

Techniques et indications des greffes osseuses et ostéocartilagineuses

P.-L. Docquier, T. Schubert

Résumé : Les greffes osseuses et cartilagineuses font partie de l'arsenal thérapeutique en chirurgie de l'appareil locomoteur. Les propriétés de ces différents tissus humains sont décrites. Les autogreffes osseuse et cartilagineuse restent les greffes de référence à cause de leur vitalité persistante après implantation et ce contrairement aux allogreffes. Ces dernières sont dévitalisées à la suite de leur conservation soit par le froid, soit par lyophilisation. Cette conservation se fait dans des unités techniques appelées banque de tissus. Leur activité est réglementée juridiquement. Cette conservation du tissu après prélèvement donne à celui-ci l'avantage d'offrir un matériau de reconstruction approprié pour l'appareil locomoteur et de permettre de nombreuses possibilités de montage qui sont passées en revue. La dévitalisation des allogreffes entraîne aussi un certain nombre de complications dont la pseudarthrose et la fracture de fatigue que le chirurgien doit pouvoir anticiper. Les allogreffes d'os cortical permettent aussi d'exploiter leur contenu en facteurs ostéo-inducteurs qui peuvent ainsi être utilisés pour favoriser la consolidation osseuse. Les progrès de l'imagerie, de l'informatique et de l'ingénierie permettent aujourd'hui de sélectionner et d'adapter une allogreffe osseuse dont la morphologie est la plus appropriée pour une reconstruction précise et d'améliorer la qualité de l'acte planifié en cours d'intervention. L'autogreffe et l'allogreffe osseuses ou ostéocartilagineuses restent des éléments de base en chirurgie orthopédique et il importe de connaître ces fondamentaux. Les allogreffes osseuses, quand elles sont disponibles pour le chirurgien, offrent des possibilités supplémentaires de reconstruction osseuse ou ostéoarticulaire.

© 2020 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : Autogreffe osseuse ; Allogreffe osseuse ; Autogreffe cartilagineuse ; Allogreffe cartilagineuse ; Techniques chirurgicales des greffes osseuses ; Complications des greffes osseuses

Plan

■ Définitions	2
■ Propriétés des greffes osseuses	2
Capacité ostéogénique	2
Capacité d'ostéoconduction	3
Capacité d'ostéo-induction	3
Propriété mécanique structurelle	3
■ Propriétés des greffes cartilagineuses et ostéochondrales	3
Viabilité des chondrocytes	3
Prérogative immunitaire	4
■ Conditions à respecter pour réussir une greffe osseuse	4
Préparation du site d'implantation de la greffe	4
Précaution à respecter pour la manipulation des greffons en salle d'opération	4
■ Technique de prélèvement des autogreffes	4
Crête iliaque antérieure	4
Crête iliaque postérieure	5
Baguette tibiale	5
Fibula non vascularisée	5
Technique du fraiseur aspirateur irrigateur (reamer/irrigator/aspirator [RIA])	6
Autres sites de prélèvement	7
Moelle osseuse et cellules stromales	7
Autogreffe osseuse vascularisée	7
■ Complications liées au prélèvement des autogreffes	7

■ Allogreffes osseuses	8	51
Une demande accrue	8	52
Risque de transmission de maladie avec les allogreffes osseuses	8	53
Source de tissus	8	54
■ Types d'allogreffes osseuses	8	55
Allogreffes corticospongieuses	8	56
Allogreffes ostéo-inductrices	8	57
Allogreffes structurelles ou de reconstruction anatomique	9	58
Combinaison d'une allogreffe structurelle massive et d'une fibula vascularisée	9	59
■ Que faut-il préciser à la banque de tissus lors de la commande d'une allogreffe ?	9	61
■ Modalité de réception d'une allogreffe en salle d'opération	9	62
Matériel congelé	9	63
Matériel lyophilisé	9	64
■ Indication des greffes osseuses ou ostéocartilagineuses	10	65
Retard de consolidation et pseudarthrose hypertrophique	10	66
Retard de consolidation avec perte de substance corticospongieuse	11	67
Butées de stabilisation ou de recentrage	12	68
Comblement spongieux ou corticospongieux (fracture, tumeur ou révision d'arthroplastie de hanche ou de genou)	13	69
Comblement diaphysaire fémoral (impaction)	13	70
Reconstruction après chirurgie tumorale du membre supérieur	15	71
Reconstruction après chirurgie tumorale du membre inférieur	17	72
Reconstruction après chirurgie tumorale du bassin	18	73

