

UNIVERSITÉ DE LIMOGES
FACULTÉ DE MÉDECINE



Année 1992



Thèse N° 71/1

**PLACE DE LA MÉTHODE D'ILIZAROV
DANS LE TRAITEMENT DES PSEUDARTHROSES
SEPTIQUES ET ASEPTIQUES DES OS LONGS**

A propos d'une série de 24 cas

THESE

pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Médecine

Présentée et soutenue publiquement le 27 Octobre 1992

PAR

Philippe SALANNE

né le 22 Mars 1959 à BAYONNE

EXAMINATEURS DE LA THESE

| | |
|---|-----------------|
| Monsieur le Professeur PECOUT, | Président |
| Monsieur le Professeur ALAIN, | Juge |
| Monsieur le Professeur ARNAUD, | Juge |
| Monsieur le Professeur MOULIES, | Juge |
| Monsieur le Professeur Honoraire DUNOYER, | Membres invités |
| Monsieur le Docteur MABIT, | |

THESE MED LIMOGES 1992

SCIENCE DE LA METHODE D'ILIZAROV DANS LE TRAITEMENT DES
LUXATIONS ET D'ARTHROSES SEPTIQUES ET ASEPTIQUES DES OS LONGS

1992

JFJ



Ex 2

Sib 2

424 268

**UNIVERSITÉ DE LIMOGES
FACULTÉ DE MÉDECINE**

Année 1992

Thèse N° 171

**PLACE DE LA MÉTHODE D'ILIZAROV
DANS LE TRAITEMENT DES PSEUDARTHROSES
SEPTIQUES ET ASEPTIQUES DES OS LONGS**

A propos d'une série de 24 cas

THESE

pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Médecine

Présentée et soutenue publiquement le 27 Octobre 1992

PAR

Philippe SALANNE

né le 22 Mars 1959 à BAYONNE

EXAMINATEURS DE LA THESE

| | |
|---|-----------------|
| Monsieur le Professeur PECOUT, | Président |
| Monsieur le Professeur ALAIN, | Juge |
| Monsieur le Professeur ARNAUD, | Juge |
| Monsieur le Professeur MOULIES, | Juge |
| Monsieur le Professeur Honoraire DUNOYER, | Membres invités |
| Monsieur le Docteur MABIT, | |

UNIVERSITE DE LIMOGES
FACULTE DE MEDECINE

- DOYEN DE LA FACULTE : Monsieur le Professeur **BONNAUD**
- ASSESEURS : Monsieur le Professeur **PIVA**
Monsieur le Professeur **COLOMBEAU**

PERSONNEL ENSEIGNANT

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

| | |
|---------------------------|--|
| ADENIS Jean-Paul | Ophtamologie |
| ALAIN Luc | Chirurgie infantile |
| ARCHAMBEAU Françoise | Médecine interne |
| ARNAUD Jean-Paul | Chirurgie orthopédique et traumatologie |
| BARTHE Dominique | Histologie, Embryologie |
| BAUDET Jean | Clinique obstétricale et Gynécologie |
| BENSAID Julien | Clinique médicale cardiologique |
| BONNAUD François | Pneumo-Phtisiologie |
| BONNETBLANC Jean-Marie | Dermatologie |
| BORDESSOULE Dominique | Hématologie et transfusion |
| BOULESTEIX Jean | Pédiatrie |
| BOUQUIER Jean-José | Clinique de pédiatrie |
| BRETON Jean-Christian | Biochimie |
| CAIX Michel | Anatomie |
| CATANZANO Gilbert | Anatomie pathologique |
| CHASSAIN Albert | Physiologie |
| CHRISTIDES Constantin | Chirurgie thoracique et cardiaque |
| COLOMBEAU Pierre | Urologie |
| CUBERTAFOND Pierre | Clinique de chirurgie digestive |
| de LUMLEY WOODYEAR Lionel | Pédiatrie |
| DENIS François | Bactériologie - Virologie |
| DESCOTTES Bernard | Anatomie |
| DESPROGES-GOTTERON Robert | Clinique thérapeutique et rhumatologique |
| DUDOGNON Pierre | Rééducation fonctionnelle |
| DUMAS Michel | Neurologie |
| DUMAS Jean-Philippe | Urologie |
| DUMONT Daniel | Médecine du travail |
| DUPUY Jean-Paul | Radiologie |
| FEISS Pierre | Anesthésiologie et réanimation chirurgicale |
| GAINANT Alain | Chirurgie digestive |
| GAROUX Roger | Pédopsychiatrie |
| GASTINNE Hervé | Réanimation médicale |
| GAY Roger | Réanimation médicale |

A *Annick,*

Pour tous les moments de bonheur passés ensemble. Pour ton soutien permanent et tous les sacrifices que tu as consentis. Pour ce foyer chaleureux que tu as su construire.

Ce travail ne suffit pas à témoigner mon amour.

A *Arnaud et Alexandra,*

Pour toutes les joies et inquiétudes que deux enfants pleins de vitalité peuvent apporter, je vous dédie cette thèse.

A *mes Parents,*

Sans l'affectueuse compréhension desquels je n'aurais pû entreprendre de telles études. Que cette thèse soit la traduction de ma plus profonde gratitude et de mon amour.

A *mes Frères,*

Qu'ils trouvent en ce travail, le témoignage de ma profonde affection.

A mes *Beaux-Parents*,

Vous m'avez accueilli avec chaleur et bienveillance. Que cette thèse soit l'expression de ma profonde reconnaissance.

A toute ma famille,

Que cette thèse soit le gage de mon affection et de mon plus profond respect.

A tous mes amis.

A notre Maître et Président de Thèse,

Monsieur C. PECOUT,

- **Professeur des Universités de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique**
- **Chirurgien des Hôpitaux**
- **Chef de Service,**

Vous nous avez appris la rigueur et le goût du travail bien fait.

Votre habilité chirurgicale et vos impressionnantes capacités de travail ont forcé notre admiration et ... amélioré notre claudication.

Nous avons pu bénéficier de votre enseignement et sommes fiers de travailler dans votre service.

Vous nous avez fait l'honneur de nous confier ce sujet de thèse ; veuillez trouver dans ce travail le témoignage de notre gratitude et notre profond respect.

A notre Maître,

Monsieur J.L. ALAIN,

- Professeur des Universités de Chirurgie Infantile**
- Chirurgien des Hôpitaux**
- Chef de Service,**

A votre contact, nous avons pu approfondir nos connaissances dans le domaine de la chirurgie infantile.

Nous sommes fiers de vous avoir pour juge. Veuillez trouver en ce travail le témoignage de notre gratitude et notre profonde admiration.

A notre Maître,

Monsieur J.P. ARNAUD,

- Professeur des Universités de Chirurgie Orthopédique et
Traumatologique**
- Chirurgien des Hôpitaux**
- Chef de Service,**

Vous nous avez fait découvrir la chirurgie de la main et donné goût à cette spécialité.

Nous apprécions votre dextérité chirurgicale et votre disponibilité.

Vos conseils tout au long de notre internat nous ont été précieux.

Nous sommes honorés de vous compter parmi nos juges. Que ce travail soit l'occasion de vous exprimer notre sincère attachement.

A notre Maître,

Monsieur D. MOULIES,

Professeur des Universités de Chirurgie Infantile,

A votre contact, nous nous sommes initiés à la chirurgie orthopédique infantile.

Vos qualités de pédagogue et votre grande disponibilité nous ont été précieuses.

Nous vous remercions d'avoir accepté de juger cette thèse, notre amitié et notre reconnaissance vous sont acquises.

A notre Maître,

**Monsieur J. DUNOYER,
Professeur Honoraire,**

Le pionnier de l'Orthopédie Limousine que vous êtes a toujours suscité notre admiration.

Nous regrettons de n'avoir pu bénéficier plus longuement de votre expérience et de la qualité de votre enseignement. Nous sommes néanmoins fiers de compter parmi vos élèves.

Nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger ce travail , qu'il soit l'expression de notre plus profond respect.

Au Docteur C. MABIT,

Tu m'as initié à la méthode d'Iizarov.

Je te remercie pour ta disponibilité et ta confiance dans la réalisation de cette thèse.

Je sais que ce travail te tient à coeur, j'espère qu'il sera à la hauteur de l'intérêt que tu veux bien y porter.

Avec toute mon amitié.

A nos Maîtres d'Internat :

Messieurs les Professeurs :

- ALAIN**
- ARNAUD**
- CAIX**
- DESCOTTES**
- DUNOYER**
- MOREAU**
- MOULIES**
- PECOUT**
- RAVON**

dont nous avons eu l'honneur d'être interne.

A ceux qui ont participé à ma formation médicale,

Aux Docteurs :

- J.L. MARTRENCHAR**
- M. CLARACQ**
- M. REIGNIER**
- B. FALAISE**
- M. DOMBRIZ**
- C. MABIT**
- J.L. CHARISSOUX**
- X. BEAUCHAMPS**
- D. LE REUN**
- D. VALLEIX**
- D. PHILIPPI**
- Y. AUBARD**
- B. LONGIS**
- D. SETTON**
- B. DIXNEUF**
- M. MATHONNET**
- M. RIGAULT**
- H. HUC**

A mes collègues d'internat,

Pour toutes ces années de joie passées parmi vous.

A Marie,

complice et amie de tous les instants.

A Daniel SETTON,

qui a bien voulu m'initier à l'informatique pour la réalisation de ce travail.

A mes malheureux adversaires du baby-foot,

A mes compagnons du ballon ovale,

que j'ai du quitter prématurément.

A mes aînés et collègues de chirurgie,

pour tout de ce qu'ils m'ont enseigné.

A tous mes amis,

A Nathalie,

pour ta compétence.

PLAN

- INTRODUCTION
- LA CONSOLIDATION OSSEUSE
- LES PSEUDARTHROSES - GENERALITES
- TRAITEMENTS CLASSIQUES DES PSEUDARTHROSES
- LA FIXATION EXTERNE
- LE FIXATEUR D'ILIZAROV
- TRAITEMENT DES PSEUDARTHROSES PAR LA METHODE
D'ILIZAROV
- ETUDE DE NOTRE SERIE
- ICONOGRAPHIE
- DISCUSSION
- CONCLUSION
- BIBLIOGRAPHIE
- TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

Les pseudarthroses représentent, pour le chirurgien, l'échec d'une méthode thérapeutique. C'est une affection dramatique pour le patient qui va impliquer de long mois de traitement ne garantissant pas toujours un résultat fonctionnel permettant au malade une reprise de son activité antérieure.

Les pseudarthroses septiques sont les plus redoutables. En effet, le traitement devient particulièrement difficile lorsque s'associe le double problème de la non-consolidation et de l'infection. Chacune de ces deux complications retentit l'une sur l'autre dans un sens péjoratif pour la guérison et conduit parfois à l'amputation.

Le chirurgien orthopédiste dispose d'un large arsenal thérapeutique pour lutter contre cette affection. Il s'est enrichi, ces dernières années, de la méthode d'Ilizarov. Son arrivée dans le monde occidental a révolutionné les concepts orthopédiques traditionnels.

Cette méthode thérapeutique a pour support un fixateur externe circulaire réalisant un heureux compromis entre stabilité et élasticité axiale.

Son application dans le traitement des pseudarthroses permet de résoudre simultanément de nombreux problèmes :

- consolidation par compression ou distraction,
- réparation de perte de substance osseuse sans apport d'os,
- correction d'une déviation axiale majeure,
- assèchement d'un sepsis sans antibiothérapie ni abord chirurgical,
- mise en charge précoce redonnant une certaine autonomie au patient.

En 1951, **Gavriil Abramovich ILIZAROV** a mis au point son appareil d'ostéosynthèse basé sur la mise en tension des broches sur un anneau et l'applique à l'ostéosynthèse en compression distraction.

Sa première communication sur "le nouveau principe de l'ostéosynthèse au moyen de broches en croix et d'anneaux" date de 1954, lors d'une réunion régionale à Kourgan

(Sibérie), ville où il va s'installer en 1955. Mais le succès est loin d'être immédiat, et ILIZAROV se bat longtemps pour la diffusion de ses idées, dont même la paternité lui a été contestée.

Malgré tout, il gravit les échelons de la hiérarchie hospitalière et, en 1968, il reçoit ses titres hospitaliers et obtient la construction d'un institut de recherche consacré à sa méthode. Depuis, les chirurgiens russes affluent au KNIEEKOT pour se former à sa méthode, ainsi que de nombreux savants et chirurgiens étrangers, à partir de 1980, date à laquelle l'institut de Kourgan est modernisé.

Cette réussite est sanctionnée par une des plus hautes distinctions de son pays, le prix Lénine.

Il faut attendre 1980 pour que l'explorateur et cinéaste Carlo MAURI fasse découvrir à l'Occident la méthode d'Ilizarov. Carlo MAURI souffrait d'une ancienne fracture de cheville (arthrose et ostéite chroniques que de nombreuses interventions chirurgicales n'ont jamais pu guérir). Grâce à son compagnon d'origine russe, il fit la connaissance du Professeur ILIZAROV et se rendit à Kourgan. Quand il revient en Italie 3 mois plus tard, il est guéri.

Après avoir constaté la guérison de Carlo MAURI, les chirurgiens Italiens se rendent à Kourgan pour rencontrer G.A. ILIZAROV et s'initier à sa méthode. Sous l'impulsion du Professeur BIANCHI MAIOCCHI, une association, l'ASAMI, est créée en Italie.

En 1984, la méthode d'Ilizarov est introduite en France sous l'impulsion de I. KEMPF et B. BRIOT.

L'Association pour l'étude Systématique et l'Application de la Méthode d'Ilizarov en France (ASAMIF) est fondée en 1985 et publie ses premiers résultats à la SOFCOT en Novembre 1986.

Il faudra bien différencier la méthode d'Ilizarov et le fixateur externe d'Ilizarov. En effet, un matériel remplissant le même contrat biomécanique pourra convenir à l'application

de la méthode.

Notre étude porte sur 24 cas de pseudarthroses septiques ou aseptiques des os longs.

Après un rappel sur les pseudarthroses et les traitements classiques dont dispose tout chirurgien orthopédiste, nous aborderons l'étude de la méthode d'Ilizarov.

Ce travail a pour objectif d'apprécier l'efficacité de la méthode d'Ilizarov vis à vis de la consolidation et de l'infection, et permet de déterminer ses indications idéales.

LA CONSOLIDATION

OSSEUSE

La consolidation d'une fracture est le seul processus cicatriciel qui aboutit à la reconstitution intégrale, anatomique et fonctionnelle, du tissu original lésé.

Nous décrirons dans un premier temps les différentes étapes de ce processus physiologique tel qu'il s'effectue en l'absence de perturbation extérieure et les différents facteurs qui peuvent le modifier. Nous envisagerons secondairement l'incidence des différentes méthodes thérapeutiques actuelles sur le déroulement de la consolidation.

I - HISTOIRE NATURELLE DE LA CONSOLIDATION D'UNE FRACTURE

La fracture est un évènement accidentel venant perturber un tissu structuré, vivant, vascularisé et en perpétuel remodelage .

La consolidation des fractures s'effectue selon différentes phases successives.

A - STADE INITIAL

Au stade initial, le traumatisme détermine des modifications biologiques importantes au niveau du foyer de fracture.

1 - L'HEMATOME PERIFRACTURAIRE

Il est constant au niveau des fractures fermées et a plusieurs origines. Les artères et veines centromédullaires sont sectionnées. De même, les vaisseaux périostés, les capillaires des canaux de Havers sont déchirés. Les tissus périfracturaires traumatisés contribuent également à la constitution de l'hématome.

Le foyer de fracture est donc rapidement comblé par un hématome de consistance molle contenant des éléments sanguins mais aussi des cellules hématopoïétiques ostéoformatrices. Cet hématome joue un rôle passif en apportant les éléments nécessaires à la formation du cal.

2 - LE DECOLLEMENT PERIOSTE

Au niveau du foyer de fracture, le périoste est déchiré. L'étendue du décollement périosté contribue au degré de dévascularisation osseuse.

3 - RUPTURE DE L'ENDOSTE

L'ischémie osseuse créée par la rupture des vaisseaux centromédullaires et périostiques entraîne une ostéonécrose des extrémités fracturaires.

B - FORMATION DU CAL PROVISOIRE

1 - PHASE INFLAMMATOIRE

Dès les premières heures, on assiste, au niveau du foyer de fracture, à une réaction inflammatoire très importante : apparition de cellules macrophagiques à partir du périoste et des parties molles adjacentes. Ces cellules ont un rôle de détersion des débris tissulaires. La résorption des extrémités fracturaires explique l'augmentation de l'écart inter-fragmentaire bien visible sur les clichés radiologiques, observée une semaine après l'accident.

2 - PHASE DE PROLIFERATION CELLULAIRE

Elle débute à la 8ème heure et atteint un maximum vers la 24ème heure. Elle est faite de cellules mésenchymateuses indifférenciées provenant de l'endoste, du périoste, de la moelle osseuse mais aussi du tissu conjonctif voisin. Cette prolifération est notée dans les tissus mous, le périoste et les tissus adjacents.

3 - PHASE DE FORMATION FIBROBLASTIQUE DE L'HEMATOME

Au bout de deux jours débute le développement du "cal mou" à partir de la couche interne du périoste intact. Ce processus débute en périphérie à distance du foyer de fracture, et se caractérise par l'envahissement de l'hématome par du tissu fibrovasculaire qui présentera secondairement une métaplasie cartilagineuse aboutissant ainsi au cal primaire.

Les bourrelets cartilagineux ainsi formés sous le périoste vont progressivement pénétrer au niveau du foyer de fracture.

A la deuxième semaine l'ostéogénèse périostique ralentit, l'ostéogénèse médullaire a formé un bouchon obstruant la cavité médullaire.

A la troisième semaine, l'hématome est presque complètement résorbé. Les bourrelets cartilagineux périostiques se sont réunis. On aboutit alors vers le 30ème jour à un

cal primaire entourant les extrémités fracturaires et assurant une certaine contention.

"Toutefois, si par un déperiostage traumatique extensif, avec importante distance avasculaire, ou bien si l'hématome fracturaire s'est écoulé par une ouverture cutanée, ou encore en cas d'interposition, le bourgeon vasculaire ne peut s'organiser et l'on obtiendra l'échec de la consolidation et l'évolution vers la pseudarthrose" (J. CHARNLEY).

Vers la 6ème semaine, une hypervascularisation intense avec élévation de la PO₂ locale favorise l'ossification du cartilage, aboutissant au "cal dur".

C - REMODELAGE DU CAL

L'os ainsi formé est de type trabéculaire à disposition plus ou moins anarchique, plus fragile.

La phase de remodelage s'effectue sur plusieurs mois. Les ostéoclastes creusent l'os immature, formant des cônes de forages ; l'os néoformé est ainsi transformé en os cortical haversien plus solide, qui va s'orienter selon les contraintes mécaniques (Loi de Wolff). Ces cônes ostéoclastiques progressent à partir des régions corticales bien vascularisées donc à la périphérie des extrémités fracturaires. Au centre du cal, l'os trabéculaire est résorbé et remplacé par une néocavité médullaire.

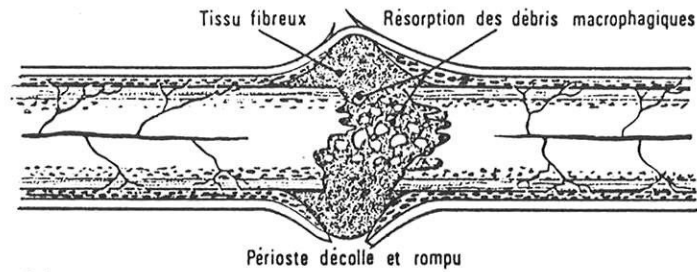
L'artère centromédullaire du fragment supérieur, par ses arborisations dans l'espace interfragmentaire, va s'anastomoser avec les vaisseaux du fragment inférieur. On aboutit ainsi à la formation d'une néocavité médullaire avec reperméabilisation de la circulation centro-médullaire.

La phase de remodelage du cal dure plusieurs mois, voire plusieurs années.

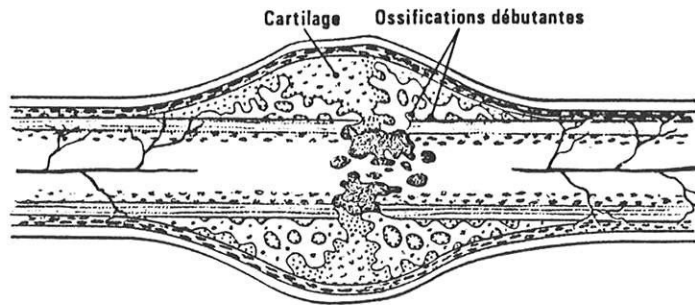
CONSOLIDATION DES FRACTURES



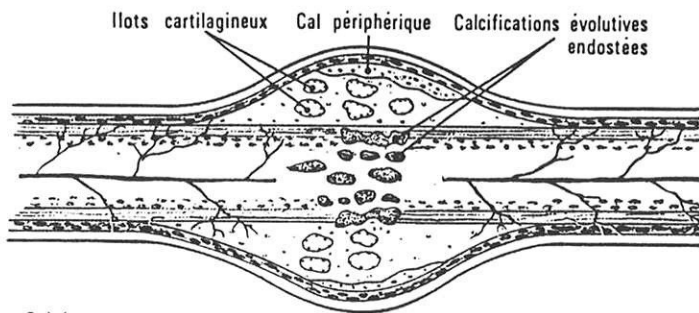
1 Vascularisation osseuse : les réseaux périostés et endostés sont intriqués.



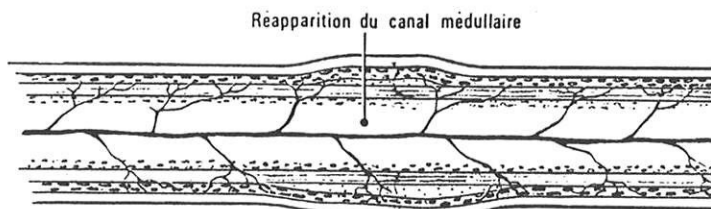
Cal mou.



Cal primaire.



Cal dur.



Cal remodelé.

II - ASPECTS BIOLOGIQUES DE LA CONSOLIDATION

A - LA VASCULARISATION

Tous les auteurs insistent sur le rôle primordial de la vascularisation dans la consolidation osseuse. "Le rétablissement des connexions vasculaires de part et d'autre du foyer est le préalable indispensable d'une consolidation dans de bonnes conditions" (MAURER et ZUCMAN) (10).

1 - RAPPEL ANATOMIQUE

La vascularisation osseuse diaphysaire est assurée par un système centrifuge anastomotique composé de deux systèmes principaux : (TRIAS) (153).

- un système centro-médullaire à partir de l'artère nourricière qui irrigue la médullaire et les 2/3 internes de la corticale (RHINELANDER).

- un système périosté moins important provenant des vaisseaux musculaires ou aponévrotiques (MAC NAB).

2 - LES MODIFICATIONS VASCULAIRES

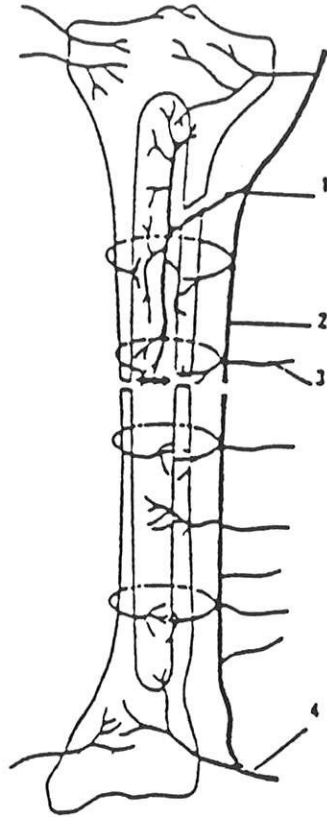
Au cours d'une fracture, les vaisseaux médullaires sont interrompus, le système périostique prend le relais mais de façon quantitativement moins importante. Un déperiochage excessif au cours d'un acte chirurgical compromet la vascularisation osseuse.

Les études de RHINELANDER ont permis de constater que :

- dans les fractures non déplacées, la vascularisation centromédullaire étant conservée, c'est elle qui formera le cal.

- dans les fractures déplacées avec interruption des vaisseaux centro-médullaires, le

Schéma de la vascularisation osseuse
(d'après Mac NAB)



- 1 artère nourricière
- 2 arcade anastomotique longitudinale
- 3 artère d'origine musculaire
- 4 artère épiphysaire

système périosté est primordial au début. Puis si la stabilité est satisfaisante, les vaisseaux centro-médullaires se rejoignent après pénétration du cal et du foyer de fracture.

Après une phase de vaso-constriction initiale, il s'ensuit un phénomène d'hypervascularisation tant sur le plan musculaire que cutané qui va se poursuivre jusqu'au 120ème jour.

Le retour à la normale se fera progressivement.

L'hypervascularisation locale favorise la prolifération cellulaire et la formation d'os.

3 - ROLE DE L'OXYGENE

La teneur en oxygène PO_2 joue un rôle fondamental dans le processus de consolidation. Les expériences de BASSETT et de SHAW ont montré qu'en l'absence d'oxygène se produisait une métaplasie cartilagineuse, et qu'en présence d'une concentration optimale (35 %), de l'os apparaît. Par contre, WRAY a montré le rôle néfaste d'une sursaturation en O_2 qui inhibe la consolidation chez le rat.

Ainsi, au début, le cartilage moins exigeant en oxygène, assure déjà une tenue mécanique. La progression vasculaire entraîne une augmentation de la PO_2 qui induit l'ostéogénèse.

B - ROLE DES DIFFERENTES STRUCTURES OSSEUSES

1 - ROLE DU PERIOSTE

Selon OLLIER, le périoste est une membrane ostéoformatrice avec deux couches :

- une couche cellulaire externe, fibreuse, ayant un rôle d'encapsulation.
- une couche cellulaire interne, ou couche ostéogène d'Ollier ayant un rôle ostéoformateur prédominant.

Ainsi, le périoste intact peut être à l'origine de la reconstruction osseuse par lui-

même. Il donnera un cal volumineux, voire hypertrophique, immobilisant le foyer de fracture et pouvant même combler de larges défauts.

Par contre, lorsqu'il est rompu, le processus de consolidation est plus difficile et doit faire appel à des mécanismes d'induction et de minéralisation du cartilage. Il nécessite alors l'intégrité des parties molles.

2 - ROLE DE L'ENDOSTE ET DE LA MOELLE OSSEUSE

Près de la moelle nécrosée, des cellules ressemblant à des fibroblastes prolifèrent dans la cavité médullaire. Elles sont à l'origine du tissu fibreux comblant l'espace interfragmentaire.

FRIENDENSTEIN (139) a décrit deux types de cellules ostéoformatrices issues de la moelle osseuse :

- les Determinant Osteogenic Precursor Cells ou DOPC, accolées aux trames osseuses et dont le rôle évolutif normal est de fabriquer de l'os. Elles sont indépendantes du système hématopoïétique.

- les Inductive Osteogenic Precursor Cells ou IOPC, nécessitent un stimulus inductif pour former de l'os. Elles ne sont pas spécifiques à la moelle osseuse et se retrouvent dans la muqueuse vésicale, le thymus, les macrophages péritonéaux, certaines cellules lymphoïdes spléniques.

3 - ROLE DES EXTREMITES FRACTURAIRES

Elles constituent un facteur limitant à la consolidation osseuse, leur intérêt réside dans la stabilisation temporaire du foyer de fracture.

La consolidation ne pourra se réaliser que lorsqu'elles auront été envahies par le bourgeon conjonctivo-vasculaire puis éliminées par lui.

C - CELLULES OSTEOFORMATRICES

L'origine et la nature des cellules ostéoformatrices responsables de la minéralisation du cal restent inconnues.

Pour les uns, les cellules ostéoformatrices sont prédéterminées, provenant de cellules spécialisées ostéoprogénitrices qui apparaissent très près de l'os, à sa surface ou dans la cavité médullaire (HAM, OLLIER).

Pour les autres (LERICHE, POLICARD) ce sont des fibroblastes banals qui vont se différencier en ostéoblastes en présence d'un stimulus approprié (DOPC, IOPC).

III - FACTEURS INFLUENÇANT LA CONSOLIDATION DES FRACTURES

A - LES FACTEURS CIRCULATOIRES

Les travaux de ROTMAN et HELLENSTAL ont permis de retenir les faits suivants :

- l'anémie associée à l'hypovolémie entraîne une diminution de l'élasticité de l'os et un retard de consolidation.
- l'anémie avec normovolémie n'a aucun effet sur la consolidation.
- l'hypoxie chronique entraîne un retard de consolidation avec une diminution du module d'élasticité du cal.

B - LES FACTEURS HORMONAUX

Les travaux de RAY et TYLKOWSKI ont montré que l'action des hormones sur la consolidation était identique à leur action sur le cartilage de croissance.

L'hypophysectomie entraîne un retard de consolidation. Parmi les hormones hypophysaires, seule la STH paraît capable de prévenir le retard de consolidation. En effet, la thyroxine n'est pas indispensable, bien que son injection stimule la consolidation. Enfin, l'ACTH et les corticoïdes seraient un frein à cette consolidation.

La somatomédine stimule la synthèse de collagène osseux, mais ses effets sur la fracture n'ont pas encore été publiés. Chez les traumatisés crâniens, la dopamine et ses inhibiteurs favorisent la consolidation osseuse.

C - LES FACTEURS NUTRITIONNELS

Toute alimentation normale contient suffisamment de calcium ou de vitamine D pour subvenir aux besoins métaboliques de l'os fracturé. Il faut une diète sévère en calcium et vitamine D pour obtenir expérimentalement un effet négatif sur la consolidation. Il n'est donc pas nécessaire de prescrire du calcium comme les patients en demandent souvent.

D - LES FACTEURS BIOELECTRIQUES

Des déformations mécaniques appliquées à l'os donnent naissance à des potentiels électriques. FRIEDENBERG et BRIGHTON ont montré que les extrémités de l'os fracturé deviennent électronégatives. Cette électronégativité pourrait jouer un rôle dans la consolidation osseuse par appel d'ions positifs comme le calcium. L'effet positif des champs électromagnétiques pulsés sur les fractures fraîches est prouvé (BASSET, PAWLICK et BECKER), leur application a été largement utilisée dans le traitement des pseudarthroses comme nous le reverrons plus en détail.

E - LES FACTEURS MECANIQUES

- **La mobilisation** du foyer de fracture empêche la consolidation. En fait les fractures consolident presque toujours même si elles ne sont pas immobilisées. Côtes et clavicules en sont un bon exemple (SARMIENTO).

- La mobilité du foyer favorise la formation du tissu cartilagineux et fibreux au dépend de l'os adulte en perturbant la vascularisation périostée.

- Une contention trop rigide du foyer de fracture associée à une compression trop importante, perturbe la vascularisation, donc le remodelage, d'où des fractures itératives après ablation du matériel.

C'est donc plus le degré de mobilité que son existence qui va entraîner des troubles de la consolidation.

- Rôle de l'appui :

L'appui entraîne des modifications vasculaires loco-régionales.

Les études de DEVALDERAMA et TRUETA ont démontré que la contraction musculaire entraîne une élévation de la pression intramédullaire osseuse, par engorgement veineux, et que, pendant la relaxation musculaire les veines se vidangent rapidement.

Le plein appui, par les stimulations musculaires, entraîne des micro-mouvements dans le foyer, propices à la consolidation.

IV - INCIDENCE DANS LE TRAITEMENT DES FRACTURES

En l'absence de tout acte thérapeutique une fracture consolidera presque toujours. Le but du traitement est de s'assurer que cette consolidation s'effectue dans des conditions fonctionnellement acceptables. Par son intervention, le chirurgien va plus ou moins modifier le processus biologique de la consolidation.

Les méthodes thérapeutiques à foyer fermé (plâtre, enclouage centro-médullaire, fixateur externe) respectent l'hématome et le périoste. Elles conservent une certaine mobilité dans le foyer de fracture favorisant ainsi la formation d'un cal périosté.

Par contre, en pratiquant un geste chirurgical à foyer ouvert, on admet l'évacuation de l'hématome. En y associant le ruginage du périoste, seul le cal cortical et endosté (consolidation per primam) pourront se développer. L'obtention d'une ostéosynthèse stable avec absence totale de micro-mouvements au niveau du foyer de fracture est indispensable à la formation du cal cortical.

A - LE TRAITEMENT ORTHOPEDIQUE

En respectant la vascularisation tout en donnant une immobilité suffisante du foyer de fracture, la méthode orthopédique permet d'obtenir une consolidation faisant appel aux propriétés naturelles de l'os.

Le mouvement dans le foyer de fracture n'empêche pas la consolidation. Au contraire, BOEHLER puis SARMIENTO considèrent qu'une immobilisation trop rigide des fragments est néfaste à la consolidation, mais trop de mouvements dans le foyer de fracture aboutit à la constitution d'une pseudarthrose hypertrophique.

- les mouvements dans le plan frontal, sagittal, sont bien tolérés et stimulent le cal,
- les mouvements rotatoires sont mal tolérés,
- le mouvement linéaire axial de télescopage est fondamental pour la consolidation car

il permet, en outre, l'impaction des fragments.

La mise en charge au cours de l'immobilisation plâtrée permet ce type de mouvement et favorise les contractions musculaires.

B - OSTEOSYNTHESE

1 - LES PLAQUES VISSEES

Il existe différents types de plaques :

- Les plaques classiques rigides : elles procurent une immobilisation stricte du foyer de fracture. Cela impose une réduction parfaite avec compression des deux extrémités fracturaires.

La consolidation osseuse est dite "per primam" : l'os consolide d'emblée en os mature adulte sans passer par le stade de cal provisoire (DANIS ; Groupe Ao).

- Les plaques "élastiques" procurent une ostéosynthèse plus souple autorisant les micro-mouvements. Ce type d'ostéosynthèse autorise la consolidation osseuse naturelle avec formation d'un cal provisoire cartilagineux.

- Les problèmes de l'ostéosynthèse par plaque vissée :

- * le déperiostage et les risques de lésions de l'artère centromédullaire par vis,
- * risque de fracture itérative après ablation du matériel de synthèse (plaques rigides),
- * risque infectieux.

2 - L'ENCLOUAGE CENTROMEDULLAIRE A FOYER FERME

La mise en place du clou centromédullaire s'effectue à distance du foyer de fracture. L'artère centromédullaire est sacrifiée mais l'hématome fracturaire et le périoste sont respectés.

Sans alésage, la vascularisation médullaire peut se rétablir. Avec alésage, les dégâts

sont définitifs, mais l'hyperpression interne créée stimule l'ostéogénèse périphérique de type périostique.

Lorsqu'il bloque bien la rotation, il représente un moyen idéal d'ostéosynthèse autorisant la mise en charge précoce dont nous avons vu l'intérêt positif sur la consolidation.

C - CONSOLIDATION ET FIXATEUR EXTERNE

Les conditions mécaniques du cal osseux obtenu par fixateur externe varient en cours de consolidation.

Initialement, l'instabilité du foyer nécessite une fixation parfaitement stable.

Ultérieurement, le cal stabilisant le foyer, la dynamisation du fixateur est souhaitable car elle accélère la corticalisation du cal.

Le fixateur externe d'Illizarov a pour particularité de réaliser une ostéosynthèse instable avec possibilités de micro-mouvements du foyer. Nous reviendrons dans un chapitre ultérieur sur la consolidation au moyen de fixateurs externes.

LES PSEUDARTHROSES
GENERALITES

I - DEFINITION

La pseudarthrose se définit par "l'absence absolue et définitive de soudure à la suite d'une fracture". Elle se différencie du retard de consolidation, qui n'est qu'un incident évolutif d'un foyer de fracture qui finira par consolider, par le maintien du traitement initial. Au contraire, il s'agit d'une pseudarthrose si la consolidation spontanée paraît impossible, rendant ainsi nécessaire l'intervention chirurgicale.

Par opposition à la définition ancienne, nous ne tenons plus compte de la notion de temps, ainsi certaines fractures pourraient être considérées comme pseudarthrose dès le moment du traumatisme initial : c'est le cas d'une fracture avec perte de substance osseuse.

En pratique, pour LERICHE, on doit considérer que si deux mois après les délais habituels de la consolidation d'une fracture, après l'emploi des traitements usuels, il n'y a pas de cal solide, il faut se comporter comme en présence d'une pseudarthrose.

En ce qui concerne les pseudarthroses septiques, la notion de délai est dangereuse, et il n'est pas nécessaire d'attendre pour changer d'attitude thérapeutique. En effet, le maintien du traitement initial pourrait entraîner une aggravation telle des lésions qu'on risquerait d'aboutir à l'amputation.

En fait, il paraît fondamental de prévoir l'apparition de la pseudarthrose assez tôt afin de prendre une autre orientation thérapeutique.

Nous avons, dans notre série, exclu cette notion de temps, ce qui nous a permis d'intégrer deux patients présentant un sepsis 2 mois après le traumatisme initial avec absence totale de signes de régénération osseuse.

Le changement d'attitude thérapeutique était inévitable et l'application de la méthode a souvent permis d'obtenir rapidement l'assèchement et la consolidation sans aucune intervention sur le foyer septique.

II - PHYSIOPATHOLOGIE

A - LES CAUSES BIOLOGIQUES

LE ROLE DE LA VASCULARISATION :

Les différentes études anatomopathologiques démontrent que l'opposition entre pseudarthrose hypertrophique et atrophique ne correspond qu'à un aspect radiologique.

- Pour LERICHE et POLICARD, la pseudarthrose est liée à la brièveté et l'insuffisance de réaction hyperhémique post-traumatique. Ils qualifiaient la forme hypertrophique d'ischémique et la forme atrophique d'hypervasculaire.

- Pour R. ROYCAMILLE (132), J. et R. JUDET (78), 1958, toutes les pseudarthroses, quel que soit leur type radiologique, sont vascularisées. L'os opaque radiologiquement est considéré comme de l'os peu vivant dont la vascularisation est pauvre. On employait le terme de "sclérose" osseuse. En fait, ce qui provoque l'opacité radiologique des extrémités osseuses bordant le foyer, ce n'est pas une nécrose mais une intense réaction ostéogénique intéressant le périoste mais aussi la cavité médullaire réalisant une importante ostéocondensation.

Outre l'hypervascularisation des extrémités osseuses, les coupes histologiques réalisées au niveau de la pseudarthrose, mettent en évidence un tissu d'union constitué de tissu conjonctif dense.

Pour eux, la pseudarthrose est une lutte permanente de l'organisme cherchant à consolider une fracture malgré tous les facteurs étiologiques qui s'opposent à la guérison. Ils concluent qu'une pseudarthrose peut être guérie par simple compression en dehors de tout apport osseux et de toute intervention sur le foyer.

S. STAN (147), en 1975, soutient que la cause principale de l'apparition d'une

pseudarthrose est le maintien de l'hypervascularisation . A la phase inflammatoire d'une fracture apparait une hypervascularisation qui se normalise vers le 35ème jour. Dans les pseudarthroses, le maintien de l'hypervascularisation empêche la métaplasie osseuse et l'absence de retour à la normale constituerait l'apparition de la pseudarthrose.

La pseudarthrose avasculaire résulterait d'une thrombose des vaisseaux (lié à un sepsis local par exemple) qui ferait suite au même processus hypervasculaire.

Plus récemment, FICAT (49), en 1982, a réalisé une étude anatomopathologique du tissu pseudarthrosique. Il décrit trois modèles vasculaires :

- l'absence de vasculogénèse constituant la véritable pseudarthrose avasculaire,
- l'absence de circulation contrastant avec la présence de nombreux capillaires non fonctionnels,
- une dystrophie vasculaire.

Ces différents aspects se traduisent par une insuffisance circulatoire, une ischémie et une absence de communication entre les fragments.

Le rétablissement de la continuité vasculaire de l'os apparait comme un phénomène essentiel de la consolidation osseuse et comme un signe annonciateur de la guérison d'une pseudarthrose. De plus, il semblerait qu'aucune forme radiologique n'est pathognomonique d'un type particulier de vascularisation.

L'ostéomyélographie mise au point par PURANEN et LASKI permet d'étudier le secteur capillaire et veineux intra-osseux du foyer de fracture et des fragments proximaux et distaux.

Cette technique n'est pas applicable aux enclouages centromédullaires.

A partir d'une étude sur 25 cas de pseudarthrose de jambe, VARA-THORBECK (159) constate un arrêt complet du contraste iodé dans la portion la plus proximale du fragment distal.

L'ostéoméduellographie confirme la valeur du rétablissement de la circulation centromédullaire dans le pronostic des fractures de jambe.

B - ETIOLOGIE DES PSEUDARTHROSES

1 - LES CAUSES GENERALES

a) Etat général

- Ethylisme chronique et cachexie,
- Artéritique.
- Dialysés rénaux.

b) L'âge

Les pseudarthroses seraient plus fréquentes chez les sujets âgés et en mauvais état général.

c) Les troubles métaboliques

- La grossesse retarde la consolidation,
- Le diabète mal équilibré, par la micro-angiopathie qu'il génère.

d) Les médicaments

Les corticoïdes, les anti-inflammatoires non stéroïdiens et l'héparinothérapie de longue durée provoquent un retard de consolidation.

2 - LES CAUSES LOCALES

a) Les facteurs liés à la fracture

- *L'ouverture du foyer de fracture :*

Lors de fracture ouverte avec un grand fracas osseux, plusieurs facteurs contribuent à la non consolidation osseuse : évacuation de l'hématome fracturaire, déchirement du périoste, lésion de l'artère centromédullaire entraînant une dévascularisation des extrémités fracturaires.

- La comminution

Les fragments intermédiaires sont fréquemment dépériostés et donc totalement dévascularisés, ce qui entraîne leur nécrose. La perte de substance osseuse secondaire est source d'écart interfragmentaire et donc de pseudarthrose.

- L'infection locale

Elle entraîne la thrombose des vaisseaux périostés aboutissant à la nécrose des extrémités fracturaires source d'instabilité et donc de pseudarthrose.

b) Les facteurs liés au traitement

- La mobilité du foyer de fracture

Nous avons vu dans un chapitre précédent les effets de la mobilité du foyer de fracture sur la consolidation.

- Pseudarthrose après traitement orthopédique

Le traitement orthopédique autorise les micro-mouvements dans le foyer de fracture et donc la formation d'un cal périosté. Ses échecs seront liés à :

- * une immobilisation insuffisante génératrice de pseudarthrose hypertrophique,
- * des manoeuvres intempestives au-delà des trois premières semaines, telles les reprises de réduction, les gypsotomies,
- * un écart inter-fragmentaire soit par interposition musculo-tendineuse, soit par traction continue trop forte.

- Pseudarthrose après ostéosynthèse à foyer fermé

Ce type d'ostéosynthèse mise sur le même mode de consolidation privilégiant un cal périosté. Ses échecs seront liés à :

- * la mise en place d'un clou trop petit ou l'existence d'un 3ème fragment source d'instabilité trop importante et donc génératrice d'une pseudarthrose hypertrophique,

* un écart inter-fragmentaire par interposition musculaire ou par effet haubannage d'un péroné non fracturé ou encore par mauvaise technique chirurgicale.

- Pseudarthrose après ostéosynthèse interne

Le chirurgien privilégie la formation d'un cal endosté ou cortical en réalisant une ostéosynthèse stable au prix d'un déperiostage des extrémités fracturaires. Ses échecs sont liés à :

- * déperiostage excessif des fragments,
- * l'utilisation de plaques flexibles source d'instabilité,
- * l'existence d'une comminution importante.

- Pseudarthrose après fixateur externe

Les causes d'échecs des fixateurs externes sont nombreuses et sont surtout liées au type de fracture auxquelles ils s'adressent : fracture ouverte avec importante comminution et risque infectieux important.

III - CLASSIFICATION DES PSEUDARTHROSES

La classification des pseudarthroses a une incidence sur les modalités thérapeutiques à envisager pour obtenir la consolidation.

Elle repose sur les caractères cliniques, étiopathogéniques et radiologiques.

A - NOTIONS CLASSIQUES

Il est classique de définir deux types de pseudarthroses.

