

# Les transplants diaphyso-épiphysaires de fibula vascularisée pour la reconstruction des os longs chez l'enfant, après résection tumorale

## Free Vascularized Fibula Graft after in Bloc Resection of the Long Bones in the Children

MA Germain [1], J Dubousset [2], E Mascard [2], MC Missana [1]

1. Institut Gustave Roussy Villejuif - 114, rue Edouard Vaillant - 94805 Villejuif Cedex.

2. Hôpital Saint Vincent de Paul - Avenue Denfert Rochereau - 75014 Paris.

### Mots clés

- ◆ Autogreffe
- ◆ Transplantation os
- ◆ Fibula
- ◆ Humerus
- ◆ Radius
- ◆ Cubitus
- ◆ Fémur
- ◆ Tibia
- ◆ Chirurgie reconstructrice
- ◆ Microchirurgie
- ◆ Osteosarcome
- ◆ Enfant

### Résumé

**But** : Préciser l'intérêt des transplants diaphyso-épiphysaires de fibula vascularisée pour la reconstruction des os longs des membres chez l'enfant après résection tumorale.

**Anatomie** : La fibula a une double vascularisation : le pédicule tibial antérieur pour l'épiphyse (cartilage de croissance et surface articulaire) et le pédicule fibulaire pour la diaphyse. C'est ce long transplant vascularisé que nous avons utilisé avec ses deux pédicules. Ceux-ci nécessiteront une double revascularisation. L'artère tibiale antérieure doit être obligatoirement reconstruite par un pontage veineux saphène.

**Patients** : Entre 1985 et 2009, chez l'enfant (4 à 17 ans), après résection tumorale, 82 membres ont été reconstruits par transplants de fibula vascularisée, associée à une ostéosynthèse interne. (Ostéosarcome n=54, sarcome d'Ewing n=27, pseudarthrose congénitale : n=1).

**Les os concernés** : Humerus : 16, Radius : 9, Fémur : 44, Tibia : 13. Chez ces enfants, la diaphyse de fibula, l'épiphyse avec cartilage de croissance, le cartilage articulaire, ont été utilisés. La diaphyse de fibula a été associée à une allogreffe osseuse dans n=6 cas (la fibula vascularisée était placée à l'intérieur de l'allogreffe osseuse). Chez l'enfant, il est indispensable, après prélèvement, de reconstruire la fibula avec une broche et une baguette de tibia homolatérale pour éviter le valgus de la cheville.

La revascularisation s'est effectuée sur deux pédicules vasculaires du membre reconstruit.

**Résultats** : Aucun décès post-opératoire. La reconstruction des membres supérieurs et du tibia a été suivie par une seule fracture. La croissance de l'épiphyse transplantée est réelle et visualisée sur radiographies comparatives.

Les reconstructions du fémur ont été suivies de nombreuses complications (fracture de la fibula qui consolide spontanément car vascularisée, retard de consolidation, pseudarthrose, déviation axiale, raccourcissement).

Les résultats fonctionnels ont été évalués selon la classification d'Enneking et nos résultats sont compris entre 21 et 30 points, sur un maximum de 30.

Pour cette raison, depuis 12 ans, pour la reconstruction du fémur, nous associons la fibula vascularisée à une allogreffe osseuse ; celle-ci a un rôle mécanique, puis se résorbe partiellement et la fibula s'épaissit et consolide.

Des complications bénignes au site donneur ont été observées : valgus, parésie du nerf sciatique poplité externe transitoire, griffe de l'hallux, nécessitant souvent une correction.

Un cas de récurrence a nécessité une désarticulation du membre.

En cas de sarcome osseux, la survie des enfants à 5 ans est de 70 % en raison de la survenue de métastases pulmonaires.

**Conclusion** : Nos résultats confirment les avantages du transplant vascularisé de fibula pour la reconstruction des os longs chez l'enfant : il s'agit d'un matériel biologique, et le résultat est définitif. Pour la reconstruction du fémur, l'adjonction d'une allogreffe permet de limiter les complications mécaniques.

L'intérêt de ce transplant est majeur : il permet de reconstruire de longues pertes de substance (supérieures à 8 cm) en apportant un os long, un cartilage de croissance et un cartilage articulaire permettant aux enfants de reprendre une bonne qualité de vie.

Dans l'avenir, l'association de la fibula vascularisée aux cellules souches ostéoformatrices et à une matrice semble être intéressante, puis peut-être l'imprimante 3D.

### Correspondance :

Michel Germain  
8, rue Charles Marie Widor - 75016 Paris.  
E-mail : m.a.germain@orange.fr

### Keywords

- ◆ Transplantation auto-logue
- ◆ Bone transplantation
- ◆ Fibula
- ◆ Humerus
- ◆ Radius
- ◆ Ulna
- ◆ Femur
- ◆ Microsurgery
- ◆ Reconstruction
- ◆ Plastic surgery
- ◆ Osteosarcoma
- ◆ Child

### Abstract

**Patients:** Limb salvage surgery is the standard care for most malignant tumors affecting the extremities in the child. Vascularized fibula transfer is the most microsurgical option to reconstruct long-bone defects. Between 1985 and 2009, eighty two children with intractable diseases of the limbs were treated using free vascularized fibula grafts. There were boys (n=54) and girls (n=28). Age: 4 to 17 years (mean=11). The reconstructed sites were the humerus (=16), the radius (n=9) femur (n=44) tibia (n=13). After the resection of the sarcoma, the length of the bone defect ranged from 12 to 35 cm (mean: 22 cm). Etiology was: osteo sarcoma n=54, sarcoma of Ewing n=27. One girl 4, 5 years old with congenital pseudo arthrosis of radius and cubitus had a resection and reconstruction with a U shaped vascularized fibular transplant.