77	Rachis : corporectomie et allogreffe	19
78	Perte de substance ostéocartilagineuse	20
79	■ Type de reconstruction : intercalaire-composite-arthrodèse-	
80	greffe vascularisée avec ou sans allogreffe	21
81	Intercalaire	21
82	Terminale	22
83	■ Sélection de l'allogreffe	22
84	Acquisition au scanner de l'allogreffe et de l'os receveur	22
85	Algorithme de registration	22
86	Navigation de la tumeur et de l'allogreffe	23
87		

■ Définitions

Une greffe osseuse est un transfert de tissu osseux, quelle que soit sa qualité, vers un site osseux receveur. Il s'agit d'une autogreffe si le greffon provient du receveur lui-même, d'une allogreffe (anciennement homogreffe) si le donneur est un autre individu de la même espèce et d'une xélogreffe si le donneur est d'une espèce différente (comme un animal par exemple). L'autogreffe a l'avantage de ne provoquer aucune réaction immunitaire et de ne constituer aucun risque de transmission de maladie. Les greffes osseuses peuvent être non vascularisées si le pédicule vasculaire nourricier n'est pas conservé, vascularisées pédiculées si le segment osseux est transféré en prélevant le pédicule vasculaire nourricier, ou vascularisées libres si le pédicule vasculaire nourricier est rétabli par microanastomoses vasculaires. Les greffes peuvent être corticales, spongieuses ou corticospongieuses en fonction du type d'os qui les compose. Les allogreffes osseuses présentent des caractéristiques bien spécifiques en fonction de leur type de conservation et de traitement. On retrouve principalement les allogreffes massives congelées qui permettent une reconstruction d'un segment osseux, et les produits de comblement ou de réparation corticale qui sont soit congelés et sécurisés, soit lyophilisés.

Une allogreffe osseuse congelée est préservée telle qu'elle a été prélevée à -80°C . Généralement sont préservées sur l'allogreffe des structures telles que des tendons, des surfaces ostéochondrales ou encore de la capsule articulaire. Ceci permet de faciliter la reconstruction en réinsérant des tendons ou une capsule articulaire sur l'allogreffe. Cette allogreffe contient également de la moelle du donneur. Par opposition, on retrouve le greffon lyophilisé qui est débarrassé de tout résidu de tissu mou, y compris la moelle osseuse. Ce greffon est traité chimiquement puis lyophilisé et enfin stérilisé par irradiation à 25 kGy. Il devient un excellent matériau de comblement conservé à température ambiante. En revanche, ce type de greffe perd une grande partie de ses caractéristiques structurelles et devient fort cassant. Enfin, il existe le greffon congelé sécurisé. Celui-ci suit la même filière de traitement chimique et physique à l'exception de l'étape de lyophilisation. Ce greffon garde des caractéristiques physiques similaires à celles d'une greffe fraîchement congelée mais présente de meilleures capacités d'ostéo-intégration car débarrassé de tout tissu mou excédentaire et immunogénique.

Une greffe de cellules cartilagineuses est un transfert autologue de cellules cartilagineuses vers un site articulaire. Ce sont des chondrocytes autologues cultivés qui sont obtenus par une biopsie arthroscopique d'un cartilage sain en zone non portante. Le cartilage est traité enzymatiquement pour isoler les chondrocytes qui sont ensuite mis en culture. La suspension cellulaire qui en résulte est alors injectée à travers un lambeau de périoste ou dans un support tridimensionnel biodégradable (collagène, acide hyaluronique, etc.) [1].

Une greffe ostéochondrale est un transfert de cartilage avec l'os sous-chondral sous-jacent. La plastie en « mosaïque » est un exemple d'autogreffe ostéochondrale obtenue par le prélèvement de petites carottes osseuses revêtues du cartilage provenant d'une zone articulaire non portante. Ces carottes sont ensuite implantées dans la zone à greffer de façon à reconstituer une surface cartilagineuse. Les sites de prélèvement usuels sont la trochlée latérale, l'échancrure intercondylienne, la trochlée médiale [1].

Les allogreffes ostéochondrales fraîches ou congelées sont des greffes ostéoarticulaires provenant de donneurs d'organes et qui

sont utilisées pour reconstruire un versant articulaire d'une articulation. La dimension de l'os sous-jacent est variable suivant les circonstances.

