scaffold for the treatment of large bone defects. *Bone.* 2013;57 (2):484–92.
36. Henrich, D., Seebach, C., Nau, C., Basan, C., et al.: Establishment and characterisation of the Masquelet induced membrane technique in a rat femur critical–sized defect model. *J Tissue Eng Regen Med.* doi: 10.1002/term.1826, 2013.
- 37 . Gouron, R., Petit, L., Boudot, C., Six, I., et al.: Osteoclasts and their precursors are present in the induced membrane during bone reconstruction using the Masquelet technique. *J Tissue Eng Regen Med.* 2014; doi: 10.1002/term.1921
38. Christou C, Oliver RA, Yu Y, Walsh WR. The Masquelet Technique for Membrane Induction and the Healing of Ovine Critical Sized Segmental Defects. *PloS One.* 2014;9(12):e114122.
39. Aho O–M, Lehenkari P, Ristiniemi J, Lehtonen S, Risteli J, Leskelä H–V. The Mechanism of Action of Induced Membranes in Bone Repair. *J Bone JtSurg Am.* 3 avr 2013;95(7):597.

40. Biau DJ, Pannier S, Masquelet AC, Glorion C. Case Report: Reconstruction of a 16–cm Diaphyseal Defect after Ewing’s Resection in a Child. *ClinOrthop*. févr 2009;467(2):572- 7.
- 41 . A.C. Masquelet, T. BegueThe concept of induced membrane for reconstruction of long bone defects *Orthop Clin North Am*, 41 (2010), pp. 27–37
- 42 . Masquelet AC, Benko PE, Mathevon H, Hannouche D, Obert L. Harvest of cortico–cancellous femoral bone graft using the reamer–irrigator–aspirator (RIA)
43. R. Gouron , F. Deroussen , M.–C. Plancq , L.–M.Reconstruction des défauts du collet osseux chez l'enfant par la technique de la membrane induite: une série de 14 cas
Orthop Traumatol Surg Res , 99 (2013) , p. 837 – 843
44. T. Amouyel, F. Deroussen, M.–C. Plancq, L.–M. Collet, R. Gouron . Successful treatment of humeral giant aneurysmal bone cyst : value of the induced membrane reconstruction technique. *J Shoulder Elb Surg Am*, 23(2014) , pp. e212–e216
45. C. Karger , T. Kishi , L. Schneider , F. Fitoussi , A.–C. MasqueletTraitement des défauts osseux post–traumatiques par la technique de la membrane induite*Orthop Surg Res Traumatol* , 98 (2012) , pp. 97 – 102.
46. Mauffrey C, Giannoudis PV, Conway JD, Hsu JR, Masquelet A–C . Masquelet technique for the treatment of segmental bone loss have we made any progress ? *Injury* . oct 2016 ; 47 (10) :2051–2.
- 47 .Masquelet AC. Muscle reconstruction in reconstructive surgery: soft tissues repair and long bone reconstruction. *Langenbecks Arch Surg* 2003;388 : 344–6
- 48 . Klaue K, Knothe U, Anton C, Pfluger DH et al. Bone regeneration in long bone defects: tissue compartmentalisation In vivo study on bone defects in sheep. *Injury*. 2009;40:S95–S102.
- 49 . Masquelet AC, Begue T. The concept of induced membrane for reconstruction of long bone defects. *Orthop Clin North Am* 2010; 41: 27–37.

50. Villemagne T, Bonnard C, Accadbled F, L'kaissi M, de Billy B, Sales de Gauzy J. Intercalary segmental reconstruction of long bones after malignant bone tumor resection using primary methyl methacrylate cement spacer interposition and secondary bone grafting: the induced membrane technique. *J Pediatr Orthop* 2011; 31: 570–6.
51. Stafford PR, Norris BL. Reamer–irrigator–aspirator bone graft and bi Masquelet technique for segmental bone defect nonunions: a review of 25 cases. *Injury* 2010; 41 Suppl 2: S72–7.
52. Taylor BC, French BG, Fowler TT, Russell J, Poka A. Induced membrane technique for reconstruction to manage bone loss. *J Am AcadOrthop Surg.* 2012;20(3):142-50.
53. Micev AJ, Kalainov DM, Soneru AP. Masquelet Technique for Treatment of Segmental Bone Loss in the Upper Extremity. *J Hand Surg.* mars 2015;40(3):593-8.
54. Masquelet AC, Obert L. La technique de la membrane induite pour les pertes de substance osseuse de la main et du poignet. *Chir Main.* déc 2010;29:S221- 4.
- 55 . Whealen DB, Bahandari M, Mckee MD , et al . interobserver and intraobserver variation in the assement of the healing of tibial fractures after intramedullary fixation. *J Bone Joint Surg [Br]* 2002 ; 84 –B 15 –18
56. *the bone and joint journal* 2019 ; 101B(10): 1300–1306.
- 57 . Bhandari M, Guyatt GH, Swiontkowski MF, et al. A lack of consensus in the assement of fracture healing among orthopaedic surgeons. *J Orthop Trauma* 2002 ;16:562–566. PubMed
58. Macri F., Marques L.F., Backer R.C., Santos M.J., Belangero W.D. Validation of a standardised gait score te predict the healing of tibial fractures . *J bone Joint Surg Br.* 2012. 94 (4) :544–548