**Results:** No post-operative death. One local recurrence necessitated amputation of the limb. Complications were numerous especially for the femur: fracture of the grafted fibula, necessity of additional bone grafts, malunion (delayed consolidation) needed reoperation, pseudo arthrosis, ankle valgus, radial inclination necessitated reoperation. The mean period required to obtain radiographic bone union was 5 months. The functional results of the patients were evaluated according to the scale of Enneking. The results in our série ranged from 21 to 30 points. These results are regard to pain, emotional acceptance, manual dexterity.

The vascularized fibula grafts are indicated specially in children with long bone defects more than 8 cm. The future will be probably vascularized fibular graft associated with stem cells and matrix.

La possibilité de guérison est le progrès le plus remarquable dans le traitement des sarcomes des os longs chez l'enfant. Aussi, ni l'abstention thérapeutique, ni l'amputation ne sont tolérables.

Les pertes de substance des os longs après résection pour sarcome chez l'enfant sont un sujet préoccupant qui pose des difficultés importantes de reconstruction.

De multiples techniques ont été autrefois proposées : elles donnent un taux d'échec important car il s'agit de longues pertes de substance osseuse supérieures à 8 cm.

Les techniques suivantes ont été utilisées : traitement orthopédique, clou centromédullaire, fixateur externe, technique d'Illizarov, méthode de Papineau, prothèses. Les allogreffes donnent de bons résultats immédiats mais elles ne se réhabilitent jamais. A long terme, il existe des fractures, des infections, des pseudarthroses : les résultats sont insuffisants.

L'idée d'utiliser la fibula autologue sans revascularisation pour reconstruire le tibia date de 1905 et fut utilisé par Huntington, mais l'os ne s'épaississait pas, car non vascularisé. Les premiers cas rapportés dans la littérature de l'utilisation d'un transplant de fibula vascularisé étaient réalisés par Ueba en 1973 (1,2) puis par Taylor en 1975. En France, Alain Gilbert en 1991 (3) a décrit la voie d'abord externe de la fibula, utilisée ensuite par Henri Judet (4) et Christophe Mathoulin, (5) et décrit par Hidalgo pour la mandibule (6). Cette voie d'abord est actuellement universellement reconnue.

## Anatomie

Il est indispensable de rappeler l'anatomie de la vascularisation de la fibula. Classiquement, pour le prélèvement de la fibula, il fallait respecter l'épiphyse supérieure et l'épiphyse inférieure. S'il faut respecter cette dernière en raison de la mortaise de cheville, l'épiphyse supérieure peut être prélevée, bien sûr en réparant le ligament latéral externe du genou.

Cette épiphyse est particulièrement intéressante car elle comporte le cartilage de croissance et la surface articulaire de la tête de la fibula, ce qui permet la croissance et la reconstruction d'une articulation.

L'épiphyse de la fibula est vascularisée par l'artère tibiale antérieure qui donne habituellement deux branches à l'épiphyse supérieure : les artères géniculaires antérieure et postérieure.

Après prélèvement, il est indispensable de reconstruire l'artère tibiale antérieure par un pontage et nous utilisons généralement un segment de veine saphène, facile à prélever.

L'artère fibulaire naît du tronc tibio-péronier : elle vascularise la diaphyse. Elle a une double destination : l'artère centrale de la fibula qui pénètre l'os à mi-hauteur de celui-ci, et les multiples branches périostées (Fig 1).

L'artère tibiale antérieure est inconstante : elle est absente dans 4 % des cas. Aussi avant prélèvement de fibula, il est recommandé de réaliser un écho-doppler à 3 niveaux de la jambe, pour préciser sa vascularisation. En effet, le prélèvement de la fibula sacrifie l'artère fibulaire, et il ne resterait alors que l'artère tibiale postérieure pour vasculariser la jambe. C'est insuffisant.

## Patients et méthodes

Notre série regroupe 82 enfants traités pour sarcomes des os longs. Ils ont été soignés initialement par chimiothérapie à l'Institut Gustave Roussy puis opérés dans le service de chirurgie d'enfants à l'Hôpital Saint-Vincent de Paul à Paris entre 1985 et 2009 (7). Il en est de même pour les chirurgiens ORL (8).

## Patients

Les enfants de cette série sont âgés de 4 à 17 ans (moyenne 11 ans). Sexe : 54 garçons et 28 filles.

Quatre-vingt-deux membres ont été reconstruits par transplants de fibula vascularisée, associée à une ostéosynthèse interne. (Ostéosarcome n=54, sarcome d'Ewing n=27, un cas de pseudarthrose congénitale des 2 os de l'avant-bras).

Les os longs concernés sont : Humerus : 16, Radius : 9, Femur : 44, Tibia : 13. Le côté gauche des enfants était trois fois plus souvent atteint que le côté droit. Certains enfants avaient été opérés jusqu'à sept fois. Chez ces enfants, la diaphyse de fibula, l'épiphyse avec cartilage de croissance et le cartilage articulaire ont été utilisés. En cas de lésion du fémur, la diaphyse fibulaire a été associée à une allogreffe osseuse dans n=6 cas (la fibula était placée à l'intérieur de l'allogreffe osseuse, après élargissement du canal médullaire). Chez l'enfant et avant la fin de croissance, il est indispensable, après prélèvement, de reconstruire la fibula avec une broche de Kirchner et une baguette de tibia homolatérale donc non vascularisée, pour éviter le valgus de la cheville : la fibula se reconstruit.