Un substitut osseux est un biomatériau ou un produit d'ingénierie tissulaire qui permet de combler et remplacer une perte osseuse. Les substituts osseux de synthèse sont essentiellement représentés par les phosphates de calcium. Deux d'entre eux sont particulièrement utilisés : l'hydroxyapatite et le phosphate tricalcique. Il existe également des ciments phosphocalciques qui par leur forme injectable, ouvrent la voie à la chirurgie percutanée. Les sulfates de calcium ont, par leur association aux antibiotiques, l'avantage de pouvoir être utilisés dans un contexte septique. Le carbonate de calcium a eu beaucoup de succès mais subit la concurrence des phosphates de calcium. Le choix d'un substitut osseux dépend de la localisation, du volume de la perte osseuse, du contexte local et général, de l'étiologie et des propriétés particulières du substitut.

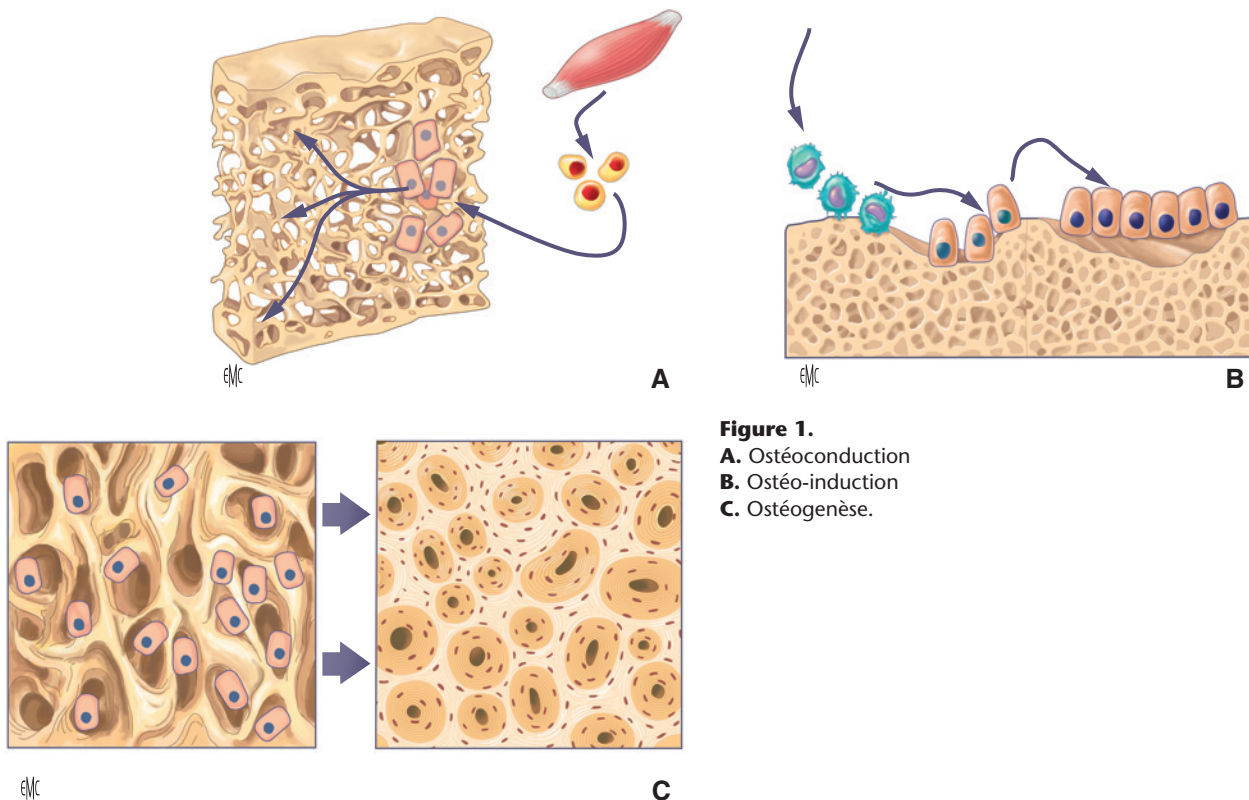
La thérapie cellulaire par injection de moelle osseuse, dont la fraction nucléaire a été concentrée ou non, est une technique simple et accessible qui permet d'accroître la population cellulaire à visée ostéogénique. L'utilisation de cellules souches du patient est une alternative qui consiste à prélever et cultiver des cellules souches adultes capables de se différencier en lignée ostéogénique. Elles proviennent du tissu adipeux [2] ou de la moelle osseuse [3].