1 - LES PSEUDARTHROSES HYPERTROPHIQUES

Elles résultent d'une instabilité du foyer de fracture créant une hypermobilité. L'organisme réagit par une réaction périostée intense.

Histologiquement, le tissu d'union interfragmentaire est fibrocartilagineux.

Radiologiquement, elles donnent l'aspect en "patte d'éléphant" traduction d'une importante ostéocondensation liée à une intense réaction ostéogénique intéressant périoste et cavité médullaire.

On considère ce type de pseudarthrose comme "réactives", car elles sont le résultat d'un problème mécanique et possèdent le potentiel biologique nécessaire à la consolidation.

Il n'est donc pas nécessaire d'apporter de facteurs induisant la réaction ostéogénique, telle une greffe osseuse, la réalisation d'une ostéosynthèse stable avec mise en compression doit pouvoir entraîner la guérison.

2 - LES PSEUDARTHROSES ATROPHIQUES

Ses causes sont multiples :

- ouverture du foyer avec évacuation de l'hématome,
- caractère comminutif de la fracture,
- déperiostage excessif soit lors du traumatisme initial, soit par un geste chirurgical,
- perte de substance osseuse créant un écart interfragmentaire.

Histologiquement, le tissu d'union est purement fibreux.

Radiologiquement, elles donnent l'aspect en "baguette de tambour".

Ces pseudarthroses sont considérées comme aréactives, car la stabilisation du foyer seule, ne suffira pas à obtenir la consolidation. L'adjonction de facteurs induisant une réaction ostéogénique à une ostéosynthèse stable semble nécessaire pour obtenir la guérison.

B - CLASSIFICATION DE WEBER (167)

Elle repose sur l'analyse scintigraphique des pseudarthroses en corrélation avec l'aspect radiologique. Il décrit deux types de pseudarthroses :

1 - LES PSEUDARTHROSES HYPERVASCULARISEES "REACTIONNELLES"

Les extrémités fracturaires sont le siège d'une hyperfixation scintigraphique signe d'une hypervascularisation et d'un potentiel ostéogénique important. On distingue :

- les pseudarthroses hypertrophiques en patte d'éléphant,
- les pseudarthroses hypertrophiques en sabot de cheval,
- les pseudarthroses oligotrophiques possédant une hyperfixation scintigraphique.

2 - LES PSEUDARTHROSES AVASCULAIRES "AREACTIVES"

Les extrémités fracturaires ne fixent pas à la scintigraphie. On distingue :

- les pseudarthroses nécrotiques où les extrémités fracturaires sont dévitalisées,
- les pertes de substance osseuse,
- les pseudarthroses atrophiques en baguette de tambour.

WEBER conclue que le traitement des pseudarthroses découle de cette analyse scintigraphique. Les pseudarthroses hypervasculaires résultent d'un problème mécanique, une synthèse rigide permet d'obtenir la consolidation sans apport de greffe osseuse.

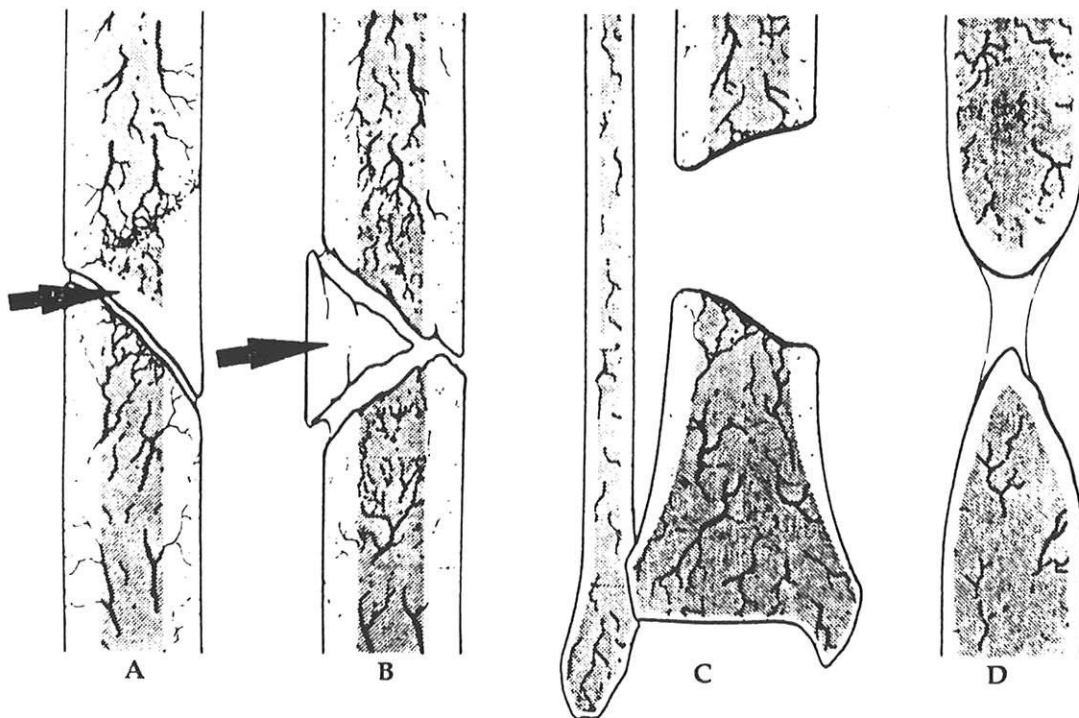
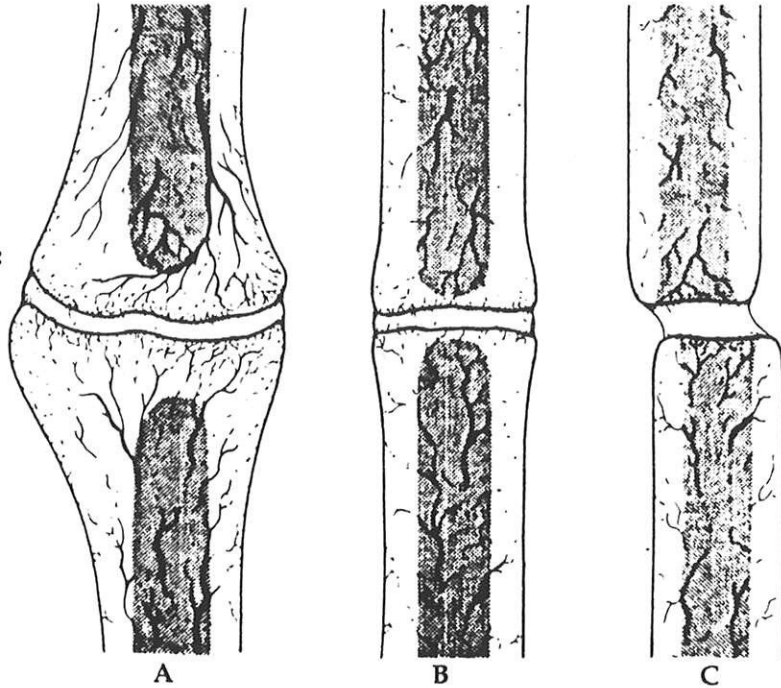
Par contre, les pseudarthroses avasculaires, ou infectées, nécessitent l'adjonction d'une greffe osseuse afin de stimuler le processus de consolidation.

CLASSIFICATION DES PSEUDARTHROSES

(d'après WEBER)

Pseudarthroses hypervascularisées :

- A : Hypertrophiques
en "patte d'éléphant"
- B : Hypertrophie modérée
en "sabot de cheval"
- C : Oligotrophiques



Pseudarthroses avasculaires :

- A et B : fragment dévascularisé ; C : perte de substance osseuse
- D : pseudarthrose atrophique en "baguette de tambour"

IV - LE DIAGNOSTIC DE PSEUDARTHROSE

A - SIGNES CLINIQUES

1 - SIGNES FONCTIONNELS

Le patient se plaint de **douleurs** qu'il localise au niveau du foyer de fracture et provoquées par la mobilisation ou la mise en charge. Cette douleur est de type mécanique calmée par le repos. Elle est le signe d'une mobilité du foyer de fracture.

Parfois, les douleurs sont absentes et le patient signale une simple sensation d'instabilité ou de fatigabilité à la marche.

L'**impotence fonctionnelle** est variable. Elle peut être associée à une algodystrophie avec enraidissement des articulations d'autant plus que la pseudarthrose siège près des articulations.

Un syndrome infectieux plus ou moins sévère avec fièvre persistante peut être le mode de découverte d'une pseudarthrose septique.

2 - L'EXAMEN CLINIQUE

- **Augmentation de la chaleur locale** propre aux pseudarthroses réactionnelles et aux pseudarthroses septiques, absente dans les pseudarthroses aréactives.

- **Tuméfaction** inflammatoire en regard du foyer de pseudarthrose.

- **Douleur** provoquée à la palpation des parties molles.

- **Mobilité anormale** au niveau du foyer de fracture avec perception de craquements à la mobilisation.

- **Défaut d'axe.**

- **L'état cutané :**

* troubles trophiques à type d'ulcères,

* aspect inflammatoire,

- **Les signes d'infection :**

Outre les signes communs aux différents types de pseudarthroses, le caractère septique peut être révélé par l'apparition d'une fistule, d'une abcédation ou par la désunion cicatricielle.

3 - SIGNES BIOLOGIQUES

- Syndrome inflammatoire avec augmentation de la vitesse de sédimentation et de la protéine C réactive.

- Syndrome infectieux avec hyperleucocytose.

- Présence d'un germe sur les prélèvements.

B - EXAMENS PARACLINIQUES

1 - SIGNES RADIOGRAPHIQUES

On pratiquera des **clichés standards** avec de nombreuses incidences. Les simples clichés de face et de profil sont parfois insuffisants pour affirmer l'absence de consolidation absolue.

Les **tomographies** peuvent être une aide précieuse devant l'incertitude diagnostique.

Les signes radiographiques permettant de poser le diagnostic de pseudarthroses sont les suivants :

- élargissement du cal périphérique avec absence de continuité osseuse,

- densification osseuse de part et d'autre du trait de fracture,
- résorption progressive des berges du foyer de fracture,
- rupture du matériel d'ostéosynthèse ou débricolage,
- inflexion du foyer de fracture.

Les signes radiologiques faisant évoquer le caractère septique de la pseudarthrose

sont :

- une modification de la texture osseuse avec des extrémités irrégulières, grignotées,
- la lyse osseuse autour du matériel de synthèse,
- la présence de géodes ostéolytiques,
- l'existence de séquestres.

Au terme du bilan radioclinique, on peut classer les pseudarthroses en 3 types :

- **Les pseudarthroses hypertrophiques ou "réactionnelles" :**

Les radiographies montrent l'hypertrophie des extrémités fracturaires, en "patte d'éléphant" ou en "sabot de cheval", qu'une ligne claire sépare nettement. La médullaire est obturée.

- **Les pseudarthroses atrophiques ou "aréactives" :**

Les radiographies montrent l'absence de cal périphérique, la résorption des extrémités fracturaires dont l'aspect évoque une "queue de radis" ou des "baguettes de tambour". Les extrémités osseuses sont denses, le canal médullaire est obturé.

- **Les pseudarthroses septiques** dont nous avons vu les signes qui leurs sont propres.

L'attitude thérapeutique sera adaptée à l'aspect radioclinique de la pseudarthrose.

2 - LA SCINTIGRAPHIE OSSEUSE

Le bilan scintigraphique permettra essentiellement de définir les caractères de la pseudarthrose. Les pseudarthroses "réactionnelles" donneront une image d'hyperfixation, tandis que dans les pseudarthroses "aréactives" les extrémités fracturaires ne fixent pas à la scintigraphie.

3 - LA MEDULLOGRAPHIE

L'ostéomyélographie offre une image phlébographique permettant d'étudier le secteur capillaire et veineux intra-osseux du foyer de fracture. En cas de pseudarthrose, cet examen permet d'observer l'absence de reperméabilisation du sinus veineux central.

4 - AUTRES EXAMENS PARACLINIQUES

- La thermographie infrarouge permet d'apprécier l'hyperactivité du cal en formation. Les pseudarthroses réactionnelles sont hyperthermiques alors que les pseudarthroses aréactives sont isothermes.

- La xérographie analyse la progression du cal périphérique qui est de faible densité radiologique. Elle permet d'apprécier l'espace clair inter-fragmentaire et l'absence de trame osseuse joignant les deux fragments.

- La tomodensitométrie et la résonance magnétique nucléaire ne présentent actuellement pas un grand intérêt.

- Les jauges extensométriques permettent de mesurer la rigidité du cal. Elles restent du domaine de l'expérimentation.

- La coloration vitale au bleu de disulphine permet de distinguer les tissus vivants des territoires dévitalisés. Elle guide le chirurgien dans l'étendue de la résection osseuse : tout ce qui n'est pas coloré en vert par le bleu de disulphine doit être excisé.

V - PRINCIPES DU TRAITEMENT DES PSEUDARTHROSES

Les principes du traitement des pseudarthroses découlent des données étiopathogéniques précédemment étudiées et du type de pseudarthrose.

A - PSEUDARTHROSES ASEPTIQUES

1 - PSEUDARTHROSES REACTIONNELLES

Leur formation est essentiellement liée à une mobilité exagérée du foyer de fracture. Le tissu d'union est fibro-cartilagineux et susceptible de se minéraliser. D'autre part, elles possèdent le potentiel biologique nécessaire à la consolidation.

A partir de ces notions on peut adopter l'attitude thérapeutique suivante :

- l'excision du foyer de pseudarthrose n'est pas nécessaire,
- l'apport de greffons osseux est inutile,
- **la stabilisation stricte du foyer associée à la compression interfragmentaire permettra seule la consolidation.**

La stabilisation du foyer est classiquement obtenue par une plaque vissée mise en compression ou par l'enclouage centromédullaire.

2 - LES PSEUDARTHROSES AREACTIVES

Le tissu d'union du foyer de pseudarthrose est de type fibreux inapte à la minéralisation. Il est donc nécessaire de réaliser **l'excision du foyer de pseudarthrose** avec avivement des extrémités fracturaires.

Si la stabilisation du foyer reste un impératif, il faut également relancer l'ostéogénèse par l'adjonction de greffes osseuses.

B - PSEUDARTHROSES SEPTIQUES

Classiquement, on admet que la pseudarthrose est auto-entretenu par l'infection, aussi l'assèchement des lésions est une condition nécessaire à la consolidation osseuse.

- Principes thérapeutiques classiques actuels :

Tous les auteurs s'accordent pour pratiquer certaines modalités thérapeutiques indispensables à la guérison d'une pseudarthrose septique :

- 1 - Excision lavage du foyer de pseudarthrose et des parties molles nécrosées associé à un drainage,
- 2 - Stabilisation stricte du foyer de pseudarthrose, le plus souvent à l'aide d'un fixateur externe,
- 3 - Réalisation d'un apport osseux cortico-spongieux ou spongieux après assèchement des lésions,
- 4 - Antibiothérapie adaptée à l'antibiogramme.

**TRAITEMENTS CLASSIQUES
DES
PSEUDARTHROSES**

I - LES MOYENS DE FIXATION

A - L'ENCLOUAGE CENTROMEDULLAIRE (E.C.M.)

L'enclouage centromédullaire représente la technique de choix du traitement des **pseudarthroses aseptiques** des os longs. Le risque de pandiaphysite est trop important pour que cette méthode soit appliquée aux pseudarthroses septiques. Toutefois, l'E.C.M. semble pouvoir être pratiqué chez les patients présentant un sepsis torpide.

L'enclouage détruisant la vascularisation centromédullaire, la consolidation s'effectuera par la formation d'un cal périphérique.

L'**alésage** centromédullaire est un appoint indispensable à la technique. ZUCKMAN a démontré que le produit d'alésage était biologiquement actif et favorisait donc la relance de l'ostéogénèse au niveau du foyer de pseudarthrose.

Pour cela, l'apport de greffe osseuse n'est pas nécessaire et il est impérieux de ne pas ouvrir le foyer si un enclouage avec alésage est décidé.

Le caractère atrophique ou hypertrophique de la pseudarthrose ne semble pas avoir d'incidence significative sur le délai de consolidation.

L'enclouage est effectué à frottement dur ce qui permet d'obtenir une bonne stabilité en rotation.

L'**ostéotomie du péroné** (ou résection) : elle supprime le contrôle de la rotation mais présente un avantage non négligeable en augmentant l'impaction du foyer de pseudarthrose.

Si toutes les conditions sont réunies, on obtient une bonne stabilité par l'enclouage alésage ; l'appui précoce sera alors autorisé. Outre l'impaction du foyer, la marche va produire des micro-mouvements axiaux qui vont favoriser la formation du cal périphérique.

GROSSE et KEMPF (65) préconisent l'enclouage verrouillé dynamique qui va donner une bonne stabilité rotatoire et permettre d'étendre la technique au 1/3 inférieur de jambe. Ils représentent une série de 12 cas traités selon cette technique avec appui précoce. La consolidation a été obtenue au 3ème mois.

DECOULX (40) présente une série de 25 pseudarthroses aseptiques de jambe. La consolidation a été obtenue en moyenne en 3 mois. Il n'a pas retrouvé de différence significative sur le délai de consolidation selon le caractère hypertrophique ou atrophique de la pseudarthrose. Le délai de consolidation a été de 2,6 mois avec ostéotomie du péroné, et de 4 mois sans ostéotomie. Ces chiffres confirment les avantages de l'ostéotomie du péroné dans le traitement des pseudarthroses par enclouage.

JOHNSON (74) rapporte une série de 20 pseudarthroses aseptiques de jambe traitées par enclouage centromédullaire avec greffe osseuse. Le délai de consolidation a été de 3 mois en moyenne. Les pseudarthroses hypertrophiques ont consolidé en 10,6 semaines alors que les pseudarthroses atrophiques ont consolidé en 14,4 semaines.

B - LES PLAQUES VISSEES

Elles s'adressent aux **pseudarthroses aseptiques de siège métaphysaire** et au 1/3 supérieur de jambe, là où l'enclouage centromédullaire ne permet pas d'obtenir une bonne stabilité.

Elles permettent d'obtenir une correction axiale parfaite dans toutes les pseudarthroses non alignées.

La **mise en compression** de la plaque est indispensable.

Lorsqu'un abord du foyer est nécessaire pour réaliser l'ablation du matériel de synthèse, on réalisera une nouvelle ostéosynthèse par plaque vissée, permettant de traiter la

pseudarthrose par la même voie d'abord.

La greffe osseuse est à réserver aux pseudarthroses atrophiques. On réalisera alors, soit une décortication ostéomusculaire selon la technique de JUDET, soit un greffon spongieux ou cortico-spongieux. Ces techniques seront décrites en détail dans un paragraphe ultérieur.

DECOULX (40) rapporte une série de 20 cas de pseudarthroses aseptiques de jambe traitées par plaque vissée. Le délai moyen de consolidation est de 3,6 mois.

ZINGHI et coll. (170) rapportent une série de 147 pseudarthroses de l'humérus. Le traitement chirurgical a toujours consisté en une ostéosynthèse par plaque rigide vissée, associée à une homogreffe corticale. La consolidation fut obtenue entre 5 et 8 mois maximum.

UYTTENDAELE et coll. (156) rapportent une série de 16 pseudarthroses aseptiques de l'avant-bras :

- * 14 cas ont été traités par plaque vissée et immobilisation plâtrée,
- * 1 cas d'enclouage et une résection type SAUVE-KAPANDJI,
- * dans 10 cas, un greffon spongieux fut associé.

Le délai de consolidation fut de 170 jours en moyenne dans 13 cas sur 15 revus, soit 87 % de succès.

C - LE FIXATEUR EXTERNE

Il trouve son indication de choix dans les **pseudarthroses septiques**, et ce, d'autant qu'existent fistule, troubles trophiques et perte de substance osseuse.

Il va permettre une immobilisation stricte et stable à distance des zones infectées, la

conservation des axes, le maintien de la longueur du membre, l'accès facile pour le traitement et la surveillance des lésions cutanées.

Après éradication du foyer infectieux, un geste complémentaire sera nécessaire pour obtenir la consolidation osseuse.

Plusieurs techniques peuvent être employées : la greffe cortico-spongieuse, la greffe intertibiopéronière, la méthode de Papineau, ou le transfert osseux libre vascularisé.

RICARD (127), en 1964, rapporte une série de 50 pseudarthroses suppurées des membres (42 tibias, 7 fémurs, 1 humérus) immobilisées par fixateur externe. Il obtient 42 consolidations soit 84 % de succès, une pseudarthrose serrée et 7 amputations.

CHAUVET et coll. (32) rapportent une série de 80 pseudarthroses diaphysaires immobilisées par fixateur externe. Le FESSA a été utilisé 56 fois. Le fixateur externe est posé après excision rigoureuse et ablation du matériel de synthèse. La stimulation de l'ostéogénèse s'effectue par greffe cortico-spongieuse du fémur et greffe intertibiopéronière à la jambe.

71 patients ont consolidé, soit 89 %, 5 % ont conservé une ostéite résiduelle. Les échecs sont au nombre de 9 avec 7 amputations.

J. VIDAL (164) rapporte une série de 35 pseudarthroses suppurées du fémur traitées par fixateur externe ; 25 pertes de substance osseuse.

Dans un premier temps, il pratique l'excision parage des tissus nécrosés et infectés, puis stabilisation par fixateur externe . Les parties molles sont refermées sur un système d'irrigation aspiration continue. Dans un second temps, la consolidation est obtenue par apport de greffes cortico-spongieuses.

- 18 cas ont consolidé avec tarissement de l'infection.
- 6 cas ont consolidé avec ostéite résiduelle.
- 9 échecs.

Le délai moyen de consolidation est de 14 mois. La durée moyenne de traitement est

de 22 mois.

J. VIDAL (166), dans une autre série, a étudié les avantages de l'association fixation interne et fixation externe sur 58 cas de fractures et pseudarthroses de jambe. Il démontre que la fixation interne complète une fixation externe en stabilisant un foyer fracturaire diaphysaire ou en permettant une reconstruction articulaire anatomique.

De même, une fixation externe complète une fixation interne insuffisante du fait de la comminution du foyer ou d'un état cutané précaire n'autorisant qu'une ostéosynthèse à minima.

En fonction de la localisation et du caractère septique ou aseptique de la pseudarthrose, nous disposons de différents moyens de fixation :

Les pseudarthroses aseptiques diaphysaires des os longs seront immobilisées par enclouage centromédullaire avec alésage.

L'indication de plaque vissée est réservée aux pseudarthroses aseptiques de siège métaphysaire et au 1/3 inférieur de jambe.

Les pseudarthroses septiques doivent être stabilisées au moyen d'un fixateur externe.

II - LES GREFFES OSSEUSES

Les greffes osseuses tiennent une place importante dans le traitement des pseudarthroses par leur rôle dans la relance de l'ostéogénèse.

ETUDE PHYSIOPATHOLOGIQUE DES GREFFES OSSEUSES

La greffe d'os spongieux, à l'inverse des greffons corticaux, apporte au niveau du foyer de pseudarthrose, des éléments médullaires biologiquement actifs stimulant l'ossification.

Incorporation des greffes osseuses

A la phase initiale, un hématome se forme autour de l'os implanté. La nécrose du greffon entraîne une réponse inflammatoire locale avec formation d'un tissu conjonctif richement vascularisé.

L'évolution est ensuite fonction du caractère cortical ou spongieux du greffon :

- la revascularisation du greffon spongieux s'effectue plus rapidement, ce qui permet à un certain nombre de cellules osseuses de survivre par diffusion et contribue ainsi à l'apport de facteurs de la consolidation.

- du fait de sa nature plus compacte, la revascularisation du greffon cortical est plus tardive, son incorporation au niveau du site receveur sera donc plus lente.

FRIEDLANDER (53), dans une étude sur l'incorporation des greffes osseuses, démontre la supériorité des greffes spongieuses sur les greffes corticales. De même, les greffons autologues sont de meilleure qualité que les allogreffes.

LES DIFFERENTS TYPES DE GREFFES OSSEUSES

- Les greffes autologues, spongieuses, corticales, corticospongieuses.

Les sites de prélèvements électifs sont :

- la crête iliaque antérieure,
- le massif des épines iliaques postérieures,
- l'épiphyse supérieure du tibia,
- l'épiphyse inférieure du fémur.

- Les allogreffes,

- Les hétérogreffes : l'utilisation d'os lyophilisé est actuellement abandonnée du fait de la séquestration quasi-systématique du greffon,

- Les matériaux de substitution :

- les coraux synthétiques ou naturels,
- les vitro-céramiques poreux,
- les cristaux d'hydroxyapatite.

Les greffes osseuses sont essentiellement utilisées dans le traitement des pseudarthroses atrophiques et des pertes de substance osseuse.

A - LA GREFFE INTERTIBIOPERONIERE (G.I.T.P.)

Préconisée par MILCH en 1939 pour le traitement des pseudarthroses congénitales du tibia, la greffe intertibiopéronière fut reprise en 1955 par JONES et BARNETT.

En France, en 1963, MERLE D'AUBIGNE (104) rapporte son expérience de GITP réalisée par voie externe. Il s'agit d'un procédé qui consiste à ponter la pseudarthrose en réalisant une synostose volontaire entre tibia et péroné de part et d'autre du foyer de pseudarthrose. **Le péroné doit être solide.**

La **voie d'abord** doit être postéro-externe, **rétropéronière**, en respectant la membrane inter-osseuse, véritable barrière anatomique de protection contre l'infection.

Le **greffon** est de type **cortico-spongieux**. Il doit s'étendre de part et d'autre de la pseudarthrose sur au moins 3 à 4 cms. Après avoir avivé les faces postérieures du tibia et du péroné, le greffon est encastré dans l'espace interosseux.

REVUE DE LA LITTERATURE :

FISCHER en 1977 (50), présente une série de 32 pseudarthroses fistuleuses diaphysaires de jambe. Il obtient 30 consolidations avec assèchement, dont 25 d'emblée et 5 où un geste complémentaire fut nécessaire. Il compte 2 échecs dont une amputation.

J. EVRARD (44) rapporte une série de 63 pseudarthroses septiques de jambe. 59 ont consolidé, 45 sont asséchées. La durée totale du traitement est de 13 mois en moyenne. Le délai moyen de consolidation est de 8 à 9 mois.

J. VIDAL (165), sur 47 pseudarthroses fistulisées de jambe, obtient 31 consolidations d'emblée et 16 échecs dont 2 amputations. Sur les 14 cas restants, 13 ont consolidé secondairement à l'aide d'une nouvelle greffe intertibiopéronière. Le délai moyen de consolidation est de 12 mois.

FREELAND (52) rapporte une série de 23 pseudarthroses septiques. La consolidation et la guérison de l'infection furent obtenues dans tous les cas.

DECOULX (40), sur 29 pseudarthroses septiques, rapporte 23 guérisons et note 11 raideurs modérées de cheville.

L'indication des G.I.T.P. concerne surtout les pseudarthroses infectées de jambe avec des extrémités atrophiques ou en cas de perte de substance osseuse.

B - LA GREFFE SPONGIEUSE A CIEL OUVERT SELON PAPINEAU

Cette méthode mise au point en 1960 par J.L. PAPINEAU, et divulguée en France par ROY-CAMILLE, se propose d'obtenir simultanément, en cas de pseudarthrose infectée, l'éradication de l'infection, la cicatrisation cutanée et la consolidation osseuse.

1 - PRINCIPES DE BASE

- Immobilisation stricte du foyer au moyen d'un fixateur externe.
- Excision soigneuse de tous les tissus infectés ou nécrosés.
- Greffe spongieuse abondante.
- Décontamination quotidienne assurée par des lavages par douche de la plaie opératoire laissée ouverte.
- Action bactéricide du bourgeon charnu.

2 - RAPPEL DE LA TECHNIQUE

- Temps P₁ d'excision :

On effectue dans un premier temps l'excision la plus complète possible du foyer de pseudarthrose et de la zone infectée environnante. Au terme de l'excision, on obtient une cavité que l'on comblera de tulle gras. Le premier pansement sera effectué entre J4 et J7, il permettra de juger de la qualité du bourgeon charnu néoformé.

La qualité du bourgeonnement témoigne de la vitalité du sous-sol et de la qualité de l'excision.

- Temps P₂ de comblement osseux :

Il est réalisé uniquement avec un greffon spongieux, le plus souvent iliaque. La

cavité doit être entièrement comblée puis recouverte de tulle gras.

Le temps P₂ est pratiqué entre le huitième et le quinzième jour. Un lavage au sérum physiologique par goutte à goutte est associé aux pansements.

Après 3 à 5 mois, le greffon spongieux est recouvert de bourgeon charnu.

- Temps P₃ de recouvrement cutané :

Si l'épidermisation est en bonne voie, la cicatrisation sera spontanée. Sinon, une greffe de peau viendra, en dernier lieu, recouvrir le bourgeon charnu.

3 - INCONVENIENTS DE LA METHODE

- risque de fracture itérative,
- rechute fréquente de l'infection,
- problèmes cutanés : la peau obtenue par cicatrisation dirigée est fragile, adhérente à l'os néoformé sous-jacent. Ces troubles trophiques sont à type d'ulcérations chroniques.

4 - LA GREFFE ENCLOSE ET IRRIGUEE SELON KIPFER (83)

La méthode de Papineau présente deux inconvénients majeurs : la multiplicité des prélèvements de greffe osseuse et le caractère astreignant, maintenant le blessé immobilisé pour réaliser l'irrigation à ciel ouvert. C'est dans le but de réduire au minimum ces deux contraintes que KIPFER a été amené à modifier la technique de Papineau, en réalisant un apport cortico-spongieux en granules et en assurant une irrigation continue sous stéri-drape avec aspiration continue.

L'auteur a appliqué cette méthode sur 10 cas de pseudarthroses suppurées entre 1977 et 1980. Il obtient les résultats suivants :

- les greffons ont été recouverts en 4 semaines, date à laquelle on supprime l'irrigation.
- la greffe de peau est quasiment inutile.
- tous les cas ont consolidé en 8 mois en moyenne.

L'auteur réduit ainsi la durée du traitement et améliore son confort.

5 - REVUE DE LA LITTERATURE

A. LORTAT-JACOB (94), sur une série de 54 malades, a analysé les causes d'échecs de la technique de Papineau et les moyens de l'améliorer :

- l'excision doit être complète. L'insuffisance de résection est une cause d'échec évidente.
- la fixation doit être rigide.
- le comblement spongieux doit être massif et fortement tassé.
- les pansements trop fréquents et surtout les irrigations creusent le comblement spongieux.

certains terrains paraissent contre-indiqués : artéritiques, alcooliques, sujets âgés ou indociles.

Sur les 41 malades dont le traitement est terminé, il obtient 25 guérisons.

A. LORTAT-JACOB et RAMADIER (93), à propos d'une série de 107 malades, font le bilan des gestes complémentaires au Papineau.

Dans 30 cas, une greffe osseuse complémentaire a été nécessaire pour renforcer la consolidation osseuse, ce qui a entraîné de nombreux réveils infectieux. La cicatrisation cutanée de ces cas a été de mauvaise qualité avec 19 cas d'ulcérations chroniques. Pour pallier à ce problème, les auteurs ont fait appel à l'excision-décollement-suture secondaire, voire à un cross-leg.

J.L. LERAT (89), en 1980, présente une étude comparative entre la méthode de Papineau et la méthode classique séquentielle, pour le traitement des pertes de substance osseuse infectées du membre inférieur.

- les 15 cas traités par méthode classique ont consolidé en 2 ans en moyenne.
- avec la méthode de Papineau, 17 tibias ont consolidé en 8,5 mois et 8 fémurs en 1

an.

L. PIDHORZ (123) rapporte une série de 28 pseudarthroses infectées de jambe. 23 cas ont consolidé, avec le Papineau seul dans 21 cas, avec GTP secondaire dans 2 cas. le délai moyen de consolidation est de 8 mois avec appui protégé autorisé.

Sur le plan infectieux, 21 cas sont asséchés, 7 cas présentent une suppuration persistante.

B. REIGNIER (126), sur une série de 29 pseudarthroses septiques, a étudié le devenir à long terme des opérations de Papineau. Il constate que les problèmes cutanés siègent préférentiellement à la face interne du 1/3 inférieur de jambe où la peau est adhérente au Papineau. Les patients présentent une raideur séquellaire des articulations tibio-tarsiennes et sous-astragaliennes.

6 - LES INDICATIONS

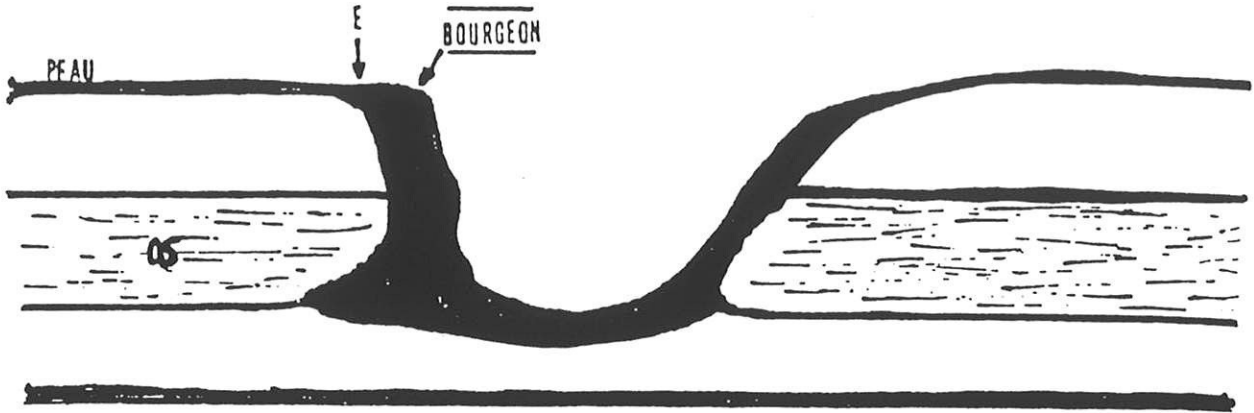
La méthode de Papineau est une méthode fiable mais lourde et astreignante. La consolidation est obtenue vers le 9ème mois environ. Ses indications sont donc restreintes et doivent être réservées aux pseudarthroses septiques les plus graves.

Plusieurs éléments doivent être réunis pour envisager ce type de traitement :

- infection,
- perte de substance osseuse,
- perte de substance cutanée.

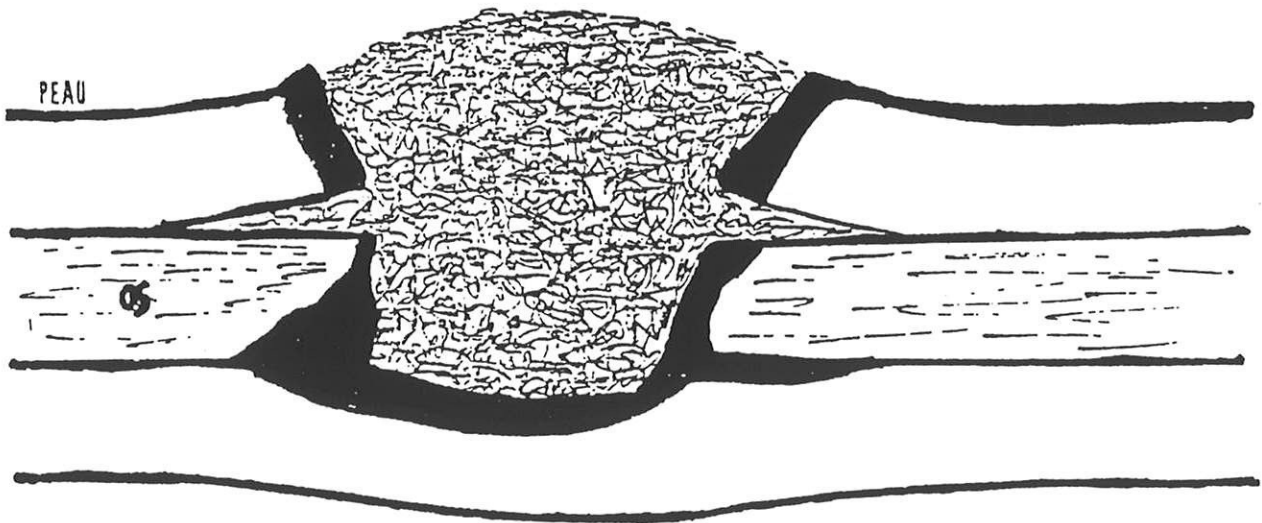
La méthode de Papineau est réservée aux pseudarthroses septiques les plus graves associant perte de substance osseuse et cutanée.

METHODE DE PAPINEAU



Bourgeonnement en cours pendant la phase P1

E : limite de l'excision réalisée au début de la phase P1



Aspect en fin de phase P2 après la greffe spongieuse
et avant le recouvrement cutané.

C - LA FIBULA PRO-TIBIA

Cette intervention consiste à étayer le foyer de pseudarthrose par le péroné.

HAHN, en 1884, fut le premier à se servir du péroné pour traiter les pseudarthroses du tibia en réalisant une ostéotomie du péroné au tiers supérieur et en l'implantant dans la métaphyse supérieure du tibia.

HUNTINGTON en 1905, et CODIVILLA en 1909, modifient l'intervention en adjoignant le transfert du tiers inférieur du péroné dans l'extrémité inférieure du tibia.

AGIZA (1) rapporte une série de 6 patients traités selon la méthode de Huntington. 3 présentaient une perte de substance liée à une résection diaphysaire post-ostéomyélite. Les 3 autres cas présentaient une pseudarthrose septique post-traumatique.

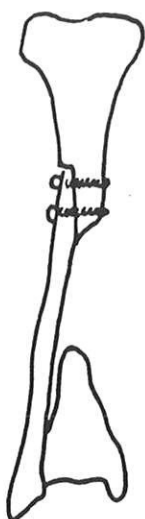
Les 6 patients sont de jeune âge. Il démontre que le péroné supporte 1/6 du poids supporté par la jambe. Quand on attribue une charge supérieure à la normale au péroné, celui-ci s'hypertrophie afin de supporter la charge dans son intégralité et ainsi se substituer au tibia déficient. Cette faculté de croissance du péroné est d'autant plus efficace que le transplant est vascularisé et que le patient est jeune.

Les techniques utilisant le péroné sont indiquées pour combler une perte de substance importante, d'origine septique, au niveau du tibia. Elles s'appliquent essentiellement aux sujets jeunes n'ayant pas terminé leur croissance.

TIBIALISATION DU PERONE



HAHN



HUNTINGTON



MILCH
MERLE D'AUBIGNE



STULZ



ZANOLI



DUPARC

D - LES TRANSFERTS OSSEUX LIBRES VASCULARISES (TOLV)

Le transplant osseux est prélevé avec son pédicule artério-veineux nourricier et anastomosé microchirurgicalement aux vaisseaux du site receveur. Il trouve donc sa place dans **le traitement des pertes de substance osseuse post-traumatiques**. Il nécessite une étude artériographique des sites donneurs et receveurs. Plusieurs types de transferts libres peuvent être utilisés.

1 - LE LAMBEAU LIBRE INGUINAL CUTANEO-OSSEUX

Sa vascularisation est assurée par l'artère iliaque circonflexe superficielle et l'artère iliaque circonflexe profonde.

C'est un lambeau composite associant dans le même prélèvement :

- la peau inguinale avec son tissu cellulaire sous-cutané sur une surface pouvant atteindre 25 cms de long sur 10 cms de large.

- la partie antérieure de la crête iliaque sans dépasser le bord de l'EIAS. Le prélèvement osseux peut atteindre une longueur de 14 cms sur une hauteur de 5 cms.

2 - LE TRANSFERT LIBRE DU PERONE :

Sa vascularisation est assurée par l'artère péronière. Il peut être utilisé dans les pertes de substance supérieures à 8 cms. Il s'agit d'un transplant osseux cortical. Le prélèvement passera sous le col du péroné et laissera en place 7 cms de péroné au dessus de la cheville afin d'en préserver la stabilité.

3 - LE PILIER DE L'OMOPLATE PEDICULE :

Il s'agit d'un lambeau composite associant dans un même prélèvement :

- le pilier de l'omoplate,
- un lambeau du grand dorsal, musculaire pur, ou musculo-cutané.

Ces transferts nécessitent l'utilisation de greffes osseuses conventionnelles d'appoint pour augmenter la surface de contact aux extrémités du greffon et pour améliorer le lit receveur tout autour du transplant.

REVUE DE LA LITTERATURE :

- ALLIEU (2) rapporte une expérience multicentrique de 57 cas de TOLV pour perte de substance osseuse post-traumatique. 52 ont consolidé per primam, 5 après un geste complémentaire. Le délai moyen de consolidation est de 5 mois.

- CHACHA et coll. (30) présentent une série de 11 patients avec perte de substance osseuse importante associée à un sepsis, traités par transfert du péroné. Ils dénombrent un échec lié à une infection sévère. Les 10 autres patients ont consolidé dans un délai de 4 mois.

SIMONIS et coll. (142) décrivent une série de 11 pseudarthroses congénitales du tibia traitées par transfert libre vascularisé du péroné. 9 patients ont consolidé. 2 échecs nécessitèrent l'amputation. Le délai moyen de consolidation est de 5 mois.

Les T.O.L.V. sont en concurrence avec la méthode de Papineau dans le traitement des pseudarthroses septiques avec perte de substance osseuse et cutanée.

E - GREFFE APPOSEE DE PHEMISTER

Cette méthode a été mise au point par PHEMISTER qui l'avait appliquée aux pseudarthroses infectées du tibia après avoir obtenu une consolidation de mandibule.

Il s'agit de mettre au contact du foyer de pseudarthrose un greffon qui, après décortication, est apposé sur le tibia et maintenu par la suture des parties molles. Le greffon utilisé est de type cortico-spongieux pris sur la crête tibiale.

La méthode de PHEMISTER garde aujourd'hui peu d'indications, elle peut encore être utilisée pour les pseudarthroses du quart inférieur de jambe. Il est impératif que les fragments soient correctement alignés et qu'il n'existe pas de perte de substance. Le péroné doit être solide.

MERLE D'AUBIGNE (103) rapporte une série de 10 pseudarthroses de jambe traitées par cette méthode avec un seul échec.

F - INJECTION PERCUTANEE DE MOELLE OSSEUSE ET DE MATRICE OSSEUSE DEMINERALISEE

Récemment, TIEDEMAN et CONNOLLY (150) ont mis au point une technique utilisant l'association de moelle osseuse autologue et de matrice osseuse déminéralisée comme inducteur de l'ostéogénèse dans le traitement des pseudarthroses.

Ils testèrent cette association en l'injectant en percutané dans 24 pseudarthroses expérimentales de chiens. Ils démontrèrent que la combinaison de moelle osseuse et de matrice osseuse déminéralisée entraîne une réponse synergique sur l'ostéogénèse, supérieure à celle obtenue lorsque chacun des composants est utilisé seul.

Cette méthode semble présenter de nombreux avantages sur les techniques classiques de greffe osseuse : pas d'abord du foyer de pseudarthrose et meilleure réponse de l'ostéogénèse. L'inconvénient majeur réside dans le risque septique.

CONNOLLY et coll. (37), en 1989, rapportent une série de 20 pseudarthroses de jambe traitées par injection percutanée de moelle osseuse autologue. La moelle osseuse est prélevée en percutané au niveau de la crête iliaque puis injectée dans le foyer de pseudarthrose. L'immobilisation du foyer de pseudarthrose a été obtenue par enclouage centro-médullaire dans 10 cas et par plaque vissée dans 10 cas.

L'injection de moelle osseuse a stimulé la formation d'un cal dans 8 des cas immobilisés par plaques et dans tous les cas immobilisés par enclouage.

Le délai moyen de consolidation a été de 6 mois. 5 patients ont présenté des problèmes infectieux qui ont nécessité un drainage et séquestrectomie.

III - LA DECORTICATION OSTEO-MUSCULAIRE

JUDET, en 1962, met au point la technique de décortication ostéomusculaire appliquée au traitement des pseudarthroses suppurées de jambe. Il imagine qu'on déclenchera une ossification plus constante et plus rapide si l'on entoure le foyer de pseudarthrose de greffons ayant conservé leurs connexions vasculaires.

RAPPEL DE LA TECHNIQUE

Le principe de la technique consiste à détacher des copeaux de corticale osseuse en les laissant adhérents au périoste et aux muscles qui s'y insèrent.