Pour les sarcomes, le délai entre le diagnostic, l'exérèse faite au même moment que la reconstruction par fibula vascularisée était en moyenne de 3,5 mois avec des extrêmes de 3 mois à 9 ans. Ce délai correspond en général à la chimiothérapie préopératoire. Les longs délais étaient liés à des reconstructions multiples antérieures par des prothèses ou du ciment, suivies d'échecs, puis suivis de fibula vascularisée. Avant décision opératoire, une artériographie des membres inférieurs a été réalisée pour rechercher une compression voire un envahissement veineux par la tumeur, et elle permettait de préciser la vascularisation de la fibula.

Le nombre d'interventions antérieures avant le transplant de fibula était compris entre 0 et 7.

La longueur de la perte de substance osseuse, après la résection de la tumeur était comprise entre 35 et 11 cm avec une moyenne de 22 cm. Une palette cutanée vascularisée a été associée à la fibula dans trois cas pour reconstruire l'avant-bras. Il n'a pas été utilisé de palette pour le fémur en raison de la profondeur de la reconstruction.

Il faut signaler que la reconstruction de l'humerus pose une difficulté fonctionnelle majeure au niveau de l'épaule, et après la croissance du transplant fibulaire, une arthroïdèse de l'épaule a permis de donner une bonne stabilité à celle-ci, bien sûr au prix d'une raideur.

### Méthodes

La biopsie des tumeurs est indispensable avant toute décision thérapeutique. La chimiothérapie préopératoire en cas de sarcome a un rôle fondamental. En cas de sarcome, une artériographie des 2 membres inférieurs était réalisée. Elle précisait la vascularisation de la tumeur et celle de la fibula.

### Technique

L'exérèse des sarcomes osseux obéit aux règles carcinologiques. La chimiothérapie préopératoire permet d'encapsuler la tumeur, ce qui facilite l'exérèse. L'IRM préopératoire confirme ce phénomène. L'exérèse puis la reconstruction par fibula vascularisée se font dans le même temps opératoire. Précisons que les premiers cas ont été reconstruits d'abord par prothèse ou ciment puis par fibula dans un deuxième temps.

Les interventions étaient toujours réalisées à deux équipes entraînées. En cas de sarcome du fémur, la fibula était prélevée du même côté afin de n'opérer qu'un seul membre.

- Les voies d'abord.

L'installation des enfants était toujours en décubitus dorsal sur table ordinaire. Les voies d'abord des sarcomes du fémur étaient doubles : interne pour disséquer les vaisseaux, externe pour l'exérèse en bloc de la tumeur et réaliser l'ostéosynthèse. L'examen Doppler permet de repérer les pédicules cutanés issus de l'artère fibulaire : ces points sont notés au crayon dermographique et seront utiles pour délimiter la palette cutanée qui peut être prélevée avec la fibula.

-Le prélèvement de la fibula se fait par voie externe, selon la technique décrite par Alain Gilbert (3).

Après incision longitudinale à la face externe de la jambe : peau, puis aponévrose jambière, on sépare les muscles : extenseur commun et court péronier latéral. Puis désinsertion des muscles extenseur commun, péronier latéral, long péronier latéral puis fléchisseur propre, en veillant à laisser une fine lamelle de muscle autour de la fibula, de façon à préserver les vaisseaux périostés qui vascularisent la fibula.

La fibula est ainsi exposée. Après repérage de la longueur nécessaire d'os, la fibula est contournée par une rugine à sa partie distale, de façon à ne pas blesser les vaisseaux fibulaires. La fibula est sectionnée à la scie pneumatique en protégeant ces vaisseaux. De même proximale, l'os est contourné et protégé par la rugine. L'os est sectionné. La fibula a alors une certaine mobilité, car les faces externe et interne ont été libérées.

Distalement, le pédicule fibulaire est repéré et sectionné entre ligature. La fibula est alors soulevée avec douceur et séparée du fléchisseur propre en conservant toujours une fine épaisseur de muscle. Les vaisseaux fibulaires sont situés à la face profonde de la fibula comme le montre la Figure 1. La dissection est poursuivie jusqu'à la partie proximale de la fibula. Au tiers supérieur de l'os siège l'origine du pédicule fibulaire. Il existe deux veines et une artère. Chaque élément est disséqué et lié du côté proximal. Du côté distal un clamp

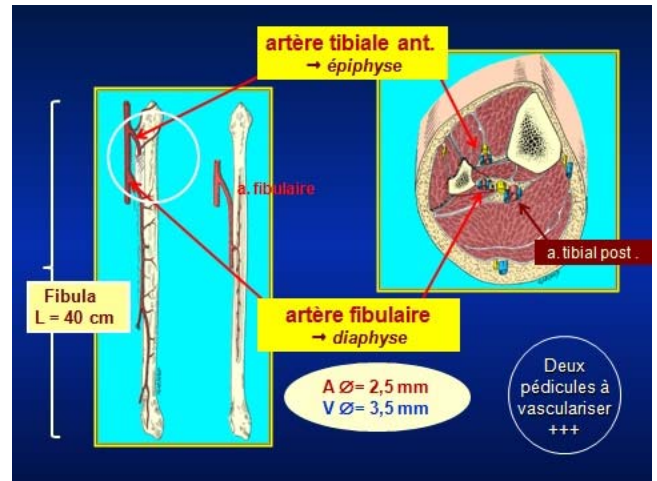


Figure 1. Anatomie de la vascularisation de la fibula avec deux pédicules : art. tibiale ant. Et art. fibulaire.