Les facteurs de croissance utilisés en chirurgie orthopédique sont essentiellement représentés par les *bone morphogenetic proteins* (BMP). Ce sont des cytokines présentes dans la fraction organique de l'os et qui sont de puissants ostéo-inducteurs dont l'action fut découverte par Urist dans ses travaux de recherche sur la consolidation osseuse. Un os déminéralisé et implanté en sous-cutané ou en intramusculaire est capable d'induire la différenciation de cellules mésenchymateuses locales en ostéoblastes. Il en résulte chez le rat un osselet contenant de la moelle hématopoïétique après 4 à 5 semaines d'implantation. Cette observation définit l'ostéo-induction obtenue au départ d'un matériel osseux dévitalisé. Ces facteurs de croissance sont maintenant produits par génie génétique. Ils peuvent s'utiliser seuls à des concentrations nettement plus élevées que les concentrations physiologiques ou associés à d'autres cytokines contenues dans la matrice osseuse d'un os cortical morcelé et préparé par une banque de tissus après déminéralisation. Aux États-Unis, ces préparations sont appelées *demineralized bone matrix* (DBM). Les BMP sont les cytokines purifiées au départ de la DBM. Celles-ci peuvent soit être injectées, soit être implantées avec leur support osseux naturel ou d'un support de synthèse dans le site d'une fracture ou d'une pseudarthrose ou encore pour réaliser une fusion vertébrale. Les BMP les plus utilisées sont la BMP 4 et BMP 7. Il est important de bien connaître ces produits avant de les utiliser. Les effets secondaires peuvent en être sérieux. Un des éléments préoccupants étant l'utilisation des BMP à des doses supraphysiologiques pour obtenir un effet. Ceci est lié à l'utilisation de la molécule dans un état purifié sous la forme d'une unité homodimérique alors que les récepteurs des BMP sont hétérodimériques : par exemple l'utilisation de la BMP 4 pour un récepteur BMP 2/4. Il s'ensuit une stratégie de saturation du récepteur par des dosages très élevés et dès lors des risques d'effets secondaires tels que des ossifications hétérotopiques et des phénomènes inflammatoires persistants.

■ Propriétés des greffes osseuses

Capacité ostéogénique (Fig. 1)

Une greffe osseuse n'est considérée comme ostéogénique que si les cellules ostéogéniques (ostéoblastes) qui survivent au transfert chirurgical restent capables de faire de l'os dans leur nouvel environnement. Dans la grande majorité des situations, cette propriété n'est retrouvée que dans le cas d'une autogreffe d'os spongieux ou cortical qui est immédiatement implantée. Néanmoins, ceci est également applicable à un substitut osseux créé en laboratoire avec des cellules du receveur. L'os cortical compact étant moins cellulaire, il est donc moins ostéogénique que l'os spongieux. À os spongieux équivalent sur le plan chirurgical, c'est la présence

**Figure 1.**

A. Ostéoconduction
B. Ostéo-induction
C. Ostéogénèse.

de moelle hématopoïétique dans le spongieux qui détermine son pouvoir d'ostéogénicité. Ainsi, à l'âge adulte, c'est l'os spongieux de la crête iliaque qui reste le plus ostéogénique [4].

Capacité d'ostéoconduction (Fig. 1)

Un matériel est considéré comme ostéoconducteur si la surface de sa structure tridimensionnelle peut servir de support pour la migration des cellules osseuses provenant de l'os dans lequel il est inséré. Cette propriété passive n'est pas spécifique à l'os car les substituts osseux phosphocalciques ou silicatés partagent cette propriété. La porosité du matériau doit être interconnectée pour une pénétration en profondeur de la structure. La taille optimale de la porosité pour une colonisation osseuse doit être supérieure à 300 μm [5].

Capacité d'ostéo-induction (Fig. 1)

Un implant est considéré comme ostéo-inducteur lorsque, implanté dans un site extraosseux, il provoque la formation d'un osselet contenant de la moelle hématopoïétique. Cette capacité est due à un ou plusieurs facteurs de croissance contenus dans la matrice organique d'un os dévascularisé ou non [6]. Les BMP sont une famille de polypeptides dérivée d'un facteur de croissance ostéo-inducteur. Utilisées seules, ces protéines restent ostéo-inductrices mais à des concentrations non physiologiques (cf. supra).