L'intérêt repose dans la qualité du greffon "pédiculé", donc vivant. Il s'est avéré que le copeau de décortication continue à vivre et prolifère même en milieu septique.

L'incision cutanée passe par la voie d'abord classique du membre intéressé. Elle doit être franche, directe, jusqu'à l'os, sans dépériostage.

A l'aide de ciseaux fins, on attaque l'os franchement, presque tangentiellement à la surface, de façon à détacher des copeaux ostéopériostiques, de 1 mm environ d'épaisseur, en une couche aussi continue que possible et sur une étendue de 10 à 15 cm de hauteur. En écartant peu à peu les copeaux, on parvient à les détacher sur les 2/3 ou les 3/4 de la circonférence de l'os. Ces copeaux restés solidaires de toutes les parties molles qui s'y fixent, reçoivent par leur intermédiaire leur vascularisation. Dans le lit ostéopériostique souple, reposera, à la fin de l'intervention, le foyer de pseudarthrose traité.

REVUE DE LA LITTERATURE

- R. JUDET et E. LETOURNEL (79), en 1968, rapportent une série de 53 pseudarthroses suppurées de jambe. Pour eux, la technique présente les intérêts suivants :

- * pas de temps cutané spécial,
- * traitement en un temps, l'excision des tissus nécrosés est concomitante à la décortication ostéo-musculaire, avec consolidation obtenue dans 92 % des cas,
- * 1 cas sur 2 consolide en moins de 6 mois,
- * plus de 80 % des cas guérissent en même temps ostéite et pseudarthrose.

- La série de R et J. JUDET (152), en 1967:

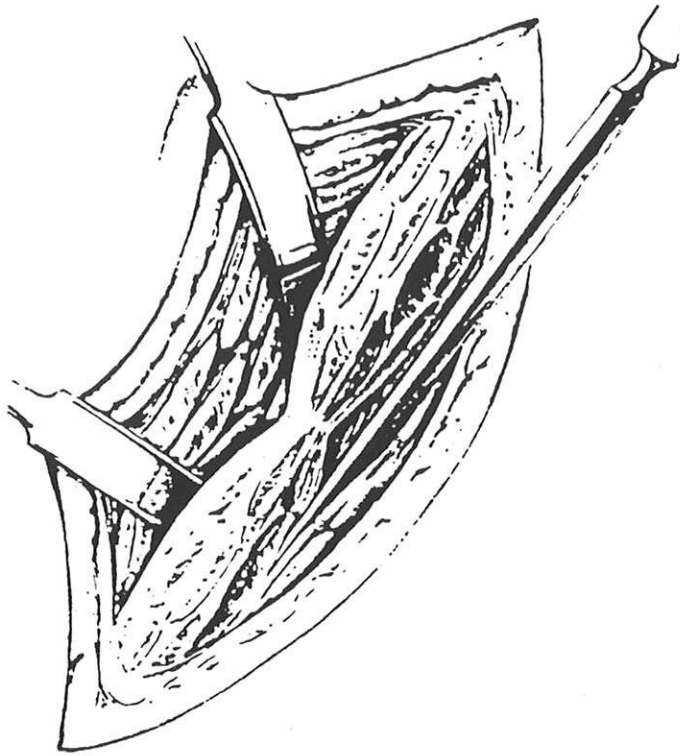
- * 222 pseudarthroses aseptiques comprenant 54 fémurs, 103 tibias, 33 humérus et 32 avant-bras. Environ la moitié a consolidé en 1 à 3 mois, l'autre moitié en 3 à 5 mois. 23 cas ont nécessité 6 à 12 mois. On dénombre 6 échecs.

- * 72 pseudarthroses suppurées dont 18 fémurs, 45 tibias, 4 humérus et 5 avant-bras. La moitié des cas a consolidé en moins de 6 mois, l'autre en moins de 12 mois. On dénombre 2 échecs.

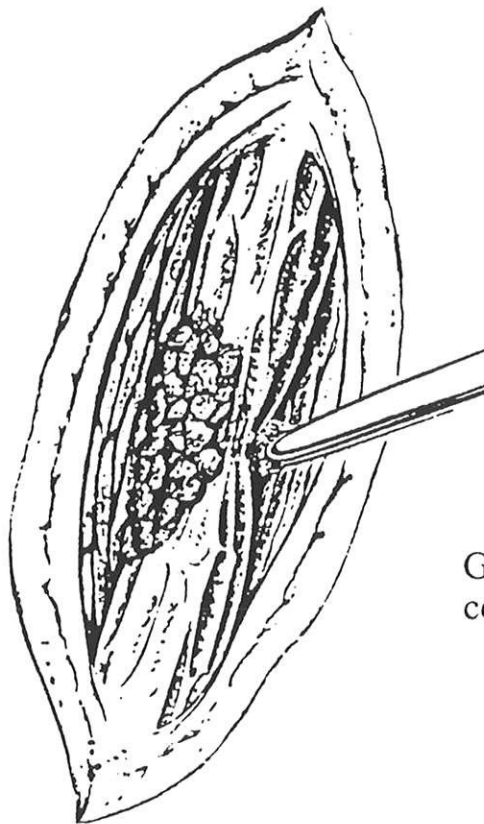
- VAN DER GHINST (158) rapporte une série de 20 pseudarthroses. Il a obtenu 18 consolidations dans un délai de 5 mois pour les pseudarthroses aseptiques et de 7 mois pour les pseudarthroses septiques.

La décortication ostéo-musculaire est une technique utilisant des greffons osseux vascularisés prélevés localement. Son efficacité est liée à la qualité du prélèvement et au respect de la vascularisation.

Cette méthode tient une place importante dans le traitement des pseudarthroses qu'elles soient septiques ou aseptiques.



DECORTICATION OSTEO - MUSCULAIRE



Grefte spongieuse
complémentaire

IV - STIMULATIONS ELECTRIQUES ET ELECTRO- MAGNETIQUES DE L'OSTEOGENESE

LENTE, en 1850, fut le premier à essayer de traiter les retards de consolidation au moyen de l'électricité. Il rapporte trois cas de pseudarthrose et retard de consolidation guéris par l'application d'un courant galvanique appliqué de chaque côté du foyer de fracture au contact de l'os.

GARRET, en 1869, traite les pseudarthroses en appliquant, avec des électrodes en or, un courant continu.

Les premières études scientifiques remontent à 1954, date à laquelle deux chercheurs japonais, YASUDA et FUKADA, découvrent que l'os **sec possède des propriétés pyzéoelectriques**, et que, soumis à une déformation, l'os se charge électronégativement du côté concave et électropositivement du côté convexe.

BASSETT et BECKER, en 1962, confirment ces observations sur l'os normalement hydraté et vivant. Ils estiment que les charges pyzéoelectriques représentent un signal suffisant pour activer les cellules osseuses, entraînant la formation ou la résorption osseuse. Ainsi, les zones chargées électronégativement présenteraient une augmentation de l'activité ostéoblastique donc de la formation osseuse, tandis que les zones électropositives présenteraient une augmentation de la résorption osseuse, par l'intermédiaire des ostéoblastes.

Il fut alors imaginé d'utiliser les propriétés pyzéoelectriques de l'os afin de stimuler l'ostéogénèse. L'os étant soumis à des charges alternées, les courants induits permettraient d'augmenter l'apport d'ions ou donneraient aux protéines l'énergie nécessaire pour migrer.

A - LES DIFFERENTS TYPES DE COURANT UTILISES

- Le courant continu :

C'est un courant toujours de même signe, dont la tension et l'intensité restent constantes avec le temps.

- Le courant pulsé :

C'est un courant dont, soit l'intensité, soit la tension varie dans le temps en gardant toujours le même signe.

- Le courant alternatif :

C'est un courant dont l'intensité et la tension changent de signe à chaque pulsation. Pour BASSETT, seul un courant alternatif asymétrique peut produire une ostéogénèse.

B - METHODE D'APPLICATION : LES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES

Au début, les courants utilisés étaient continus ou pulsés, mais l'application de ces méthodes impose un abord du foyer pour l'implantation d'électrodes.

BASSETT et coll., pour pallier à cet inconvénient, inventent un "système non invasif" avec deux bobines d'induction placées de part et d'autre du foyer. Lorsqu'un courant électrique parcourt les bobines, il produit dans l'espace environnant un champ magnétique. Le tissu osseux étant conducteur, en le plaçant dans le champ magnétique, on va induire un courant électrique.

Pour pratiquer la stimulation électrique le foyer doit être immobilisé. S'il s'agit d'une pseudarthrose sur matériel rigide, non magnétique, une simple décharge associée aux stimulations peut suffire. Par contre, si le foyer est mobile, on appliquera un plâtre moulé prenant les articulations sus et sous-jacentes.

Toute mise en charge est interdite pendant la durée de la stimulation.

L'appareil est appliqué un minimum de 14 heures par jour pendant une durée jamais inférieure à deux mois.

Les pseudarthroses avec perte de substance supérieure à 1 cm sont exclues des indications.

La consolidation est obtenue en 3 à 6 mois sans cal périphérique, par des ponts osseux dans l'espace interfracturaire. Corticalisation et médullarisation ne se font qu'un à deux ans après la consolidation.

C - REVUE DE LA LITTERATURE

La série de BASSET (8) porte sur 220 patients traités de 1973 à 1978 avec un pourcentage de succès de 81 %. Le délai moyen de stimulation est de 5 mois. A la fin de son expérience, les résultats sont de 96 % sur les 29 derniers tibias stimulés.

BRIGHTON (19), en 1977, rapporte une série de 168 pseudarthroses traitées par courant continu. Il compte 80 % de consolidation.

SATZGER (136), utilisant les champs électromagnétiques pulsés, présente 2 cas de pseudarthrose post-traumatique guéris par stimulation électrique et 9 cas de pseudarthroses congénitales sur 14 traitées.

SEDEL (141) obtient 29 consolidations sur 35 pseudarthroses. Le rôle de la stimulation par champ électromagnétique est indiscutable sur 14 cas de succès.

HEPPENSTALL (67) obtient, à partir d'un courant continu 85 % de succès sur 40 patients.

Les champs électromagnétiques représentent un moyen non invasif pour stimuler la consolidation d'un foyer de pseudarthrose correctement immobilisée et sans perte de substance osseuse.

V - AUTRES METHODES

A - COMPLEMENT PAR GENTABILLES SELON LA METHODE DE JENNY

C'est une méthode de comblement d'un foyer osseux préalablement évidé. On utilise des billes montées en chapelet et constituées d'un mélange de polyméthylméthacrylate et de sulfate de gentamycine. La libération de l'antibiotique est lente et progressive.

Dans un premier temps, on effectue un parage excision de tous les tissus nécrosés et infectés, ainsi que l'ablation du matériel d'ostéosynthèse.

L'immobilisation du foyer de pseudarthrose est réalisé au moyen d'un fixateur externe. La cavité résiduelle ou la perte de substance osseuse sont ensuite comblées par un ou plusieurs chapelets de gentabilles. La fermeture cutanée est impérative.

L'ablation des billes se fera :

- soit dès le huitième jour par traction puis ablation définitive entre le douzième et le vingtième jour,

- soit 4 à 6 semaines après la cicatrisation, les billes sont alors remplacées par une greffe spongieuse.

JENNY (138), en 1979, a obtenu sur 10 pseudarthroses infectées, 4 cicatrisations per primam, 4 assèchements et 2 échecs repris secondairement par Papineau.

Il rapporte également une étude multicentrique (Strasbourg, Francfort, Vienne) portant sur 131 pseudarthroses. Les résultats sont les suivants :

- 112 guérisons (85,5 %),
- 5 guérisons de l'infection, mais persistance de la pseudarthrose (3,8 %),
- 6 guérisons de la pseudarthrose, mais persistance de l'infection (4,6 %),
- 8 échecs complets (6,1 %).

Induction de l'ostéogénèse par addition de matrice osseuse déminéralisée à des billes de plâtre aux antibiotiques :

VARLET et coll. (160) ont expérimenté sur les lapins, une méthode visant à traiter un foyer osseux septique avec perte de substance abondante. Ils utilisent un matériau composite associant :

- plâtre de Paris qui représente un matériau de choix dans le comblement des cavités osseuses,

- antibiotiques jouant un rôle dans la chimiostérilisation de l'implant et dans la stérilisation des foyers osseux septiques.

- matrice osseuse déminéralisée et pulvérisée visant à stimuler l'ostéogénèse.

Ils démontrent que l'adjonction de poudre déminéralisée lyophilisée aux billes de plâtre de Paris - antibiotiques apporte un pouvoir ostéo-inducteur tout en conservant in vitro les propriétés antibiotiques.

Cette méthode est encore du domaine de l'expérimentation et n'a pas été appliquée en clinique humaine.

B - LA SCARIFICATION

F.R. COLCHERO et J. VIDAL (152) ont proposé en 1982 une méthode permettant de guérir de manière fiable les infections osseuses en favorisant la revascularisation et en économisant le capital osseux.

Dans un premier temps, on pratique la résection des parties molles infectées et des fistules. L'os est épargné.

La scarification consiste à réaliser de fines lamelles osseuses, produites de la périphérie vers le centre, et de fines lamelles cutanées au niveau des parties molles. Les pansements sont réalisés deux fois par semaine avec nouvelles scarifications.

Les auteurs décrivent une série de 88 scarifications pour infection ostéo-articulaire dont 16 pseudarthroses septiques. Ils dénombrent 90 % de succès sur l'infection. 13 pseudarthroses sur 16 sont consolidées. A la scarification ont été associés Papineau, greffe vissée ou GITP.

VI - COUVERTURE DES PERTES DE SUBSTANCE CUTANÉES IMPORTANTES

Les lambeaux de recouvrement trouvent leur indication dans le traitement des pseudarthroses les plus graves, associant infection, perte de substance osseuse et perte de substance cutanée importante.

Grâce au progrès de la chirurgie plastique, il est maintenant possible de réaliser des lambeaux de recouvrement fiables.

Les lambeaux présentent trois avantages :

- diminuer la durée d'exposition du foyer osseux.
- apporter un revêtement d'une qualité mécanique supérieure à la greffe de peau ou à l'épidermisation spontanée.
- raccourcir les délais de consolidation en permettant de réaliser de manière plus précoce les apports osseux.

A - LES DIFFÉRENTS LAMBEAUX

C'est surtout à la jambe que se posent les problèmes de couverture de perte de substance cutanée. Nous étudierons donc les différents lambeaux applicables à ce niveau.

1 - LES LAMBEAUX CUTANÉS

Il n'ont qu'un effet de surfaçage, leurs résultats sont décevants à la jambe.

2 - LES LAMBEAUX FASCIO-CUTANES

PONTEN, en 1979, décrit les principes de la vascularisation des lambeaux fascio-cutanés. On distingue 4 types de lambeaux :

- le lambeau saphène externe, ou médian postérieur, centré sur les artères saphène externe et péronière. Il peut s'utiliser en cross-leg.
- le lambeau antéro-externe centré sur les perforantes de l'artère péronière.
- le lambeau saphène interne. Il permet de recouvrir le genou, ou la moitié supérieure du tibia. Il peut s'utiliser en lambeau hétéro-jambier ou cross-leg.
- le lambeau tibial, ou lambeau à pédicule distal est tout à fait fiable. Il permet de couvrir la région s'étendant du 1/3 inférieur de jambe jusqu'au talon.

3 - LES LAMBEAUX MUSCULAIRES ET MUSCULO-CUTANES

Ils ont un effet de comblement et augmentent la vascularisation locale.

En fonction de la localisation de la perte de substance à combler, on distingue :

Au genou et au tiers supérieur de jambe :

*** le lambeau du jumeau interne**

Il possède un arc de rotation de 180°. Le préjudice fonctionnel n'existe que lors de la course à pied. Sa vascularisation s'effectue par l'artère jumelle interne, naissant au niveau de l'artère poplitée.

Il peut être musculaire pur ou musculo-cutané.

*** Le lambeau jumeau externe**

Il présente un intérêt dans le recouvrement de la région externe du genou.

Au tiers moyen de jambe :

Tous les lambeaux peuvent y accéder en conservant leur pédicule proximal.

*** Le lambeau musculo-cutané de jumeau**

*** Le lambeau musculaire du soléaire**

Le chef interne pédiculé sur les perforantes hautes de l'artère tibiale postérieure est le plus souvent utilisé. Son arc de rotation est d'environ 120°. Le prélèvement du chef interne seul n'entraîne aucun préjudice à la marche.

Au tiers moyen de jambe, on utilisera préférentiellement un lambeau soléaire à pédicule proximal.

Au tiers inférieur de jambe :

De traitement difficile, on dispose :

*** Le lambeau soléaire à pédicule distal**

Il peut être utilisé dans le comblement des pertes de substance de la face interne du 1/3 inférieur de jambe en conservant les deux dernières perforantes le long de l'axe tibial postérieur.

*** Le lambeau de fléchisseur commun des orteils**

Il dépend de la tibiale postérieure et peut être utilisé dans des pertes de substance limitées au quart inférieur de jambe.

*** Le lambeau du fléchisseur propre du gros orteil**

*** Le lambeau pédieux** utile pour les pertes de substance malléolaire externe.

4 - LES LAMBEAUX LIBRES

Le lambeau du grand dorsal est le plus utilisé. Il permet la couverture d'une vaste perte de substance en laissant peu de séquelles sur le site de prélèvement.

Citons le **lambeau scapulaire** pour de plus petites pertes de substance.

B - APPLICATION PRATIQUE

GORDON et coll. (60) décrivent une série de 14 cas de pseudarthroses septiques avec perte de substance cutanée importante et perte de substance osseuse. Sans l'utilisation de lambeaux musculaires libres, ces patients auraient vraisemblablement été amputés.

DESCRIPTION DE LA TECHNIQUE :

- 1er temps d'excision parage des tissus nécrosés et infectés,
- un ou deux jours après, on réalise la transplantation musculaire. Un transfert de muscle grand dorsal a été pratiqué chez 12 patients. Les autres ont bénéficié d'un autre type de transfert, la perte de substance étant moins importante.
- une greffe cutanée est pratiquée dans le même temps.
- une fois la prise de greffe acquise, la mise en place d'un greffon spongieux comble la perte de substance osseuse.

Le transfert musculaire libre et le contrôle de l'infection ont été un succès chez tous les patients. La consolidation osseuse a été obtenue dans tous les cas avec adjonction de greffe osseuse pour 8 patients. Malgré tout, 2 patients ont présenté une réactivation de l'infection qui a nécessité finalement une amputation.

C - LES INDICATIONS

Nous avons vu les diverses possibilités en fonction du niveau de lésion. Il est important de déterminer le type de lambeau à utiliser en fonction de la pathologie.

Le resurfaçage est l'apanage des lambeaux fascio-cutanés alors que le comblement est celui des lambeaux musculaires ou musculo-cutanés.

1 - PSEUDARTHROSES ASEPTIQUES

- Au genou :

- * lambeau fascio-cutané saphène interne.

- Au tiers supérieur de jambe :

- * lambeau musculaire du jumeau interne pour les faces internes et antérieures,
- * lambeau musculaire jumeau externe pour la face externe.

- Au tiers moyen de jambe :

- * lambeau musculo-cutané de jumeau interne ou de soléaire à pédicule supérieur,

- Au tiers inférieur de jambe :

- * pour les pertes de substance modérées : le lambeau musculaire du soléaire à pédicule distal,
- * pour les pertes de substance étendues : soit le lambeau libre du grand dorsal, soit le lambeau hétéro-jambier en cross-leg.

2 - PSEUDARTHROSES SEPTIQUES

Le risque septique contre-indique les plasties hétéro-jambières et à un moindre degré les lambeaux fascio-cutanés. On reprendra donc le schéma précédent en privilégiant les lambeaux musculaires et musculo-cutanés qui se défendent mieux contre l'infection grâce à leur abondante vascularisation.

Le fixateur externe sera mis en place après réalisation du transfert musculaire. Ainsi, la couverture cutanée associée au traitement de la pseudarthrose guérira l'infection.

VII - INDICATIONS THERAPEUTIQUES ACTUELLES

L'indication thérapeutique devra tenir compte de plusieurs éléments :

- le caractère septique de la pseudarthrose,
- le type hypertrophique ou atrophique,
- le siège de la lésion,
- la qualité des parties molles et du revêtement cutané,
- l'existence d'une désaxation,
- l'existence d'une perte de substance osseuse.

A - PSEUDARTHROSES ASEPTIQUES

1 - PSEUDARTHROSES HYPERTROPHIQUES

L'immobilisation stricte du foyer de pseudarthrose est suffisante pour obtenir la consolidation.

L'enclouage centromédullaire est l'indication de choix des pseudarthroses diaphysaires du membre inférieur au niveau du 1/3 moyen. L'indication peut s'étendre au 1/3 inférieur grâce à l'enclouage verrouillé et à l'humérus avec l'apparition récente des clous d'humérus.

Les plaques vissées sont réservées aux localisations métaphysaires, au membre supérieur et au 1/3 supérieur de jambe.

2 - PSEUDARTHROSES ATROPHIQUES

Il faudra associer aux moyens d'immobilisation suscités une greffe d'os spongieux pour relancer l'ostéogénèse. On peut également réaliser une

décortication ostéo-musculaire.

Le délai moyen de consolidation est de 3 à 4 mois pour les pseudarthroses hypertrophiques et de 5 à 6 mois pour les pseudarthroses atrophiques avec un pourcentage de réussite de l'ordre de 90 %.

B - PSEUDARTHROSES SEPTIQUES

Toute pseudarthrose infectée nécessite, pour être guérie, le traitement simultané de l'infection osseuse et de la non-consolidation, ces deux problèmes étant liés de cause à effet.

Le traitement peut se compliquer par l'existence d'une perte de substance au niveau de l'os atteint par l'infection.

1 - MODALITES THERAPEUTIQUES COMMUNES À TOUS LES TYPES DE PSEUDARTHROSES SEPTIQUES

- **Excision** parage rigoureux des tissus infectés et nécrosés
- Stabilisation stricte du foyer pseudarthrosique au moyen d'un **fixateur externe**
- **Antibiothérapie** adaptée à l'antibiogramme
- En l'absence de perte de substance cutanée, mise en place d'un système de **lavage drainage**

- Après assèchement, relance de l'ostéogénèse par une **greffe osseuse** ou par décortication ostéo-musculaire. On utilisera préférentiellement une greffe intertibio-péronière à la jambe.

2 - EXISTENCE D'UNE PERTE DE SUBSTANCE OSSEUSE

Si la perte de substance osseuse est peu importante (inférieure à 1 cm) on appliquera le schéma thérapeutique précédent.

Si la perte de substance est importante, une greffe massive, voire un transfert osseux libre vascularisé, seront proposés.

3 - ASSOCIATION PERTE DE SUBSTANCE OSSEUSE ET CUTANEE

C'est le type de pseudarthrose qui pose le plus de problèmes thérapeutiques, en l'absence de traitement, ou en cas d'échec de celui-ci, l'évolution imposera l'amputation.

En présence d'une perte de substance osseuse associée à une perte de substance cutanée de faible importance, on posera l'indication de greffe spongieuse à ciel ouvert selon la méthode de Papineau.

Si la perte de substance cutanée est trop importante, il faudra réaliser un lambeau musculaire ou musculo-cutané de recouvrement associé secondairement, après assèchement, à une greffe osseuse.

Les délais moyens de consolidation des pseudarthroses septiques sont de :

- 8 à 9 mois en moyenne pour la GITP,
- 8 à 10 mois pour la méthode de Papineau,
- 5 mois en moyenne pour les TOLV,
- 6 mois à 1 an pour la décortication ostéo-musculaire dans un cas sur deux, et moins de 6 mois dans les autres cas.

LA FIXATION EXTERNE

I - HISTORIQUE

La fixation externe est un procédé d'ostéosynthèse qui reporte à l'extérieur des téguments le matériel de fixation, habituellement mis au contact ou à l'extérieur de l'os. La méthode utilise des fiches percutanées unissant l'os à un système externe.

Jean-François MALGAIGNE est certainement le précurseur de la fixation externe. Il décrit, en 1840, un système avec une pointe métallique implantée dans l'os et fixée par une sangle pour prévenir le déplacement des fractures du tibia. En 1853, il imagina une "griffe" pour maintenir une fracture transversale de rotule réduite par manoeuvres externes. Le fixateur externe est né.

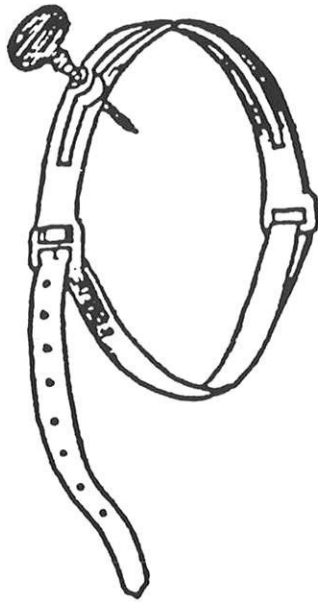
Mais c'est Clayton PARKHILL en 1897, puis Albin LAMBOTTE, en 1902, qui mirent au point les premiers fixateurs externes réellement fonctionnels. Le fixateur de LAMBOTTE est composé de broches transfixiant une seule corticale de part et d'autre du foyer reliées entre elles par une barre métallique. Il nécessite une réduction préalable de la fracture. Il constate que l'appareil peut être facilement et rapidement mis en place, et possède une grande rigidité.

Depuis, de nombreux auteurs ont contribué à l'amélioration du principe de la fixation externe : les vis en bois utilisées par PARKHILL furent vite abandonnées et remplacées par des fiches en acier inoxydable, filetées et auto-taraudeuses.

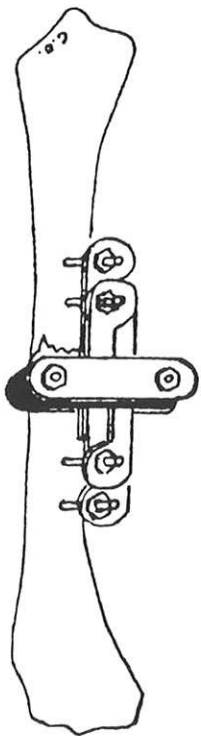
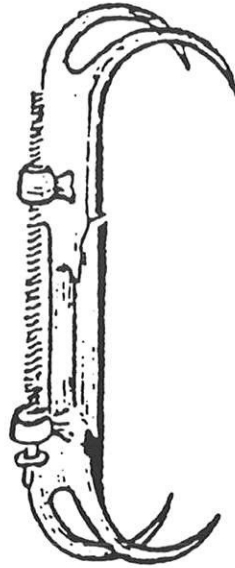
En 1911, LAMBRET, reprenant l'idée de CODIVILLA et de STEINMANN, utilise des broches transfixiant chacune des extrémités fracturaires, ceci afin d'améliorer l'ancrage des fiches.

En 1914, Henri JUDET introduit une notion fondamentale : la deuxième corticale doit

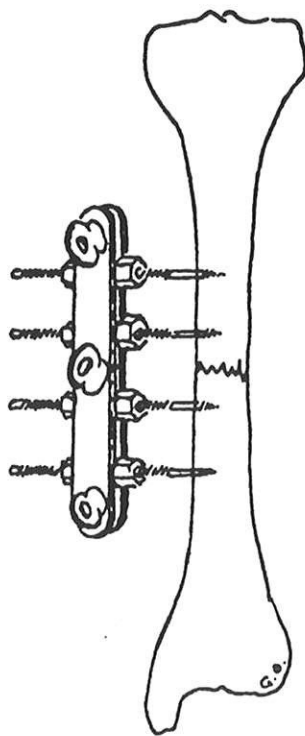
MALGAIGNE
Pointe (1840)



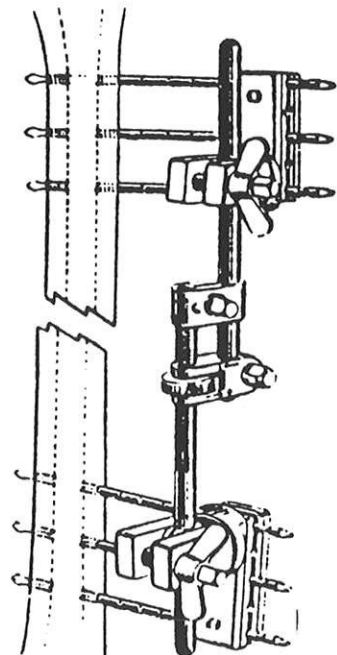
MALGAIGNE
Griffe à rotule (1853)



PARKHILL (1897)



LAMBOTTE (1902)



HOFFMANN (1938)

être franchie par les fiches. Il recommande le débridement cutané autour des broches pour prévenir la nécrose et les sepsis locaux.

Roger ANDERSON, en 1934, préconise un système permettant de réduire la fracture à foyer fermé : il réalise un cadre de réduction comportant deux étriers orientables dans plusieurs plans et immobilisant chacun un fragment fracturaire par l'intermédiaire de broches. Les deux étriers sont alors réunis par des appareils plâtrés noyant les broches.

CUENDET, en 1933, est le premier à utiliser des broches transfixiantes pour réaliser un montage en cadre.

Raoul HOFFMANN, en 1938 (qui était aussi maître charpentier et docteur en théologie), apporte des améliorations essentielles dans la maniabilité du fixateur externe en introduisant la notion d'ostéotaxis. Il met au point des poignées à rotule solidarissant les barres externes du fixateur aux broches. Le fixateur étant en place, ce système permet la réduction de la fracture, par manoeuvres externes, dans les trois plans de l'espace. L'existence d'un petit nombre de pièces standardisées permet une multitude de montages plus ou moins complexes en fonction du type et de la localisation des fractures.

En 1956, Robert et Jean JUDET élaborent un nouveau matériel permettant d'effectuer une compression permanente au niveau du foyer de fracture ou de pseudarthrose, par un système élastique adapté aux fiches de leur fixateur.

Ainsi, on pouvait distinguer deux grands types de fixateurs externes :

- les fixateurs dérivés du fixateur de PARKHILL et LAMBOTTE qui nécessitaient une réduction première avant installation.

- les fixateurs dérivés du fixateur d'ANDERSON et de HOFFMANN qui permettaient l'ostéotaxis et les corrections secondaires des défauts axiaux si nécessaire.

A partir de 1969, les travaux de J. VIDAL et J. ADREY optimisent le fixateur d'HOFFMANN en réalisant le fixateur en double cadre, puis, en triple cadre.

Les études biomécaniques, réalisées, par ADREY en 1971, sur le fixateur d'HOFFMANN révèlent que le montage en double cadre donne la plus grande stabilité.

CHAO distingue six configurations principales de fixateur externe :

- le montage unilatéral (PARKHILL, LAMBOTTE, STADER, HOFFMANN, WAGNER, ORTHOFIX),

- le montage bilatéral (ANDERSON, HAYNES, DAY FRAME, LAMARE et LARGET),

- le double cadre quadrangulaire (VIDAL, ADREY),

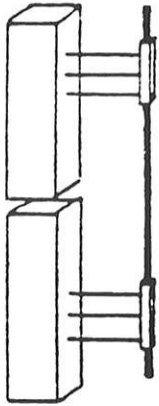
- le montage triple cadre triangulaire,

- le montage semi-circulaire (CUENDET, FISCHER),

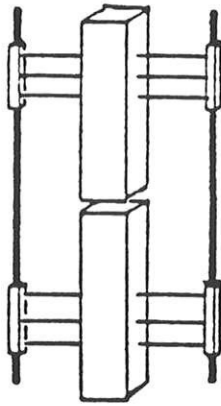
- le montage circulaire (ILIZAROV, VOLKOV, OGANESSIAN, KRONNER).

Bon nombre de modifications ont été apportées aux modèles originaux dans le but d'améliorer la stabilité du montage et leur maniabilité.

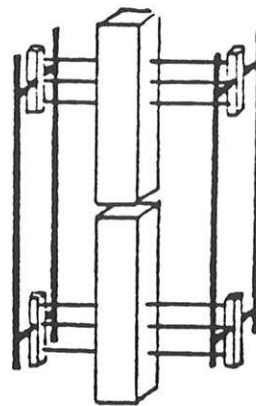
Configurations des fixateurs externes
(d'après CHAO)



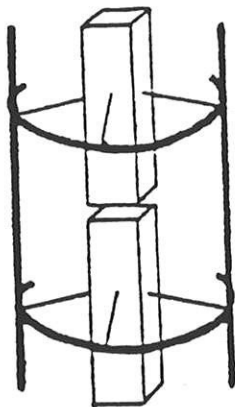
Unilatéral



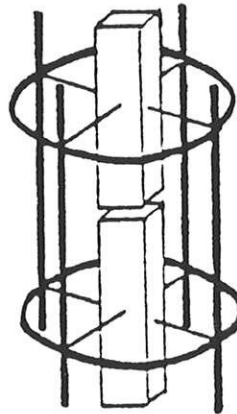
Bilatéral



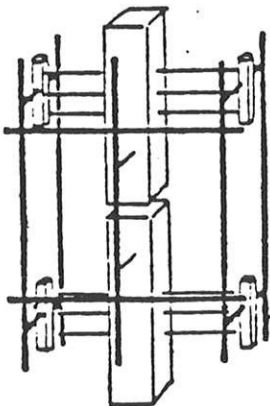
"double cadre"
Quadrangulaire



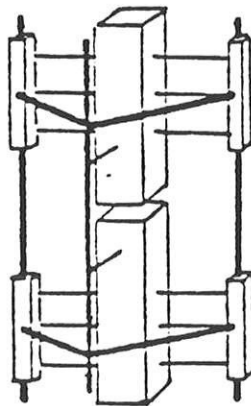
Semi-circulaire



Circulaire



"triple cadre"
quadrangulaire



"triple cadre"
triangulaire

Poignée
Versailles

II - BIOMECHANIQUE DES FIXATEURS EXTERNES

Actuellement, la conception de la fixation externe reste source de controverse entre les partisans d'une fixation rigide et ceux d'une fixation élastique ou dynamique. Si toutes les améliorations de la fixation externe sont allées vers la recherche d'une plus grande stabilité des montages, donc d'une plus grande rigidité, la dynamisation en fin de traitement est apparue nécessaire à de nombreux auteurs.

A. BIOLOGIE DE LA CONSOLIDATION PAR FIXATEUR EXTERNE

Mac KIBBIN a bien montré le rôle des différentes structures osseuses dans la formation du cal :

- Le périoste forme rapidement un cal périosté, volumineux, souvent hypertrophique, pontant le foyer de fracture et susceptible de combler des pertes de substances. L'instabilité du foyer le stimule.

- L'endoste forme plus lentement un cal susceptible de combler de larges pertes de substance. Sa formation est inhibée par la dévascularisation centro-médullaire. Bien qu'il tolère de petits mouvements du foyer, ce cal endosté est favorisé par sa stabilité.

- Les corticales sont susceptibles de former lentement un cal cortical. Le contact intime des corticales est indispensable et donc une grande stabilité du foyer est nécessaire.

Ainsi, dans une fracture ouverte, l'hématome est évacué, en cas de fracas et de perte de substance avec dé périostage important, les possibilités de cal périosté sont très aléatoires.

Les études de BURNY (23), à l'aide de jauges de contraintes, ont montré l'importance des micro-mouvements dans la formation du cal. Il observe que l'association d'une fixation interne à minima diminue la mobilité d'un tiers. La fixation interne et externe

associées entraînent une plus grande rigidité et une formation à minima de cal. Une augmentation de la mobilité de 3,5 fois rallonge le temps de consolidation, ce qui montre l'effet favorable de la fixation élastique des fractures.

La fixation élastique repose sur le principe d'une consolidation enchondrale ou le cal primitif d'origine périosté est favorisé par une certaine instabilité du foyer. Au contraire, la fixation rigide permettra d'obtenir un cal endosté et cortical.

Le fixateur externe idéal doit donc être stable et rigide au début, lors de la phase de formation du cal, puis dynamisable et élastique afin de favoriser la corticalisation du cal et l'adaptation de l'os aux contraintes (MEYRUEIS) (108).

B. ASPECTS MECANQUES DE LA FIXATION EXTERNE

De nombreuses études biomécaniques ont été réalisées dans le but d'améliorer la stabilité des fixateurs externes.

BONNEL (15) a expérimenté 8 types de fixateurs externes répartis en 4 groupes :

- le groupe cadre frontal avec les fixateurs de Dag, Hoffmann et Picard,
- le groupe unilatéral avec le distracteur de Wagner et le fixateur externe de Témoingt
- le groupe montage en triangulation avec les fixateurs tubulaire de l'Ao, et le fixateur d'Hoffmann,
- le groupe montage en "V" à 120° avec ceux de Judet et du Service de Santé des Armées.

CHAO E.Y.S. (31) puis Mac COY (98) ont réalisé une étude comparative sur les fixateurs externes d'Hoffmann, Vidal, Volkov-Oganessian, Kronner et Roger-Anderson.

Des recherches dans le sens de l'amélioration de la maniabilité et de la stabilité du fixateur externe de Hoffmann ont été effectuées par de nombreux auteurs, dont nous citerons J. VIDAL, LORTAT-JACOB, BRIGGS.

BISSERIE (11) a étudié les facteurs de rigidité des montages et les moyens de les "optimiser" à partir des fixateurs de Judet en un plan et le fixateur d'Hoffman utilisé en double cadre frontal.

A partir de ces différents travaux, nous pouvons déterminer les critères visant à améliorer la stabilité du fixateur externe en général.

1 - LES FICHES ET LES BROCHES

Elles constituent l'élément déterminant dans la stabilité du fixateur externe. Leurs qualités de résistance propre et d'ancrage osseux sont les garants de la longévité du fixateur.

En effet, l'excentration du dispositif, propre au principe du fixateur externe, crée au niveau des fiches, des contraintes élevées de flexion, traction et torsion. Pour pouvoir résister à ces sollicitations mécaniques, les fiches doivent présenter certaines caractéristiques.

a) Le diamètre des fiches

Plus le diamètre est grand et plus le montage est stable.

BISSERIE indique que "pour deux montages identiques, le gain de rigidité est de l'ordre de 50 % en utilisant des fiches de 5 mm au lieu de 4 mm". Néanmoins, le gros diamètre des fiches est limité par le risque de fracture qu'elles engendrent et ne doivent donc pas dépasser 20 % du diamètre osseux. Les diamètres les plus usuels sont de 5 mm au membre inférieur et de 3,5 mm au membre supérieur.

b) L'ancrage osseux

BONNEL en 1973, met au point des broches transfixiantes à filetage médian donnant un meilleur ancrage osseux, augmentant ainsi la stabilité du montage.

c) Le nombre de fiches

La flexion latérale et la rigidité en torsion sont augmentées en fonction du nombre de fiches. La flexion antéro-postérieure est peu modifiée. Idéalement, 6 fiches transfixiantes sont nécessaires, au delà de 8 fiches, le gain obtenu en stabilité est minime. La multiplication des fiches augmente le risque infectieux et fragilise l'os.

d) L'écartement des fiches

La meilleure stabilité est obtenue par un groupe de fiches proches du foyer et un groupe le plus à distance possible (fiche gouvernail).

e) La distance os-fixateur

Elle doit être la plus courte possible. L'appareil doit être placé le plus près possible de la peau. La stabilité est multipliée par 4 en rapprochant les poignées de 5 cm à 2 cm de la surface osseuse.

2 - LES MONTAGES

La disposition géométrique des éléments du fixateur est un facteur important de stabilité du système.

Les fixateurs externes avec une disposition dans un plan frontal, "en cadre", et les fixateurs unilatéraux sont les moins stables.

Les montages triangulaires, ou en delta ont une meilleure stabilité mais présentent l'inconvénient d'utiliser trop de fiches.

Les montages en "V" des fixateurs externes de Judet ou du Service de Santé des Armées sont parmi les plus stables. Ils présentent cependant, le désavantage de devoir être montés sur un foyer de fracture réduit.

Le montage circulaire est certainement le montage le plus rigide avec une meilleure stabilité du foyer osseux, car mécaniquement, il permet une diffusion circulaire des plans de fixation autour du membre (BISSERIE).

LE FIXATEUR D'ILIZAROV

I - DESCRIPTION DU MATERIEL

L'appareil d'Ilizarov est un fixateur circulaire.

Il se compose d'éléments circulaires placés parallèlement entre eux sur le membre pour former un cylindre au centre duquel se situe le fût diaphysaire. Les cercles sont fixés à l'os au moyen de broches de Kirschner, elles-même reliées aux cercles par des boulons. Ces cercles sont reliés entre eux par des tiges filetées fixées aux cercles par des écrous.

Le fixateur d'Ilizarov est universel : à l'aide de peu de pièces polyvalentes, il offre de nombreuses possibilités d'emploi et la réalisation de multiples montages. Ainsi, la forme géométrique de l'appareil varie en fonction de la pathologie et de sa localisation.

A - LES ELEMENTS PRINCIPAUX

Ce sont les éléments standards utilisés pour solidariser le squelette et ses fragments à l'appareil.

1 - LES BROCHES

Il s'agit de broches type "Kirschner" avec pointes trocart ou pointes baïonnette de diamètre 1,5 ou 1,8 mm. Elles sont transfixiantes et placées de façon perpendiculaire à l'os en formant entre elles un angle le plus proche possible de l'orthogonale. Puis, elles seront fixées aux anneaux et mises sous tension afin de rendre le montage plus rigide. Elles doivent pouvoir subir des forces de traction allant jusqu'à 130 kgs, la rupture ayant lieu à 140 kgs. Il existe des broches à olive utiles pour la compression interfragmentaire et servant à corriger une déformation.

2 - LES ANNEAUX, DEMI-ANNEAUX ET LES ARCEAUX

Les broches sont fixées à un anneau formé de deux demi-anneaux solidarités par des boulons et des écrous.

Le diamètre interne des anneaux est variable (100 à 240 mm) et fonction du volume du membre à traiter. Généralement, on laisse 2 à 3 cms entre l'anneau et la peau.

Les anneaux sont percés de trous de 7 mm de diamètre, régulièrement espacés, permettant d'adapter avec précision les broches sur la périphérie. Leur nombre est calculé pour ne pas affaiblir la solidité de l'anneau. Son épaisseur est de 5 mm.

Les arceaux sont indiqués pour la racine des membres, l'utilisation d'anneaux étant impossible dans ces zones.

3 - LES BOULONS

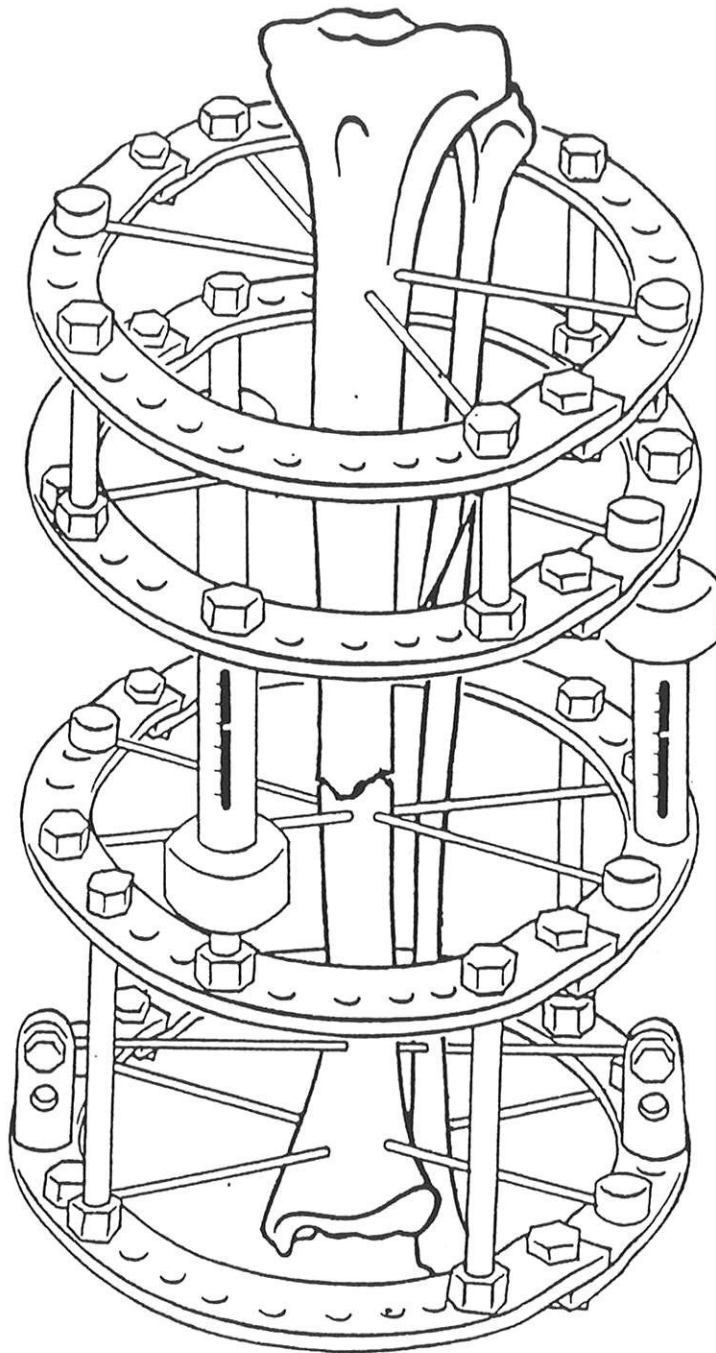
On dispose de deux types de boulons, le boulon fileté avec un trou perforant le milieu de l'embase et le boulon serre-rainuré sur le côté.