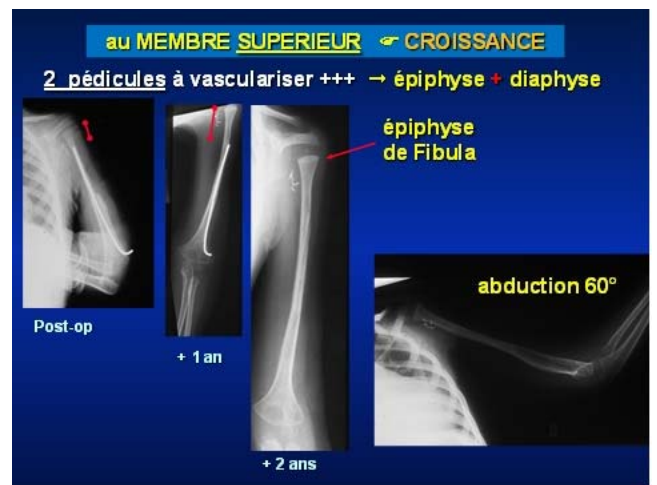


Figure 2. La croissance du transplant vascularisé de fibula est une réalité, grâce au cartilage de croissance. Radiographies de l'humerus : post-op et à 2 ans.

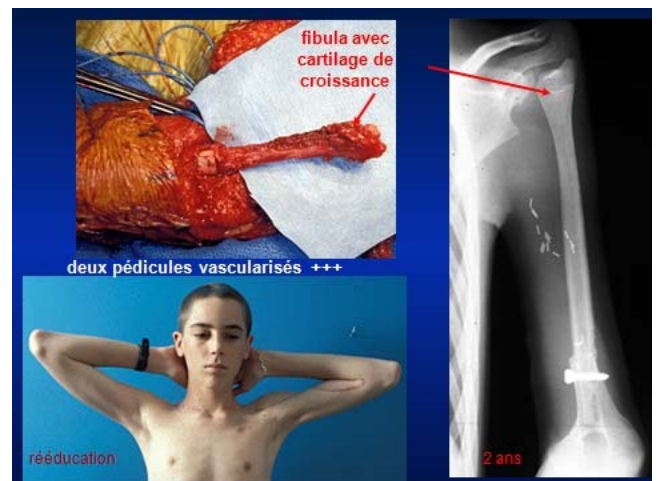


Figure 3. Transplant de fibula avec le cartilage de croissance et la surface articulaire, pour reconstruire l'humerus. La rééducation permet une mobilité normale.





Figure 4. La difficulté fonctionnelle pour la reconstruction de l'humérus nous a amené après la croissance à réaliser une arthrodèse de l'épaule, pour la stabiliser. La mobilité de l'épaule se fait au niveau scapulo-thoracique.



Figure 5. Reconstruction de l'humérus par fibula vascularisée. Restitution de l'humérus à deux ans : radios et résultat fonctionnel à 2 ans.



Figure 6. Pseudarthrose congénitale des 2 os de l'avant-bras : reconstruction par transplant de fibula vascularisée en U. Radiographies pré-op, post-op et résultat à deux ans. L'artériographie pré-op montre l'intégrité des axes vasculaires.

est appliqué. Le transplant de fibula est libre. Il sera utilisé tel quel, rectiligne.

Lorsqu'une palette cutanée est nécessaire, elle sera prélevée en bloc avec la fibula avec laquelle elle partage la même vascularisation.

-Le prélèvement de l'épiphyse supérieure de fibula associé à la diaphyse.

La technique est la même que précédemment. L'incision cutanée est poursuivie au-delà de la tête fibulaire. Celle-ci est libérée. Le nerf sciatique poplité externe est repéré, libéré avec douceur : il contourne le col de la fibula. Le ligament latéral externe est désinséré de la tête de la fibula. Il sera réinséré sur l'extrémité supérieure du tibia. De même le ligament péronéo-tibial supérieur est sectionné. Les vaisseaux géniculaires qui vascularisent l'extrémité supérieure de la fibula sont libérés dans une atmosphère graisseuse jusqu'à l'artère tibiale antérieure. Un segment de 2 cm de cette artère et de la veine adjacente est prélevé. Ils seront branchés sur les vaisseaux receveurs. Le prélèvement est terminé. L'artère tibiale antérieure est obligatoirement reconstruite par un pontage : le greffon de veine saphène est facile à utiliser.

-Pour la reconstruction fémorale, les vaisseaux de revascularisation de la fibula ont été : les vaisseaux fémoraux profonds en termino-terminal, les vaisseaux fémoraux superficiels par l'intermédiaire de greffons veineux, les vaisseaux perforants. La veine fibulaire a toujours été revascularisée, en plus de l'artère fibulaire. Il faut signaler les difficultés pour disséquer ces petits vaisseaux, en particulier après des interventions antérieures et une éventuelle radiothérapie. Le microscope opératoire est nécessaire chez l'enfant, et le fil utilisé pour les microsutures est du 9 ou 10-0.

-Les ostéosynthèses du membre opéré ont été réalisées par un matériel interne : plaque vissée, broche centromédullaire, vis. (9,10). En effet, les patients ayant un sarcome recevaient aussi une chimiothérapie postopératoire, et il fallait absolument éviter une porte d'entrée microbienne telle que les fixateurs externes. De plus l'ostéosynthèse interne est plus stable que les fixateurs externes.

-La reconstruction de la fibula prélevée est nécessaire si l'enfant n'a pas terminé sa croissance, pour prévenir le valgus de la cheville. Une broche de Kirchner est placée en va-et-vient entre les deux extrémités de fibula. La perte de substance de la fibula est comblée par une baguette de tibia de longueur équivalente, prélevée par une voie d'abord interne séparée, du côté homolatéral. Elle n'est pas vascularisée. La baguette de tibia est fixée à la broche de Kirchner à l'aide de suture de fil résorbable. Ensuite, une néo-fibula se reconstruit chez l'enfant en quelques semaines. Lorsque la fibula est prélevée très bas, au niveau des ligaments péronéo-tibiaux, une vis de syndesmose péronéo-tibiale est placée pour éviter la déformation en valgus.