L'autogreffe osseuse est considérée comme capable d'ostéo-induction mais il s'agit d'une hypothèse car cette capacité reste difficilement démontrable pour une autogreffe.

Le **Tableau 1** liste les propriétés et risques des différentes greffes osseuses et autres substituts.

Propriété mécanique structurelle

Un os long est une structure résistante mécaniquement. L'os de banque congelé garde les mêmes propriétés mécaniques que lorsqu'il était vascularisé. C'est en fatigue que l'os de banque congelé marque sa différence. Contrairement à un os vascularisé, les dommages de sa structure résultant de sa mise en charge ne peuvent pas être réparés par manque de vascularisation et de cel-

lules réparatrices. En effet, une allogreffe osseuse reste en grande partie avasculaire. Une fissure peut apparaître et progressivement se transformer en fracture dite « de fatigue ». Cette évolution se fait de façon indolore car l'os de banque n'est pas innervé. Cette fracture peut encore être expliquée par un autre mécanisme non mécanique mais biologique. La fracture peut résulter d'une lyse ostéoclastique induite par une réponse immunitaire. Elle se passe alors à l'interface de revascularisation de la greffe. Ce dernier mécanisme est très rare et la majorité des fractures d'une allogreffe se passe à distance de la zone de revascularisation de la jonction. Cette fragilité potentielle d'une allogreffe massive implique que l'os de banque doit être protégé mécaniquement dans son intégralité par une ostéosynthèse capable d'adsorber les sollicitations mécaniques qui s'appliquent sur le montage et de les transmettre en zone physiologique. Aucun segment osseux de l'allogreffe ne devrait être laissé sans renfort mécanique. L'os cortical résiste mieux en compression et est plus vulnérable en torsion alors que l'os spongieux est moins résistant en compression. Quant à l'os de banque lyophilisé, que ce soit par un processus chimique ou physique, il est plus cassant que l'os vascularisé ou l'os de banque congelé (cf. supra). Cette fragilité empêche sa mise en œuvre peropératoire ou sa fixation par ostéosynthèse. L'os lyophilisé, même après réhydratation, doit être impacté lors de son implantation [6]. Ceci n'est en revanche pas le cas d'un greffon congelé sécurisé qui garde les mêmes propriétés physiques qu'une allogreffe congelée.

■ Propriétés des greffes cartilagineuses et ostéochondrales

Viabilité des chondrocytes

Trois types de greffes cartilagineuses peuvent être envisagés par le chirurgien :

- autogreffe ostéochondrale que le chirurgien explante et réimplante sous forme de cylindres ostéochondraux pour reconstituer une surface articulaire ;
- autogreffe de chondrocytes prélevés chez le patient et multipliés en laboratoire pour être ensuite réinjectés dans une perte de

Tableau 1.
Propriétés et risques des différentes greffes osseuses et cartilagineuses, des substituts osseux et des autres produits délivrés par une banque de tissus.

	Propriétés ostéogéniques	Ostéoconduction	Ostéo-induction	Morbidité du site donneur	Réponse immunitaire	Transmission de maladies
Autogreffe osseuse	+	+	?	+++	-	-
Allogreffe osseuse	-	+	-	-	+	+
Xénogreffe osseuse	-	+	-	-	+	+
Autogreffe cartilagineuse (implantation de chondrocytes)	NA	NA	NA	+	-	-
Autogreffe ostéochondrale (plastie en « mosaïque »)	+	-	-	+	-	-
Substituts osseux	-	+	-	-	-	-
Cellules souches	+	-	-	+	-	-
Facteurs de croissance	-	-	+	-	-	-

substance articulaire limitée mais contenus par une membrane artificielle ou biologique ;

- allogreffe ostéochondrale qui permet d’envisager la reconstruction plus ou moins complète d’une hémiarthrose mais dont les chondrocytes ne sont plus fonctionnels.

Les chances de succès d’une autogreffe de cartilage sont directement liées au nombre de chondrocytes viables [1] mais le nombre requis de chondrocytes viables pour maintenir une matrice cartilagineuse de façon durable n’est pas connu. La viabilité du chondrocyte peut être compromise au moment du prélèvement ou de la réimplantation. Pour l’implantation de chondrocytes autologues, la taille de la lésion devrait se situer entre 3 et 8 cm² avec une profondeur de moins de 6 mm, zone calcifiée préservée sans pénétration de l’os sous-chondral [7]. Les contre-indications absolues comprennent entre autres l’arthrose, les lésions en « miroir » (*kissing lesions*), celles de taille supérieure à 10 cm² ou de profondeur supérieure à 8 mm, l’instabilité ligamentaire, une ménisctomie partielle ou totale, les troubles de l’alignement de plus de 5° [7].