A la mise en tension des broches par le dynamomètre, une faible partie de la broche reste en porte-à-faux entre le bord de l'anneau et le boulon lors de l'utilisation de boulon troué.

C'est la raison pour laquelle on préférera utiliser des boulons serre-rainurés sur les côtés qui permettent à la broche d'avoir un contact sur toute sa longueur avec l'anneau sans porte-à-faux.

Par ailleurs, pour donner une meilleure stabilité au montage, il est important de disposer une broche d'un côté de l'anneau et l'autre de l'autre côté. La distance séparant ainsi les deux broches est de 5 mm.

MONTAGE AU TIBIA



montage à 4 anneaux
résection du péroné systématique

B - LES ELEMENTS SECONDAIRES

1 - LES TIGES FILETEES

Les anneaux sont reliés entre eux par 3 à 4 tiges filetées, ou 3 à 4 distracteurs compresseurs, selon que le montage est statique ou dynamique. Leur longueur varie de 60 à 400 mm.

Elles ont un pas de 1,25 mm pour un diamètre de 8 mm, ainsi en faisant un tour, on réalise un raccourcissement ou un allongement de 1 mm.

Les tiges filetées peuvent être cannelées (longueur de 40 à 100 mm) pour recevoir une broche à olive afin d'exercer une force de compression sur un troisième fragment.

On dispose également de tiges télescopiques graduées, munies de cliquets, permettant de réaliser une distraction très précise.

Lorsque les deux anneaux ne sont pas parallèles entre eux, il est possible de les relier par des tiges filetées qui sont fixées à l'un des anneaux par l'intermédiaire d'une charnière. Cette charnière est composée de deux allonges pouvant pivoter autour d'un axe matérialisé par un boulon et un écrou.

2 - LES DRAPEAUX

Ils présentent un embout fileté mâle ou femelle et comportent de 1 à 4 trous. Ils permettent d'augmenter la stabilité d'un montage en branchant une broche supplémentaire sur deux drapeaux fixés à un anneau. Ils peuvent également être utilisés pour fabriquer des rotules dans les corrections d'axe.

3 - LES AUTRES ELEMENTS

Ils ne présentent pas d'intérêt majeur. Ce sont les plaques de liaison, les allonges, les rondelles simples et cannelées, les écrous et les manchons.

C - DONNEES METALLURGIQUES

Le matériau utilisé est de l'acier AISI 316 composé d'un minimum de 18 % de chrome, 8 % de nickel, 2 à 4 % de molybdène.

La résistance des broches à la tension est de 770 à 1370 MN/m² et la force maximale de tension est de 1000 à 1500 MN/m².

L'acier des anneaux, boulons, est plus tendre que celui des broches. L'écrasement du métal lors de la mise en tension des broches objective bien cette différence de dureté.

II - LES AUTRES FIXATEURS CIRCULAIRES

Le premier fixateur 1/2 circulaire a été mis au point par CUENDET en 1933.

G.A. ILIZAROV (1952) et O.V. GUDUSHAURI ont été les premiers à proposer un appareil circulaire comportant des broches mises sous tension.

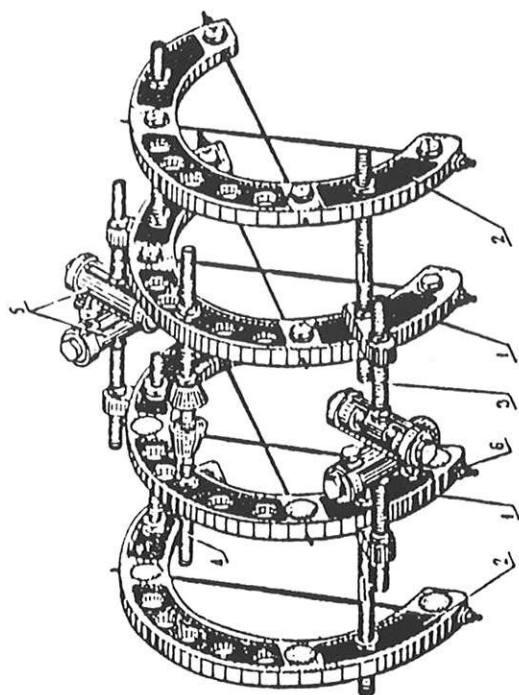
L'appareil de VOLKOV-OGANESSIAN est un fixateur hémi-circulaire en dural ou en titane avec des systèmes incorporés de visée et de tension. Les demi-cercles sont réunis entre eux par des cardans et une tige filetée.

A. RIGA, V.K. KALNBERZ propose un appareil circulaire comprenant des anneaux en plastique dur réunis par des ressorts.

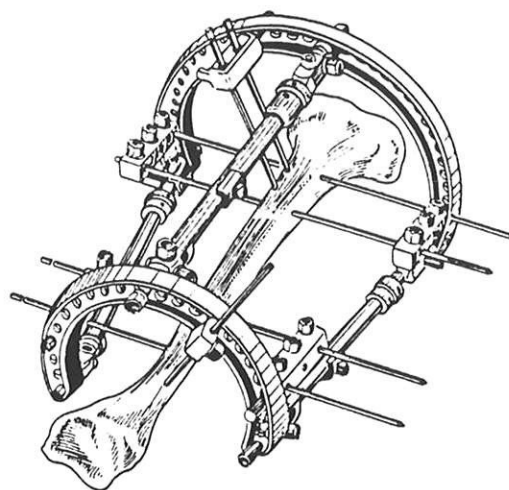
L'appareil d'ALVAREZ CAMBRAS (La Havane) utilise des broches de Steinman.

Aux U.S.A., des fixateurs utilisant des fiches de 4 ou 5 mm ont été mis au point par ACE-FISHER et KRONNER.

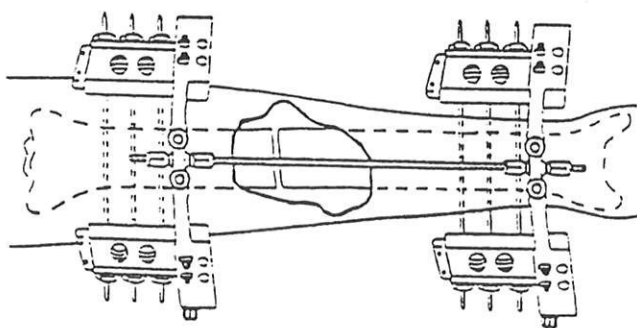
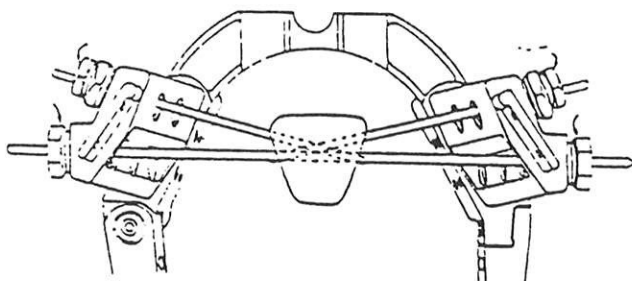
Citons l'appareil de MONTICELLI (Rome) utilisant également des fiches de gros diamètre.



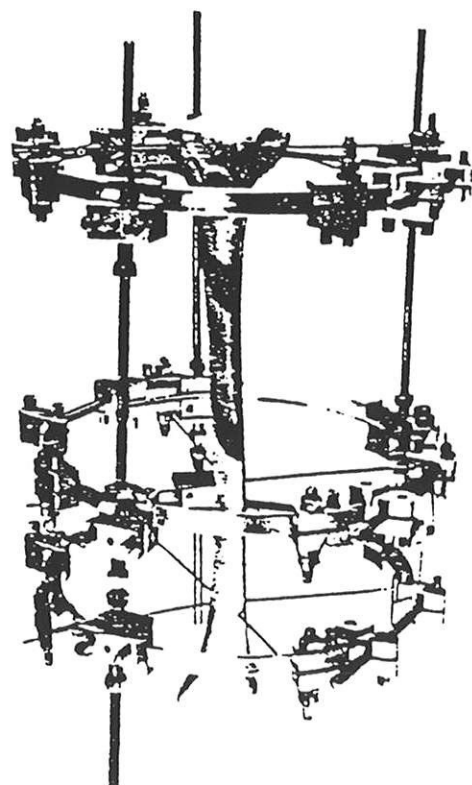
VOLKOV-OGANESSIAN



ACE-FISCHER



KRONNER



MONTICELLI

III - BIOMECHANIQUE DU FIXATEUR D'ILIZAROV

Le fixateur d'ILIZAROV réalise un **compromis** entre la **rigidité** que procure sa géométrie circulaire et l'**élasticité** du système du fait de l'emploi de broches de Kirschner mises sous tension.

Les caractéristiques biomécaniques fondamentales des fixateurs externes étudiées précédemment sont valables pour le fixateur circulaire.

Alors qu'il y a de plus en plus d'études cliniques sur le fixateur d'Ilizarov, nous possédons peu de références bibliographiques concernant les aspects biomécaniques des fixateurs circulaires.

A - ETUDES BIOMECHANIQUES

1 - ETUDE D'ILIZAROV (72)

ILIZAROV a publié une étude biomécanique concernant la rigidité du montage :

- la mise en tension des broches conditionne la rigidité du fixateur externe. Il recommande une mise en tension de 90 à 100 kg/force.

- De même, plus l'anneau sera grand, et donc à distance de l'os, moins le montage sera rigide.

2 - ETUDE DE BOMAN (13)

BOMAN a étudié le fixateur externe d'Ilizarov en utilisant "the finit element technique". Pour lui, la principale différence entre ce fixateur et les autres réside dans la relation non linéaire entre la force et les déplacements (rigidité). Cette non linéarité est due aux broches transfixiantes montées sur le fixateur circulaire sous tension.

Il démontre que la rigidité axiale de cet appareil peut être considérablement réduite par la diminution du diamètre des anneaux, la diminution du diamètre et de la tension initiale des broches.

ARONSON a étudié la rigidité d'une broche de Kirschner de 1,6 mm mise en tension à 100-130 Kgs. Malgré un diamètre plus petit de ces broches, la rigidité est équivalente aux fiches de Schanz de 4 mm du fait de la mise en tension.

3 - ETUDE DE MAC COY (98)

Cette étude porte sur le fixateur externe de VOLKOV-OGANESSIAN comparé au modèle quadrilatère de HOFFMANN-VIDAL. Il montre que la rigidité de l'appareil diminue quand le diamètre des cercles est augmenté.

Si la distance entre les anneaux proximaux augmente, la rigidité est améliorée.

L'augmentation de la tension des broches augmente la rigidité du fixateur.

4 - ETUDE DE GARIN (56)

Il a comparé l'appareil d'Ilizarov au fixateur du Service de Santé des Armées avec montage en "V" à 120°.

Le FESSA est trois à quatre fois plus résistant que l'appareil d'Ilizarov en flexion et en torsion.

5 - ETUDE DE KUMMER (86)

La rigidité du fixateur d'Ilizarov est étudiée selon la même méthode utilisée par CHAO et BRIGGS pour tester le fixateur d'HOFFMANN-VIDAL. Le modèle est composé de 4 anneaux et 8 broches de Kirschner. La mise en tension des broches est effectuée manuellement jusqu'au maximum réalisable (65 Kg/force).

La rigidité du système augmente avec la tension des broches et l'augmentation de leur

diamètre. Elle est fonction de l'orientation des broches dans l'os. Ainsi, les broches d'1,5 mm sont 20 % plus petites que les broches d'1,8 mm mais 2 fois moins rigides.

La rigidité en torsion est essentiellement liée à la déformation des broches. L'appareil en lui-même subit de faibles déformations dans les mouvements de torsion. L'appareil d'Ilizarov est moins rigide que les autres fixateurs dans tous les modes et particulièrement dans la compression axiale ; mais cette étude est critiquable en raison du peu de tension réalisée sur les broches (68 Kg/force et non 90 Kg/force comme le préconise Ilizarov).

6 - ETUDE DE GASSER, SCHNEIDER, PERREN (152)

La rigidité du fixateur d'Ilizarov est comparée à celle du fixateur d'Hoffmann-Vidal et des fixateurs type Ao¹ et Ao³. Les tests sont effectués sous compression axiale, inclinaison et torsion.

Résultats :

- La réduction de 2 cms du rayon de l'anneau a comme conséquence une augmentation de la rigidité de 77 % en compression axiale. On observe également une augmentation de la rigidité en flexion.

- La rigidité en torsion est augmentée par la réduction du diamètre des anneaux et l'augmentation du diamètre des broches.

- L'augmentation de la tension initiale des broches augmente la rigidité.

- L'augmentation de la distance entre les anneaux internes augmente la rigidité en inclinaison. Par contre, la distance entre anneau supérieur et anneau moyen n'influence pas la rigidité axiale.

- Comparé aux autres fixateurs, il n'y a pas de différence significative en ce qui concerne la rigidité en torsion en inclinaison latérale et en flexion antéro-postérieure. Par contre, en compression axiale, le fixateur d'Ilizarov est nettement moins rigide ce qui lui donne l'élasticité axiale à la base du succès de la méthode d'Ilizarov.

7 - ETUDE DE FLEMING ET PALEY (51)

Cinq configurations du fixateur d'Illizarov sont étudiées in vitro et comparées à d'autres fixateurs :

- Dans les deux premières configurations, l'os est centré dans les anneaux et les broches sont orientées à 90° (IL 1) et 45° (IL 2).

- Dans les trois dernières configurations, l'os est excentré dans les anneaux comme il devrait l'être sur un tibia in vivo. Les broches sont toutes orientées à 90°. la tension des broches est de 90 Kgs (IL 3), de 130 Kgs (IL 4) et de 130 Kgs avec utilisation de broches à olive (IL 5).

La rigidité des différents fixateurs est ensuite testée en flexion antéro-postérieure, en inclinaison latérale, en torsion et en compression axiale.

Résultats :

- La stabilité du fixateur d'Illizarov est fonction de la position de l'os dans les anneaux et de la tension des broches. Une meilleure rigidité est obtenue quand l'os est placé au centre des anneaux.

- Le fixateur est plus stable quand les broches sont orientées à 90° plutôt qu'à 45°.

- L'utilisation de broches à olive procure une plus grande rigidité du système.

- Comparé aux autres fixateurs, la différence de rigidité en torsion et inclinaison semble minime. Par contre la rigidité en compression axiale est nettement moindre.

Ainsi, le fixateur d'Illizarov, par son élasticité en compression axiale, autorise la dynamisation axiale du foyer de fracture.

En se référant aux travaux de GOODSHIP et DENWRIGHT, FLEMING considère que les micro-mouvements axiaux favorisent la consolidation ce qui rend l'appareil d'Illizarov supérieur aux autres fixateurs.

LANYON et RUBIN ont également démontré que les micro-mouvements axiaux, occasionnés par la dynamisation en charge, sont importants pour le remodelage osseux.

PALEY et FLEMING ont réalisé une étude comparative sur l'allongement des

membres dont les résultats sont similaires.

8 - ETUDE DE CHOMENKO (152)

L'étude porte sur les systèmes de jonction propres à l'appareil d'Ilizarov. Il démontre que :

- Le boulon à fente latérale constitue le meilleur système de serrage.
- Il ne semble pas exister de différence entre l'utilisation d'un anneau circulaire monobloc et de deux demi-anneaux accouplés par des boulons.
- Les systèmes d'union doivent être réduits au maximum pour éviter de déstabiliser le montage.
- Trois tiges filetées, réparties à égale distance sur la périphérie de l'anneau sont suffisantes pour assurer la stabilité du montage.

B - SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES ÉTUDES

1 - COMPARAISON AVEC LES AUTRES FIXATEURS

Au vue des différentes études, le fixateur d'Ilizarov a une rigidité comparable au fixateur d'Hoffmann-Vidal en inclinaison latérale et flexion antéro-postérieure. Sa rigidité est moindre en torsion, mais c'est surtout en compression axiale que la différence de rigidité est importante. Grâce à l'élasticité de ses broches, l'appareil d'Ilizarov autorise le mouvement linéaire axial dynamisant le foyer de fracture.

L'instabilité axiale est à la base de la méthode d'Ilizarov : sous l'effet de la charge, il se produit des micro-mouvements axiaux au niveau du foyer de fracture stimulant ainsi la formation du cal périosté et endosté.

La rigidité de l'appareil peut être améliorée par l'utilisation de fiches de diamètre nettement supérieur. En effet, des fixateurs circulaires développés aux Etats-Unis, utilisant

des fiches classiques, atteignent le niveau de stabilité des meilleurs montages.

2 - IMPERATIFS BIOMECHANIQUES

Afin de remplir le contrat biomécanique du fixateur d'Ilizarov, il est nécessaire de fixer les règles essentielles du montage.

Les broches :

- elles doivent être perpendiculaires à l'os,
- la tension idéale pour ILIZAROV est de 90 Kgs/force,
- l'angle qu'elles forment sur un même anneau doit être le plus proche possible de 90°,
- leur diamètre doit être de 1,5 mm au membre supérieur et de 1,8 mm au membre inférieur,
- ne jamais contraindre une broche pour l'amener au contact de l'anneau.

Les anneaux :

- leur diamètre doit être le plus petit possible, tout en respectant les parties molles. En pratique la distance idéale les séparant de la peau est de 2 à 3 cms.

Le montage :

- il doit comporter deux anneaux de part et d'autre du foyer : un anneau à proximité du foyer, l'autre à distance sur le membre,
- l'axe osseux doit se situer au centre du cylindre formé par le système.

Ainsi monté, l'appareil d'Ilizarov réalise un compromis idéal entre la stabilité et l'élasticité : il prévient le déplacement du foyer de fracture tout en autorisant les micro-mouvements, essentiellement en compression axiale.

**TRAITEMENT DES
PSEUDARTHROSES
PAR LA METHODE
D'ILIZAROV**

I - INTRODUCTION - PRINCIPES DE LA METHODE

Pour ILIZAROV, les causes principales de la pseudarthrose sont l'insuffisance vasculaire et la mauvaise stabilité des fragments.

Le respect absolu de la vascularisation, la stabilisation élastique des fragments et leur mise en charge en compression axiale sont les bases du traitement.

Les impératifs de la méthode :

- pas d'abord du foyer de pseudarthrose source de dévascularisation,
- la mise en charge, en condition physiologique de stabilité, serait suffisante pour transformer le tissu conjonctif présent dans le foyer de pseudarthrose en tissu osseux.
- la fixation élastique des fragments, comme le permet l'appareil d'Ilizarov, autorise les micro-mouvements axiaux dans le foyer de pseudarthrose, stimulant ainsi l'ostéogénèse.
- l'apport de greffon osseux est inutile.

La distraction permet le traitement des pertes de substances osseuse par formation d'un régénérat.

Le traitement de l'infection se fait sans abord du foyer septique. Pour ILIZAROV "*l'ostéomyélite brûle dans le feu de la régénération*". La stimulation du processus de consolidation est susceptible d'assécher le foyer infectieux.

La méthode d'Ilizarov a pour ambition d'associer la consolidation à une correction d'axe et de combler une perte de substance sans apport d'os et sans raccourcissement. Le traitement de l'infection est simultané.

Il faut bien distinguer appareil d'Ilizarov et méthode d'Ilizarov. En effet, la méthode peut être appliquée avec d'autres types de fixateurs externes remplissant le contrat biomécanique du fixateur d'Ilizarov.

II - ASPECTS HISTOLOGIQUES

A - FAITS EXPERIMENTAUX

Pour démontrer sa conception thérapeutique, G.A. ILIZAROV développe une recherche expérimentale qui étudie tous les facteurs qui peuvent être mis en jeu grâce à son appareil, pour obtenir la consolidation d'une solution de continuité osseuse, dans les conditions les plus proches de l'histoire naturelle de la réparation osseuse.

Les expériences concernent la consolidation de lésions de type fracture réalisées sur le chien. Elles ont pour but d'étudier le rôle de la stabilité, de la vascularisation centromédullaire et périostée et de la moelle osseuse sur l'ostéogénèse.

1 - RÔLE DE LA FIXATION

L'expérience porte sur trois groupes de chiens sur lesquels on réalise une ostéotomie tibiale. Seul le mode de fixation diffère. Dans le premier groupe, il n'utilise qu'une paire de broches dans chaque fragment, ce qui donne une mobilité importante du foyer. Dans le second groupe, les broches sont mises en tension sur les anneaux. Dans le troisième groupe, on utilise deux paires de broches mises en tension.

Une distraction est ensuite réalisée au rythme de 0,5 mm/j.

ILIZAROV démontre que la consolidation la plus rapide (21 jours) et la plus complète (endostée et périostée) intervient dans le troisième groupe, le plus stable. Par contre, dans le premier groupe, le plus mobile, il a constaté une tendance à la pseudarthrose avec formation de fibrose interfragmentaire. L'étude de ces résultats permet de mesurer l'importance d'une fixation stable sur l'ostéogénèse.

2 - RÔLE DE LA VASCULARISATION

Dans deux autres groupes de chiens, la fixation est identique au troisième groupe, c'est le mode de réalisation de la fracture qui change.

Dans le quatrième groupe, il réalise une ostéotomie incomplète avec conservation des deux tiers de la médullaire.

Dans le cinquième groupe, il réalise une corticotomie préservant ainsi la vascularisation centromédullaire, périostée et la moelle osseuse. Il constate une réaction ostéogénique plus intense dans le cinquième groupe, qui le force dans certains cas à augmenter le rythme de distraction à 1,5 mm par jour.

Il y a donc une étroite dépendance entre la régénération osseuse et la vascularisation osseuse dans des conditions de fixation stable des fragments.

3 - POTENTIALITES OSTEOGENIQUES DE LA MOELLE

Dans une autre expérience, ILIZAROV réalise un défaut cortical et périosté circulaire de trois centimètres de long à ciel ouvert. La moelle et les vaisseaux nourriciers sont conservés intacts. Les fragments osseux sont fixés de façon stable. Au bout de trois semaines, la totalité du défaut est remplacé par un os lamellaire, homogène, réalisant une véritable fusion. ILIZAROV démontre ainsi que la moelle et l'artère nourricière jouent un rôle essentiel dans le processus de consolidation.

4 - LA VITESSE DE DISTRACTION

La vitesse de distraction pour que le régénérat se forme est fonction de la qualité de la corticotomie. Si la corticotomie est parfaite, la vitesse de distraction optimale est de 1,5 mm par jour. L'équipe de G.A. ILIZAROV s'est fixée à 1 mm / jour.

L'ostéogénèse est accélérée si l'allongement est réparti régulièrement sur 24 heures. La distraction quotidienne s'effectuera donc selon 4 cycles de 0,25 mm. Ainsi, entre les

extrémités osseuses en distraction se forme un tissu conjonctif de type régénératif qui va se transformer directement en tissu osseux.

Plusieurs impératifs ressortent des expériences d'ILIZAROV :

- **fixation stable,**
- **respect de la vascularisation centromédullaire,**
- **intégrité du périoste et de l'endoste,**
- **distraction d'1 mm / jour.**

B - LE REGENERAT

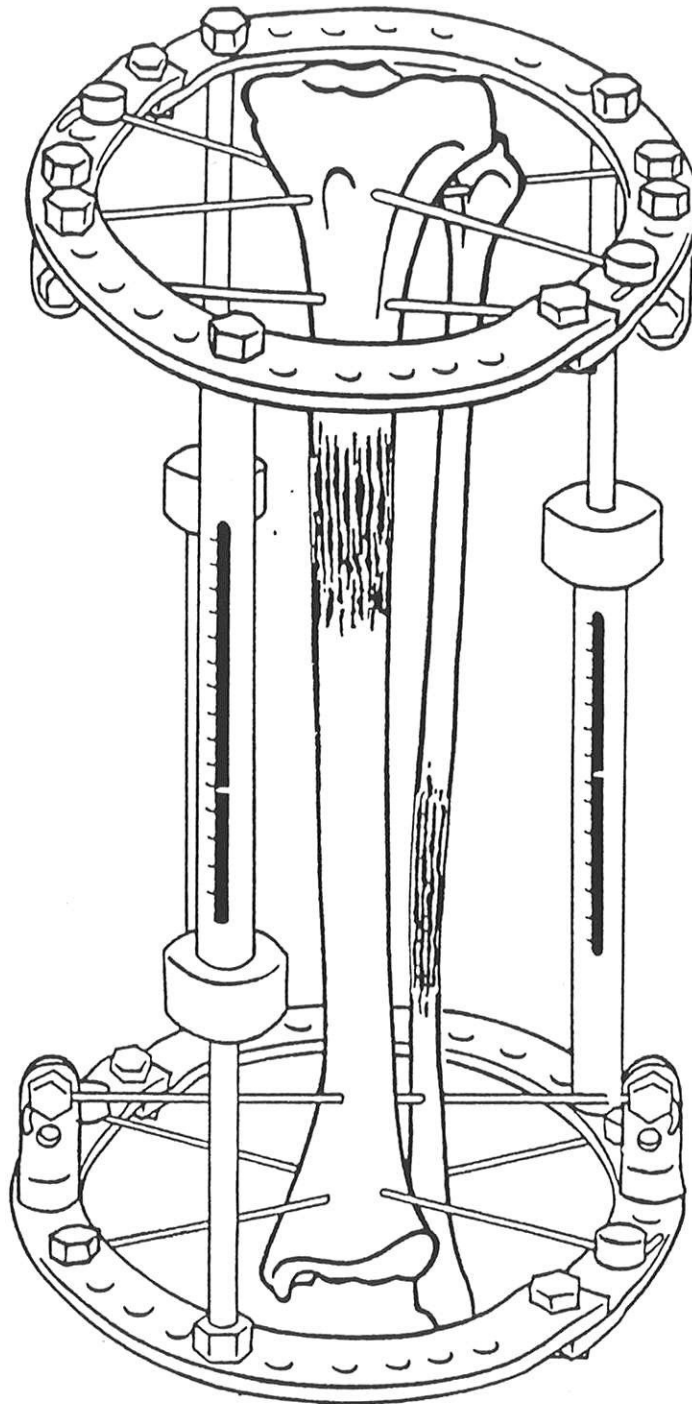
Lors de la distraction se produit une régénération osseuse ne correspondant pas à la consolidation naturelle d'une fracture. L'espace inter-fragmentaire va être comblé par un tissu osseux néoformé : le REGENERAT osseux.

Pendant la première semaine de distraction, on observe une prolifération de cellules endostées et de cellules peu différenciées de la moelle dans l'espace inter-fragmentaire. On observe deux fronts d'ossification séparés par un tissu conjonctif dont les fibres sont disposées dans le sens de la distraction. La croissance cellulaire à ce niveau est très intense d'où l'appellation de cette couche intermédiaire par ILIZAROV : **zone de croissance du régénérat distractionnel.**

Pour ILIZAROV, la multiplication des fibroblastes est la conséquence d'un afflux de cellules médullaires à potentialité fibroblastique appelées KOKF. Il existe une relation directe entre le nombre de KOKF dans la moelle et l'activité ostéogénique, si bien que l'on peut admettre leur participation à la genèse du tissu osseux en temps que cellules ostéoprogénitrices.

Entre le 7ème et le 21ème jour, au sein de la couche intermédiaire, les premières

REGENERAT EN DISTRACTION
application à l'allongement des membres



ravées osseuses forment des ponts unificateurs entre les deux fragments.

Vers le 60ème jour, le canal médullaire se dessine par résorption ostéo-classique.

Le début de la corticalisation se produit entre le 35ème et le 55ème jour. Le remodelage du régénérat peut durer 10 à 12 mois.

C - DEVENIR DES PARTIES MOLLES EN DISTRACTION

La régénération tissulaire lors de la distraction n'est pas seulement limitée aux extrémités osseuses, des phénomènes de croissance similaires se produisent au niveau des parties molles.

1 - MYOGENESE

Au 7ème jour de distraction apparaissent des myoblastes synthétisant des myofibrilles.

2 - ANGIOGENESE

Au 7ème jour de distraction, on note une transformation de la membrane élastique interne qui forme un réseau de mailles ; au niveau sous-endothélial apparaissent des cellules musculaires lisses entourées d'élastine.

Au 14ème jour, les fibres élastiques augmentent et se disposent dans le sens des fibres musculaires.

La régénération tissulaire est toujours orientée dans le sens de la traction. Elle s'accompagne d'une hypervascularisation régionale et de troubles de la coagulation à type d'hypercoagulabilité.

3 - DEVELOPPEMENT DES NERFS

On observe, au cours de la distraction, une néoformation d'axones entourés de cellules de Schwann. Secondairement, la gaine de myéline produite par les cellules de Schwann apparait.

L'ostéogénèse en distraction est différente du processus naturel de consolidation d'une fracture. L'ossification se fait sans formation intermédiaire de tissu fibro-cartilagineux. Les parties molles environnantes présentent le même type de croissance en regard de la région distractée.

III - ASPECTS BIOMECANIQUES

A - METHODE FONCTIONNELLE

Le traitement des pseudarthroses repose sur deux impératifs :

- supprimer la cause de la pseudarthrose en stabilisant les extrémités fracturaires,
- stimuler les processus de consolidation.

ILIZAROV remplit la première condition en posant son appareil. L'originalité de sa méthode concerne la 2ème condition. **Le simple fait de replacer le membre lésé dans des conditions physiologiques de fonctionnement suffit à relancer l'ostéogénèse.**

La remise en fonction du membre s'effectuera par l'appui précoce et les mobilisations articulaires, facteurs qui contribuent tous deux à la relance de la vascularisation par le biais de la contraction musculaire. On sait qu'il existe d'importantes anastomoses entre le muscle et les vaisseaux périostés. L'activité musculaire entraîne l'apparition d'une néovascularisation optimisant la vascularisation osseuse à partir des anastomoses.

Nous avons vu dans un chapitre précédent le rôle primordial de la vascularisation sur l'ostéogénèse ; il est pour cela primordial de ne pas aborder le foyer de pseudarthrose afin de préserver la vascularisation.

La compression au niveau des extrémités fracturaires va également contribuer à la relance de l'ostéogénèse. Elle se présente sous forme de **micro-mouvements axiaux** qu'autorisent l'appareil d'Ilizarov grâce à l'élasticité de ses broches mises en tension.

Ces micro-mouvements sont produits par **l'appui et les contractions musculaires**. La force de compression optimale pour stimuler l'ostéogénèse correspond à la contraction musculaire associée au poids du corps appliqué par la mise en charge.

Pour que la remise en fonction remplisse efficacement son rôle, 3 facteurs doivent être nécessairement associés :

- bonne vascularisation,
- mise en charge,
- activité musculaire.

B - LA COMPRESSION SIMPLE

WOLFF, à partir d'expériences, conclut que les forces de compression et de distraction stimulent les ostéoblastes. Il considère que les forces de compression sont plus efficaces que les forces de distraction sur l'ostéogénèse.

1 - COMPRESSION AXIALE

Quand le trait de pseudarthrose est transversal, on exerce une compression axiale pure au moyen de broches filetées reliant les anneaux intermédiaires.

2 - COMPRESSION INTERFRAGMENTAIRE

Quand le trait est oblique, on associe à la compression axiale une compression interfragmentaire au moyen de broches à olives exerçant sur le foyer deux forces opposées de même intensité maintenant un contact parfait.

3 - CORRECTION D'UN DECALAGE

Lorsqu'un fragment est décalé par rapport à l'autre, on peut rétablir l'axe osseux de façon progressive de trois façons différentes :

- par des broches à olives,
- par des broches tendues courbes,
- par des tiges filetéés, montées sur drapeaux perpendiculairement à l'axe osseux, exerçant une translation latérale progressive.

C - LA DISTRACTION

Elle est indiquée dans le traitement des pertes de substance osseuse sans apport de greffon. On dispose d'une grande variété de technique en fonction de l'importance de la perte de substance.

1 - LA COMPRESSION DISTRACTION MONOFOCALE

Elle débute par une phase de compression du foyer de pseudarthrose pendant 3 semaines environ, suivie d'une distraction intrafocale jusqu'à la récupération de la longueur désirée. Au niveau de la jambe, la résection du péroné est indispensable à l'application de cette méthode, nous la réalisons systématiquement.

2 - EXTENSION - COMPRESSION BIFOCAL COMBINÉE

Le comblement du défaut osseux se fait par le déplacement graduel d'un fragment osseux pourvu d'un pédicule nourricier (vaisseaux centromédullaires). Ce déplacement se

fait dans le foyer de pseudarthrose compliqué par un défaut qui se verra remplacé par le régénérat formé en distraction. C'est la technique dite de "**l'ascenseur**".

Dans le cas d'une **perte de substance osseuse circonférentielle**, on réalise une corticotomie métaphysaire qui libère un 3ème fragment. celui-ci, fixé par des broches à olives obliques, va migrer dans la perte de substance pour rejoindre l'autre fragment principal. La consolidation au niveau de la corticotomie se fera par le régénérat en distraction. La perte de substance est comblée par un cylindre diaphysaire et la consolidation entre le fragment migrateur et l'autre fragment se fera en compression.

Lorsque la **perte de substance** n'est pas circonférentielle, mais **partielle**, la corticotomie peut n'intéresser qu'une partie de la corticale. On réalise ainsi un "hémiascenseur". L'adjonction de broches à olives en fin de distraction réalisera une compression transversale. Nous n'avons pas l'expérience de cette technique de réalisation particulièrement difficile, et qui de plus, rallonge considérablement le temps de consolidation.

3 - DISTRACTION TRANSVERSALE

Ce procédé vise à combler un défaut osseux très important. On réalisera un **péroné protibia** dans le cas d'une perte de substance étendue au tibia.

Une compnectomie longitudinale respectant la vascularisation centromédullaire du péroné va détacher un héli-péroné que l'on va distraire progressivement dans le défaut à l'aide de broches à olives reliées à des tiges filetées fixées sur une plaque de connexion. En fin de distraction, une compression axiale simple viendra compléter la consolidation.

D - CORRECTION ANGULAIRES

Dans le plan frontal ou sagittal, trois types de systèmes peuvent être utilisés :

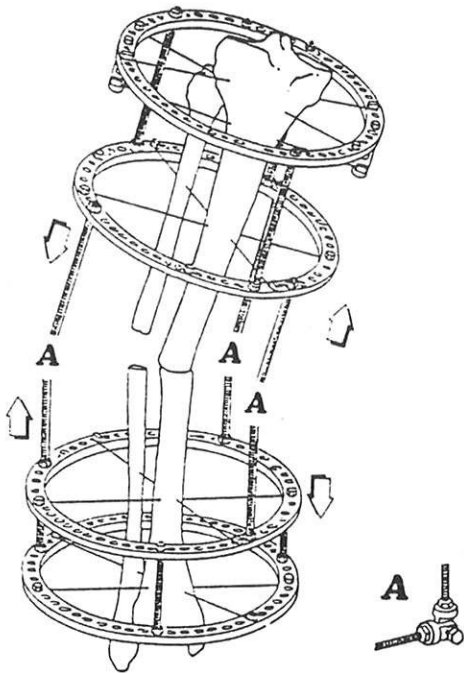
- le plus courant comprend trois tiges filetées reliant les anneaux intermédiaires, munies chacune d'articulations également réparties sur le pourtour des anneaux.

- on peut également utiliser des broches à olives, reliées à des tiges filetées fixées sur une barre de connexion, de façon à exercer une traction vers la concavité de la déformation.

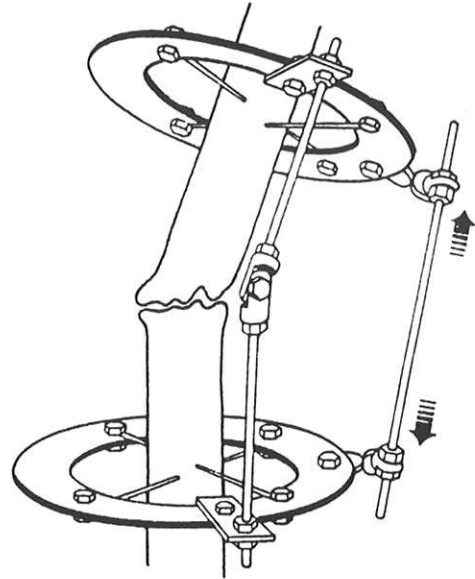
- le troisième système comprend des broches transverses montées sur des demi-anneaux reliés à une barre de connexion comme précédemment mais dans la convexité de la déformation. On réalisera dans ce type de montage un effet poussoir.

La stimulation de l'ostéogénèse par la méthode d'Ilizarov s'effectue par la remise en fonction du membre lésé, associée à la dynamisation du fixateur externe par compression ou distraction du foyer de pseudarthrose.

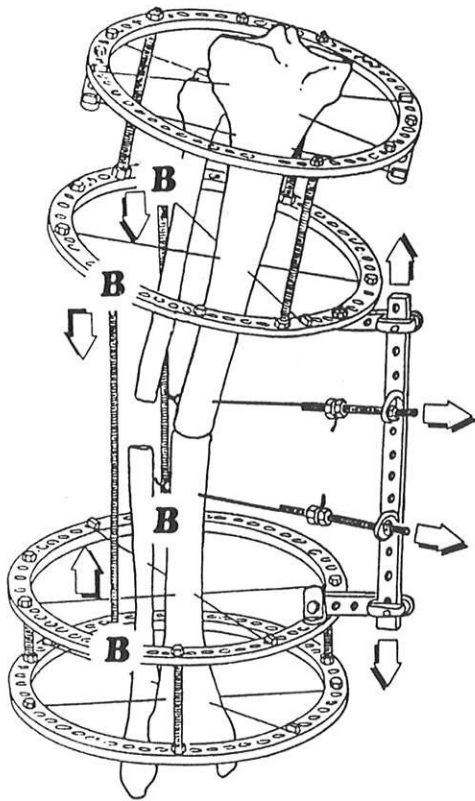
CORRECTIONS ANGULAIRES



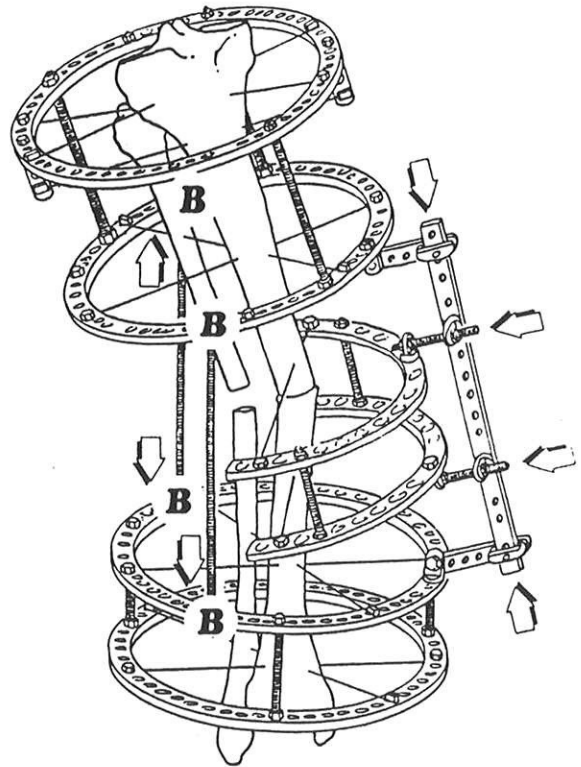
Correction progressive d'une déviation d'axe par système additionnel à charnière (A)



Montage d'une charnière pour correction angulaire



Correction d'une déviation angulaire à l'aide de broches à olives



Correction d'une déviation angulaire à l'aide de broches transverses

B - système articulé comprenant une plaque vrillée associée à une pièce de liaison

IV - PROBLEMES TECHNIQUES GENERAUX

A - PRECAUTIONS PRE-OPERATOIRES

1 - PREPARATION PSYCHOLOGIQUE DU MALADE

Il faut d'abord **convaincre le patient** de la nécessité de ce type de traitement pour venir à bout d'une pseudarthrose, parfois septique, évoluant depuis plusieurs mois et pour laquelle le patient a déjà subi plusieurs interventions, sans succès.

Il faudra **expliquer clairement au malade le principe de la méthode**. Il doit comprendre que le traitement ne s'arrête pas à la pose de l'appareil. Sa **motivation** pour la marche et la rééducation est indispensable à la réussite du traitement.

On comprend alors pourquoi la méthode ne peut s'appliquer aux patients débiles ou réticents.

2 - PLANIFICATION DE L'INTERVENTION

Elle est aussi importante que sa réalisation. Il est impératif de savoir exactement le montage que l'on va réaliser avant l'entrée au bloc opératoire. L'utilisation d'un calque de la radiographie du segment de membre à opérer est recommandée. Il permet de tracer le plan du fixateur et de dessiner l'emplacement des broches.

3 - INSTALLATION

Le membre opéré doit être libre de ses mouvements et dégagé de tout obstacle jusqu'à sa racine. Il est recommandé d'utiliser des supports radiotransparents permettant de surélever le membre par rapport au plan de la table.

B - MISE EN PLACE DES BROCHES

1 - LA TRANSFIXION

Les broches sont implantées perpendiculairement à la diaphyse et feront entre elles un angle de 60 à 90 °.

Chaque broche doit être introduite à travers la peau sans incision au bistouri et poussée jusqu'au contact osseux. La traversée des deux corticales se fera au moteur à vitesse lente. La broche est ensuite poussée au maillet jusqu'à sa sortie. En procédant de la sorte, on évite une brûlure de l'os et de la peau et on réduit les lésions des parties molles. L'incision cutanée au bistouri est réservée aux broches à olive, de façon à faciliter le passage de la boule.

Au voisinage des articulations, on devra laisser le maximum de parties molles vers l'articulation pour ne pas en limiter la fonction. A ce niveau, les broches doivent traverser la peau et les loges musculaires en tension (Exemple : la loge antérieure de la cuisse doit être transfixiée en flexion).

La transfixion des ligaments, des tendons périarticulaires et des culs de sacs synoviaux, doit être évitée.

Les broches sont ensuite solidarisées aux anneaux. Ne jamais précontraindre une broche pour l'amener au contact de l'anneau.