Les anastomoses microchirurgicales artérielles et veineuses sont réalisées après la fixation du transplant de fibula, de façon à le stabiliser. Ces anastomoses sont termino-terminales et peuvent nécessiter un pontage vasculaire avec un greffon veineux. Le microscope opératoire ou les lunettes grossissantes sont un apport majeur.

-Pour les reconstructions du fémur et pour éviter les complications mécaniques, nous avons utilisé une allogreffe de fémur (n= 6). L'allogreffe osseuse était forée dans le canal centro-médullaire pour l'élargir. Une fenêtre était pratiquée à sa partie supérieure pour sortir le pédicule de la fibula (Fig 15). Le transplant de fibula était placé à l'intérieur de l'allogreffe et le pédicule vasculaire extériorisé par la fenêtre. L'ostéosynthèse était pratiquée par plaque (Fig 16) et le pédicule vasculaire fibulaire était revascularisé.

## Surveillance

La surveillance postopératoire des transplants demeure difficile.

En pratique la radiographie du membre opéré a été réalisée de face et de profil. Les deux critères de vitalité du transplant de fibula sont l'épaississement et l'apparition de cal osseux aux deux extrémités. Il faut signaler la difficulté d'interpréter les radios en raison du volume des plaques.

L'appui partiel est autorisé après l'apparition du cal osseux. L'appui total est permis après l'hypertrophie du transplant de fibula. La vitalité de la palette cutanée utilisée au membre supérieur a un intérêt limité dans le temps. L'examen Doppler à trois niveaux du membre est utile pour vérifier la perméabilité des axes vasculaires. L'examen Doppler per-opératoire est également intéressant. L'artériographie et l'angiographie numérisée sont intéressantes mais ne sont pas des examens répétitifs. La scintigraphie est réalisée après la chimiothérapie pour vérifier la vitalité du transplant et éliminer d'éventuelles autres localisations de sarcome. La radiographie des poumons est indispensable aux troisième, sixième mois postopératoires éventuellement complétée par un scanner thoracique pour détecter les métastases pulmonaires. Elle sera ensuite réalisée annuellement.

La chimiothérapie pré et postopératoire dépend du type histologique. Seuls les sarcomes d'Ewing sont radiosensibles. Toutefois nous n'avons pas utilisé la radiothérapie postopératoire, craignant pour la vitalité du transplant.

L'évaluation fonctionnelle des transplants a été réalisée quantitativement selon le protocole testé en 1989 par la « Musculo Skeletal Tumor Society » (MSTS) et adopté par « l'International Symposium on Limb Salvage » (ISOLS) décrit par Enneking (11).

Ce système donne une valeur numérique de 0 à 5 pour chacune des six catégories : douleur, fonction, acceptation émotionnelle, déplacement de la main, adresse manuelle, force motrice. L'intérêt de ce système est de faciliter les études comparatives des reconstructions tumorales osseuses (4).

## Résultats

Aucun décès immédiat n'a été observé.

Le recul de notre série de transplants vascularisés de fibula est de plus de 7 ans, les interventions étant réalisées entre 1985 et 2009. Il faut préciser que deux enfants avaient eu une résection de sarcome en 1983 et 1990 avec à l'époque une reconstruction initiale par prothèse.

Après transplant de fibula vascularisée, la consolidation s'est faite entre le 4ème et le 14ème mois, avec une moyenne de 9 mois (Fig 2,3).

La qualité de l'ostéosynthèse est un facteur décisif de réussite et de rapidité de la consolidation. De même l'apport de greffons corticaux spongieux initiaux active la consolidation.

Plusieurs complications ont été observées. Une complication fréquente est la fracture du transplant de fibula (un quart de nos patients). Ces fractures sont constatées lorsqu'un long transplant de fibula est utilisé. Ces fractures sont indolores car la fibula n'est pas innervée. Elles peuvent donc passer inaperçues. Elles ont été détectées par suite d'une déformation du membre. Ces fractures ont toutes consolidé après traitement orthopédique (immobilisation plâtrée), car la fibula est vascularisée, entraînant un épaississement et un cal de la fibula. Le valgus de cheville a nécessité une ré intervention avec correction et épiphysiodèse par vis. Les retards de consolidation ont nécessité des greffons cortico-spongieux autologues prélevés au niveau de la crête iliaque, suivis de consolidation. La reconstruction de l'extrémité supérieure de l'humérus pose des difficultés fonctionnelles importantes, en raison des différences de surface des cartilages articulaires : une glène importante et une petite surface articulaire de

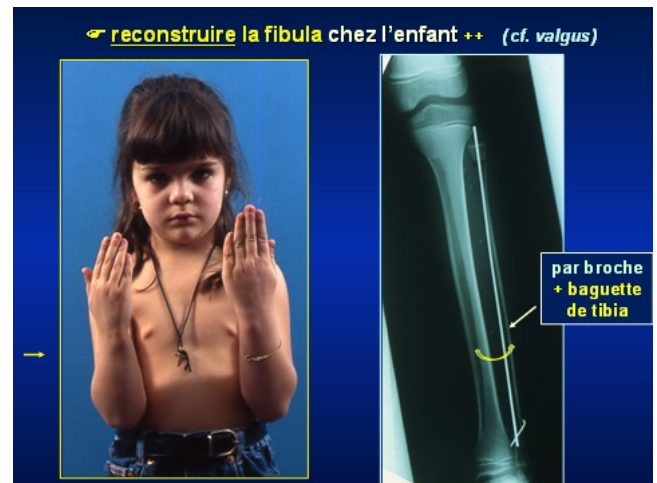


Figure 7. Résultat fonctionnel après reconstruction des 2 os de l'avant-bras. Nécessité chez l'enfant de reconstruire la fibula par une broche et une baguette de tibia homolatérale après prélèvement de la fibula.