59. Kooistra BW , Dijkman BG , Busse JW ET AL .the radiographic union scale in tibial fractures : reliability and validity . J O rthop Traumat 2010 ;24 :S81–S86 .
60. Aronson J, Johnson E, Harp JH. Local bone transportation for treatment of intercalary defects by the Ilizarov technique. Biomechanical and clinical considerations. Clin Orthop. juin 1989;(243):71–9.
61. Paley D, Maar DC. Ilizarov bone transport treatment for tibial defects. J Orthop Trauma. 14(2):76–85.
62. Jaffe KA, Morris SG, Sorrell RG, Gebhardt MC, Mankin HJ. Massive bone allografts for traumatic skeletal defects. South Med J. août 1991;84(8):975–82.
63. Semaya AE–S, Badawy E, Hasan M, El–Nakeeb RM. Management of post–traumatic bone defects of the tibia using vascularised fibular graft combined with Ilizarov external fixator. Injury. avr 2016;47(4):969–75.
64. Ronga M, Ferraro S, Fagetti A, Cherubino M, Valdatta L, Cherubino P. Masquelet technique for the treatment of a severe acute tibial bone loss. Injury. 2014;5 suppl 6: S111–5.
65. Papineau LJ. L’excision–greffe avec fermeture retardée délibérée dans l’ostéomyélite chronique. Presse Med 1973;2:2753–5.
66. Lortat–jacob A, Koechlin P, Benoit J, Lecestre P. Échecs et limites de l’opération de Papineau. À propos de 54 cas. Rev Chir Orthop 1977;63:667–86.
67. Olesen UK, Eckardt H, Bosemark P, Paulsen AW, Dahl B, Hede A. The Masquelet technique of induced membrane for healing of bone defects. A review of 8 cases. Injury. déc 2015;46 Suppl 8:S44–47.
68. Aparad T, Bigorre N, Cronier P, Duteille F, Bizot P, Massin P. Two–stage reconstruction of posttraumatic segmental tibia bone loss with nailing. Orthop Traumatol Surg Res OTSR. sept 2010;96(5):549–53.

69. Aurégan J-C, Bégué T. Induced membrane for treatment of critical sized bone defect: a review of experimental and clinical experiences. *Int Orthop* 2014;38:1971-8.
70. Gouron R, Deroussen F, Juvet-Segarra M, Plancq MC, Collet LM. Reconstruction of congenital pseudarthrosis of the clavicle with use of the Masquelet technique: a case report. *J Bone Joint Surg Am Case Connector* 2012;2:e77.
- 71 . Calori GM, Mazza E, Colombo M, Ripamonti C. The use of bone-graft substitutes in large bone defects: Any specific needs? *Injury*. sept 2011;42:S56- 63.
72. Franck Fitoussi , Brice Ilharreborde, Philippe Souchet , Olivier Badelon , Keyvan Mazda , Georges François Pennec ,ot Hôpital Robert-Debré, 48, boulevard Sérurier, 75019 Paris, France
73. Steavenson S, Emery SE, Goldberg VM, Factors affecting bone graft incorporation. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1996; (324): 66-74.
- 74 . Chotel F, Nguiabanda L, Braillon P, Kholer R, Berard J, Abelin-genevois K. induced membrane technique for reconstruction after bone tumor resection in children: a preliminary study. *orthop traumatol surg res.* 2012;98(3):301-308
75. F. Accadbled , P. Mazeau b, F. Chotel c, J. Cottalorda b, J. Sales de Gauzy a, R. Kohler ; induced membrane femur reconstruction after resection of bone malignancies : three cases of massive graft resorption in children ; *orthop traumatol surg res* ,99 (2013), pp. 479-483
- 76 . Hornicek FJ, Gebhardt MC, Tomford WW, et al. Factors affecting nonunion of the allograft-host junction. *Clin Orthop Relat Res* 2001;(382):87-98.