2 - LES ZONES DE TRANSFIXION DES MEMBRES

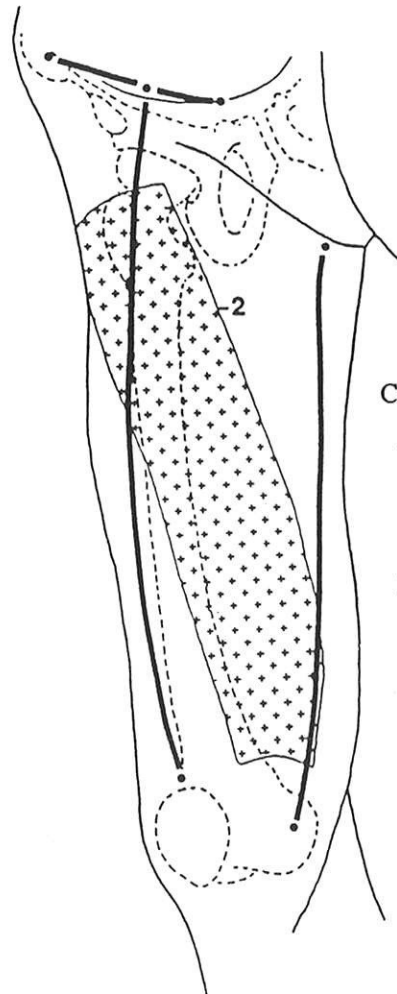
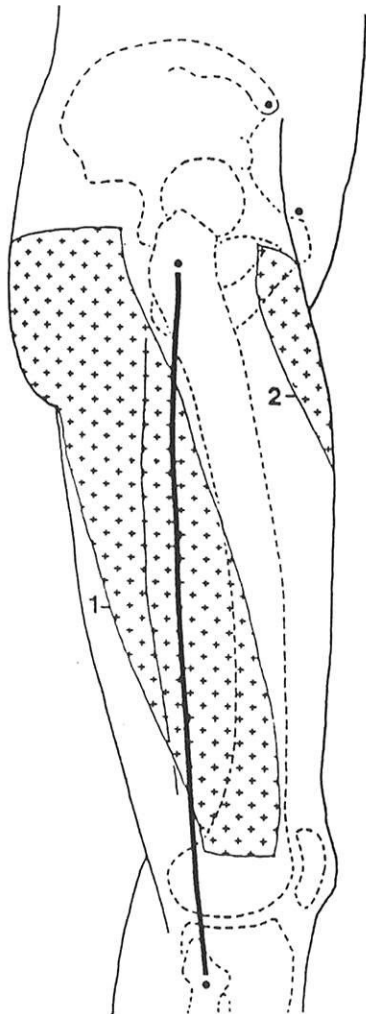
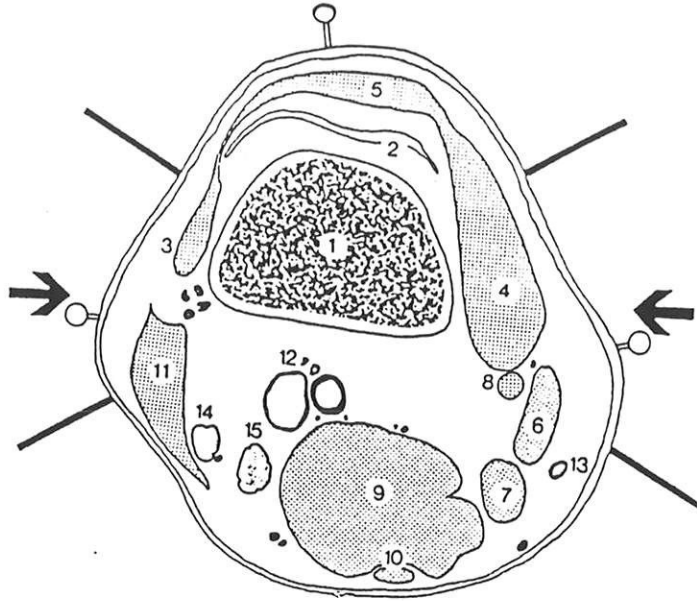
Le respect des territoires cutanés de sécurité permet d'éviter les complications vasculo-nerveuses lors de la transfixion.

C. FAURE et Ph. MERLOZ ont déterminé aux différents niveaux de chaque membre, des "secteurs utiles" où la transfixion n'est pas dangereuse. Les différentes coupes sont reproduites dans les pages qui suivent.

ZONES DE TRANSFIXION DES MEMBRES

(d'après C. FAURE et Ph. MERLOZ)

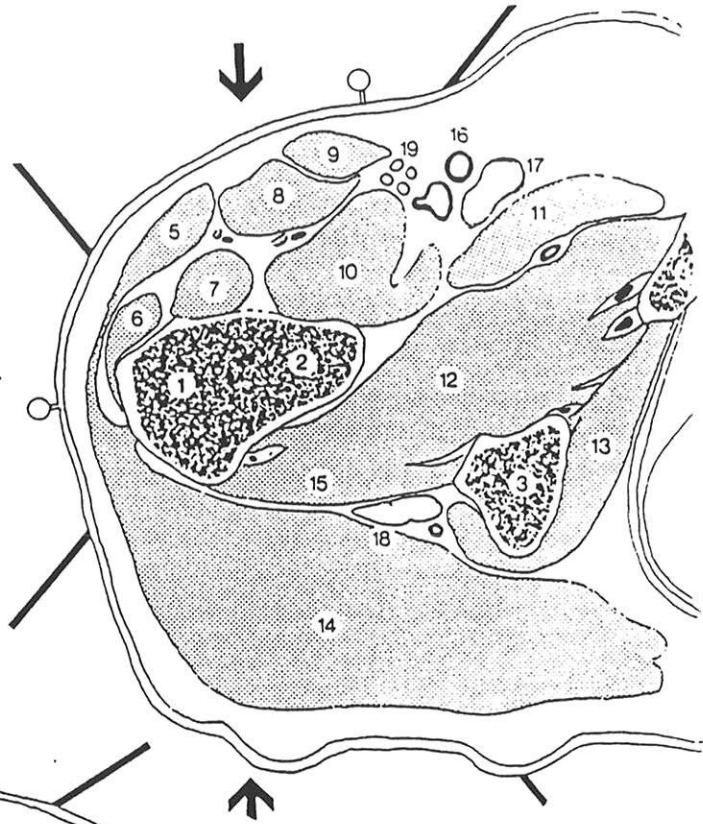
secteurs utiles:
zones latérale et médiale



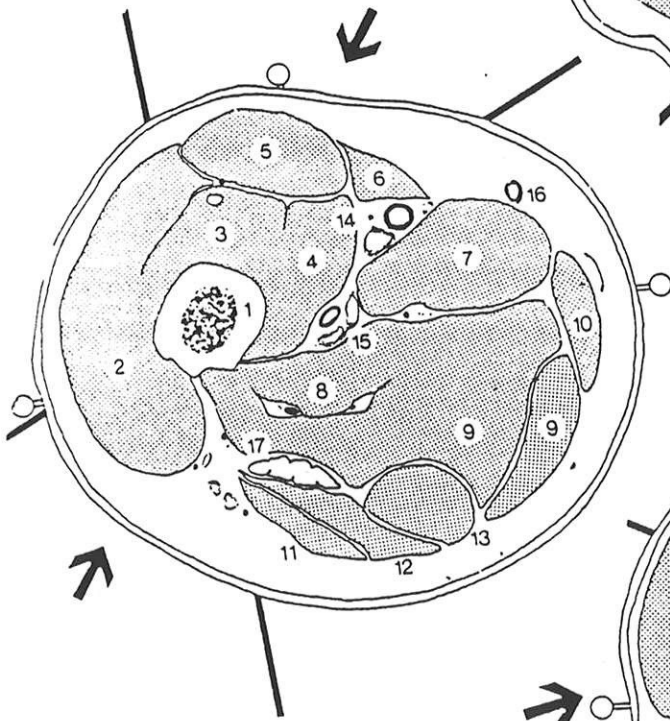
COUPES HANCHE ET CUISSE
TRANSFIXION DU FEMUR

1-Territoire dorsolatéral
2-Territoire ventromédial

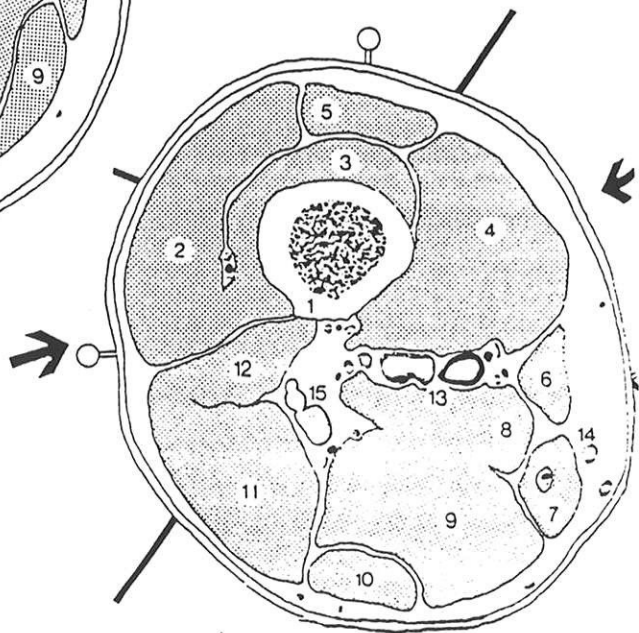
SU: zones ventrolatérale
et dorsolatérale



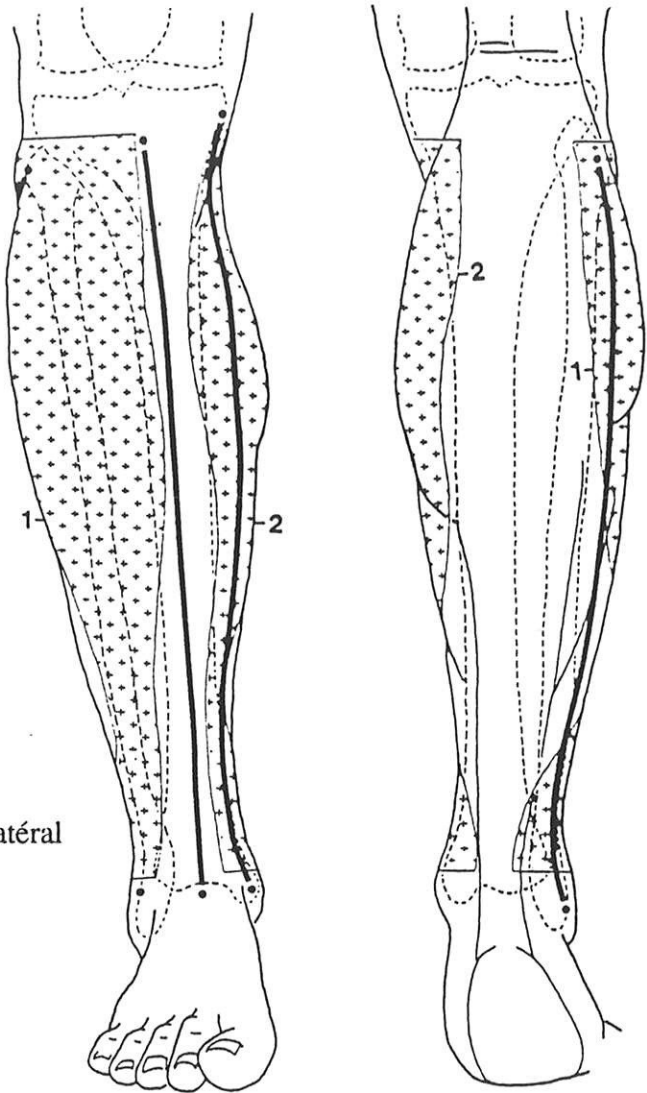
SU: zones ventromédiale
et dorsolatérale



SU: zones ventromédiale
et latérale

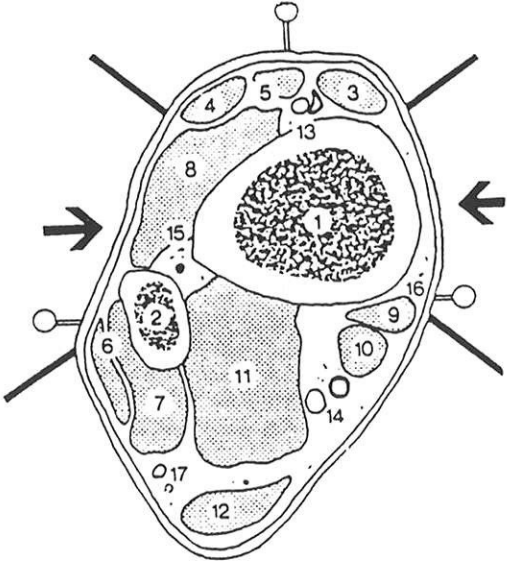


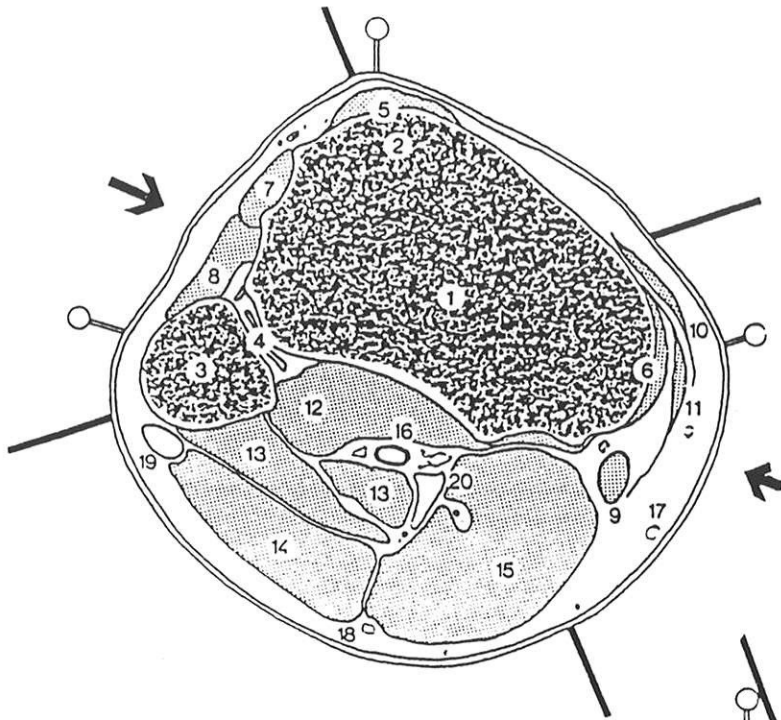
COUPES DE JAMBE
 TRANSFIXION DU TIBIA ET DE LA FIBULA



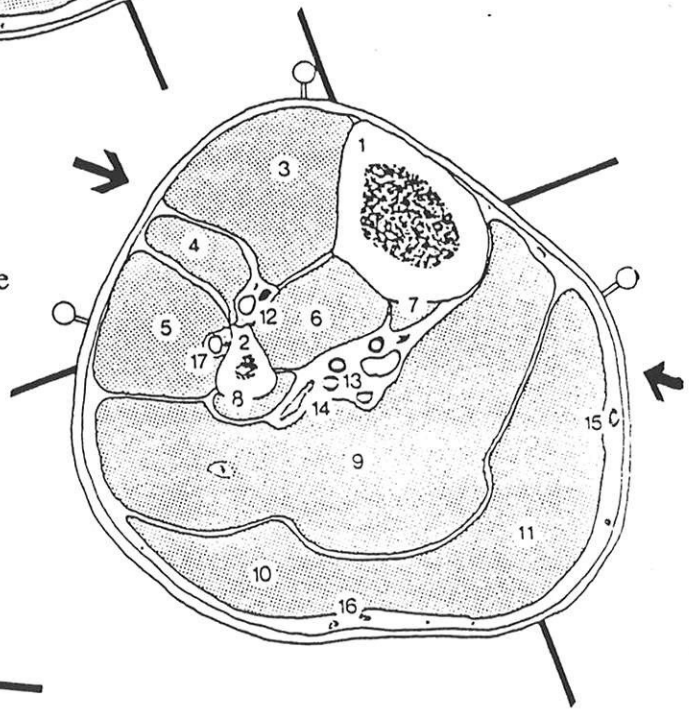
1-territoire ventrolatéral
 2-territoire médial

SU: zones ventrolatérale
 et ventromédiale

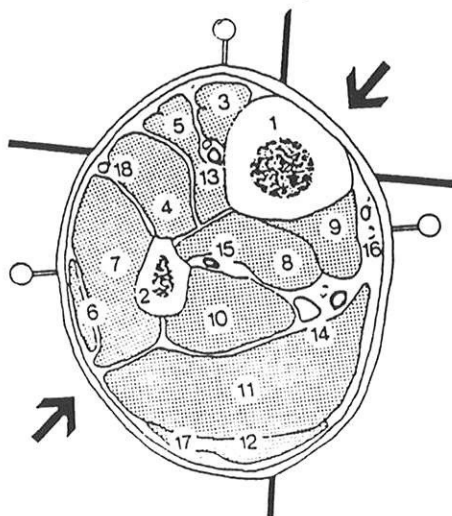




SU: zones ventrolatérale
et médiale

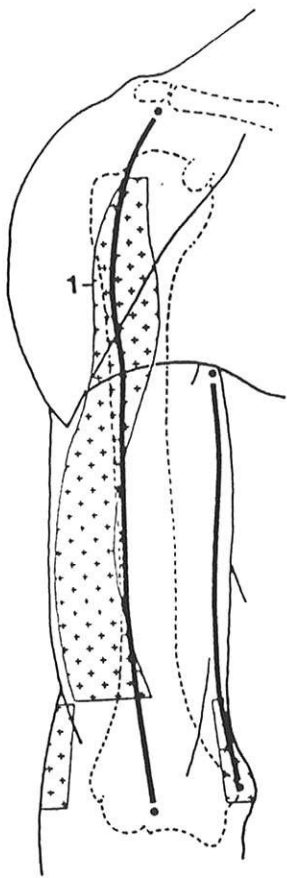


SU: zones ventrolatérale
et dorsomédiale

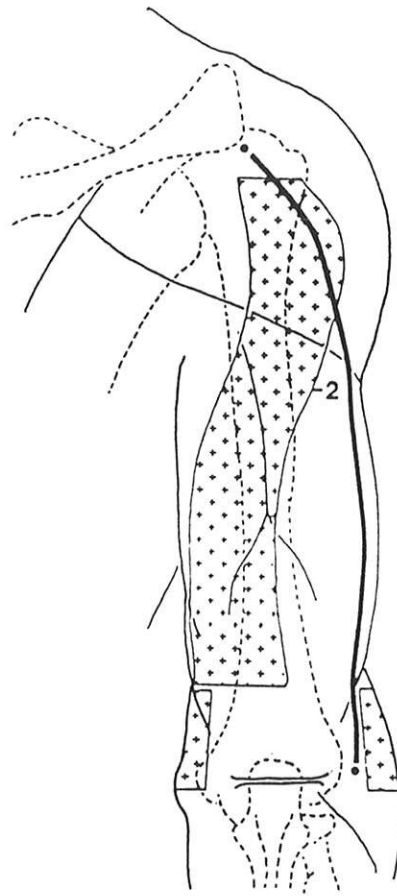


SU: zones dorsolatérale
et ventromédiale

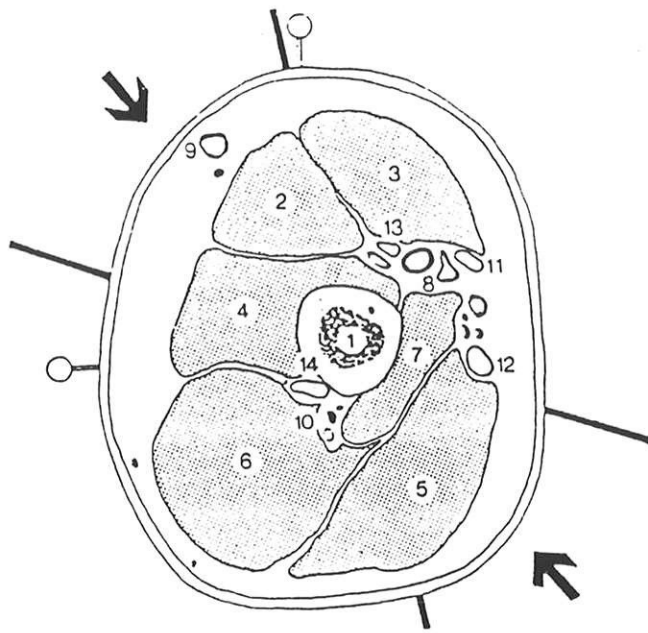
COUPES DU BRAS
TRANSFIXION DE L'HUMERUS



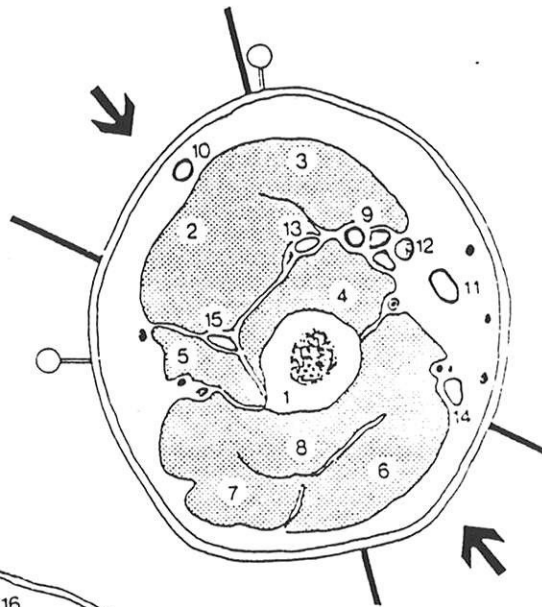
1-territoire ventral



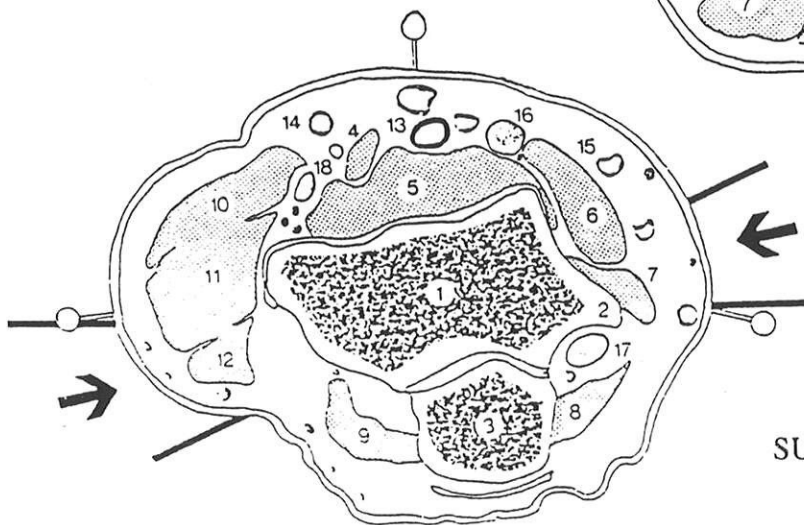
2-territoire dorsal



SU: zones ventrolatérale
et dorsomédiale



SU: zones ventrolatérale
et dorsomédiale



SU: zones dorsolatérale
et médiale

3 - TECHNIQUE DE MISE EN PLACE DES BROCHES

a) Humérus

- Broches proximales : Après repérage de la gouttière bicipitale, on place deux broches en croix. La première en dehors de la gouttière, d'avant en arrière. La seconde en dedans de la gouttière, d'avant en arrière.

- Broches distales : Deux broches en croix sont introduites du côté de l'épitrôchlée : la première oblique d'arrière en avant, la 2ème oblique d'avant en arrière, une 3ème broche peut être nécessaire pour assurer une meilleure stabilité.

- Broches diaphysaires : Elles ne sont pas toujours obligatoires : deux broches en croix à la jonction 1/3 supérieur / 1/3 moyen ou au 1/3 moyen / 1/3 inférieur, introduites de dedans en dehors et d'avant en arrière.

b) Fémur

- Broches proximales : dans le massif trochantérien. La première broche est placée d'avant en arrière et de dedans en dehors ; la 2ème broche d'arrière en avant et de dedans en dehors. L'angulation idéale entre les deux broches sera de 30 à 40 °. Une 3ème broche intermédiaire sera introduite entre les deux autres d'avant en arrière.

Dans la zone sous-trochantérienne, on peut placer deux broches orientées comme précédemment mais introduites toutes deux par en avant. Elles doivent être munies d'olive pour augmenter la stabilité.

- Broches distales : région supracondylienne. La première broche de dehors en dedans et d'avant en arrière ; la 2ème de dehors en dedans et d'arrière en avant ; la 3ème broche intermédiaire entre les deux autres.

- Broches médio-diaphysaires : Deux broches faisant au moins 60 ° d'angulation seront introduites en avant, la première de dehors en dedans, la 2ème de dedans en dehors.

c) Tibia

- Broches proximales : La première est introduite d'arrière en avant et de dehors en

dedans, juste en avant de la tête du péroné. La 2ème broche est introduite de dehors en dedans et d'avant en arrière.

- Broches distales : La première embroche le péroné, introduite d'arrière en avant et de dehors en dedans. La 2ème est placée d'avant en arrière et de dehors en dedans.

- Broches diaphysaires : broche introduite en avant.

* A la jonction 1/3 supérieur / 1/3 moyen : première broche de dehors en dedans, deuxième broche de dedans en dehors.

* A la jonction 1/3 moyen / 1/3 inférieur : première broche de dedans en dehors, deuxième broche de dehors en dedans.

C - MONTAGE DES ANNEAUX

Le fût diaphysaire doit être placé au centre des anneaux.

La distance séparant le bord interne de l'anneau et la peau doit être d'au moins 2 cms.

Le montage ne doit pas perturber la fonction articulaire. On dispose d'arceau ou de demi-anneau pour le fémur proximal ou l'extrémité inférieure de l'humérus. On utilisera un arceau en forme d'oméga pour l'extrémité supérieure de l'humérus.

L'anneau est d'abord solidarisé aux broches par serrage au doigt. La mise en tension s'effectue secondairement à l'aide du tenseur dynamométrique.

Il est impératif de respecter un strict parallélisme entre les anneaux.

D - LA CORTICOTOMIE

Elle trouve sa place dans le traitement des pseudarthroses avec perte de substance osseuse.

En théorie, la corticotomie idéale se fait à travers une courte incision périostée et ne doit léser en aucun cas périoste, endoste et moelle osseuse. Ainsi, les corticales sont

rompues, réalisant une compactotomie, tout en préservant la vascularisation osseuse.

La compactotomie se fait sans garrot, après montage complet de l'appareil, mise en tension des broches et repérage préalable des tiges filetées sur les anneaux. L'incision cutanée est courte (15 mm). On utilise un ciseau à frapper dont la lame fine fait 5 à 6 mm de largeur (lame de Pauwels). Le périoste est incisé sur 10 à 15 mm puis décollé sur une faible surface. La forme du ciseau "use" l'os cortical, en l'utilisant comme bras de levier on rompt la corticale opposée à l'incision. Pour compléter la corticotomie, on peut effectuer un mouvement de torsion à l'aide des anneaux.

E - SOINS POST-OPERATOIRES

1 - REEDUCATION

La **mobilité articulaire** est entretenue dès le lendemain de l'intervention. La **marche avec appui** doit être obtenue sans douleur le plus précocément possible.

2 - SOINS INFIRMIERS

Les soins de broches sont capitaux. La désinfection des orifices doit être réalisée tous les deux jours avec un antiseptique type bétadine ou hénomédine. L'inflammation des orifices de broches est fréquente, source de douleurs invalidantes. Elle nécessite une incision cutanée pratiquée sous anesthésie locale.

F - COMPLICATIONS

Les broches sont à l'origine de la plupart des complications.

1 - EN PER-OPERATOIRE

Hémorragie par trou de broche traduisant la blessure d'une artériole musculaire. Elle cède rapidement avec un pansement compressif.

La blessure des gros vaisseaux est rare et équivaut à une simple ponction lorsque les broches sont rentrées à la main.

L'atteinte nerveuse est possible, notamment au niveau du bras (nerf radial). Elle est le plus souvent transitoire.

2 - EN POST- OPERATOIRE

Les **écoulements** sur broche sont très fréquents et constituent une porte d'entrée infectieuse à ne pas négliger d'où la nécessité de soins locaux attentifs. L'infection d'un orifice de broche pourra être traité par incision cutanée et application locale d'antibiotiques.

Dans le cas de **sepsis** plus important avec ostéolyse et réaction inflammatoire étendue, il est impératif de retirer la broche et de la changer de place.

L'**ostéite** sur orifice de broche pourra être évitée par une surveillance attentive.

La **douleur** est fréquente. Elle siège le plus souvent au niveau des broches et nécessite le débridement cutané.

Les **raideurs articulaires** peuvent être prévenues par une kinésithérapie active. Une semelle anti-équin est parfois nécessaire à la cheville.

Les **séquelles nerveuses**.

G - ABLATION DU MATERIEL

L'ablation du matériel peut être progressive (après une phase de dynamisation) ou totale d'emblée.

La dynamisation s'effectue par la marche en appui partiel, les boulons étant débloqués.

L'ablation de l'appareil peut être réalisé sans anesthésie, à la consultation. Un contrôle radiographique permettra de visualiser distinctement la consolidation.

Parfois, on complètera le traitement par la confection d'un plâtre de marche type Sarmiento. Il sera volontiers utilisé chez les patients présentant une intolérance aux broches, entraînant une ablation prématurée de l'appareil. L'appui assurera une bonne compression axiale, permettant ainsi de parfaire la consolidation.

V - MONTAGES TYPES

Les montages sont variables selon le segment osseux atteint et la localisation de la pseudarthrose.

A - AU TIBIA

- **En zone métaphysaire**, seul un montage à trois anneaux est réalisable avec deux anneaux métaphysaires et un anneau diaphysaire. On complètera le montage par une broche de stabilisation montée sur un drapeau fixé à l'anneau du segment court.

- **En zone diaphysaire**, le montage comprendra 4 anneaux : deux anneaux intermédiaires proches du foyer de pseudarthrose et deux anneaux à distance assureront une grande stabilité.

- **La résection du péroné** est indispensable pour pratiquer une compression ou une distraction efficace.

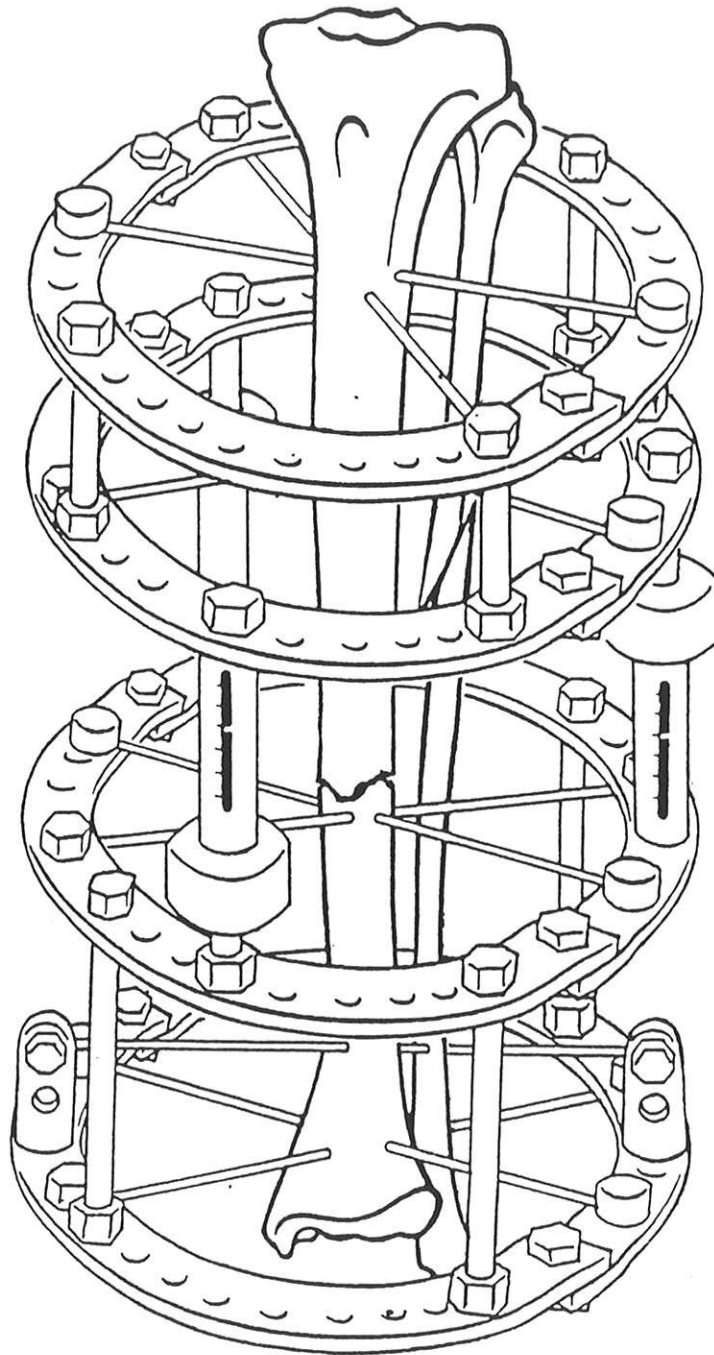
B - AU FEMUR

Les montages sont identiques à ceux utilisés au tibia. Des modifications ont été apportées à l'extrémité supérieure du fémur afin d'améliorer le confort des patients. L'appareil est moins encombrant depuis l'utilisation de demi-anneaux ou d'arceaux à ce niveau. Certaines équipes ont mis au point un montage utilisant des fiches non transfixiantes de 4 à 5 mm de diamètre placées dans l'extrémité supérieure du fémur. Ce système permet de latéraliser le montage tout en gardant une excellente stabilité.

C - L'HUMERUS

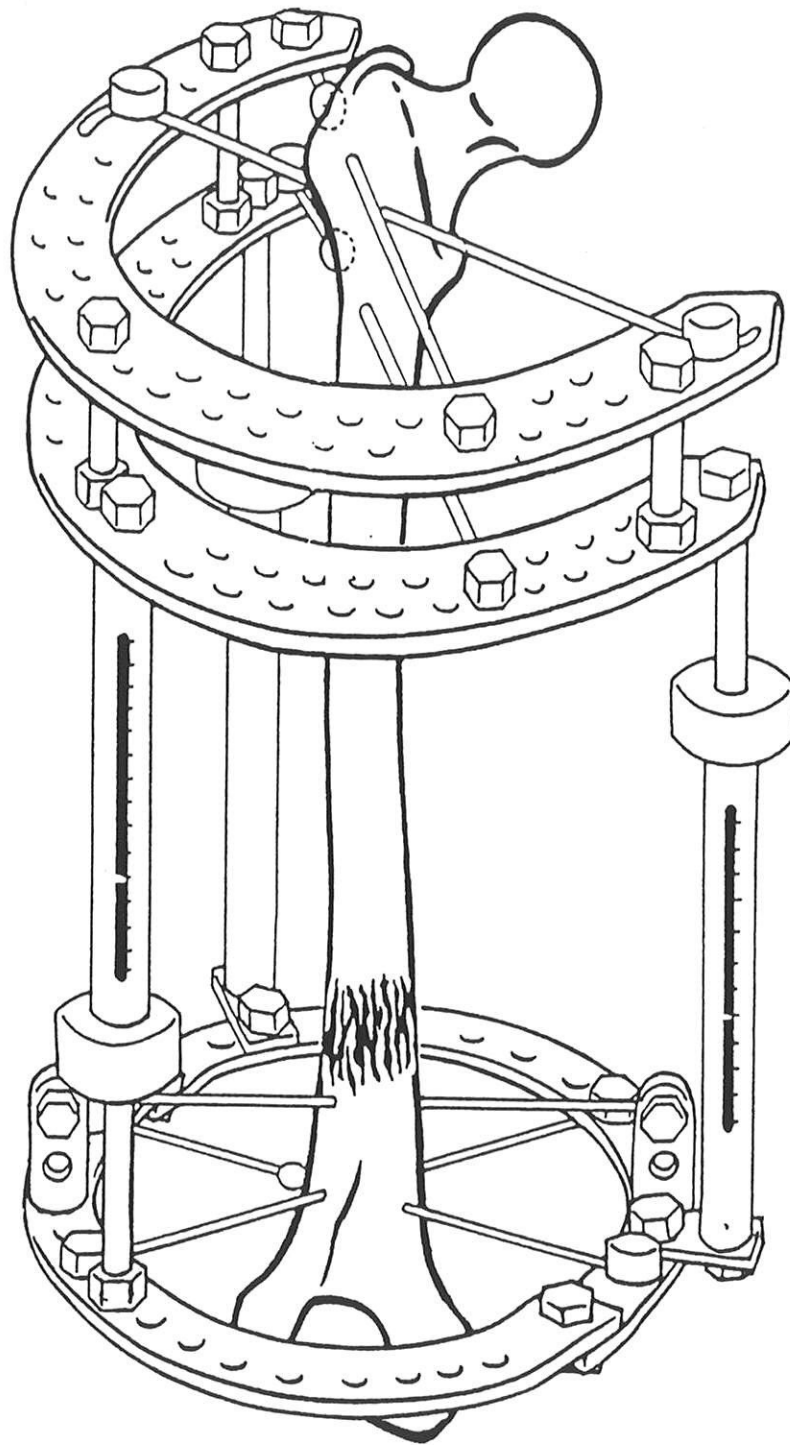
En zone diaphysaire, un montage simple à deux anneaux permet d'obtenir une stabilité suffisante. Quand la pseudarthrose est proche d'une extrémité, on utilisera un anneau en oméga (métaphyse proximale) ou un demi-anneau (métaphyse distale), un troisième anneau (diaphysaire) peut s'avérer nécessaire.

MONTAGE AU TIBIA



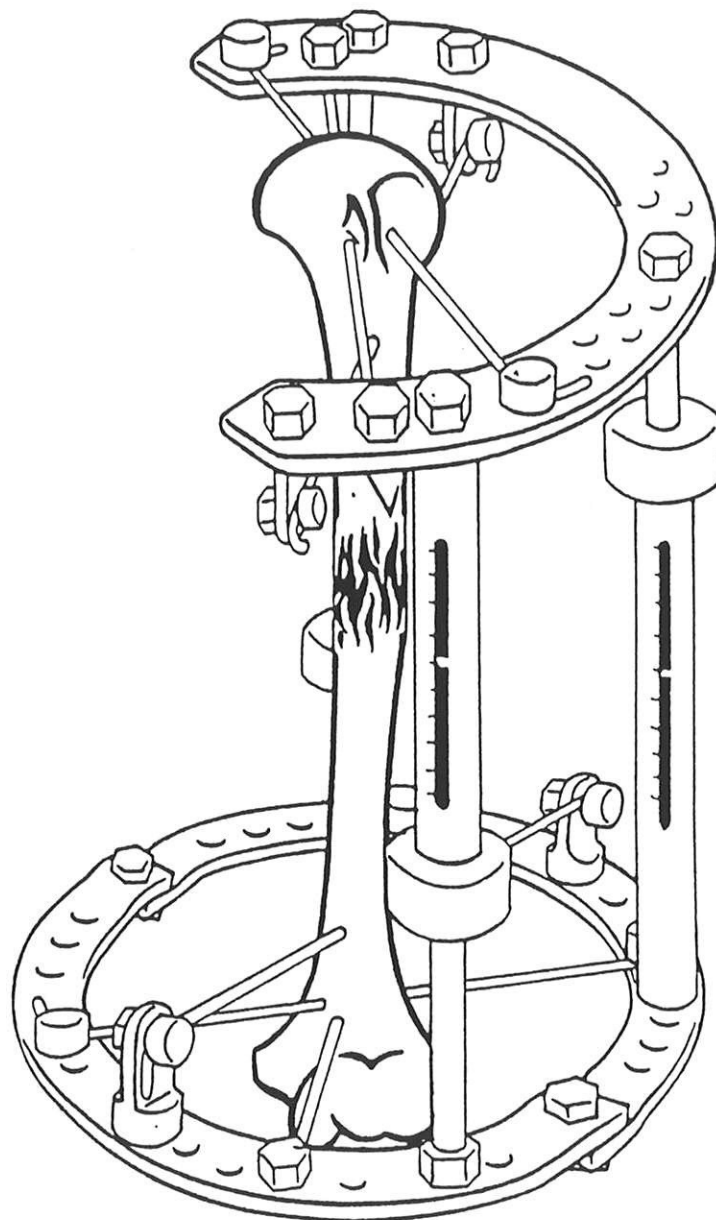
montage à 4 anneaux
résection du péroné systématique

MONTAGE AU FEMUR



montage à 3 anneaux + drapeau
demi-cercles supérieurs

MONTAGE A L'HUMERUS



montage à 2 anneaux
demi-cercle supérieur

VI - LUTTE CONTRE L'INFECTION

**Pour ILIZAROV, "l'ostéomyélite brûle dans le feu de la régénération".
La reprise de l'ostéogénèse va, à elle-seule, suffire au traitement de
l'infection.**

A - TRAITEMENT DES FISTULES

L'excision du foyer septique et de la fistule est inutile. Par la simple mise en compression et stabilisation du foyer de pseudarthrose, on obtient le tarissement des fistules et la consolidation simultanée de la pseudarthrose.

B - TRAITEMENT DES SEQUESTRES

Les petits séquestres peuvent être laissés en place, ils seront assimilés dans le processus d'activation de l'ostéogénèse.

La réhabilitation d'un gros séquestre est illusoire. Il faut aborder le foyer et pratiquer la séquestrectomie avec le parage. On se retrouve alors dans le cas d'une pseudarthrose avec perte de substance.

C - L'ANTIBIOTHERAPIE

Pour ILIZAROV, les antibiotiques ne font pas partie de l'arsenal thérapeutique des pseudarthroses septiques.

Pour notre part, nous jugeons plus prudent d'instaurer un traitement antibiotique adapté dans le cas de sepsis sévères.

VII - INDICATIONS

A - PSEUDARTHROSES SANS PERTE DE SUBSTANCE OSSEUSE

1 - PSEUDARTHROSES HYPERTROPHIQUES

Un montage avec mise en compression du foyer de pseudarthrose lors de la pose de l'appareil permet d'obtenir la consolidation.

2 - PSEUDARTHROSES ATROPHIQUES

Ce type de pseudarthrose a un faible potentiel ostéogénique, la compression simple du foyer est insuffisante.

Pour stimuler l'ostéogénèse, on dispose de deux techniques :

- compression initiale avec remise en compression de façon séquentielle,
- compression progressive durant une dizaine de jours suivie de périodes de distraction et de compression alternées.

3 - PSEUDARTHROSES SEPTIQUES

Le programme thérapeutique appliqué sera identique à celui des pseudarthroses atrophiques.

B - TRAITEMENT DES PERTES DE SUBSTANCE OSSEUSE

La perte de substance osseuse peut être d'origine infectieuse ou traumatique.

1 - PERTE DE SUBSTANCE CIRCONFÉRENTIELLE < à 2 cms

On procédera par mise en compression des fragments durant 3 semaines à 1 mois suivie d'une période de distraction jusqu'à récupération de la longueur du membre : **compression distraction monofocale.**

2 - PERTE DE SUBSTANCE SUPÉRIEURE à 2 cms

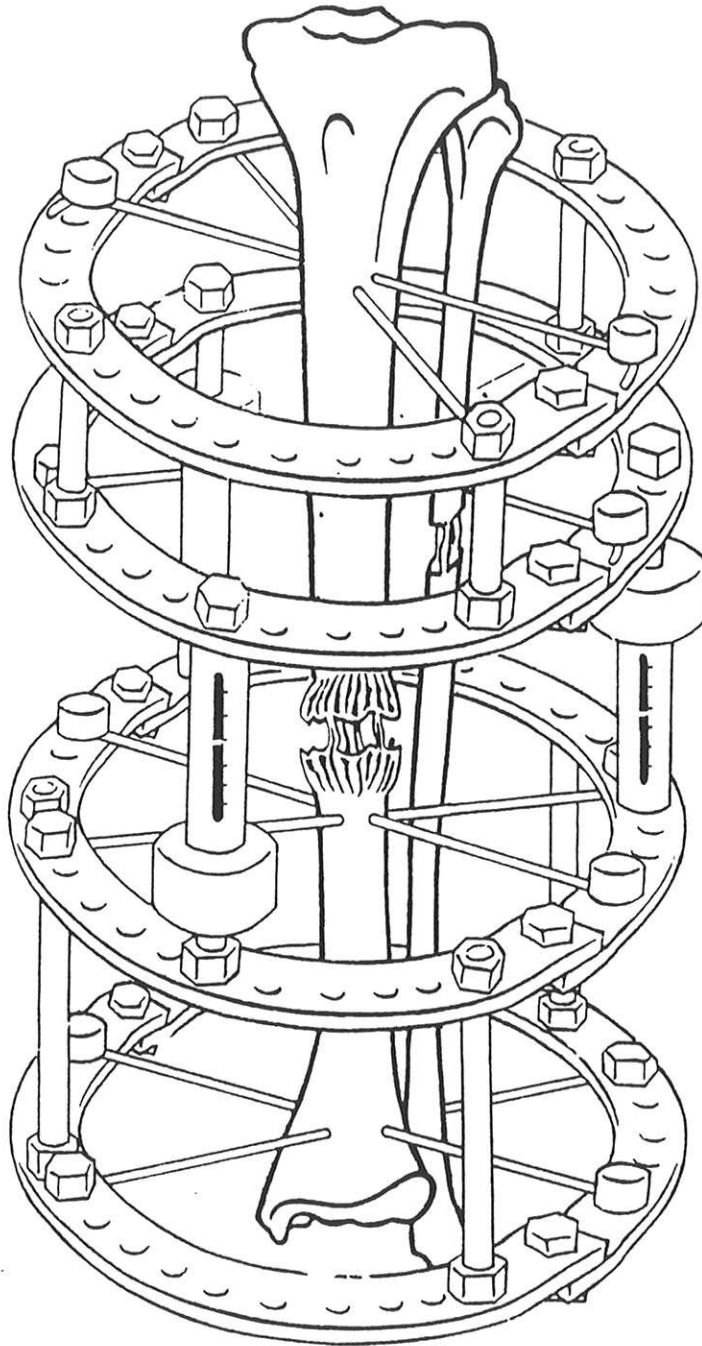
Lorsque le défaut est trop important, empêchant la mise en compression du foyer en per-opératoire, on réalisera une **compression distraction bifocale combinée**, ou méthode de l'"ascenseur".