Lorsque la destruction traumatique ou le sacrifice oncologique concernent une hémiarthrose, le chirurgien peut considérer la reconstruction d’une hémiarthrose avec une allogreffe ostéocartilagineuse. Les chondrocytes ne survivent pas à la conservation. Après implantation, une dégradation d’origine mécanique de la matrice cartilagineuse non innervée s’observe en plusieurs années. Cette lente et indolore détérioration dépend aussi du régime des contraintes de l’articulation reconstruite. Une allogreffe ostéochondrale conservée au froid peut fonctionner de façon satisfaisante après réimplantation pour au moins 20 ans au membre supérieur (Fig. 2) alors qu’au membre inférieur, l’échec est rapidement observé [8].

Prérogative immunitaire

Les allogreffes ostéochondrales sont dites « immunoprivilégiées » car les cellules du cartilage sont enchâssées dans leur matrice qui les isole du milieu ambiant. Le cartilage non altéré est donc au moins provisoirement protégé d’une réponse immunitaire potentielle tant que la matrice isole ses cellules. L’os ne bénéficie pas d’une telle protection. Avec une allogreffe osseuse, une immunisation du receveur contre les antigènes de transplantation localisés sur les membranes cellulaires de la greffe est habituelle [1, 9]. Cette immunisation ne signifie pourtant pas l’échec car aucune corrélation entre une immunisation et l’apparition d’une complication liée à la greffe n’a pu être mise en évidence [10].

■ Conditions à respecter pour réussir une greffe osseuse

Préparation du site d’implantation de la greffe

Le lit osseux pour la greffe est avivé et débarrassé de tout tissu fibreux ou dévitalisé. La surface spongieuse de contact est la plus

large possible. Le matériel greffé est fixé de façon rigide à l’os receveur pour éviter toute micromobilité qui pourrait interférer avec la croissance des capillaires. L’interface avec la greffe est étroite sans aucune interposition de tissu fibreux [11].

Précaution à respecter pour la manipulation des greffons en salle d’opération

Dans le cas d’un prélèvement d’autogreffe, il faut préserver autant que possible la viabilité des ostéoblastes fraîchement prélevés. Comme toute cellule, les cellules osseuses sont très sensibles à la déshydratation à l’air ambiant. Les greffons osseux qui viennent d’être prélevés sont déposés sur une compresse stérile humidifiée et recouverts sans être complètement immergés dans du sérum physiologique.

■ Technique de prélèvement des autogreffes

C’est l’autogreffe spongieuse non vascularisée qui est la plus fréquemment prélevée, le plus souvent au niveau de la crête iliaque. La moelle rouge étant encore présente à l’âge adulte dans la colonne, le bassin, les épiphyses proximales et le sternum, c’est dans l’os du bassin que le spongieux prélevé est le plus intéressant pour l’orthopédiste. Comparé aux sites alternatifs de prélèvement d’os spongieux (pilon tibial, poignet, etc.), celui du bassin offre un os plus ostéogénique [4].

Crête iliaque antérieure (Fig. 3)

Le patient est placé en décubitus dorsal avec un coussin sous la fesse. Une incision parallèle mais juste inférieure à la crête iliaque est choisie pour éviter les frottements des vêtements sur la cicatrice. Il faut inciser 3 cm en arrière de l’épine iliaque antéro-supérieure pour éviter de léser le nerf cutané fémoral latéral de la cuisse. Le périoste recouvrant la crête est sectionné entre l’insertion des muscles fessiers et des muscles abdominaux. Chez l’enfant, l’apophyse de croissance de la crête iliaque est sectionnée en deux en laissant les attaches musculaires sur chacune des deux parties, puis elle est suturée en fin d’intervention. Une greffe corticospongieuse ou spongieuse peut être obtenue avec des ciseaux, des curettes ou des gouges. Si une greffe corticospongieuse concave est nécessaire, la table corticale externe est prélevée. Si un greffon tricortical est nécessaire, les deux corticales sont prélevées. Un tissu hémostatique (par exemple Spongostan®) peut être laissé en place pour diminuer le saignement. L’utilisation de cire chirurgicale devrait être évitée vu le risque de réaction à corps étranger [12]. Si une quantité limitée de greffons spongieux est nécessaire, une technique percutanée est possible en utilisant une tréphine qui permet de ramener une ou plusieurs carottes osseuses cylindriques [13].