Figure 8. Reconstruction du radius par transplant de fibula vascularisée avec palette cutanée, nécessaire à l'avant-bras pour fermer la peau.



Figure 9. Sarcome de l'extrémité supérieure du fémur. Exérèse carcinologique. Reconstruction de l'extrémité supérieure du fémur par transplant de fibula vascularisée. Radiographie post-op à 6 mois : consolidation et épaississement.





Figure 10. Résultat de reconstruction du fémur par transplant de fibula vascularisée : consolidation, épaissement, croissance (radiomensurations).

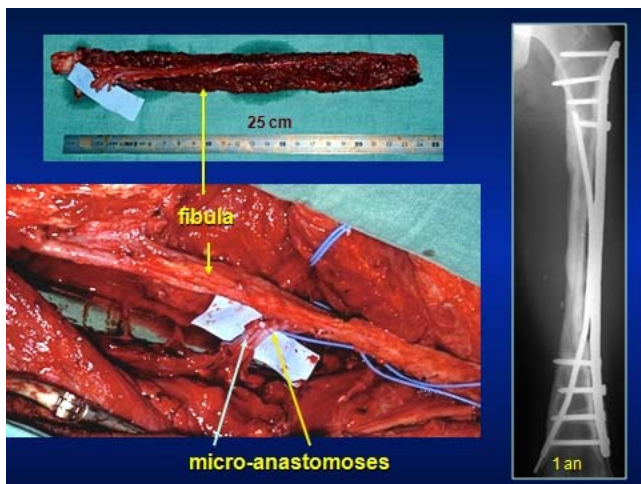


Figure 11. Reconstruction du fémur par transplant de fibula vascularisée : le transplant de 25 cm, les microanastomoses vasculaires. Radiographie à 1 an : consolidation et épaissement



Figure 12. Reconstruction du fémur par transplant vascularisé de fibula. Résultat à 2 ans : réfection du fémur. Les nombreuses cicatrices post-op : 2 au fémur, 2 à la jambe, 1 iliaque pour prélèvement de cartilage.

l'épiphyse fibulaire. La solution que nous avons adoptée après la croissance, est de réaliser une arthrodeuse de l'épaule (Fig 4). Cela donne une bonne stabilité à l'épaule. La mobilité de l'épaule vient alors des mouvements permis entre l'omoplate et la cage thoracique (Fig 5,6,7,8). La griffe du premier orteil est due à la désinsertion de l'extenseur propre du gros orteil et nécessite parfois une correction. En cas de raccourcissement du membre opéré, les solutions retenues sont : après l'âge de 20 ans allonger le transplant de fibula, ou bien à cet âge, raccourcir le membre de l'autre côté.

Le fémur (n=44) est la grande difficulté technique avec un nombre important de complications dont : retard de consolidation n=8, fracture n=10, déviation axiale n=6. Un traitement adapté a été réalisé.

Les pontages vasculaires réalisés ont été contrôlés par examen Doppler, en particulier pour la reconstruction de l'artère tibiale antérieure, et dans un cas de l'artère fémorale (Fig 9,10,11,12).

Au niveau du site donneur, nous avons observé des complications : les paralysies du nerf sciatique poplitée externe (n=4) ont été transitoires, le valgus de cheville (n=8) a nécessité une correction, la griffe du premier orteil (n=7) a souvent obligé à un geste local.

Ces chiffres de complications sont rapportés avec objectivité et rigueur et ne doivent pas pénaliser la méthode. Beaucoup de ces complications sont bénignes, dont les fractures.

Tous les enfants opérés ont repris l'école.

Le système d'évaluation adopté par le MSTs et ISOLS donne une valeur numérique comprise entre 0 et 5 pour chacune des six catégories. Les enfants opérés dans notre série et évalués avaient un résultat fonctionnel situé entre 21 et 30 (Fig 13).

Dans notre série, la survie à cinq ans est de 70 %. Les décès étaient dus à des métastases pulmonaires. Dans un cas de récidive du sarcome au niveau du fémur, nous avons dû pratiquer une désarticulation du membre inférieur.

Faut-il opérer ces enfants atteints de sarcomes osseux, après une chimiothérapie efficace, même lorsque l'IRM montre la disparition du sarcome ? La réponse est oui, sinon la récurrence est constante (12).

## Discussion

### Avantages

La technique conserve le membre opéré et la fonction, ce qui est primordial. Elle évite l'amputation.

Les séries de reconstruction du membre inférieur par fibula vascularisée sont nombreuses. Elles sont rares pour le membre supérieur.

Le greffon osseux idéal est un os vivant, vascularisé, autologue, qui reste organisé, ne se résorbe pas et donne une hypertrophie permettant d'augmenter sa solidité. C'est un matériel biologique. Le résultat est définitif.

Le transplant de fibula vascularisée répond à ces objectifs. C'est le seul matériel qui se brise et consolide spontanément avec un simple traitement orthopédique, car il est vascularisé. Les avantages sont une réalisation de cals osseux à chaque extrémité permettant la consolidation, une hypertrophie et une croissance.

La fixation de la fibula vascularisée à ses deux extrémités et l'association de greffons osseux corticaux spongieux d'emblée fournissent le taux de consolidation le plus rapide.