Après corticotomie, un fragment osseux est progressivement amené par distraction au contact de la pseudarthrose qui consolidera par mise en compression secondaire.

3 - PERTE DE SUBSTANCE TRÈS IMPORTANTE

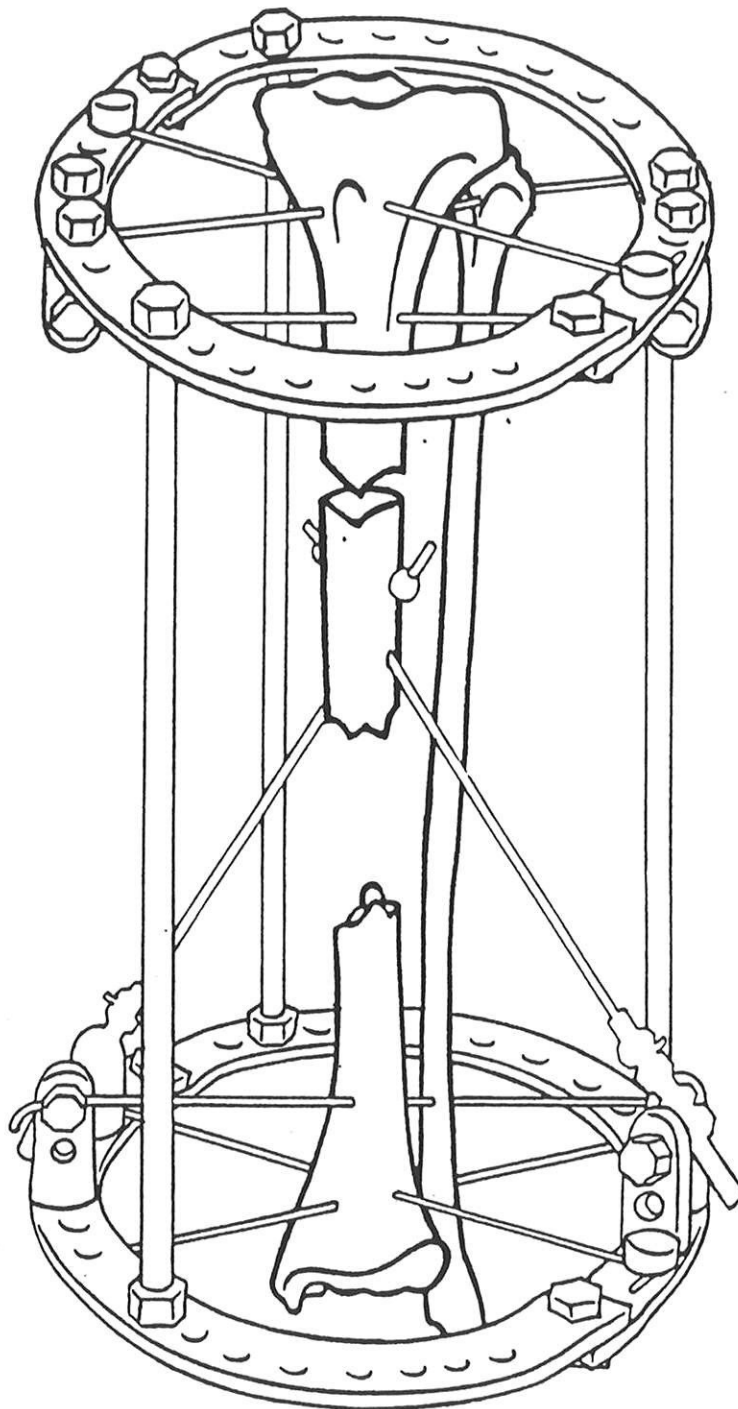
C'est l'indication rare d'un transfert d'hémi-péroné par distraction, ou **fibula protibia.**

PERTE DE SUBSTANCE OSSEUSE
inférieure à 3 cms



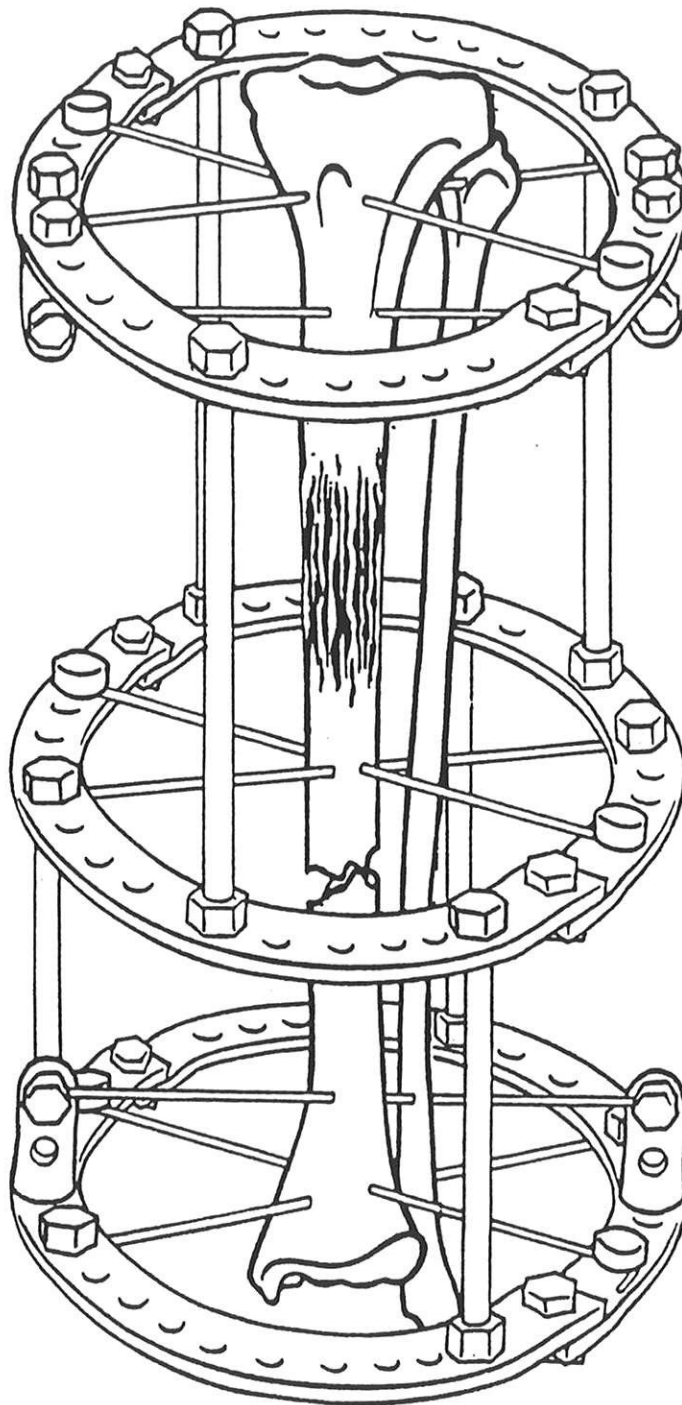
dynamisation en distraction monofocale

PERTE DE SUBSTANCE OSSEUSE
supérieure à 3 cms
dynamisation en compression distraction bifocale combinée



1ère phase : Après corticotomie pratiquée en zone saine, le fragment intermédiaire descend sous la traction progressive des broches à olives à raisons d'1mm par jour :
Procédé de "l'ascenseur"

**PERTE DE SUBSTANCE OSSEUSE
supérieure à 3 cms**



2ème phase : Après contact inter-fragmentaire dans la zone de perte de substance, le foyer est mis en compression pour obtenir la consolidation tandis que le régénérat, obtenu par traction de la zone de corticotomie, va se corticaliser.
Le fragment intermédiaire est stabilisé par un anneau.
On réalise une ostéotomie du péroné.

C - CORRECTIONS D'AXES

1 - PSEUDARTHROSES LACHES

La correction angulaire se fait lors de la pose de l'appareil.

2 - PSEUDARTHROSES SERREES

La réduction per-opératoire est impossible. La **réaxation progressive** pourra être simultanée ou précéder le traitement de la pseudarthrose.

D - TRAITEMENT DES PERTES DE SUBSTANCES CUTANÉES

1 - PERTE DE SUBSTANCE CUTANÉE MINIME

On pratiquera soit une cicatrisation dirigée, soit une mise en traction de la peau afin d'en rapprocher les berges, réalisant ainsi un "Ilizarov cutané".

2 - PERTE DE SUBSTANCE CUTANÉE IMPORTANTE

La méthode d'Ilizarov ne présente pas de particularité quant au traitement des pertes de substance cutanées importantes.

On réalisera un lambeau fascio-cutané ou musculaire en fonction de l'importance et de la localisation de la perte de substance. Nous avons décrit ces techniques dans un chapitre précédent.

ETUDE DE NOTRE SERIE

L'étude porte sur 24 cas de pseudarthroses des os longs traitées dans les services d'Orthopédie-Traumatologie du C.H.R.U. de LIMOGES. Les patients ont été opérés entre Juillet 1987 et Octobre 1991.

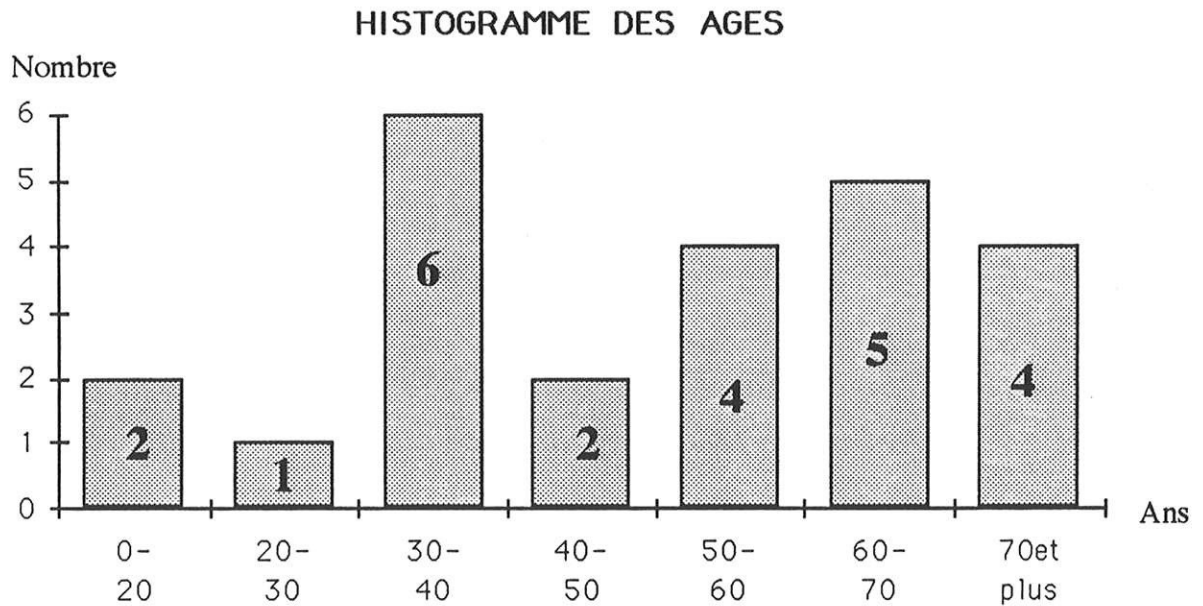
I - MATERIEL D'ETUDE

A - EPIDEMIOLOGIE

1 - REPARTITION SELON L'AGE (Histogramme des âges)

La moyenne d'âge est de 51 ans.

Les âges extrêmes sont de 18 et 78 ans.



2 - REPARTITION SELON LE SEXE

- 9 femmes
- 15 hommes

3 - LE COTE ATTEINT

- 14 côtés droits
- 10 côtés gauches

4 - TRAUMATISME INITIAL

- 7 accidents du travail dont 6 agricoles
- 8 accidents de la voie publique
- 3 tentatives d'autolyse
- 4 chutes
- 2 accidents de sport

B - REPARTITION SELON LE SEGMENT OSSEUX

- La pseudarthrose siège :
- **à l'humérus : 4 cas**
 - **au fémur : 2 cas**
 - **au tibia : 18 cas.**

C - LOCALISATION OSSEUSE DE LA PSEUDARTHROSE

| | Métaphyse proximale | Diaphyse | Métaphyse distale | TOTAL |
|--------------|---------------------|----------|-------------------|-------|
| Humérus | | 4 | | 4 |
| Fémur | | 1 | 1 | 2 |
| Tibia | 4 | 6 | 8 | 18 |
| TOTAL | 4 | 11 | 9 | 24 |

D - CARACTERES DE LA PSEUDARTHROSE

1 - CARACTERE SEPTIQUE

- 18 pseudarthroses septiques dont 3 humérus, 2 fémurs et 13 tibias
- 6 pseudarthroses aseptiques dont 1 humérus et 5 tibias.

2 - LE TYPE DE PSEUDARTHROSE

- 16 pseudarthroses atrophiques
- 8 hypertrophiques ou oligotrophiques

| | | Atrophique | Hypertrophique |
|--------------|------------|------------|----------------|
| Humérus 4 | Septiques | 1 | 2 |
| | Aseptiques | 1 | |
| Fémur 2 | Septiques | | 2 |
| | Aseptiques | | |
| Tibia 18 | Septiques | 11 | 3 |
| | Aseptiques | 3 | 1 |
| TOTAL | | 16 | 8 |

3 - PERTE DE SUBSTANCE OSSEUSE

| | Septique 18 | Aseptique 6 | TOTAL |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------|
| Sans perte de substance | 9 | 2 | 11 |
| Perte de substance partielle | 3 | | 3 |
| Perte de substance circonférentielle | 6 | 4 | 10 |

4 - RACCOURCISSEMENT

On note seulement **2 raccourcissements**, l'un de 6 cms siégeant à l'humérus et l'autre de 9 cms au tibia. La perte de substance osseuse est post-traumatique.

5 - DEVIATION AXIALE

- 12 troubles d'axes sur 24 pseudarthroses

- 11 fois la désaxation siége au tibia
- dans 6 cas, on retrouve l'association de plusieurs troubles d'axes.

a) A l'humérus

Pas de déviation axiale retrouvée dans les 4 cas de pseudarthroses de l'humérus.

b) Au fémur

Un patient présentait un varus de 35 ° associé à un flessum de 25 °.

c) Au tibia

- 1 valgus isolé de 10 °
- 2 valgus de 20 et 25 ° avec récurvatum de 10 °
- 1 varus isolé de 15 °

- 3 varus de plus de 10 ° avec flessum de plus de 15 °
- 1 varus de 10 ° avec récurvatum de 10 °
- 1 flessum isolé de 15 °
- 1 récurvatum isolé de 5 °
- 1 trouble en rotation externe de 40 °

Sur 18 tibias, 11 présentent un défaut d'axe dont 10 majeurs. On retrouve un défaut d'axe combiné dans 7 cas sur 12.

E - QUALITE DES PARTIES MOLLES

Les parties molles sont qualifiées de mauvaises lorsqu'existe isolément ou en association :

- une perte de substance cutanée
- une fistule
- une cicatrice séquellaire d'une perte de substance musculo-cutanée
- une greffe cutanée de recouvrement.

| | Aseptique 6 | Septique 18 | TOTAL |
|----------|-------------|-------------|-------|
| Bonne | 4 | 6 | 10 |
| Mauvaise | 2 | 12 | 14 |

Les parties molles sont de mauvaise qualité dans 14 cas sur 24.

Sur 18 pseudarthroses septiques, on dénombre :

- 4 fistules
- 2 pertes de substances cutanées
- 2 pertes de substances cutanées et osseuses.

F - HISTOIRE DE LA PSEUDARTHROSE

1 - TRAUMATISME INITIAL

Toutes nos pseudarthroses sont post-traumatiques. On constate une majorité de fractures ouvertes, soit 16 contre 8 fermées.

| | Aseptiques 6 | Septiques 18 | TOTAL |
|----------------------------|--------------|--------------|-------|
| Fracture fermée | 3 | 5 | 8 |
| Fracture ouverte stade II | 1 | 3 | 4 |
| Fracture ouverte stade III | 2 | 10 | 12 |

2 - DELAI D'EVOLUTION

C'est le temps écoulé entre la cause initiale et la mise en place du fixateur d'Ilizarov. Ce délai est de 10 mois en moyenne avec des extrêmes de 2 à 50 mois.

3 - INTERVENTION ANTERIEURES

a) Le traitement de la fracture

Initialement, la fracture a été traitée :

- 14 fois par un fixateur externe
- 7 fois par une plaque
- 3 fois orthopédiquement.
- 5 fois, un geste de recouvrement cutané a été pratiqué dans les suites immédiates.

b) Interventions spécifiques à la pseudarthrose

14 gestes chirurgicaux (13 patients) ont été réalisés dans le but de traiter une pseudarthrose. Parmi ces gestes, on dénombre 2 Papineau et 2 greffes osseuses dont une greffe intertibiopéronière.

G - LE TRAITEMENT ET LES MONTAGES

Au cours de notre expérience, nous n'avons pas pratiqué tous les cas de figure que propose l'appareil d'Ilizarov.

1 - TYPE DE MONTAGE

a) A l'humérus :4 diaphyses

Le montage a comporté deux anneaux dans 3 cas et trois anneaux dans un cas afin d'obtenir une plus grande stabilité.

b) Au fémur et au tibia : 20 cas

- dans les pseudarthroses diaphysaires : 7 cas

Le montage a comporté 4 anneaux dans 6 cas, avec adjonction de broches à olives afin de réaliser une compression interfragmentaire dans deux cas.

Un montage comportait 3 anneaux et des broches à olives montées sur drapeau pour une fracture du 1/3 inférieur du tibia à trait oblique long.

- dans les pseudarthroses métaphysaires : 13 cas

Le montage a comporté 3 anneaux avec olives montées sur drapeau dans 7 cas. Dans 5 cas, il a été possible de réaliser un montage à 4 anneaux malgré la proximité articulaire.

Un montage n'a comporté que 2 anneaux avec broches à olives. Il s'agissait d'une pseudarthrose siégeant au niveau de la métaphyse proximale du tibia chez un patient amputé

au tiers moyen du tibia.

2 - GESTES INTRA-FOCAUX : 9 cas

Un nombre important de gestes chirurgicaux ont été pratiqués lors de la pose de l'appareil d'Ilizarov. Il s'agit de :

- 4 ablations de matériel de synthèse avec excision du tissu de pseudarthrose dans 3 cas.

- 2 avivements de la pseudarthrose dont un percutané dans le but de corriger un défaut d'axe important dans une pseudarthrose serrée de fémur.

- une excision de pseudarthrose, le tissu interfragmentaire étant très abondant.

- une excision de fistule sur 4.

- une greffe d'os spongieux réalisant le 2ème temps de Papineau sur une pseudarthrose présentant une perte de substance osseuse et cutanée.

La résection du péroné a été systématique dans les pseudarthroses tibiales chaque fois que le péroné était solide.

3 - MODE D'APPLICATION DU MONTAGE

a) Pseudarthroses simples : 2 cas

Ce sont les pseudarthroses aseptiques et sans perte de substance. Dans notre série, seulement deux cas répondent à ces critères. Il s'agit de deux pseudarthroses atrophiques du tibia. Le traitement n'a pas comporté de geste dans le foyer de pseudarthrose. Les deux montages comprenaient 3 anneaux et un système de compression latérale en raison d'un trait de fracture oblique.

Le principe du traitement fut la compression axiale simple avec mise en compression

du foyer à la pose de l'appareil. Aucun geste de compression ou de distraction n'a pu être réalisé par la suite en raison de l'obliquité du trait de pseudarthrose.

Ces deux cas constituent des échecs de la consolidation sur lesquels nous reviendrons ultérieurement.

b) Pseudarthroses septiques sans perte de substance : 9 cas (un humérus, un fémur, 7 tibias)

Tous les montages ont été posés en compression initiale tout comme les pseudarthroses aseptiques. Le mode d'application a été différent par la suite :

- 4 compressions initiales,
- 4 compressions séquentielles,
- une compression distraction.

Deux patients ont bénéficié d'un geste intrafocal lors de la pose de l'appareil. Il s'agit d'une ablation de matériel et d'une excision curetage du foyer septique. Toutes ces pseudarthroses ont consolidé.

c) Pseudarthrose avec perte de substance osseuse : 13 cas (3 humérus, un fémur, 9 tibias)

- Perte de substance circonférentielle : 8 cas.

Dans tous les cas, notre objectif a été d'obtenir la consolidation osseuse sans se soucier de la perte de substance osseuse. La raison en est simple : la méthode est appliquée à des patients ayant déjà subi un échec de traitement et dont le foyer de fracture évolue sans consolidation depuis de nombreux mois. Le désir de combler une perte de substance osseuse impose la formation d'un régénérat par distraction. La consolidation de ce régénérat entraîne une prolongation de la durée de traitement de plus de 3 mois avec risque d'échec non négligeable.

De plus, dans notre série, aucun patient ne présentait de défaut osseux réellement

important pouvant occasionner une inégalité de longueur non corrigable par une talonnette.

Nous dénombrons :

- deux cas de pseudarthroses septiques de l'humérus. Le montage a été mis en compression initiale sans aucune retouche par la suite. Par contre, il a été réalisé une excision de fistule dans un cas et une ablation de matériel de synthèse dans l'autre. Aucun de ces patients n'a consolidé, nous en verrons les raisons par la suite.

- un cas de pseudarthrose aseptique de l'humérus avec perte de substance post-traumatique de 6 cms. Etant donné le caractère atrophique de la pseudarthrose, le montage a été appliqué en compression distraction monofocale. Le raccourcissement n'a aucun retentissement fonctionnel, la pseudarthrose siégeant au membre supérieur.

- deux cas de pseudarthrose de tibia avec perte de substance osseuse importante. Ces deux patients étant amputé du membre controlatéral, nous n'avons pas cherché à récupérer la longueur initiale du segment osseux.

- enfin dans deux cas (un fémur et un tibia), le défaut osseux était de l'ordre de 2 cms. Le montage a été appliqué en compression axiale simple. Ils ne présentaient pas de raccourcissement en pré-opératoire.

- Perte de substance partielle : 5 cas

C'est ce type de pseudarthrose qui pose le plus de problèmes thérapeutiques. En effet, la simple mise en compression axiale du foyer de pseudarthrose ne pourra aboutir qu'à une consolidation partielle. Afin de combler la perte de substance, ILIZAROV préconise la technique de l'hémi-ascenseur, ce que nous n'avons jamais réalisé. D'autres utilisateurs de la méthode proposent de réséquer l'extrémité fracturaire afin de créer une perte de substance circonférentielle. Cette technique est contraire à la méthode d'Ilizarov, car on aborde le foyer de pseudarthrose, geste qui contribue à la dévascularisation des extrémités fracturaires.

Pour notre part, le montage a toujours été mis en compression mais dans tous les cas, une greffe osseuse a été nécessaire afin de combler le défaut osseux et obtenir ainsi une consolidation satisfaisante.

Dans deux cas, une méthode de Papineau a été associée au fixateur externe en raison d'une perte de substance cutanée et osseuse. Dans ce cas de figure, ILIZAROV préconise de réaliser un geste de recouvrement cutané par lambeau fascio-cutané ou musculo-cutané.

Dans un autre cas, la perte de substance osseuse est comblée d'emblée par une greffe cortico-spongieuse en raison du caractère atrophique de la pseudarthrose.

Dans un cas, une greffe intertibiopéronière a été réalisée en cours de traitement.

Enfin, dans un cas, une greffe cortico-spongieuse est pratiquée après ablation du fixateur.

Utilisé en association avec une greffe osseuse, le fixateur externe d'Ilizarov semble constituer un moyen d'immobilisation de la pseudarthrose, plus qu'un moyen de consolidation.

4 - CORRECTIONS DES DEVIATIONS AXIALES : 12 cas (11 tibias, un fémur)

La correction axiale peut s'effectuer soit en extemporané à la pose de l'appareil soit de façon progressive généralement à l'aide de broches à olives tractant dans la concavité de la déformation.

Dans 11 cas, la correction axiale a été réalisée en extemporané. Un cas a nécessité une modification du montage au 8ème jour post-opératoire, la correction axiale per-opératoire étant insuffisante.

Un seul cas a bénéficié d'une correction axiale progressive avec succès.

5 - SUITES IMMEDIATES

a) Date d'appui

L'appui soulagé en post-opératoire immédiat fait partie intégrante de la méthode d'Ilizarov. Le délai d'appui effectif est de 5,5 jours avec des extrêmes de 2 jours et de 21 jours.

Cet appui a été réalisable chez 17 patients (on exclut les 4 pseudarthroses humérales et les 3 patients amputés).

Au 5ème jour post-opératoire, 14 patients marchaient en appui soulagé sur le membre opéré.

b) Antibiothérapie

Notre attitude vis à vis de l'antibiothérapie est différente de celle préconisée par Ilizarov. Nous estimons qu'il est hasardeux de se passer de traitement antibiotique hormis dans le cas d'infection torpide.

Ainsi, sur 18 pseudarthroses septiques :

- 10 patients n'ont pas eu d'antibiothérapie,
- 8 patients ont bénéficié d'une antibiothérapie à visée curative.

II - RESULTATS

A - INCIDENTS - ACCIDENTS

1 - PROBLEMES LIES AUX BROCHES

Nous avons souvent constaté une intolérance aux broches, liée dans la plupart des cas, à l'inflammation de l'orifice de broche. Le problème a été facilement résolu en réalisant une petite incision cutanée périorificielle sous anesthésie locale.

Deux cas de réactions cutanées allergiques au matériel transosseux ont été remarqués. Ceux-ci se sont résolus grâce à un traitement adapté.

Nous dénombrons seulement 4 cas d'infections d'orifices de broches. Dans deux cas, l'ablation de la broche concernée a été nécessaire.

Aucun cas d'infection grave avec ostéite n'a été remarqué.

Chez plusieurs patients, les phénomènes d'intolérance aux broches ont suscité l'ablation prématurée de l'appareil.

2 - COMPLICATIONS POST-OPERATOIRES

Nous ne relevons aucune complication vasculaire ou nerveuse lors de la pose de l'appareil dans notre série.

B - RESULTATS SUR LA CONSOLIDATION

1 - PSEUDARTHROSES SIMPLES : 2 cas

Il s'agit de deux pseudarthroses du tibia de type atrophique avec trait de fracture oblique long. Aucun de ces deux cas n'a consolidé. Ils seront étudiés plus amplement dans un chapitre à part.

2 - PSEUDARTHROSES SEPTIQUES SANS PERTE DE SUBSTANCE : 9 cas

Tous les patients entrant dans cette catégorie ont consolidé.

- **Le délai moyen de consolidation est de moins de 4 mois (114 jours).**

- 4 pseudarthroses étaient atrophiques et ont consolidé en 4 mois en moyenne (120 jours).

- 5 pseudarthroses étaient hypertrophiques et ont consolidé en 3 mois et demi en moyenne (109 jours).

La différence est peu significative d'autant plus que le nombre de cas étudié est trop restreint pour apporter une conclusion.

Par contre, les excellents résultats observés dans cette catégorie nous permettent de constater que l'infection n'influe pas sur la consolidation osseuse.

3 - PSEUDARTHROSES AVEC PERTE DE SUBSTANCE OSSEUSE : 13 cas.

a) Perte de substance circonférentielle : 8 cas.

Deux pseudarthroses n'ont pas consolidé. Il s'agit de deux pseudarthroses septiques de l'humérus. Nous verrons les raisons de cet échec dans un chapitre ultérieur.

Dans 6 cas, la consolidation a été acquise dans un délai moyen de 4 mois et demi (135 jours) :

- un humérus en 113 jours.
- un fémur en 154 jours,
- 4 tibias en 144 jours en moyenne.

b) Perte de substance partielle : 5 cas

La consolidation a été acquise dans 4 cas avec un délai moyen de 8 mois et demi (252 jours).

Toutes ces pseudarthroses étaient atrophiques. Un des patients a porté l'appareil durant 10 mois. Une greffe intertibiopéronière pratiquée au 8ème mois de traitement a permis d'obtenir une consolidation qui n'a été satisfaisante qu'au 16ème mois. Les autres patients ont consolidé plus rapidement (6 mois environ) mais ont également bénéficié d'une greffe osseuse.

L'échec de consolidation présentait une consolidation incomplète à l'ablation du matériel. La consolidation définitive a été obtenue secondairement avec une greffe cortico-spongieuse.

Aux vues de ces résultats il reste à déterminer si c'est la greffe osseuse ou l'application de la méthode d'Ilizarov qui a entraîné la consolidation osseuse.

4 - EN FONCTION DE L'ASPECT RADIOLOGIQUE

Comme nous avons pu le constater dans notre série, nous avons privilégié la consolidation osseuse sans chercher à retrouver la longueur du segment osseux.

Il est intéressant de comparer le mode d'utilisation du montage selon le type hypertrophique ou atrophique de la pseudarthrose.

Tous les montages ont été effectués en compression initiale. Par la suite, cette compression a été soit séquentielle (toutes les 3 semaines environ) soit progressive en alternance avec des périodes de distraction.

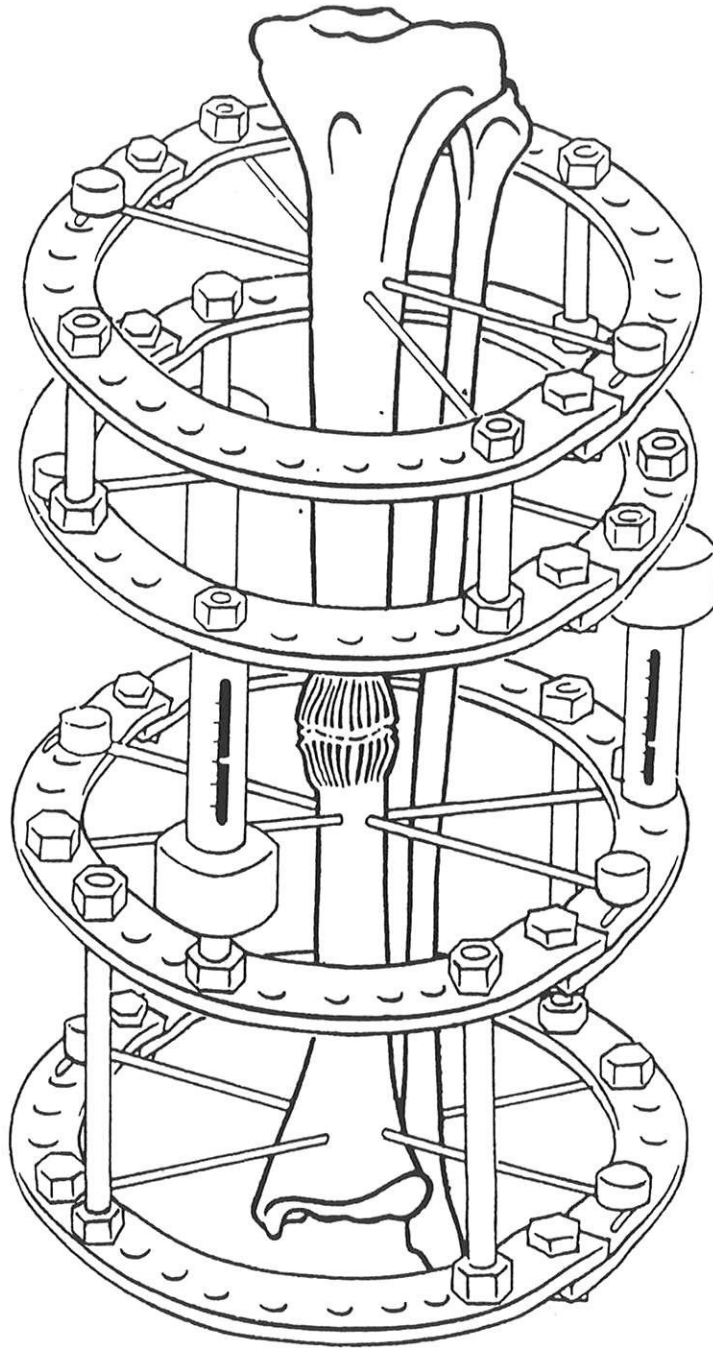
| | | Consolidation 19 | Echecs 5 | TOTAL |
|----------------------|------------------------------------|---------------------|-------------|-------|
| Atrophiques 16 | compression initiale | 6 | 3 | 9 |
| | compression séquentielle | 4 | 1 | 5 |
| | compression distraction monofocale | 2 | | 2 |
| Hypertrophiques 8 | compression initiale | 2 | 1 | 3 |
| | compression séquentielle | 4 | | 4 |
| | compression distraction monofocale | 1 | | 1 |

A partir de ce tableau, on constate que la moitié de nos cas a été traité par une simple compression à la pose de l'appareil. Parmi ces 12 cas, on retrouve 4 de nos 5 échecs de consolidation. La stimulation de l'ostéogénèse est donc plus efficace lorsqu'on dynamise le fixateur. Ceci est d'autant plus vrai que la pseudarthrose est atrophique (4 échecs sur 16) contre un seul échec dans les pseudarthroses hypertrophiques (patient présentant une pseudarthrose de l'humérus après lésion de l'artère humérale et du plexus brachial).

Le délai moyen de consolidation est de 5 mois et demi (169 jours) pour les pseudarthroses atrophiques (12 cas) et de 4 mois (116 jours) pour les pseudarthroses hypertrophiques (7 cas).

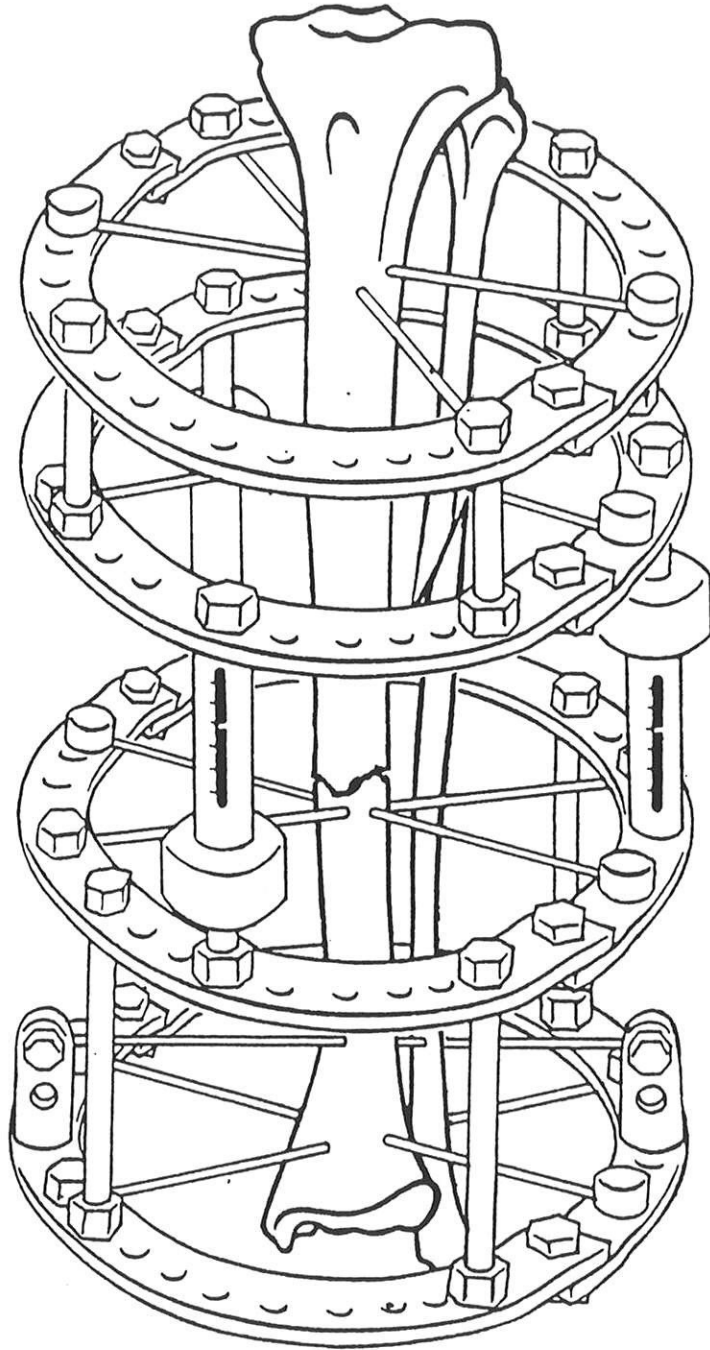
On constate que le délai de consolidation est allongé lorsque la pseudarthrose est de type atrophique. Néanmoins, notre série n'est pas assez importante pour apporter une conclusion définitive. De plus, d'autres facteurs entrent en jeu dans la réussite du traitement.

PSEUDARTHROSES HYPERTROPHIQUES



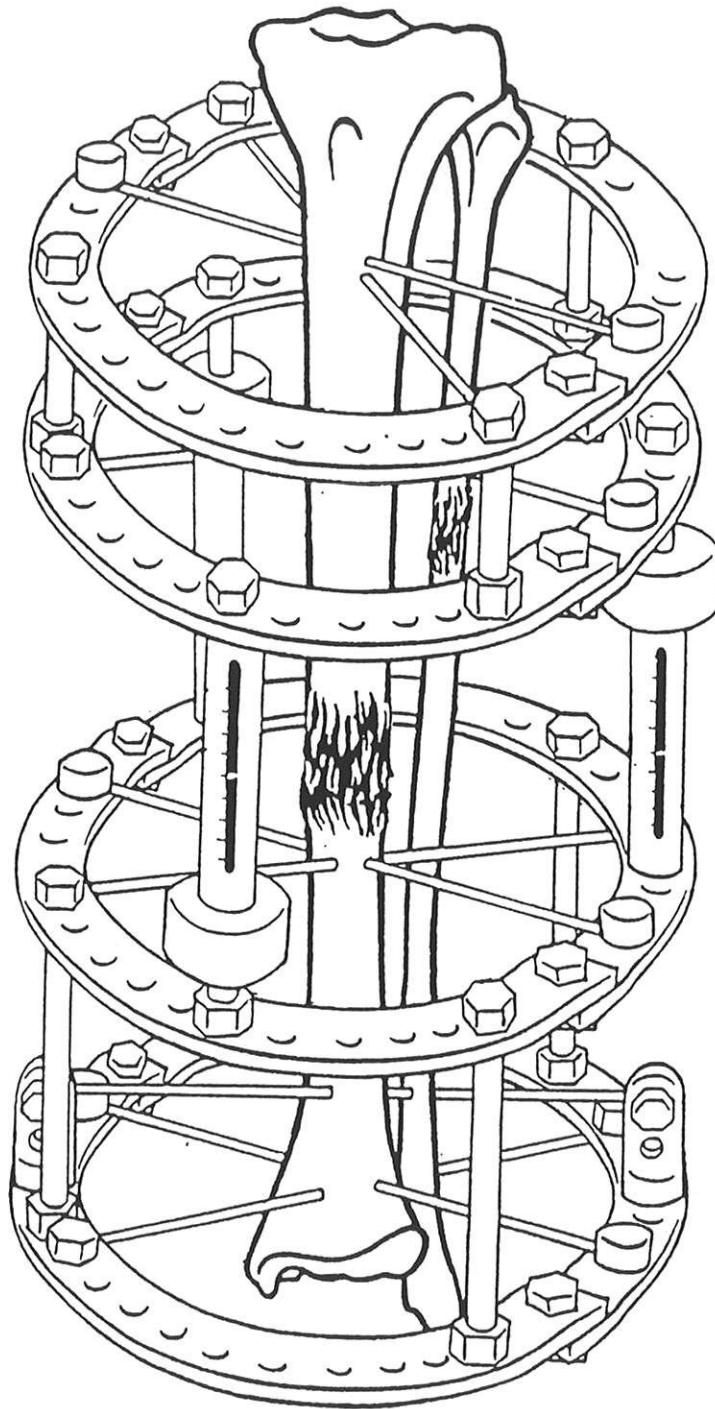
montage en compression

PSEUDARTHROSES ATROPHIQUES



1ère phase : Stabilisation de la pseudarthrose par montage comportant 4 anneaux.
Compression d'1mm par jour pendant quelques jours . .

PSEUDARTHROSES ATROPHIQUES



2ème phase : compression distraction monofocale

C - RESULTATS SUR L'INFECTION

- 18 pseudarthroses septiques (3 humérus, 2 fémurs, 13 tibias)

L'attitude vis à vis de l'infection ne correspond pas tout à fait à l'attitude préconisée par ILIZAROV : pas de geste intrafocal, tarissement spontané des fistules, exérèse des gros séquestres uniquement, et pas d'antibiothérapie.

Pour notre part, nous avons réalisé 8 gestes intrafocaux :

- 4 ablations de matériel de synthèse,
- 2 avivements dont un percutané,
- une excision de fistule,
- une excision de pseudarthrose.

8 patients ont bénéficié d'une antibiothérapie à visée curative.

Les résultats sur l'infection sont :

- 14 assèchements,
- 3 fistules persistantes,
- une ostéite avec fistule.

Les 4 pseudarthroses non asséchées ont consolidé.

Dans deux cas, la persistance de la fistule était liée à la présence d'un gros séquestre au sein de la pseudarthrose. Dans un cas, il s'agissait de matériel étranger type Bop.

Dans le 3ème cas, la fistule siégeait au dessus du foyer de pseudarthrose et correspondait à un orifice de fiche de fixateur externe, type orthofix, posé lors du traumatisme initial. L'existence d'un séquestre à ce niveau est également en cause.

Dans ces 3 cas, l'excision du trajet fistuleux pratiquée plus de 6 mois après la consolidation osseuse a permis d'obtenir la guérison définitive.

Dans le dernier cas, une ostéite est associée à la fistule et siège au niveau de la pseudarthrose. Il s'agissait initialement d'une pseudarthrose septique de la métaphyse

supérieure du tibia avec perte de substance osseuse et cutanée traitée par l'association fixateur externe d'Illizarov et méthode de Papineau. La consolidation a été obtenue dans un premier temps avec assèchement. La récurrence infectieuse est à attribuer à un échec de la méthode de Papineau. Pour traiter ce patient, nous avons réalisé secondairement une excision curetage du foyer d'ostéite. Le patient est en voie de guérison.

D - ABLATION DU MATERIEL

La date d'ablation du matériel ne correspond pas tout à fait à la date de consolidation de la pseudarthrose. En effet, dans certains cas, nous avons préféré conserver le matériel alors que la consolidation radiologique paraissait acquise. Dans d'autres cas au contraire, le matériel étant mal toléré, nous l'avons remplacé prématurément par une immobilisation complémentaire.

Le matériel a été retiré à 4,5 mois (131 jours) de traitement en moyenne :

- à 4,5 mois (133 jours) pour les patients consolidés (19 cas),
- à 4 mois (122 jours) pour les échecs de consolidation (5 cas).