Si une grande quantité d’os spongieux est prélevée, une allogreffe (os spongieux lyophilisé) peut être implantée sur le site donneur pour maintenir le capital osseux.

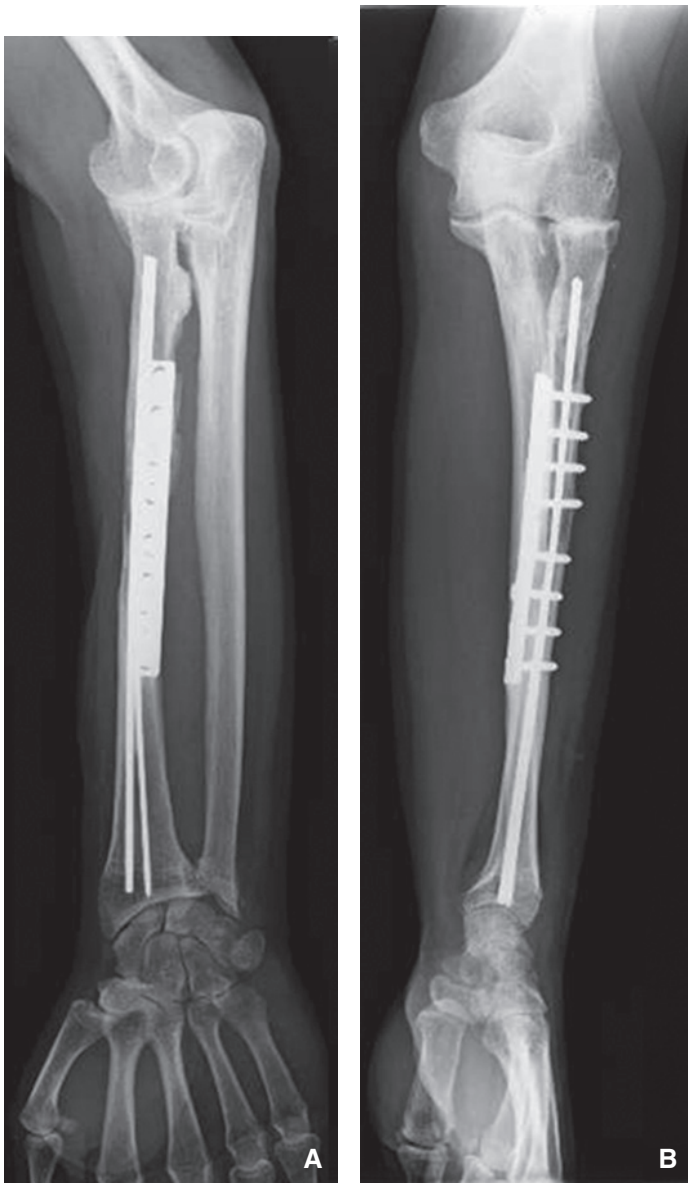


Figure 2. Allogreffe de radius proximal chez un patient de 38 ans, soudeur (A, B). L'allogreffe a été mise en place 23 ans auparavant.

Crête iliaque postérieure

La crête iliaque postérieure peut fournir davantage d'os spongieux que ne le peut la crête antérieure (30 ml).

Le patient est placé en décubitus ventral (ou latéral). L'incision suit classiquement la crête iliaque (Fig. 4). Une incision plus verticale peut aussi être employée pour éviter de blesser les filets nerveux sensitifs de cette région^[14] et pour éviter les nécroses cutanées (Fig. 4). Le muscle gluteus maximus (grand fessier) est soulevé en sous-périoste exposant la fosse iliaque externe. Si nécessaire, il est possible d'aller jusqu'au bord supérieur de la grande échancrure sciatique qui doit être laissée intacte pour préserver la stabilité du bassin. Le pédicule neurovasculaire fessier supérieur doit être protégé. Il est aussi possible de prélever un greffon corticospongieux ou un greffon tricortical (Fig. 5). Si le prélèvement est réalisé lors d'une intervention de colonne, l'incision médiane permet par décollement sous-cutané d'aborder la crête iliaque postérieure sans lésion du gluteus maximus^[15].