La préférence du transplant vascularisé de fibula par rapport aux autres greffons vascularisés (crête iliaque, crête scapulaire, côte, baguette de radius) tient à un avantage majeur : la configuration longitudinale et corticale de l'os permet de reconstruire de longues pertes de substance des os longs. L'anatomie vasculaire de la fibula permet un abord chirurgical simple et le prélèvement simultané d'une palette cutanée

vascularisée et de muscle (m. soléaire) (13). La longueur disponible de fibula est de 30 cm. Le cartilage articulaire de l'épiphyse peut être prélevé et utilisé pour la reconstruction de l'articulation, spécialement pour l'humérus et le fémur. Le résultat final est certes long à obtenir : 2 ans, mais il est définitif et les enfants reprennent une vie normale, avec une bonne qualité de vie.

La localisation humérale supérieure est une des plus difficiles à reconstruire sur le plan fonctionnel : le transplant vascularisé de fibula avec la tête fibulaire et sa surface articulaire offre une solution originale.

Que dire des autres techniques ? La période d'euphorie des prothèses, des arthroplasties, des allogreffes, de la technique d'Ilizarov, n'a pas répondu aux espoirs, et la technique de la fibula est une solution séduisante (14).

Jean Dubouset, sur une série de 29 cas d'allogreffes osseuses après résection pour tumeurs malignes des os longs démontre que les allogreffes intercalaires ne sont jamais réhabilitées : si les suites immédiates sont souvent simples, les complications secondaires sont nombreuses : fractures, pseudarthroses, infection qui surviennent tardivement entre la 3<sup>e</sup> et la 6<sup>e</sup> année. Il en est de même des allogreffes manchonnant une prothèse : l'allogreffe osseuse se comporte comme un séquestre. Seul le manchon périphérique est vivant (7). En effet, les allogreffes osseuses ont leurs complications spécifiques : résorption et infection

Pour améliorer les résultats de la reconstruction fémorale, en particulier pour éviter les complications mécaniques telles que les fractures, l'avenir est peut-être d'associer à la fibula vascularisée des substituts osseux tels que les cellules souches ostéoformatrices avec des biomatériaux. Comparée à d'autres techniques, telles que les prothèses et malgré les progrès, la fibula est une technique peu coûteuse. Les résultats obtenus avec le transplant libre vascularisé de fibula sont définitifs. C'est une méthode sûre de reconstruction après exérèse de tumeurs des os longs. Les complications bénignes pour les reconstructions du fémur ont une fréquence élevée, mais elles sont relativement faciles à corriger.

Les deux critères de succès de la fibula vascularisée chez l'enfant sont l'épaississement du transplant et le cal osseux à chaque extrémité.

Afin d'améliorer le taux et la rapidité de consolidation du transplant de fibula vascularisée, nous formulons plusieurs recommandations :

- La solidité de l'ostéosynthèse du membre doit être excellente,
- La fixation de la fibula vascularisée est nécessaire à ses deux extrémités,
- Une greffe corticale spongieuse autologue associée aux 2 extrémités de la fibula accélère la consolidation,
- Les microanastomoses vasculaires doivent être excellentes,
- La couverture cutanée doit être de bonne qualité (Fig 8), éventuellement permise par l'apport d'une palette cutanée. Il s'agit d'os autologue sans aucun risque d'apporter une maladie virale et sans risque de rejet.

**Inconvénients**

Il s'agit d'une chirurgie minutieuse, difficile, souvent de longue durée ;

La dissection des pédicules vasculaires receveurs est parfois difficile surtout lors des ré interventions, et après radiothérapie. Un pontage vasculaire avec un greffon veineux est alors parfois nécessaire (Fig 14,15,16). La microchirurgie est nécessaire.

Toutefois pour la reconstruction des os longs du membre supérieur, il est possible d'opérer à deux équipes : exérèse tumorale et prélèvement de la fibula, simultanément.

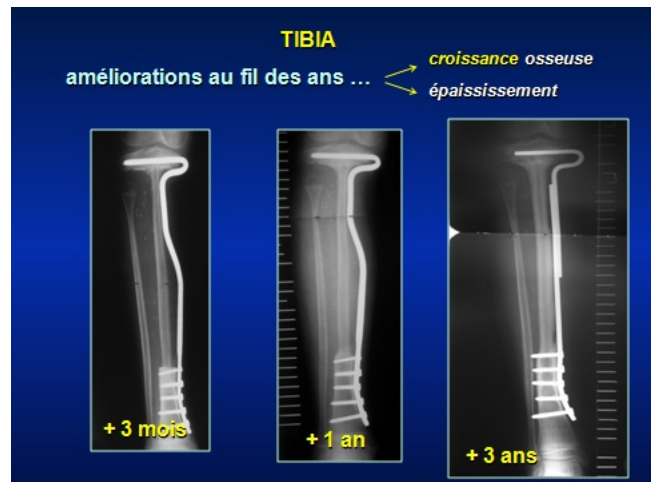


Figure 13. Reconstruction du tibia par transplant de fibula vascularisée : consolidation, épaissement, croissance. Résultat à 3 ans.

Figure 14. La reconstruction du fémur est une difficulté majeure en raison des nombreuses complications. Que faire ? Utiliser une baguette de tibia (peu efficace), deux fibula (intervention longue), ou fibula avec allogreffe pour éviter les fractures (notre solution)... Le futur est peut-être les cellules souches associées à une matrice.

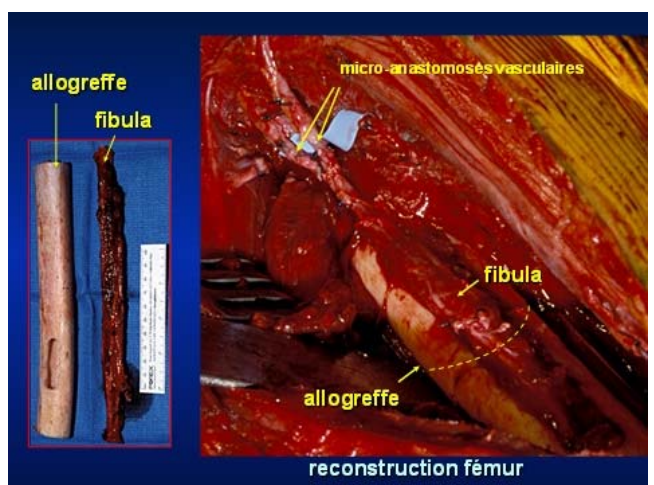


Figure 15. Reconstruction du fémur par transplant de fibula vascularisée, introduit dans une allogreffe, pour éviter les fractures.