Une immobilisation complémentaire a été réalisée dans 12 cas, sur 19 consolidés, pour une durée moyenne de 45 jours. Dans 11 cas, il s'agissait d'un plâtre de marche.

E - RESULTAT ANATOMIQUE

1 - CAL VICIEUX

Sur les 19 patients consolidés, 10 présentaient une déviation axiale dans le plan frontal ou sagittal.

A la fin du traitement, deux patients présentent un cal vicieux important :

Dans un cas, il s'agissait d'une pseudarthrose serrée du fémur qui, initialement, présentait un varus de 35 ° associé à un flessum de 25 °. Afin de mobiliser le foyer de pseudarthrose lors de la pose de l'appareil, le chirurgien a réalisé un avivement percutané à l'aide d'un ciseau à os. Ce geste à minima a permis de corriger la déviation axiale dans le plan frontal. Par la suite, le patient étant peu coopératif, les modifications nécessaires permettant de corriger le flessum n'ont pu être réalisées. A la fin du traitement, le patient présente un varus de 5 ° avec un flessum de 25 °. Sur le plan fonctionnel, il ne présente aucune gêne à 3 ans de recul.

Dans l'autre cas, il s'agissait d'une pseudarthrose lâche du tibia avec perte de substance osseuse partielle. Le trouble d'axe associait un valgus de 25 ° à un récurvatum de 10 °. La correction axiale s'est effectuée en extemporanée, à la pose de l'appareil. A 10 mois, le montage a été retiré, la consolidation semblant acquise. Secondairement, le patient a vraisemblablement présenté une fracture itérative entraînant la formation d'un cal vicieux avec un valgus de 20 ° (consolidation à 16 mois). Une ostéotomie de varisation au dessus du cal a permis de corriger définitivement la déviation axiale.

2 - RACCOURCISSEMENT

Deux patients présentent une irrégularité de longueur au membre inférieur : il s'agit d'un fémur et d'un tibia.

Au fémur, le raccourcissement est de 3 cms. Ce cas correspond à un patient non coopératif présentant également un cal vicieux en fin de traitement. Si on reprend l'histoire de la pseudarthrose, initialement la fracture est secondaire à une tentative d'autolyse par explosifs. Après 8 mois de traitement par fixateur externe d'Hoffmann, il présente une pseudarthrose septique du fémur avec perte de substance osseuse de l'ordre de 2 cms sans raccourcissement. L'objectif fixé chez ce patient est d'obtenir une consolidation rapide. Un montage en compression distraction monofocale consécutive permettant de combler le défaut osseux est récusé, car la consolidation du régénérat en distraction rallongerait la durée de traitement de 2 à 3 mois. Actuellement, le raccourcissement n'entraîne pas de gêne fonctionnelle chez ce patient qui a retrouvé son autonomie et qui ne songe plus à se suicider.

Au tibia, le raccourcissement est de 3 cms. Le patient est âgé de 77 ans et présentait une pseudarthrose septique du tibia avec perte de substance de l'ordre de 2 cms et sans raccourcissement. Etant donné l'âge élevé de ce patient, on opte pour un montage en compression séquentielle afin d'obtenir rapidement la consolidation et l'assèchement. Le patient est guéri et l'appareil retiré au 3ème mois. Actuellement, il est autonome et marche sans canne et sans talonnette de compensation.

F - RESULTAT FONCTIONNEL

1 - RAIDEUR ARTICULAIRE

La rééducation précoce avec reprise fonctionnelle du membre opéré a pour but d'éviter les raideurs articulaires quasiment inévitables dans ce type d'affection de longue durée.

On dénombre :

- 11 raideurs de cheville dont 3 majeures, consécutives aux pseudarthroses du tibia,
- 5 raideurs du genou dont une majeure consécutive à une pseudarthrose du 1/3 inférieur du fémur,
- suite aux pseudarthroses humérales (4), on dénombre 3 raideurs du coude dont une sévère et une raideur modérée de l'épaule.

Dans l'ensemble, la raideur articulaire était antérieure à la pose de l'appareil d'Ilizarov, on note une seule aggravation contre 4 améliorations.

2 - DOULEUR

A plus d'un an de recul, deux patients présentent des phénomènes algiques siégeant au niveau articulaire et nécessitant la prise d'antalgique de façon occasionnelle.

3 - MARCHE

Sur 20 patients atteints au membre inférieur, 4 seulement ont une marche normale sans boiterie.

4 - AUTONOMIE

15 patients ont retrouvé leur autonomie, la reprise des activités antérieures s'est effectuée normalement.

4 patients sont invalides mais pour une autre raison (amputation d'un autre membre dans 3 cas, en dessous de la pseudarthrose dans un cas).

A noter que dans un cas, le patient est amputé au 1/3 moyen du tibia. Le traitement de la pseudarthrose siégeant à la métaphyse proximale du tibia a permis d'appareiller le patient en dessous du genou lui conférant ainsi une certaine autonomie.

5 patients n'ont pu reprendre le travail au poste qu'ils occupaient.

G - AU TOTAL

- Sur les 24 pseudarthroses étudiées, 19 ont consolidé (80 %) dans un délai moyen de 5 mois (150 jours).

- Sur 6 pseudarthroses aseptiques, 4 ont consolidé dans un délai moyen de 10 mois (316 jours), mais un patient a consolidé en 16 mois biaisant ainsi le résultat.

- Sur 18 pseudarthroses septiques :

- 12 sont consolidées et asséchées,
- 3 sont consolidées mais non asséchées,
- 3 sont non consolidées mais asséchées.

Le délai moyen de consolidation est de 4 mois.

Après excision secondaire de fistule et séquestrectomie, 15 patients sont guéris soit 83 % de succès, et tous les patients sont asséchés soit 100 % de réussite sur l'infection.

III - ETUDE DES ECHECS

Dans notre série, 5 patients n'ont pas consolidé. Nous allons essayer de déterminer, dans ce chapitre, la cause de l'échec de consolidation.

A - OBSERVATION N° 7

Mme M..., 76 ans, présente une pseudarthrose aseptique de la métaphyse proximale du tibia gauche dont le délai d'évolution est de 8 mois. Elle a présenté suite à un accident de la voie publique une fracture de l'extrémité supérieure des deux tibias traitée orthopédiquement. L'apparition d'une nécrose cutanée secondaire a nécessité la pose d'un fixateur externe d'Hoffmann. L'évolution a entraîné la constitution d'une pseudarthrose du tibia gauche de type atrophique, le trait est oblique long.

En raison du mauvais état cutané, nous avons opté pour un traitement par la méthode d'Ilizarov. Le montage a comporté 3 anneaux avec 2 broches arquées montées sur drapeaux afin de réaliser une compression interfragmentaire. Nous n'avons pas pratiqué de geste intrafocal.

En post-opératoire, l'appui n'a pas été effectif, la mise en compression axiale n'a pas été possible du fait de l'obliquité du trait de fracture.

Au 4ème mois, la patiente ne "voulait" plus l'appareillage, on décide de le retirer malgré la non consolidation. Il est important de rappeler que cette patiente est âgée et qu'elle est alors hospitalisée depuis la date de l'accident soit un an.

La pseudarthrose est peu mobile permettant à la patiente de marcher sans douleur à l'aide d'une canne, elle refuse toute nouvelle intervention.

Plusieurs facteurs sont à l'origine de l'échec de consolidation :

- patiente âgée, peu motivée,
- trait de fracture oblique long rendant difficile une compression interfragmentaire efficace,
- absence d'appui effectif et donc de compression axiale dynamique sur le foyer de pseudarthrose,
- durée de traitement trop bref...

Cette observation illustre bien l'importance de la motivation du patient et l'acceptation de la méthode dans la réussite du traitement. Il montre également la difficulté du traitement des pseudarthroses à trait oblique long.

B - OBSERVATION N° 17

Mme B..., 58 ans, présente une pseudarthrose septique de la métaphyse proximale du tibia gauche dont le délai d'évolution est de 4 mois et demi. Elle a été traitée initialement par fixateur externe pour une fracture ouverte stade II de Cauchoix consécutive à un accident de la voie publique. L'évolution a entraîné la constitution d'une pseudarthrose de type atrophique avec un valgus de 20 ° associé à un récurvatum de 10 °. Il existe une perte de substance osseuse partielle importante de siège antéro-interne.

A la prise en charge dans le service, étant donné le caractère septique de la pseudarthrose et l'existence d'un trouble d'axe associé, nous décidons de mettre en route un traitement selon la méthode d'Ilizarov.

Le montage a comporté 3 anneaux, un proximal avec broches montées sur drapeaux et deux distaux. Il n'a pas été pratiqué de geste intrafocal, le péroné est réséqué au cours de l'intervention.

A la pose du fixateur, la mise en compression ne permet pas d'obtenir un contact interfragmentaire satisfaisant en raison de la perte de substance partielle majorée par la correction angulaire extemporanée. Le montage est utilisé en compression séquentielle.

Au 5ème mois, on obtient une consolidation partielle jugée dans un premier temps suffisante pour retirer le fixateur. La pseudarthrose est asséchée, les axes osseux sont normalisés.

6 mois plus tard, la patiente présentant des douleurs à l'appui et une micromobilité du foyer à l'examen, on réalise des tomographies qui mettent en évidence la persistance de la pseudarthrose. On décide de pratiquer une greffe cortico-spongieuse avec ostéosynthèse par plaque. 3 mois après, la patiente est guérie, consolidée, asséchée et normoaxée.

On peut considérer ce cas comme un demi-échec car partiellement consolidé et surtout asséché, ce qui a permis de compléter la consolidation par un traitement classique.

L'échec de consolidation peut être attribué à la perte de substance osseuse comblée par un important tissu de pseudarthrose inerte. La compression axiale isolée est incapable de réactiver l'ostéogénèse sur l'ensemble des extrémités fracturaires.

Ce cas illustre les limites de la méthode d'Ilizarov dans le traitement des pertes de substance partielle et fait discuter la réduction extemporanée d'une déviation axiale importante combinée.

C - OBSERVATION N° 19

Mr B..., 43 ans, présente une pseudarthrose septique de la diaphyse humérale gauche, dont le délai d'évolution est de 10 mois. Il a présenté initialement une fracture ouverte stade III avec section de l'artère humérale et étirement du plexus brachial. La

pseudarthrose est de type hypertrophique.

Le montage a comporté deux anneaux reliés par deux tiges filetées. Une excision de fistule est réalisée en per-opératoire.

Par la suite, le patient a bénéficié de séances de rééducation avec mobilisation passive du coude et de l'épaule. Le montage n'a jamais été remis en compression.

A 3 mois et demi, devant l'absence de consolidation apparente, le fixateur externe est retiré. La patient conserve une pseudarthrose serrée avec 10 ° de mobilité, bien supportée. On décide de ne pas réintervenir.

Les causes de l'échec sont :

- Le manque de stabilité du montage. Habituellement, un montage à deux anneaux est suffisant au niveau de l'humérus. Dans le cas présent, de part l'existence d'un oedème très important, lié à la stase veineuse, la distance séparant le segment osseux des anneaux est trop grande. Pour obtenir une stabilité satisfaisante, il eut été nécessaire de placer un 3ème anneau au tiers moyen de l'humérus.

- L'absence de remise en fonction du membre lésé. Du fait de la section de l'artère humérale et de la lésion du plexus brachial, le patient présente un membre inerte, activité musculaire inexistante, absence de mouvements articulaires actifs.

Paradoxalement, nous possédons dans notre série deux cas de pseudarthrose sur réimplantation de membre, toutes deux consolidées par la méthode d'Ilizarov. En fait, la lésions vasculo-nerveuse siégeant au niveau de la pseudarthrose, la mobilisation active de l'articulation sus-jacente n'est pas altérée, permettant ainsi la reprise fonctionnelle.

Cette observation nous permet de constater la place importante que tient la mise en fonction du membre dans la méthode d'Ilizarov.

D - OBSERVATION N° 20

Mme P..., 35 ans, présente une pseudarthrose septique de la diaphyse humérale gauche dont le délai d'évolution est de 23 mois. Elle a présenté initialement une fracture fermée traitée par plaque vissée. Secondairement, la pseudarthrose a été traitée par enclouage fasciculé puis par greffe cortico-spongieuse vissée.

La pseudarthrose est de type atrophique avec des extrémités lytiques.

Le montage a comporté 3 anneaux. Un geste intrafocal a été réalisé lors de la pose de l'appareil, consistant en une ablation de matériel et excision du tissu de pseudarthrose. Il n'y a pas eu de compression secondaire. La mobilisation articulaire a été précoce et active.

Au 5ème mois, le fixateur est retiré. Des tomographies permettent de constater la persistance d'une solution de continuité. Le foyer de pseudarthrose est asséché. La patiente conserve une pseudarthrose serrée possédant 10 ° de mobilité, bien supportée.

Les facteurs contribuant à l'échec sont :

- le délai d'évolution de 23 mois,
- le nombre d'intervention sur le foyer de fracture (4) entraînant la **dévascularisation** des extrémités fracturaires,
- l'absence de dynamisation du fixateur,
- écart interfragmentaire important.

E - OBSERVATION N° 23

Mme F..., 78 ans, présente une pseudarthrose aseptique de la diaphyse du tibia droit dont le délai d'évolution est de 9 mois. Elle a présenté initialement une fracture fermée traitée par plaque vissée puis secondairement par fixateur d'Ilizarov. La pseudarthrose est de type

atrophique, le trait est oblique long, il existe une déviation axiale en rotation externe de l'ordre de 40 °.

A la prise en charge dans le service, on constate que le montage est insuffisant :

- péroné consolidé empêchant la compression axiale lors de l'appui,
- absence de compression interfragmentaire.

On décide de modifier le montage en réalisant une résection du péroné en regard de la pseudarthrose. Le nouveau montage a comporté 3 anneaux avec broches à olives montées sur drapeaux permettant une compression interfragmentaire. L'obliquité importante du trait de pseudarthrose n'a pas permis de réaliser de compression séquentielle.

A 3 mois, l'appareil a été retiré et relayé par un plâtre de Sarmiento pendant un mois. Le foyer de pseudarthrose est hypertrophique traduisant une ostéogénèse effective mais aussi une instabilité du montage.

Par la suite, une greffe intertibiopéronière a permis d'obtenir la consolidation en 4 mois.

Dans ce cas, l'échec de consolidation est lié au manque de stabilité du montage :

- en premier lieu, on incrimine une raideur de cheville majeure, séquelle d'une fracture bimalléolaire ancienne, reportant les contraintes dans le foyer de pseudarthrose,
- la distance entre l'os et le bord interne de l'anneau est trop grande,
- absence de compression interfragmentaire séquentielle.

F - SYNTHÈSE

La première constatation concerne la date de retrait du fixateur externe. Les patients ont conservé l'appareil 3 à 5 mois seulement. On peut se demander si la poursuite du traitement n'aurait pas amené la consolidation à terme.

Dans deux cas le traitement a été appliqué à des patients présentant une contre-indication relative à la méthode :

- patiente âgée, non motivée (observation n° 7)
- mise en fonction impossible (observation n° 19)

Dans deux cas, le montage ne présentait pas une stabilité optimale :

- en raison de l'épaisseur des parties molles (observation n° 19),
- en raison d'un trait de fracture oblique long et d'une raideur sévère de cheville antérieure au traitement (observation n° 23).

Finalement, deux échecs sont imputables à la méthode et liés :

- à une perte de substance osseuse partielle (observation n° 17)
- à la dévascularisation des extrémités fracturaires par gestes chirurgicaux itératifs (observation n° 20)

L'analyse de ces échecs est intéressante car elle nous montre la multitude de facteurs, voire de "détails", présidant aux conditions idéales d'application de la méthode d'Ilizarov.

LES AUTRES SERIES

L'apparition récente de la méthode d'Illizarov dans les pays occidentaux fait que les références bibliographiques sur l'application clinique de la méthode sont peu nombreuses. Nous envisagerons dans ce chapitre les résultats des équipes ayant adopté la méthode dans le traitement des pseudarthroses et son mode d'application.

1 - En 1984, CONFALONIERI et coll. (Milan) (36) présentent leurs premières expériences à propos de 11 cas dont 8 guéris au moment de la parution de leur publication. Il s'agissait d'une pseudarthrose septique fistulisée de fémur et de 7 pseudarthroses aseptiques (6 tibias, un fémur). Elles étaient toutes atrophiques mais sans perte de substance.

Le délai moyen de consolidation est de 108 jours. Aucun abord du foyer, aucune greffe ne furent nécessaires pour obtenir la consolidation.

2 - En 1985, (l'équipe de Lecco), CATTANEO, VILLA, TATAGNI, TENTORI (28) rapporte 20 cas de pseudarthroses diaphysaires septiques et aseptiques, sans perte de substance osseuse, traitées par compressions successives.

Il s'agissait de 13 jambes, 3 fémurs et 4 humérus. 11 étaient fistulisées, 9 aseptiques.

- 19 ont consolidé avec un délai moyen de 200 jours,

- 2 cas ont nécessité 15 mois de traitement,

- 1 cas de fistule persistante mais solide.

Aucun geste intrafocal n'a été réalisé.

3 - La même équipe de Lecco (CATAGNI) définit les modalités thérapeutiques des pseudarthroses de jambe selon leurs caractères :

- Dans les pseudarthroses sans perte de substance :

Les formes hypertrophiques sont traitées en compression monofocale avec résection du péroné. Les formes atrophiques sont traitées en compression distraction bifocale sans résection du péroné.

- Dans les pseudarthroses avec perte de substance :

En fonction de l'importance de la perte de substance et de l'existence d'un raccourcissement, plusieurs modalités thérapeutiques sont envisagées :

- soit ostéosynthèse monofocale de compression (un mois) et distraction successive pour les raccourcissements minimes.

- soit ostéosynthèse transosseuse de compression distraction bifocale pour les moyennes pertes de substance sans raccourcissement et les raccourcissements importants sans perte de substance.

- soit ostéosynthèse bifocale avec double distraction compression dans le cas de perte de substance majeure ou lorsque la perte de substance est associée à un raccourcissement.

- CATAGNI présente une série de 38 pseudarthroses aseptiques de jambe dont 32 sans perte de substance et 6 avec perte de substance osseuse.

Il a réalisé :

- 28 montages en compression monofocale,
- 3 montages en compression distraction bifocale,
- 2 montages en double distraction.

Toutes ces pseudarthroses aseptiques de jambe ont consolidé.

4 - En 1986, TERVER, PASCAREL et HENRY (149) présentent, lors du symposium sur la méthode d'Ilizarov à la SOFCOT, une étude multicentrique réalisée par l'ASAMIF (Association pour l'étude Systématique et l'Application de la Méthode d'Ilizarov en France).

L'étude porte sur 60 pseudarthroses dont 20 septiques.

28 cas présentent une perte de substance osseuse dont 13 sont septiques.

Dans les 25 pseudarthroses dites "simples", car aseptiques et sans perte de substance osseuse, le traitement n'a jamais comporté de geste intrafocal. La résection du péroné a été

systematique. Les montages ont été réalisés en compression interfragmentaires. 8 modifications du montage ont été nécessaires en cours de traitement.

La consolidation a été acquise dans 24 cas sur 25, avec un délai moyen de 140 jours. Les formes atrophiques ont consolidé en 185 jours contre 126 jours pour les formes hypertrophiques.

Dans les 20 pseudarthroses septiques, le montage a été appliqué en compression. Ils constatent 3 non-consolidations. Les délais de consolidation sont identiques aux pseudarthroses simples. Toutes les fistules ont été asséchées en 30 jours, mais deux patients ont présenté un réveil infectieux dont un n'était pas consolidé.

Dans les 28 cas présentant une perte de substance osseuse ; 23 cas ont bénéficié d'un montage classique en compression ; ils comptabilisent 3 échecs parmi ces 23 cas.

Un montage en compression distraction bifocale a été réalisé dans 3 cas, et un montage en compression distraction monofocale dans deux cas. On ne constate aucun échec chez ces 5 patients.

5 - En 1989, MERLOZ et coll. (106) rapportent une série de 87 cas de l'ASAMIF étudiés dans la thèse de Y. TOURNE. A partir de l'étude des résultats, ils définissent une conduite thérapeutique en fonction des caractères de la pseudarthrose.

Cette étude regroupe 15 centres et 31 chirurgiens. Elle comprend 87 cas de pseudarthroses dont 59 tibias, 20 fémurs, 5 humérus et 3 arthrodèses.

La pseudarthrose était septique dans 44 cas et aseptique dans 43 cas.

39 cas présentent une perte de substance osseuse, soit partielle (23 cas), soit circonférentielle (16 cas).

La consolidation a été acquise dans 92 % des cas (80/87). 93 % sont asséchées (41/44). Le résultat est durable dans le temps.

Modalités thérapeutiques :

- Dans les pseudarthroses simples (27 cas) :

Le traitement n'a jamais comporté de geste sur le foyer de pseudarthrose. La résection du péroné dans les pseudarthroses tibiales a été systématique. Le montage a été mis en compression axiale simple dans tous les cas, soit progressive dans 14 cas, soit instantanée dans 13 cas. Le délai moyen de consolidation est de 110 jours. Les pseudarthroses hypertrophiques ont consolidé en 94 jours, les atrophiques en 136 jours. On constate un échec de consolidation où l'appareil a été retiré trop tôt.

- Dans les pseudarthroses septiques sans perte de substance (21 cas) :

Les montages ont été semblables à ceux des pseudarthroses simples. Toutes les pseudarthroses septiques simples ont consolidé dans un délai moyen de 160 jours. Les tibias ont consolidé en 133 jours, les fémurs en 210 jours,

- Dans les pseudarthroses avec perte de substance (39 cas) :

Le délai moyen de consolidation est de 137 jours pour les pseudarthroses aseptiques et de 172 jours pour les pseudarthroses septiques. Les délais de consolidation sont augmentés du fait de l'allongement dans le foyer afin de retrouver la longueur du membre.

Plusieurs modalités thérapeutiques ont été envisagées en fonction de l'importance de la perte de substance et de l'existence d'un raccourcissement.

- Pour les pertes de substance minimales sans raccourcissement, le montage est mis en compression simple. Le délai de consolidation est identique aux pseudarthroses sans perte de substance : 110 jours pour les pseudarthroses aseptiques et 160 jours pour les pseudarthroses septiques.

- Pour les pertes de substance minimales avec raccourcissement inférieur à 30 mm, le montage est effectué en compression distraction monofocale. Le délai moyen de consolidation est de 246 jours.

- Pour les pertes de substance majeures avec raccourcissement de plus de 30 mm, ils préconisent un montage en compression distraction fibocale. Le délai moyen de consolidation est de 273 jours.

Parmi les 7 échecs de la série, 6 présentaient une perte de substance osseuse. Sur les 23 cas de perte de substance septique, 21 sont asséchés.

Les problèmes d'intolérance aux broches sont nombreux puisqu'on constate 35 infections sur broche dont 10 avec ostéolyse et 5 bris de broches.

6 - W. LOKIETEK et coll. (Belgique) (91), en 1986, présentent 8 cas de pseudarthroses septiques, dont 3 fémurs et 5 tibias. Ils ont réalisé un programme de compression distraction alterné. 4 patients ont consolidés avec ce programme. Dans les autres cas, l'évolution étant stationnaire à 3 mois, les auteurs ont pratiqué une corticotomie métaphysaire de distraction qui a permis la consolidation.

7 - DE CLOEDT (39), en 1988, présente une étude comparative réalisée par la même équipe chirurgicale sur 37 cas de pseudarthroses septiques.

27 patients sont traités par méthode conventionnelle (lavage - résection - greffe osseuse). Parmi ces patients, 14 présentaient une pseudarthrose de type I, "réactive" selon la classification de WEBER et CECH. Les 13 autres présentaient une pseudarthrose de type II, aréactive. 10 patients ont bénéficié de la méthode d'Illizarov.

Résultats :

Dans les 27 cas traités par méthode conventionnelle :

- 13 type I sur 14 ont consolidé dans un délai moyen de 8 mois. 4 ne sont pas asséchés.

- 9 type II sur 13 ont consolidé dans un délai moyen de 12 mois. Seulement 6 sont asséchés.

Les 10 cas traités par méthode d'Illizarov ont tous consolidé, les type I en 8 mois et les types II en 12 mois. Ils sont tous asséchés.

Les auteurs concluent que l'utilisation de la méthode d'Illizarov dans les pseudarthroses de type I n'est justifiée que par les nombreuses possibilités de montage qu'offre l'appareil (correction d'axe, comblement de perte osseuse).

Les bons résultats observés dans les pseudarthroses de type II en font une indication

de choix des pseudarthroses septiques aréactives.

8 - En 1989, CANUTI (Florence) (24) présente une série de 42 pseudarthroses aseptiques de jambe, dont 24 hypertrophiques et 18 atrophiques.

Les montages utilisés comprennent 29 compressions seules, 4 compressions distractions monofocales, 5 compressions distractions bifocales et 4 péronés pro-tibia. Le délai moyen de consolidation est de 121 jours pour les pseudarthroses hypertrophiques et de 150 jours pour les atrophiques.

9 - En 1989, CIUCCARELLI et coll. (Bologne) (35) rapportent 26 cas de pseudarthroses septiques et aseptiques. Ils obtiennent 19 consolidations avec un délai moyen de 6 mois. Ils constatent que :

- le temps de consolidation est bref,
- le cal est précoce, abondant, de type périosté,
- la récupération fonctionnelle est immédiate,
- l'appareil est très bien toléré.

10 - En 1989, les premières publications américaines apparaissent. **MORANDI et coll. (112)**, rapportent 13 cas de pseudarthroses septiques de jambe avec un recul de 2 ans. Toutes ces pseudarthroses étaient atrophiques. Aucun geste intrafocal n'a été réalisé. Le montage a été réalisé en compression simple une fois et 12 fois en compression distraction bifocale.

Tous les patients sont guéris, consolidés et asséchés. L'élimination de séquestres a été spontanée dans 4 cas.

La durée moyenne de traitement a été de 6 à 7 mois.

11 - PEARSON et PERRY (120), en 1989, présentent la première étude américaine. 5 pseudarthroses sont traitées par la méthode d'Ilizarov modifiée par RICHARDS. Le montage est réalisé en compression distraction bifocale.

4 patients ont constitué un régénérat sur le site de corticotomie en distraction. Une fois, le défaut osseux comblé, 3 des 4 patients ont nécessité une fixation interne sur le site de pseudarthrose. On constate qu'un seul des 5 patients a consolidé par compression du foyer de pseudarthrose comme le préconise ILIZAROV.

12 - CARFORA et CHIRONI (25), en 1989, présentent 13 cas de pseudarthroses dyaphysaires. Il s'agit de 2 avant-bras, 3 fémurs et 8 tibias.

85 % ont consolidé dans un délai moyen de 154 jours.

13 - GALANTE et coll. (54), (Bari), en 1990, rapportent 24 pseudarthroses de jambe dont 18 septiques (12 fistules).

La consolidation est acquise chez 22 patients dans un délai moyen de 7 mois. 6 patients ont présenté des fistules persistantes en fin de traitement.

TABLEAU RECAPITULATIF I
MATERIEL D'ETUDE

| Numéro observation | Segment | Caractère | Type | Perte de subst. osseuse | Troubles d'axes | Durée évol. (mois) | Geste associé |
|--------------------|---------|-----------|----------------|-------------------------|-----------------|--------------------|------------------|
| 1 | Tibia | Septique | Atrophique | non | non | 5 | section péroné |
| 2 | Tibia | Septique | Atrophique | non | non | 6 | non |
| 3 | Tibia | Septique | Hypertrophique | circonférentielle | oui | 5 | ams + excision |
| 4 | Tibia | Septique | Atrophique | non | non | 28 | section péroné |
| 5 | Fémur | Septique | Atrophique | circonférentielle | oui | 8 | avivement |
| 6 | Tibia | Septique | Hypertrophique | non | oui | 6 | section péroné |
| 7 | Tibia | Aseptique | Atrophique | non | non | 8 | non |
| 8 | Tibia | Aseptique | Atrophique | circonférentielle | oui | 14 | section péroné |
| 9 | Humérus | Septique | Hypertrophique | non | non | 50 | non |
| 10 | Tibia | Septique | Atrophique | circonférentielle | non | 5 | avivement |
| 11 | Tibia | Septique | Hypertrophique | non | non | 2 | excision pseud. |
| 12 | Humérus | Aseptique | Atrophique | non | non | 8 | non |
| 13 | Tibia | Septique | Atrophique | circonférentielle | oui | 12 | section péroné |
| 14 | Tibia | Septique | Hypertrophique | partielle | non | 3 | non |
| 15 | Tibia | Aseptique | Atrophique | partielle | oui | 13 | greffe osseuse |
| 16 | Tibia | Septique | Atrophique | partielle | non | 3 | ams + excision |
| 17 | Tibia | Septique | Atrophique | partielle | oui | 5 | section péroné |
| 18 | Tibia | Aseptique | Atrophique | partielle | oui | 4 | non |
| 19 | Humérus | Septique | Hypertrophique | circonférentielle | non | 10 | excision fistule |
| 20 | Humérus | Septique | Atrophique | circonférentielle | non | 23 | ams + excision |
| 21 | Tibia | Septique | Hypertrophique | non | oui | 7 | section péroné |
| 22 | Tibia | Septique | Atrophique | non | oui | 2 | section péroné |
| 23 | Tibia | Aseptique | Atrophique | non | oui | 9 | section péroné |
| 24 | Fémur | Septique | Hypertrophique | non | non | 4 | ams + excision |

**TABEAU RECAPITULATIF II
RESULTATS**

| Numéro observation | Gestes secondaires | Intolérance broches | Consolidation | Délai en jour | Infection | Op. à distance |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------|---------------|--------------------------|-------------------|
| 1 | non | non | oui | 94 | Assèchement | non |
| 2 | compression | non | oui | 187 | Assèchement | Excision fistule |
| 3 | compression | allergie | oui | 115 | Assèchement | non |
| 4 | non | allergie | oui | 98 | Assèchement | non |
| 5 | non | infection | oui | 154 | Assèchement | non |
| 6 | compression+axe | non | oui | 185 | Fistule | Excision fistule |
| 7 | non | non | Non | — | — | Refus |
| 8 | compression | infection | oui | 191 | — | non |
| 9 | comp-distraction | non | oui | 145 | Assèchement | non |
| 10 | non | non | oui | 101 | Assèchement | non |
| 11 | compression | non | oui | 84 | Assèchement | non |
| 12 | comp-distraction | non | oui | 113 | — | non |
| 13 | comp-distraction | non | oui | 138 | Fistule | Excision fistule |
| 14 | Papineau | non | oui | 158 | Assèchement | non |
| 15 | non | infection | oui | 190 | — | non |
| 16 | Papineau | non | oui | 180 | Fistule + ostéite | Excision-curetage |
| 17 | compression | non | Non | — | Assèchement | Grefe osseuse |
| 18 | compression | infection | oui | 480 | — | non |
| 19 | non | non | Non | — | Assèchement | non |
| 20 | non | non | Non | — | Assèchement | non |
| 21 | compression | non | oui | 70 | Assèchement | non |
| 22 | compression+axe | non | oui | 102 | Assèchement | non |
| 23 | non | non | Non | — | — | Grefe osseuse |
| 24 | non | non | oui | 61 | Assèchement | non |

ICONOGRAPHIE

DISCUSSION

Le but de cette étude était de déterminer la validité et la place de la méthode d'Ilizarov dans le traitement des pseudarthroses des os longs, au sein des méthodes conventionnelles. A la revue de notre série, la validité nous semble amplement démontrée. Plusieurs points méritent d'être discutés.

COMPARAISON AVEC LES AUTRES METHODES

Le **taux de consolidation** osseuse obtenu avec la méthode d'Ilizarov est de **80 %** dans notre série, contre 70 à 90 % selon les séries utilisant une méthode classique. Par contre les **délais de consolidation** apparaissent nettement plus courts, **5 mois** seulement si on prend l'ensemble de notre série.

Les **pseudarthroses septiques ont consolidé en 4 mois**, alors que par greffe intertibiopéronière ou par méthode de Papineau, les délais sont de 8 à 10 mois en moyenne.

Paradoxalement, les **pseudarthroses aseptiques** ont posé plus de problèmes avec un taux de consolidation de 66 % seulement, dans un délai moyen de 10 mois. Les méthodes classiques (enclouage centro-médullaire ou plaques vissées) permettent d'obtenir la consolidation dans 90 % des cas avec un délai moyen de 5 mois.

La **lutte contre l'infection** semble plus efficace avec la méthode d'Ilizarov. Nous obtenons 95 % d'assèchement complet durable. Ce résultat paraît définitivement acquis avec un recul supérieur à un an. Par contre, l'apport de greffe osseuse (Papineau, GITP) expose à un réveil infectieux.

Tous nos échecs de consolidation sont asséchés, ce qui permet de réaliser une méthode classique par enclouage ou plaques vissées, ce qui était irréalisable dans un premier temps.

Un autre avantage de la méthode réside dans la possibilité de traiter dans le même temps une **dévi**ation **axiale**. Lorsque la déviation est importante, la correction doit s'effectuer progressivement de manière à éviter la création d'une perte de substance osseuse "iatrogène" dans la concavité.

L'appareil d'Ilizarov permet de conserver une certaine **autonomie** :

- L'hospitalisation est de courte durée car le traitement ne comporte pas de geste chirurgical invasif ni d'irrigation pratiquée au lit du malade comme dans la méthode de Papineau.

- Le lever est précoce avec appui autorisé.

- Les raideurs articulaires sont fréquentes mais dans la plupart des cas elles sont inhérentes au traitement antérieur.

DIFFICULTES TECHNIQUES RENCONTREES

Les pseudarthroses à **trait oblique long** nous ont posé un problème dans la conduite thérapeutique. En effet, la compression axiale dynamique ne permet pas d'obtenir une compression interfragmentaire efficace, et ce, malgré la mise en place de broches à olives. La solution réside en un système permettant de réaliser une mise en compression progressive ou séquentielle par les broches à olives.

Tous les cas de **perte de substance osseuse partielle** ont nécessité un apport de greffe osseuse pour obtenir une consolidation satisfaisante. Avec une plus grande maîtrise de la méthode, l'apport osseux aurait pu être évité en pratiquant la technique de l'hémi-ascenseur comme le préconise ILIZAROV. Mais cette technique est de réalisation particulièrement difficile et prolonge nettement le traitement.

La **dynamisation du fixateur** en compression séquentielle ou compression distraction monofocale a permis d'obtenir la consolidation dans 11 cas sur 12. Par contre, en

l'absence de dynamisation, seulement 8 cas sur 12 ont consolidé. Sur la base de ces résultats, il paraît intéressant de pratiquer systématiquement une dynamisation du montage.

L'étude des échecs et de certaines imperfections séquellaires (raccourcissement, déviation axiale) nous montre la multitude de facteurs prédisant à la réussite de la méthode, ce qui implique une grande **maîtrise** dans la réalisation **technique**... et dans l'étude du problème mécanique posé.

Nos résultats dans l'ensemble peuvent apparaître modestes, mais certains cas correspondent au début de notre expérience, ce qui rehausse la valeur de la méthode. La fréquence des montages mécaniquement insuffisants doit diminuer avec la pratique de la méthode.

LES INDICATIONS

Notre travail nous a permis de déterminer la place de la méthode d'Ilizarov en fonction des caractères de la pseudarthrose.

Pseudarthroses simples aseptiques sans perte de substance osseuse : les méthodes classiques ont largement fait leur preuve dans ce type de pseudarthrose. Le choix de la méthode d'Ilizarov vit des contre-indications des autres méthodes :

- mauvais état cutané rendant dangereux tout abord chirurgical,
- déviations axiales sévères nécessitant une correction progressive.

Pseudarthroses septiques :

La méthode est efficace et permet d'obtenir dans le même temps la consolidation et l'assèchement de la pseudarthrose dans des délais très brefs.

Pseudarthroses avec perte de substance osseuse :

La compression distraction monofocale ou la technique de "l'ascenseur", permettent de se dispenser de greffe osseuse tout en récupérant la longueur du membre ou en corrigeant la perte de substance.

CONCLUSION

ILIZAROV a mis au point une méthode permettant d'associer la consolidation à une correction d'axe et de combler une perte de substance sans apport d'os et sans raccourcissement. Le traitement de l'infection est simultané et favorisé par la distraction.

Il faut rappeler la véritable "révolution" qu'a été l'arrivée de la méthode et surtout des concepts d'ILIZAROV en Europe Occidentale.

Respect absolu de la vascularisation, stabilité élastique des fragments et leur mise en charge en compression axiale sont les principes de bases de la méthode.

Une **fixation stable élastique** permettant la compression axiale est obtenu grâce à l'appareil d'Ilizarov. L'idée de remettre le foyer en compression n'est pas nouvelle.

Ce qui fait l'originalité de la méthode, c'est de **replacer le membre lésé dans des conditions physiologiques de fonctionnement** afin de stimuler l'ostéogénèse.

Les conditions essentielles du succès passent par le respect d'un certain nombre de règles :

- l'**explication** claire de la méthode, l'**acceptation** du matériel et la **motivation** du patient sont impératives avant la mise en route du traitement.

- **maîtrise technique** parfaite de toutes les possibilités de montage offertes par le matériel.

Sur la base de notre expérience, et des données de la littérature, la méthode d'Ilizarov, en particulier dans le difficile problème des pseudarthroses septiques, apparaît comme la technique de choix. Elle semble "incontournable" pour assurer à la fois la consolidation, l'assèchement septique et la préservation de l'autonomie fonctionnelle du patient, ce d'autant qu'au problème septique et de consolidation se combine un trouble d'axe ou une perte de substance osseuse.

Elle n'est pas pour nous une indication systématique mais est toujours en balance avec les traitements classiques tels que la greffe intertibiopéronière ou la méthode de Papineau.

La méthode d'Ilizarov n'est pas destinée à supplanter les techniques déjà confirmées, mais s'ajoute à la longue liste de moyens thérapeutiques dont tout chirurgien orthopédiste doit disposer.

BIBLIOGRAPHIE

1 - H. AGIZA,

Treatment of tibial osteomyelitis defects and infected pseudarthroses by the huntington fibular transference operation.

J. Bone and Joint Surg., 1981, 63 A, 814-819.

2 - Y. ALLIEU,

Les transferts osseux libres vascularisés (TOLV) dans le traitement des pertes de substance osseuse (PSO) post-traumatiques des membres.

SOFCOT, 56ème Réunion Annuelle.

3 - J. ARONSON et coll.,

Preliminary studies of distraction of mineralization during distraction osteogenesis.

Clin. Orthop., 1990, 250, 43-49.

4 - J. ARONSON et coll.,

The histology of distraction osteogenesis using different external fixation.

Clin. Orthop., April 1989, 241, 106-116.

5 - J. ARONSON et coll.,

Mechanical induction of osteogenesis. The importance of pin rigidity.

J. Pédiatr. Orthop., in press.

6 - J.H. AUBRIOT,

Pseudarthroses infectées de la diaphyse fémorale traitées selon la méthode de Papineau.

Ann. Orthop. de l'Ouest, 1978, 10, 114-116.

7 - P. AUBRY, G. FIEVE,

Vascularisation osseuse et cutanée du quart inférieur de jambe.

Rev. Chir, Orthop., 1984, 70, 589-596.

8 - C. BASSETT, A. PILLA, R. PAWLUK,

A non operative salvage of surgically resistant pseudarthrose and non union by pulsing electromagnetic fields. A preliminary report.

Clin. Orthop., 1977, 124, 128-143.

9 - F. BEHRENS,

General theory and principes of external fixation.

Clin. Orthop., April 1989, 241, 15-23.

10 - A. BIGNARDI et coll.,

La nostra experinza nel trattamento incruento delle fratture con fissatore esterno D.O.S. basato sul principio di Ilizarov.

Chir. Org. Mov., 1982/1983, 69, 51-67.

11 - M. BISSERIE,

Facteurs de rigidité des montages par fixateurs externes.

Rev. Chir. Ortho., 1983, T69, 5, 371.

12 - H. BOHR,

Bone formation and resorption in cases of delayed union and pseudarthrosis.

Acta Ortho. Scand., 1971, 42, 113-121.

13 - B. BOMAN, E. SCHNEIDER, S. PERREN,

Mechanical properties of Ilizarov's external fixator.

Helv. Chir., Acta, 1985, 52, 123-126.

14 - F. BONNEL, P. RABISCHONG, J.P. MICALLEF,

Fixateur externe à triangulation. Justification biomécanique et indications.

Nouv. Presse Méd., 1979, T8, 37, 2973-2974.

15 - F. BONNEL, P. TEMOINGT, J.P. MICALLEF,

Etude biomécanique comparative des fixateurs externes.

Rev. Chir. Ortho., 1983, T69, 5, 367-370.

16 - H.B. BOYD, J.H. WILEY,

Observations on non-union of the shafts of the long bones with statistical analysis of 842 patients.

Jour. Bone Joint Surg., 1961, 43 A, 159-168.

17 - J.A. BRANDEISKY, S.M. LENET

Compression : is it necessary for bone healing.

The Journal Of The Foot Surgery, 1989, Vol. 28, 5, 425-428.

18 - B. BRIGGS, E.Y.S. CHAO,

The mechanical performance of the standart Hoffmann-Vidal external fixation apparatus.
Jour. Bone Joint. Surg., 1982, 64 A, 556-573.

19 - C. BRIGHTON, S.R. POLLACK,

Treatment of recalcitrant non-union with a capacitively coupled electrical field.
Jour. Bone Joint. surg., 1985, 67 A, 577.

20 - B. BRIOT,

Rappel des particularités de la consolidation des fractures traitées par les méthodes orthopédiques.
Rev. Chir. Ortho., 1983, T 69, 5, 344-345.

21 - P. BURDIN, L. FAVARD,

Pseudarthroses de jambe. Traitement.
E.M.C., Paris, Tech. Chir. Orthop., I, 1991, 44875, 6 p.

22 - F. BURNY,

La fixation externe élastique.
Rev. Chir. Ortho., 1983, T 69, 5, 376-377.

23 - F. BURNY, R. BOURGOIS,

Etude biomécanique du fixateur externe d'Hoffmann.
Acta Orthop. Belg., 1972, 38, 265-279.

24 - M. CANUTI, C. VALENTI, A. CHIRICONI,

Considerazioni sui principi del trattamento delle pseudartrosi asettiche di gamba con il metodo di Ilizarov.
Arch. Putti. Chir. Organi. Mov., 1989, 37 (1), 107-120.

25 - C. CARFORA, P. CHIRONI,

Considerazioni biomeccaniche nell'applicazione dell'apparato di Ilizarov per il trattamento delle pseudartrosi diafisarie.
Minerva Ortopedic, Settembre 1989, T 40, 9, 505-513.

26 - Y. CARVAJAL, M.J. DE PALACIOS,

Utilisation de la stimulation par champs électromagnétiques dans les retards de consolidation ou pseudarthroses.

Mém. Acad. Chir., 1983, 109, 5, 363-367.

27 - R. CATTANEO, A. VILLA, M. CATAGNI, L. TENTORI, M. CASSI,

Application de la méthode d'Ilizarov das l'allongement de l'humérus.

Rev. Chir. Ortho., 1986, 72, 203-209.

28 - R. CATTANEO, A. VILLA, M. CATAGNI, L. TENTORI,

Traitement des pseudarthroses diaphysaires septiques ou non septiques selon la méthode d'Ilizarov en compression monofocale.

Rev. Chir. Ortho., 1985, T 71, 4, 223-229.

29 - J. CAUCHOIX, S. HAUTIER,

Les pseudarthroses fistulisées de jambe.

Rev. Chir. Ortho., 1968, T 54, 2, 107-110.

30 - B. CHACHA, M. AHMED, J.S. DARUWALLA,

Vascular pedicle graft of the ipsilateral fibula for non-union of the tibia with a large defect.

Jour. Bone Joint. Surg., 1981, 63 B, 244-253.

31 - E.Y.S. CHAO, et coll.,

The effect of rigidity on fracture healing in external fixation.

Clin. Ortho., 1989, 241, 24-35.

32 - J. CHAUVET et coll.,

Pseudarthroses septiques diaphysaires. Orientations thérapeutiques actuelles à partir d'une série de 80 cas.

Ann. Chir., 1986, 40, 9, 633-640.

33 - J. CHAUVET et coll.,

La greffe intertibiopéronière. Résultats et choix des indications.