Figure 16. Reconstruction du fémur par transplant vascularisé de fibula, introduit dans une allogreffe osseuse. Noter la résorption partielle de l'allogreffe, qui permet l'épaississement et la consolidation de la fibula à 2 ans.

Les complications de cette chirurgie, souvent mineures, sont nombreuses, dominées par la fracture du transplant de fibula, mais consolidant spontanément en donnant un cal osseux.

### Indications

La technique décrite pour la reconstruction des os longs est séduisante car le résultat est définitif et les avantages sont très nombreux. Il faut toutefois la réserver aux pertes de substance des os longs supérieurs à 8 cm. L'ostéosynthèse doit être solide. La possibilité d'utiliser la tête de fibula avec une surface articulaire et le cartilage de croissance vascularisés permet de reconstruire la fonction articulaire et d'obtenir une croissance du membre.

### Conclusion

Le transplant de fibula vascularisée est un apport majeur : le résultat est définitif, car il s'agit de matériau biologique. La reconstruction des os longs des membres chez l'enfant par fibula vascularisée permet une hospitalisation courte, une consolidation rapide et une reprise de l'activité des enfants car elle conserve le membre et la fonction. La technique est peu coûteuse par rapport aux autres techniques. La possibilité d'utiliser la fibula vascularisée avec l'épiphyse supérieure comportant une facette articulaire et le cartilage de croissance la rend particulièrement adaptée à la reconstruction des os longs des membres chez l'enfant.

Cette technique améliore la qualité de vie des enfants. Elle implique une excellente coordination pluridisciplinaire : médecins oncologues, radiothérapeutes, chirurgiens, radiologues, généticiens.

Le futur pour reconstruire les os longs est peut-être la fibula vascularisée, associée à des cellules souches ostéoformatrices avec des biomatériaux qui servent de matrice. Et puis il faut envisager la reconstruction par imprimante 3D... (15)

### Références

1. Ueba Y, Fujikawa S. Nine years follow-up of a vascularized fibular graft in neurofibromatosis. A case report and literature reviews. *Trauma. Surg.* 1983;26:595-605.
2. Weiland AJ, Daniel RK, Riley LH. Application of the free vascularized bone graft in the treatment of malignant or aggressive tumors. *Johns Hopkins Med J.* 1977;140: 85-96.
3. Gilbert A. Free vascularized bone grafts. *Int. Surg.* 1981;66:27-31.
4. Judet H, Gilbert A, Mathoulin C, Judet J, Judet T, Siguier M, Brumpt B. Reconstruction des pertes de substances osseuses des membres par transfert libre de péroné vascularisé. *Chirurgie.* 1991;117:469-77.
5. Mathoulin C, Gilbert A, Judet H, Judet T, Siguier M, Brumpt B. Transfert libre de fibula vascularisé dans les pseudarthroses et pertes de substance fémorale. *Rev. Chir. Orthop.* 1993;79:492-9.
6. Hidalgo DA. Fibula free flap: a new method of mandible reconstruction. *Plast Reconstruct Surg.* 1989;84:71-79.
7. Dubouset J, Missenard G. Allogreffes osseuses et résection pour tumeurs malignes au niveau des membres inférieurs. *Acta Orthop. Belg.* 1991;57:90-7.
8. Leclere FM, Bosc R, Temam S, Leymarie N, et al. Reconstruction of large mandibulofacial defects with the composed double skin paddle fibula free flap: a review of 32 procedures. *Laryngoscope.* 2014;124:1336-43.
9. Germain MA, Mascard E, Dubouset J, Missana MC, Bonvalot S. Reconstruction des os longs chez l'enfant par fibula vascularisée après résection tumorale-notre évolution. *E-Mem Acad Natle Chir.* 2007;5(1):1-6.
10. Germain MA, Dubouset J, Mascard E, Missenard G, Kalifa C. Reconstruction of long bones with free vascularized fibula after resection for sarcoma in the child. *Bull. Acad. Natle. Med.* 1996;180:1125-45.
11. Enneking WF, Dunham W, Gebhardt MC, Malawak M, Pritchard DJ. A system for functional evaluation of reconstructive procedures after surgical treatment of tumor of the musculo skeletal system. *Clinical Orthopaedics and Related Research.* 1993;286:241-6.
12. Iorio ML, Cheerharan M, Olding M. A systemic review and pooled analysis of peroneal artery perforators for fibula osteo-cutaneous and perforator flaps. *Plast Reconstruct Surg* 2012;130:600-7.
13. Yu PY, Chang EI, Hanassono MM. Design of a retable skin paddle for the fibula osteo cutaneous flap: perforator anatomy revisited. *Plast Reconstruct Surg* 2011;128:440-6.
14. Lykoudis EG, Koutsouris M, Lyhissas MG. Vascular anatomy of the integument of the lateral lower leg: an anatomical study focused on cutaneous perforators and their clinical importance. *Plast Reconstruct Surg* 2011;128:188-98.
15. Eweids AM, Nabawi AS, Elhammad HA, et al Axially vascularized bone substitutes: a systematic review of literature and presentation of a novel model. *Arch Orthop Trauma Surg* 2012;132:1353-62.