Académie de Chirurgie, 1986, 112, 571-577.

34 - M.D. CHEATLE,

The effect of chronic orthopedic infection on quality of life.

Orthopedic Clinics of North America, July 1991, Vol. 22, 3, 539-547.

35 - C. CIUCCARELLI et coll.,

Il trattamento della pseudartrosi di omero e di tibia con la metodica di Ilizarov.

Minerva Ortop. e Traumatol., 1989, 40, 445-450.

36 - N. CONFALONIERI et coll.,

Treatment of pseudarthrosis with the external Ilizarov fixator. Initial experiences.

Arch. Putti Chir. Organi. Mov., 1984, 34, 303-308.

37 - J.F. CONOLLY, R. GUSE, J. TIEDEMAN, R. DEHNE,

Autologous marrow injection as a substitute for operative grafting of tibial non-unions.

Clin. Orthop., 1991, 266, 259-270.

38 - A. DAOUD, A. SAIGHI-BOUAOUINA (Douera - Algeria),

Treatment of sequestra pseudarthrosis and defects in the long bones of children who have chronic hematogenous osteomyelitis.

Jour Bone Joint Surg., 1989, 71, 10, 1448-1468.

39 - Ph. DE CLOEDT, J. LEGAYE, W. LOKIETEK,

La place de la méthode d'Ilizarov dans le traitement des pseudarthroses septiques des os longs.

Acta. Ortho. Belg., 1988, Vol. 54, 3, 353-359.

40 - J. DECOULX et coll.,

Traitement des pseudarthroses aseptiques de jambe.

Lille Chirurgical, 1978, 33, 3, 48-62.

41 - C. DELLOYE et coll.,

Bone regenerate formation in cortical bone during distraction lengthening.

Clin. Orthop., Jan. 1990, 250, 34-42.

42 - DE MARNEFFE,

A propos de la vascularisation des os longs.

Rev. Chir. Ortho., 1952, 38, 64-69.

- 43 - DEPARTMENT OF BIOENGINEERING (NEW YORK),**
Biomechanics of the Ilizarov external fixator.
Bull Hosp. for Joint Diseases Orthopaedic Institute, 1989, Fall 49 (2), 140-147.
- 44 - J. EVRARD,**
Bilan de la greffe intertibiopéronière.
Ann. Ortho. de l'Ouest, 1978, 10, 104-106.
- 45 - J. EVRARD, J.P. LEBARD,**
Pseudarthroses infectées de la diaphyse fémorale.
Rev. Chir. Ortho., 1971, T 57, 7, 527-546.
- 46 - J. EVRARD, R. MERLE D'AUBIGNE,**
Traitement des pseudarthroses infectées de la diaphyse fémorale.
Rev. Chir. Ortho., 1978, 64, 45-58.
- 47 - Cl. FAURE, Ph. MERLOZ,**
Transfixion des membres. Atlas de coupes anatomiques pour la fixation externe.
Ed. by SPRINGER VERLAG, 1987.
- 48 - P. FICAT,**
Premier symposium international sur la circulation osseuse.
Rev. Chir. Ortho., 1973, 8, 701-704.
- 49 - P. FICAT, R. DURROUX, G. METTON,**
Pseudarthroses diaphysaires et consolidation osseuse.
Rev. Chir. Ortho., 1982, Suppl. II, 68, 91-92.
- 50 - L.P. FISCHER et coll.,**
Intertibio peroneal graft in the treatment of infected non united legs.
International Orthopaedics, 1977, 1, 58-63.
- 51 - B. FLEMING, D. PALEY, T. KRISTIENSEN, M. POPE,**
A biomechanical analysis of the Ilizarov external fixator.
Clin. Orthop. 1989, 241, 95-105.

52 - A.E. FREELAND, B. STERLING,

Posterior bone grafting for infected ununited fracture of the tibia.

Jour., Bone Joint Surg., 58 A, 5, 653-665.

53 - G. FRIEDLANDER,

Current concepts review : bone grafts.

Jour. Bone Joint Surg., 69 A, 5, 786-790.

54 - V. GALANTE et coll.,

Il trattamento delle pseudartrosi di gamba con la metodica di Ilizarov.

Min. Orthop. Avril 1990, 41, 4, 189-194.

55 - P. GALLINARO et coll. (Turin - Italie),

Pseudarthroses diaphysaires septiques : de Papineau à Ilizarov.

SOFCOT, 64ème Réunion Annuelle, 1990.

56 - C. GARIN,

Essai biomécanique comparatif entre le fixateur du Service de Santé des Armées et le fixateur d'Ilizarov.

Mém. Biomécanique, Lyon, 1986.

57 - D. GAZIELLY, F. PERAULT, J. BEJUI,

Evolution et séquelles de 48 pseudarthroses infectées chroniques avec perte de substance osseuse d'origine traumatique du membre inférieur.

Jour Méd. Légale, Droit Médical, 1983, 26, 4, 373-383.

58 - I. GOLDBERG, P. MAOR, Z. YOSIPOVITCH,

Congenital pseudarthrosis of the tibia treated by a pedicled vascularized graft of the ipsilateral fibula.

Jour Bone Joint Surg., 1988, 70 A, 9, 1396-1398.

59 - A.E. GOODSHIP, J. KENWRIGHT,

The influence of induced micro-motion upon the healing of experimental tibia fractures.

Jour Bone Joint Surg., 1985, 67 B, 650.

60 - L. GORDON, E.T. CHIU,

Treatment of infected non-unions and segmental defects of the tibia with staged microvascular muscle transplantation and bone grafting.

Jour Bone Joint Surg., 1988, 70 A, 377-385.

61 - S. GREEN et coll.,

External fixation for the uninfected angulated non-union of the tibia.

Clin. Orthop., 1984, 190, 204-211.

62 - S. GREEN,

Osteomyelitis : the Ilizarov perspective.

Orthopedic Clinic Of North America, July 1991, Vol. 22, 3, 515-521.

63 - S. GREEN,

Complications of external skeletal fixation.

Clin. Orthop., 1983, 180, 109-116.

64 - S. GREEN, T. DLABAL,

The open bone graft for septic non-union.

Clin. Orthop., 1983, 180, 117-124

65 - A. GROSSE, I. KEMPF, D. LAFFORGUE,

Le traitement des fracas, pertes de substance osseuse et pseudarthroses du fémur et du tibia par l'enclouage verrouillé.

Rev. Chir. Orthop., 1978, Suppl. II, 64, 33-35.

66 - J.M. HARDY,

Etude critique du matériel d'Ilizarov. Définition d'un nouveau matériel.

SOFCOT, Réunion Annuelle, Novembre 1986.

Rev. Chir. Orthop., Suppl II, 1987, 73, 64-70.

67 - R. HEPPENSTALL,

Constant direct current treatment for established non-union of the tibia.

Clin. Orthop., 1983, 178, 179-184.

68 - G.A. ILIZAROV,

The tension stress effect on the genesis and growth of tissues.

Part I : The influence of stability of fixation and soft tissue preservation.

Clin. Orthop. Janvier 1989, 238, 249-281.

69 - G.A. ILIZAROV,

The influence of blood supply and loading upon the shape-forming processes in bone and joints.

Transosseous Osteosynthesis : theoretical and clinical aspects of the regeneration and growth of tissue.

Editorial Assistance by Stuart A. GREEN.

Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1992, 257-277.

70 - G.A. ILIZAROV,

Pseudarthroses and defects of long tubular bones.

Transosseous Osteosynthesis : theoretical and clinical aspects of the regeneration and growth of tissue.

Editorial Assistance by Stuart A. GREEN.

Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1992, 453-494.

71 - G.A. ILIZAROV,

The treatment of pseudarthroses complicated by osteomyelitis and the elimination of purulent cavities.

Transosseous Osteosynthesis : theoretical and clinical aspects of the regeneration and growth of tissue.

Editorial Assistance by Stuart A. GREEN.

Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1992, 495-546.

72 - G.A. ILIZAROV,

The Apparatus : components and biomechanical principles of application.

Transosseous Osteosynthesis : theoretical and clinical aspects of the regeneration and growth of tissue.

Editorial Assistance by Stuart A. GREEN.

Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1992, 63-136.

73 - G.A. ILIZAROV,

Historical background of transosseous osteosynthesis.

Transosseous Osteosynthesis : theoretical and clinical aspects of the regeneration and growth of tissue.

Editorial Assistance by Stuart A. GREEN.

Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1992, 3-45.

74 - E. JOHNSON, R. MARDER,

Open intramedullary nailing and bone-grafting for non-union of tibial diaphyseal fracture.

Jour Bone Joint Surg., 1987, 69 A, 3, 375-380.

75 - E. JOHNSON, M. URIST, G. FINERMAN,

Resistant non-unions and partial or complete segmental defects of long bones.

Clin. Orthop., 1992, 277, 229-237.

76 - W. JOHNSON, D. FISCHER,

Skeletal stabilization with a multiplane external fixation device.

Clin. Orthop., 1983, 180, 34-44 et 50-63.

77 - R. JUDET, J. JUDET,

Compression dans le traitement des pseudarthroses. Résultats et techniques.

Mém. Acad. Chirurgie, 1959, 85, 511-516.

78 - R. JUDET, J. JUDET, R. ROY-CAMILLE,

La vascularisation des pseudarthroses des os longs d'après une étude clinique et expérimentale.

Rev. Chir. Ortho., 1958, 44, 381-401.

- 79 - R. JUDET, E. LETOURNEL,**
Pseudarthroses suppurées de jambe.
Rev. Chir. Orthop., 1968, 54, 2, 119-123.
- 80 - N.J. KANE,**
Fundamental concepts in bone blood flow studies.
Jour Bone Joint Surg., 1968, 50 A, 801-811.
- 81 - C. KARGER,**
Traumatologie et méthode d'Ilizarov.
SOFcot, 60ème Réunion Annuelle, 17-18.
- 82 - I. KEMPF et coll.,**
La fixation d'une fracture doit-elle être rigide ou élastique.
Rev. Chir. Ortho., 1983, 69, 337-378.
- 83 - M. KIPFER,**
Traitement des pseudarthroses suppurées par greffe cortico-spongieuse enclose irriguée.
Nouv. Presse Méd., 1980, 9, 1235-1238.
- 84 - J.F. KREMPEN, R.A. SILVER, A. SOTELO,**
The use of the Vidal-Adrey-external fixation system. Part 2 : The treatment of infected and breviously infected pseudarthrosis.
Clin. Orthop., 1979, 140, 122-130.
- 85 - T. KRISTIANSEN et coll.,**
Comparative study of fracture gap motion in external fixation.
Clin. Biomech., 1987, 2, 191.
- 86 - F.J. KUMMER,**
Biomechanics of the Ilizarov external fixator.
Bulletin of the Hospital for Joint Diseases, Orthopaedic Institute, New York, 1989, Vol 49, 2, 140-147.
- 87 - F. LAFORET,**
La fixation externe axiale dynamique.
Thèse Médecine, Montpellier, Novembre 1989.

88 - J. LEGAYE et coll.,

Quatre années d'application de la technique d'Illizarov. Difficultés techniques.

Acta Orthop. Belg., 1988, 54, 335-347.

89 - J.L. LERAT,

L'opération de Papineau dans le traitement des pertes de substance osseuse infectées du membre inférieur.

Lyon Chir., 21/06/1980, 155-158.

90 - E. LETOURNEL,

Pseudarthroses suppurées du fémur obligeant à la résection diaphysaire.

SOFCOT, 48ème Réunion Annuelle, 1973, 297-303.

91 - W. LOKIETEK et coll.,

La méthode d'Illizarov dans les pseudarthroses infectées des os longs.

SOFCOT, Réunion Annuelle, 1986.

Rev. Chir. Ortho., 1987, Suppl. II, 73.

92 - A. LORTAT-JACOB et coll.,

Stabilité expérimentale du fixateur externe de Hoffmann. Présentation d'un nouveau matériel.

Rev. Chir. Ortho., 1982, 68, 83-90.

93 - A. LORTAT-JACOB et coll.,

Les gestes complémentaires de l'opération de Papineau.

Rev. Chir. Ortho., 1981, 67, 115-120.

94 - A. LORTAT-JACOB et coll.,

Echecs et limites de l'opération de Papineau.

Rev. Chir. Ortho., 1977, 63, 667-686.

95 - A. LORTAT-JACOB et coll.,

La fixation épiphysaire par fixateur externe.

Rev. Chir. Ortho., 1984, 70, 207-217.

96 - A. LORTAT-JACOB et coll.

Les complications de l'opération de Papineau.

Ann. Ortho. de l'Ouest, 1978, 10, 127-133.

97 - A. LORTAT-JACOB,

Complications des fixateurs externes.

IXème Cours de Base du Collège d'Orthopédie, Tours, Mai 1992, 111-116.

98 - M.T. MAC COY, E. CHAO, R. KASMAN,

Comparison of mechanical performance in four types of external fixators.

Clin. Orthop., 1983, 180, 23-34.

99 - J.H. MAROTTE, P. SAMUEL,

Les fixateurs externes.

Encycl. Méd. Chir., Paris, Techniques Chirurgicales, Orthopédie-Traumatologie, 44020, 4.9.06, 21 p.

100 - C. MARTINENGGHI et coll.,

Il trattamento delle pseudartrosi diaphysarie con osteosintesi transossea di Ilizarov.

La Radiologia Medica, 1988, 75, 12-14.

101 - P. MAURER, J. ZUCMAN, J. LEWALLE,

Rôle de la vascularisation périfracturaire et centro-médullaire dans l'ostéogénèse réparatrice.

Rev. Chir. Ortho., 1965, 51, 3, 229-242.

102 - R. MERLE D'AUBIGNE, J. LAMARE,

Traitement des pseudarthroses de jambe.

Mém. Acad. Chir., 1954, 17-18, p. 489-497.

103 - R. MERLE D'AUBIGNE,

Technique de Phemister dans les pseudarthroses de jambe.

Mém. Acad. Chir., 1951, 20-21, p. 637-639.

104 - R. MERLE D'AUBIGNE et coll.,

Traitement des pseudarthroses diaphysaires.

Rev. Chir. Ortho., 1963, 49, 3-15.

105 - Ph. MERLOZ,

La méthode d'Ilizarov.

Cahiers d'Enseignement de la SOFCOT, Conférences d'Enseignement, 1989, 47-63.

106 - Ph. MERLOZ et coll.,

Intérêt des la méthode d'Ilizarov dans le traitement des pseudarthroses des os longs.

Journées de Chirurgie, Paris, Avril 1990, T 127, 4, 199-208.

107 - S. MEYER, A. WEILAND, H. WILLENEGER,

The treatment of infected non-union of fractures of long bones.

Jour Bone Joint Surg., 1975, 57 A, 836-841.

108 - J.P. MEYRUEIS,

Dynamisation du fixateur externe.

Rev. Chir. Ortho., 1983, 69, 5, 375.

109 - J.P. MEYRUEIS et coll.,

Etude mécanique comparative de fixateurs externes. Le modèle du Service de Santé des Armées.

Rev. Chir. Ortho., 1980, 66, 317-321.

110 - J. MICHIELS, P. BROOS, J.A. GRUNEZ,

Les pseudarthroses aseptiques des os longs.

Acta Chir. Belg., 1984, 84, 293-299.

111 - J.W. MILGRAM,

Non-union and pseudarthrosis of fracture healing. A histopathologic study of 95 human specimens.

Clin. Ortho., July 1991, 268, 203-213.

112 - M. MORANDI, M. ZEMBO, M. CIOTTI,

Infected tibial pseudarthrosis. A 2 years follow up on patients treated by the Ilizarov technique.

Orthopedics, April 1989, 12, 4, 497-508.

113 - B. MOYEN, J.J. COMTET,

Rappel de la consolidation des fractures vu sous l'angle biomécanique.

Rev. Chir. Ortho., 1969, 5, 341-343.

114 - M. MULLER, R. THOMAS,

Treatment of non-union in fractures of long bones.

Clin. ortho., 1979, 138, 141-153.

115 - M. MULLER, A. BOTTZY,

Le traitement des pseudarthroses fistulisées de jambe.

Rev. Chir. Ortho., 1968, 54, 2, 133-146.

116 - D. PALEY,

Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique.

Clin. Ortho., 1990, 250, 81-104.

117 - D. PALEY et coll.,

Ilizarov treatment of tibial non-unions with bone loss.

Clin. Ortho., 1989, 241, 146-165.

118 - D. PALEY et coll.,

Mechanical evaluation of external fixators used in limb lengthening.

Clin. Ortho., Jan. 1990, 250, 50-57.

119 - M. PASSUTI et coll.,

L'association intervention de Papineau et greffe intertibiopéronière dans le traitement des pseudarthroses septiques de jambe.

Ann. Chir., 1987, 41, 1, 35-39.

120 - R.L. PEARSON, C.R. PERRY,

The Ilizarov technique in the treatment of infected tibial non-unions.

Orthopaedic Review, 1989, Vol. 18, 5, 609-613.

121 - S.M. PERREN,

The reaction of cortical bone to compression.

Acta Ortho. Scand., 1969, Suppl. 125, 19-28.

122 - P.L. PEYROU,

Le procédé d'Illizarov : révolution ou évolution dans les traitements par fixateurs externes.

Chirurgie, 1986, 112, 73-77.

123 - L. PIDHORZ, G. RAIMBEAU, J. RAGUIN,

L'intervention de Papineau dans le traitement des pseudarthroses infectées de jambe.

Ann. Ortho. de l'Ouest, 1978, 10, 107-110.

124 - S. PLawecki,

La méthode d'Illizarov appliquée aux allongements et corrections axiales des membres inférieurs chez l'enfant.

Thèse Médecine, Grenoble, 1987.

125 - M. POSTEL,

Traitement des pseudarthroses de jambe.

Enc. Méd. Chir., Paris, App. Locomoteur, 44875, 3.17.10.

126 - B. REIGNIER, R. ROY-CAMILLE,

Devenir à long terme des opérations de Papineau.

Ann. Ortho. de l'Ouest, 1978, 10, 117-119.

127 - R. RICARD,

Le traitement des pseudarthroses diaphysaires infectées des membres.

Rev. Chir. Ortho., 1964, 50, 1, 51-58.

128 - R. RICARD, D. CHAIX,

Les pseudarthroses fistuleuses de jambe.

Rev. Chir. Ortho., 1968, 54, 2, 111-118.

129 - RODRIGUEZ-FUENTES et coll.,

Experimental model of electric stimulation of pseudarthrosis healing.

Clin. Ortho., 1984; 183, 267-275.

130 - H. ROSEN,

Compression treatment of long bone pseudarthrosis.

Clin. Ortho., 1979, 138, 154-166.

131 - R. ROY-CAMILLE et coll.,

Technique de l'intervention de Papineau.

Ann. Ortho. de l'Ouest., 1978, 10, 94-96.

132 - R. ROY-CAMILLE,

Vascularisation des pseudarthroses. Etude clinique et expérimentale.

Journal de Chirurgie, 1958, 70, 272-298.

133 - C. RUBIN, L. LANYON,

Regulation of bone formation by applied dynamic loads.

Jour. Bone Joint Surg., 1984, 66 A, 397.

134 - A. RUTER, R. BRUTSCHER,

Treatment of extensive bone defects of the tibia by the Ilizarov displacement osteotomy.

Der Chirurg. 1988, 59, 357-359.

135 - G. SARTORI, L. SCHNEIDER, A. SICLARI,

Prime esperienze con l'apparato di Ilizarov in patologia ortopedica e traumatologica.

Minerva Méd., Mars 1990, 81, 81-85.

136 - G. SATZGER, E.H. HERBST,

Surgical and electrical methods in the treatment of congenital and post traumatic pseudarthrosis of the tibia.

Clin. Ortho., 1981, 161, 82-104.

137 - R.K. SCHENK,

Histologie de la consolidation des fractures et des pseudarthroses.

Bull Ao, Novembre 1979.

138 - P. SCHIPHORST,

Conception actuelle de la fixation externe. Fractures et pseudarthroses de jambe traitées par fixateur d'Hoffmann en cadre.

Imprimerie Technic Offset, 2è ter 87, 17-24.

139 - L. SEDEL,

La consolidation des fractures.

IXème Cours de Base du Collège d'Orthopédie, Tours, Mai 1992, 1-6.

140 - L. SEDEL, J.L. VAREILLES,

Consolidation des fractures.

Editions Techniques, Encycl. Méd. Chir., App. Locomoteur, 14031 A²⁰, 1992, 11 p.

141 - L. SEDEL et coll.,

Résultat de la stimulation par champ électromagnétique de la consolidation des pseudarthroses.

Rev. Chir. ortho., 1981, 67, 11-23.

142 - R. SIMONIS, H. SHIRALI, B. MAYOU,

Free vascularised fibular grafts for congenital pseudarthrosis of the tibia.

Jour Bone Joint Surg., 1991, 73 B, 2, 211-215.

143 - D. SISK,

External fixation. Historic review, advantages, disadvantages, complication and indication.

Clin. ortho. 1983, 180, 15-22.

144 - D. SISK,

General principles and techniques of external skeletal fixation.

Clin. Ortho., 1983, 180, 96-100.

145 - I. SOLLOGOUB,

La méthode d'Ilizarov appliquée aux allongements des membres inférieurs de l'enfant.

Thèse Médecine, Tours 1986.

146 - I. SOLLOGOUB et coll.,

Fixateur externe d'Ilizarov.

Encycl. Méd. Chir., Paris, Techniques Chir., 44020, 4, 1989.

147 - S. STAN,

Recherches expérimentales sur la vascularisation des pseudarthroses de l'os long.

Acta Ortho. Belg., 1975, 41, 1, 54-64.

148 - B. TAYON, P. ORENGO, J. ZAHLAOUI,

Consolidation osseuse.

Encycl. Méd. Chir. Paris, App. Locomoteur, 14031 A²⁰, 11, 1980.

149 - S. TERVER, X. PASCAREL, P. HENRY,

La méthode d'Ilizarov dans le traitement des pseudarthroses.

SOFCOT, 61ème Réunion Annuelle, Nov. 1986.

Rev. Chir. Ortho., 1987, Suppl. II, 73, 50-57.

150 - J. TIEDEMAN et coll.,

Treatment of non-union by percutaneous injection of bone marrow and demineralized bone matrix.

Clin. Ortho., July 1991, 268, 294-302.

151 - D. TORABI et coll.

Evolution lointaine de la greffe intertibiopéronière dans le traitement des pseudarthroses septiques de jambe.

Rev. Chir. Ortho., 1987, Suppl. II, 73, 106-110.

152 - Y. TOURNE,

La méthode d'Ilizarov dans le traitement des pseudarthroses des os longs.

Thèse Médecine, Grenoble, 1988.

153 - A. TRIAS, A. FERY,

Cortical circulation of long bones.

J. Bone Joint Surg., 1979, 61 A, 1052-1059.

154 - A. TRILLAT et coll.,

Les pseudarthroses fistuleuses de jambe.

Rev. Chir. Ortho., 1968, 54, 2, 125-138.

155 - J. TRUETA,

La vascularisation des os et l'ostéogénèse.

Rev. Chir. Ortho. 1958, 44, 1, 3-23.

156 - D. UYTTENDAELE et coll.,

Pseudarthrosis of the long bones of the forearm. A clinical study of treatment.

Acta Ortho. Belg., 1978, 44, 2, 366-371.

157 - W. VALENTINE, P. WILLIAMS, W. TAFOYA,

Ilizarov external fixation. Surgical principles, nursing implications.

AORN J., Juin 1990, Vol. 51 (6), 1530-1545.

158 - M. VAN DER GHINST, L. DE GEETER,

Traitement des pseudarthroses par décortication ostéo-musculaire selon la technique de Judet.

Acta Ortho. Belg., 1968, 34, 465-475.

159 - R. VARA-THORBECK, F. PEREZ-BENITEZ,

Ostéomyélographie et pseudarthroses de jambe.

Rev. Chir. Ortho., 1984, 70, 89-92.

160 - A. VARLET, Ph. DAUCHY, M. HINGREZ,

Ostéogénèse induite par l'addition de matrice osseuse déminéralisée à des billes de plâtre aux antibiotiques. Etude chez l'animal.

Rev. Chir. Ortho., 1985, 71, 73-78.

161 - J. VIDAL,

External fixation.

Clin. Ortho., 1983, 180, 7-14.

162 - J. VIDAL et coll.,

Guidelines for treatment of open fractures and infected pseudarthrosis by external fixation.

Clin. Ortho., 1983, 180, 83-95.

163 - J. VIDAL, J.L. BENSADOUN,

Principes généraux et étude comparative des fixateurs externes.

IXème Cours de Base du Collège d'Orthopédie, Tours, Mai 1992, 84-110.

164 - J. VIDAL et coll.,

Les pseudarthroses suppurées du fémur. Résultats du traitement "classique" par fixateur externe et fermeture des parties molles.

Ann. Ortho. de l'Ouest, 1978, 10, 111-113.

165 - J. VIDAL et coll.,

Les greffes intertibiopéronières dans le traitement des retards de consolidation jambiers.

Rev. Chir. Ortho., 1982, 68, 123-132.

166 - J. VIDAL et coll.,

Association fixateur externe et synthèse interne dans les fractures et pseudarthroses de jambe.

Rev. Chir. Ortho., 1988, 74, 1, 61-68.

167 - B. WEBER, O. CECH,

Pseudarthrosen : Pathophysiologie, Biomechanik, Therapie, Ergebnisse.

Hans Huber, Bern-Stuttgart-Wien, 1973.

168 - B. WEBER, Ch. BRUNNER,

The treatment of non-unions without electrical stimulation.

Clin. Ortho., 1981, 161, 24-32.

169 - N. WOLFSON et coll.,

Force and stiffness changes during Ilizarov leg lengthening.

Clin. Ortho., 1990, 250, 58-60.

170 - G. ZINGHI et coll.,

Les pseudarthroses diaphysaires de l'humérus.

Acta Ortho. Belg., 1986, 52, 1, 19-35.

TABLE DES MATIERES

LA CONSOLIDATION OSSEUSE

| | |
|--|----|
| I - HISTOIRE NATURELLE DE LA CONSOLIDATION D'UNE FRACTURE | 21 |
| A - STADE INITIAL | 21 |
| 1 - L'hématome périfracturaire | |
| 2 - Le décollement périosté | |
| 3 - Rupture de l'endoste | |
| B - FORMATION DU CAL PROVISOIRE | 22 |
| 1 - Phase inflammatoire | |
| 2 - Phase de prolifération cellulaire | |
| 3 - Phase de formation fibroblastique de l'hématome | |
| C - REMODELAGE DU CAL | 23 |
| II - ASPECTS BIOLOGIQUES DE LA CONSOLIDATION | 25 |
| A - LA VASCULARISATION | 25 |
| 1 - Rappel anatomique | |
| 2 - Les modifications vasculaires | |
| 3 - Rôle de l'oxygène | |
| B - RÔLE DES DIFFÉRENTES STRUCTURES OSSEUSES | 27 |
| 1 - Le périoste | |
| 2 - Rôle de l'endoste et de la moelle osseuse | |
| 3 - Rôle des extrémités fracturaires | |
| C - CELLULES OSTEOFORMATRICES | 29 |
| III - FACTEURS INFLUENÇANT LA CONSOLIDATION DES FRACTURES | 30 |
| A - LES FACTEURS CIRCULATOIRES | 30 |
| B - LES FACTEURS HORMONAUX | 30 |

| | |
|--|-----------|
| C - LES FACTEURS NUTRITIONNELS | 31 |
| D - LES FACTEURS BIOELECTRIQUES | 31 |
| E - LES FACTEURS MECANIQUES | 31 |
| IV - INCIDENCE DANS LE TRAITEMENT DES FRACTURES | 33 |
| A - LE TRAITEMENT ORTHOPEDIQUE | 33 |
| B - OSTEOSYNTHESE | 34 |
| 1 - Les plaques vissées | |
| 2 - L'enclouage centromédullaire à foyer fermé | |
| C - CONSOLIDATION ET FIXATEUR EXTERNE | 35 |

LES PSEUDARTHROSES - GENERALITES

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| I - DEFINITION | 37 |
| II - PHYSIOPATHOLOGIE | 38 |
| A - LES CAUSES BIOLOGIQUES | 38 |
| Le rôle de la vascularisation | |
| B - ETIOLOGIES DES PSEUDARTHROSES | 40 |
| 1 - Les causes générales | |
| a) l'état général | |
| b) l'âge | |
| c) les troubles métaboliques | |
| d) les médicaments | |
| 2 - Les causes locales | |
| a) les facteurs liés à la fracture | |
| - l'ouverture du foyer de fracture, | |

- la comminution,
- l'infection locale,

b) les facteurs liés au traitement

- la mobilité,
- le traitement orthopédique,
- l'ostéosynthèse interne,
- l'ostéosynthèse à foyer fermé,
- le fixateur externe

| | |
|--|----|
| III - CLASSIFICATION DES PSEUDARTHROSES | 43 |
| A - NOTIONS CLASSIQUES | 43 |
| 1 - Les pseudarthroses hypertrophiques | |
| 2 - Les pseudarthroses atrophiques | |
| B - CLASSIFICATION DE WEBER | 44 |
| 1 - Les pseudarthroses hypervascularisées réactionnelles | |
| 2 - Les pseudarthroses avasculaires aréactives | |
| | |
| IV - LE DIAGNOSTIC DE PSEUDARTHROSE | 47 |
| A - SIGNES CLINIQUES | 47 |
| 1 - Signes fonctionnels | |
| 2 - Examen clinique | |
| 3 - Signes biologiques | |
| B - EXAMENS PARACLIQUES | 48 |
| 1 - Signes radiographiques | |
| 2 - Scintigraphie osseuse | |
| 3 - Médullographie | |
| 4 - Autres examens paracliniques | |

| | |
|---|-----------|
| V - PRINCIPES DU TRAITEMENT DES PSEUDARTHROSES | 51 |
| A - PSEUDARTHROSES ASEPTIQUES | 51 |
| 1 - Pseudarthroses réactionnelles | |
| 2 - Pseudarthroses aréactives | |
| B - PSEUDARTHROSES SEPTIQUES | 52 |

TRAITEMENTS CLASSIQUES DES PSEUDARTHROSES

| | |
|---|-----------|
| I - LES MOYENS DE FIXATION | 54 |
| A - L'ENCLOUAGE CENTROMEDULLAIRE | 54 |
| B - LES PLAQUES VISSEES | 55 |
| C - LE FIXATEUR EXTERNE | 56 |
| | |
| II - LES GREFFES OSSEUSES | 59 |
| ETUDE PHYSIOPATHOLOGIQUE | 59 |
| LES DIFFERENTS TYPES DE GREFFES OSSEUSES | 60 |
| A - LA GREFFE INTERTIBIOPERONIERE | 61 |
| B - LA GREFFE SPONGIEUSE A CIEL OUVERT SELON PAPINEAU | 63 |
| 1 - Principes de base | |
| 2 - Rappel de la technique | |
| 3 - Inconvénients de la méthode | |
| 4 - La greffe enclose et irriguée selon KIPFER | |
| 5 - Revue de la littérature | |
| 6 - Les indications | |
| C - LA FIBULA PRO-TIBIA | 68 |
| D - LES TRANSFERTS OSSEUX LIBRES VASCULARISES | 70 |
| 1 - Le lambeau inguinal cutané-osseux | |

| | |
|---|----|
| 2 - Le transfert libre du péroné | |
| 3 - Le pilier de l'omoplate pédiculé | |
| E - GREFFE APPOSEE DE PHEMISTER | 72 |
| F - INJECTION PERCUTANEE DE MOELLE OSSEUSE ET DE MATRICE OSSEUSE DEMINERALISEE | 73 |
| III - LA DECORTICATION OSTEO-MUSCULAIRE | 74 |
| - Rappel de la technique | 74 |
| - Revue de la littérature | 75 |
| IV - STIMULATIONS ELECTRIQUES ET ELECTRO-MAGNETIQUES DE L'OSTEOGENESE | 77 |
| A - LES DIFFERENTS TYPES DE COURANT UTILISES | 78 |
| B - LES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES | 78 |
| C - REVUE DE LA LITTERATURE | 79 |
| V - AUTRES METHODES | 81 |
| A - COMPLEMENT PAR GENTABILLES SELON LA METHODE DE JENNY | 81 |
| B - LA SCARIFICATION | 83 |
| VI - COUVERTURE DES PERTES DE SUBSTANCE CUTANEEES IMPORTANTES | 84 |
| A - LES DIFFERENTS LAMBEAUX | 84 |
| 1 - Les lambeaux cutanés | |
| 2 - Les lambeaux fascio-cutanés | |
| 3 - Les lambeaux musculaires et musculo-cutanés | |
| 4 - Les lambeaux libres | |
| B - APPLICATION PRATIQUE | 87 |

| | |
|---|-----------|
| C - LES INDICATIONS | 88 |
| 1 - Pseudarthroses aseptiques | |
| 2 - Pseudarthroses septiques | |
| VII - INDICATIONS THERAPEUTIQUES ACTUELLES | 90 |
| A - PSEUDARTHROSES ASEPTIQUES | 90 |
| 1 - Pseudarthrose hypertrophique | |
| 2 - Pseudarthrose atrophique | |
| B - PSEUDARTHROSES SEPTIQUES | 91 |
| 1 - Modalités thérapeutiques communes | |
| 2 - Existence d'une perte de substance osseuse isolée | |
| 3 - Association perte de substance osseuse et cutanée | |

LA FIXATION EXTERNE

| | |
|---|-----------|
| I - HISTORIQUE | 94 |
| II - BIOMECHANIQUE DES FIXATEURS EXTERNES | 99 |
| A - BIOLOGIE DE LA CONSOLIDATION PAR FIXATEUR EXTERNE | 99 |
| B - ASPECTS MECANIQUES DE LA FIXATION EXTERNE | 100 |
| 1 - Les fiches et les broches | |
| a) le diamètre des fiches | |
| b) l'ancrage osseux | |
| c) le nombre de fiche | |
| d) l'écartement des fiches | |
| e) la distance os-fixateur | |
| 2 - Les montages | |

LE FIXATEUR D'ILIZAROV

| | |
|---|-----|
| I - DESCRIPTION DU MATERIEL | 106 |
| A - LES ELEMENTS PRINCIPAUX | 106 |
| 1 - Les broches | |
| 2 - Les anneaux, demi-anneaux et les arceaux | |
| 3 - Les boulons | |
| B - LES ELEMENTS SECONDAIRES | 109 |
| 1 - Les tiges filetées | |
| 2 - Les drapeaux | |
| 3 - Les autres éléments | |
| C - DONNEES METALLURGIQUES | 110 |
| II - LES AUTRES FIXATEURS CIRCULAIRES | 111 |
| III - BIOMECHANIQUE DU FIXATEUR D'ILIZAROV | 113 |
| A - ETUDES BIOMECHANIQUES | 113 |
| 1 - Etude d'Ilizarov | |
| 2 - Etude de Boman | |
| 3 - Etude de Mac Coy | |
| 4 - Etude de Garin | |
| 5 - Etude de Kummer | |
| 6 - Etude de Gasser, Schneider, Perren | |
| 7 - Etude de Fleming | |
| 8 - Etude de Chomenko | |
| B - SYNTHESE DES DIFFERENTES ETUDES | 117 |
| 1 - Comparaison avec les autres fixateurs | |
| 2 - Impératifs biomécaniques | |

TRAITEMENT DES PSEUDARTHROSES PAR LA METHODE D'ILIZAROV

| | |
|---|-----|
| I - INTRODUCTION - PRINCIPES DE LA METHODE | 120 |
| II - ASPECTS HISTOLOGIQUES | 122 |
| A - FAITS EXPERIMENTAUX | 122 |
| 1 - Rôle de la fixation | |
| 2 - Rôle de la vascularisation | |
| 3 - Potentialités ostéogéniques de la moelle | |
| 4 - Vitesse de distraction | |
| B - LE REGENERAT | 124 |
| C - DEVENIR DES PARTIES MOLLES EN DISTRACTION | 126 |
| 1 - Myogénèse | |
| 2 - Angiogénèse | |
| 3 - Développement des nerfs | |
| III - ASPECTS BIOMECANIQUES | 128 |
| A - METHODE FONCTIONNELLE | 128 |
| B - LA COMPRESSION SIMPLE | 130 |
| 1 - Compression axiale | |
| 2 - Compression interfragmentaire | |
| 3 - Correction d'un décalage | |
| C - LA DISTRACTION | 131 |
| 1 - Compression distraction monofocale | |
| 2 - Extension-compression bifocale combinée | |
| 3 - Distraction transversale | |
| D - CORRECTIONS ANGULAIRES | 133 |

| | |
|--|-----|
| IV - PROBLEMES TECHNIQUES GENERAUX | 135 |
| A - PRECAUTIONS PRE-OPERATOIRES | 135 |
| 1 - Préparation psychologique du malade | |
| 2 - Planification de l'intervention | |
| 3 - Installation | |
| B - MISE EN PLACE DES BROCHES | 136 |
| 1 - La transfixion | |
| 2 - Les zones de transfixion des membres | |
| 3 - Technique de mise en place des broches | |
| a) humérus | |
| b) fémur | |
| c) tibia | |
| C - MONTAGE DES ANNEAUX | 144 |
| D - LA CORTICOTOMIE | 144 |
| E - SOINS POST-OPERATOIRES | 145 |
| 1 - Rééducation | |
| 2 - Soins infirmiers | |
| F - COMPLICATIONS | 146 |
| G - ABLATION DU MATERIEL | 147 |
| | |
| V - MONTAGES TYPES | 148 |
| A - AU TIBIA | 148 |
| B - AU FEMUR | 148 |
| C - A L'HUMERUS | 149 |
| | |
| VI - LUTTE CONTRE L'INFECTION | 153 |
| A - TRAITEMENT DES FISTULES | 153 |
| B - TRAITEMENT DES SEQUESTRES | 153 |
| C - L'ANTIBIOTHERAPIE | 153 |

| | |
|---|-----|
| VII - INDICATIONS | 155 |
| A - PSEUDARTHROSE SANS PERTE DE SUBSTANCE OSSEUSE | 155 |
| 1 - Pseudarthroses hypertrophiques | |
| 2 - Pseudarthroses atrophiques | |
| 3 - Pseudarthroses septiques | |
| B - TRAITEMENT DES PERTES DE SUBSTANCE OSSEUSES | 156 |
| 1 - Perte de substance circonférentielle < 3 cms | |
| 2 - Perte de substance supérieur à 3 cms | |
| 3 - Perte de substance très importante | |
| C - CORRECTIONS D'AXES | 160 |
| 1 - Pseudarthroses laches | |
| 2 - Pseudarthroses serrées | |
| D - TRAITEMENT DES PERTES DE SUBSTANCE CUTANÉES | 160 |
| 1 - Perte de substance cutanée minime | |
| 2 - Perte de substance cutanée importante | |

ETUDE DE NOTRE SERIE

| | |
|--|-----|
| I - MATERIEL D'ETUDE | 162 |
| A - EPIDEMIOLOGIE | 162 |
| 1 - Répartition selon l'âge | |
| 2 - Répartition selon le sexe | |
| 3 - Le côté atteint | |
| 4 - Traumatisme initial | |
| B - REPARTITION SELON LE SEGMENT OSSEUX | 163 |
| C - LOCALISATION OSSEUSE DE LA PSEUDARTHROSE | 164 |
| D - CARACTERES DE LA PSEUDARTHROSE | 164 |

| | |
|---|-----|
| 1 - Caractère septique | |
| 2 - Le type de pseudarthrose | |
| 3 - Perte de substance osseuse | |
| 4 - Raccourcissement | |
| 5 - Déviation axiale | |
| a) à l'humérus | |
| b) au fémur | |
| c) au tibia | |
| E - QUALITE DES PARTIES MOLLES | 166 |
| F - HISTOIRE DE LA PSEUDARTHROSE | 167 |
| 1 - Traumatisme initial | |
| 2 - Délai d'évolution | |
| 3 - Intervention antérieures | |
| a) le traitement de la fracture | |
| b) interventions spécifiques à la pseudarthrose | |
| G - LE TRAITEMENT ET LES MONTAGES | 168 |
| 1 - Type de montage | |
| a) à l'humérus | |
| b) au fémur et au tibia | |
| 2 - Gestes intrafocaux | |
| 3 - Mode d'application du montage | |
| a) pseudarthroses simples | |
| b) pseudarthroses septiques sans perte de substance | |
| c) pseudarthroses avec perte de substance osseuse | |
| 4 - Corrections des déviations axiales | |
| 5 - Suites immédiates | |
| a) date d'appui | |
| b) antibiothérapie | |

| | |
|--|---------|
| II - RESULTATS | 174 |
| A - INCIDENTS - ACCIDENTS | 174 |
| 1 - Problèmes lié aux broches | |
| 2 - Complications post-opératoires | |
| B - RESULTATS SUR LA CONSOLIDATION | 176 |
| 1 - Pseudarthroses simples | |
| 2 - Pseudarthroses septiques sans perte de substance | |
| 3 - Pseudarthroses avec perte de substance osseuse | |
| a) perte de substance circonférentielle | |
| b) perte de substance partielle | |
| C - RESULTATS SUR L'INFECTION | 185 |
| D - ABLATION DU MATERIEL | 188 |
| E - RESULTAT ANATOMIQUE | 189 |
| 1 - Cal vicieux | |
| 2 - Raccourcissement | |
| F - RESULTAT FONCTIONNEL | 193 |
| 1 - Raideur articulaire | |
| 2 - Douleur | |
| 3 - Marche | |
| 4 - Autonomie | |
| G - AU TOTAL | 197 |
| III - ETUDE DES ECHECS | 198 |
| A - OBSERVATION N°7 | 198 |
| B - OBSERVATION N°17 | 200 |
| C - OBSERVATION N°19 | 202 |
| D - OBSERVATION N°20 | 206 |
| E - OBSERVATION N°23 | 206 |
| F - SYNTHESE | 210 |

IV - LES AUTRES SERIES

211

- 1 - La série de CONFALONIERI
- 2 - La série de CATTANEO
- 3 - La série de CATAGNI
- 4 - La série de TERVER
- 5 - La série de MERLOZ
- 6 - La série de LOKIETEK
- 7 - La série de DE CLOEDT
- 8 - La série de CANUTI
- 9 - La série de CIUCCARELLI
- 10 - La série de MORANDI
- 11 - La série de PEARSON
- 12 - La série de CARFORA
- 13 - La série de GALANTE

Serment d'Hippocrate

En présence des Maîtres de cette école, de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser les crimes.

Reconnaissant envers mes Maîtres, je tiendrai leurs enfants et ceux de mes confrères pour des frères et s'ils devaient entreprendre la Médecine ou recourir à mes soins, je les instruirais et les soignerais sans salaire ni engagement.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné à jamais de jouir heureusement de la vie et de ma profession, honoré à jamais parmi les hommes, si je le viole, et que je me parjure, puissè-je avoir un sort contraire.

BON A IMPRIMER N° 21

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE

Vu, le Doyen de la Faculté

VU et PERMIS D'IMPRIMER

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ

Résumé

PLACE DE LA MÉTHODE D'ILIZAROV DANS LE TRAITEMENT DES PSEUDARTHROSES SEPTIQUES ET ASEPTIQUES DES OS LONGS.

Après une mise au point sur les traitements classiques des pseudarthroses, nous avons étudiés, à partir d'une série de 24 patients, la validité de la méthode d'Ilizarov et sa place au sein des méthodes traditionnelles.

L'appareil d'Ilizarov est un fixateur externe circulaire alliant stabilité et élasticité en compression axiale grâce à ses broches mises en tension.

La remise en fonction du membre lésé est une condition essentielle au succès de la méthode.

La méthode d'Ilizarov a pour ambition d'associer la consolidation à une correction d'axe et de combler une perte de substance osseuse sans apport d'os et sans raccourcissement. Le traitement de l'infection est simultané.

L'étude de nos échecs nous a permis de déterminer les limites de la méthode et la nécessité d'une grande maîtrise technique dans sa réalisation.

Au niveau des indications, la méthode d'Ilizarov trouve sa place essentiellement dans le traitement des pseudarthroses septiques.

MOTS CLES :

Pseudarthroses

Ilizarov (Méthode d')

Ilizarov (Fixateur Externe d')