Baguette tibiale

Des greffons corticospongieux peuvent être prélevés au niveau de la corticale interne du tibia, jusqu'à 30 cm de longueur. Le patient est placé en décubitus dorsal avec un garrot pneumatique à la racine de la cuisse. L'incision est longitudinale à la face interne du tibia. Le périoste est incisé et l'os est atteint sans décol-

lement sous-cutané, puis le périoste est ruginé de chaque côté afin d'exposer toute la face interne du tibia. La baguette osseuse est alors découpée à la scie oscillante, elle-même humidifiée par du sérum physiologique afin d'éviter toute surchauffe de la lame qui compromettrait la survie des cellules. La coupe est située à au moins 5 mm de la crête tibiale antérieure et du rebord tibial postéro-interne. Son plan de coupe est oblique vers la baguette. Un ciseau à frapper permet de détacher la greffe à ses extrémités sans la casser ni fragiliser le tibia. Le spongieux restant est prélevé à l'aide d'une curette (Fig. 6). Les baguettes corticales sont conservées dans un récipient adapté contenant du sérum physiologique, ou mieux, enveloppées dans des compresses humidifiées de sérum physiologique. Le périoste est alors reconstitué. Le drainage se fait en sous-cutané. Dans les suites de l'intervention, aucune contention plâtrée n'est indiquée, et un appui total est autorisé. Le patient évite les mouvements de torsion de la jambe pendant au moins trois mois. Le prélèvement d'os spongieux du tibia proximal peut aussi se faire en percutané^[16].

Fibula non vascularisée

La fibula est une source de greffe osseuse facile à prélever mais également une source de complications potentielles notamment sur un squelette en croissance. La fibula peut être prélevée non vascularisée (Fig. 7). Son accès est aisé surtout à la partie moyenne de la diaphyse. Pour éviter de déstabiliser la cheville, il faut rester à

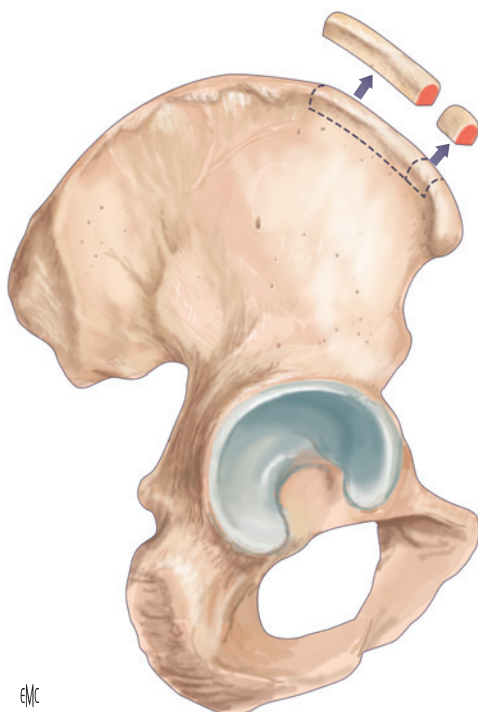


Figure 3. Greffe osseuse prélevée au niveau de la crête iliaque antérieure. Il faut rester 2 à 3 cm derrière l'épine iliaque antérosupérieure pour éviter les lésions de nerf cutané fémoral latéral de la cuisse.

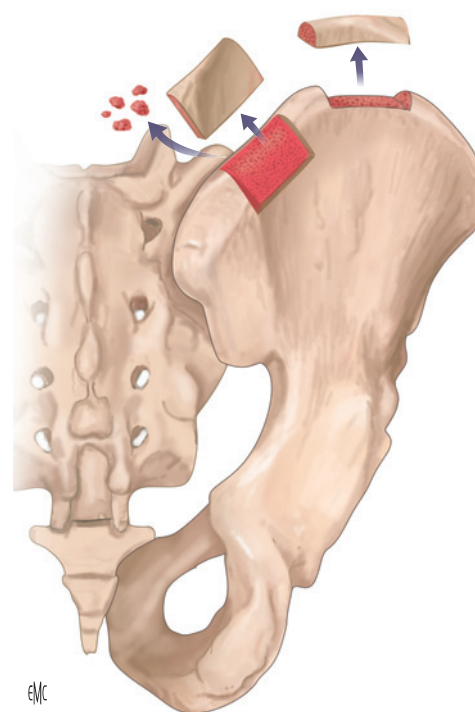


Figure 5. Greffes osseuses prélevées aux dépens de la crête iliaque postérieure.

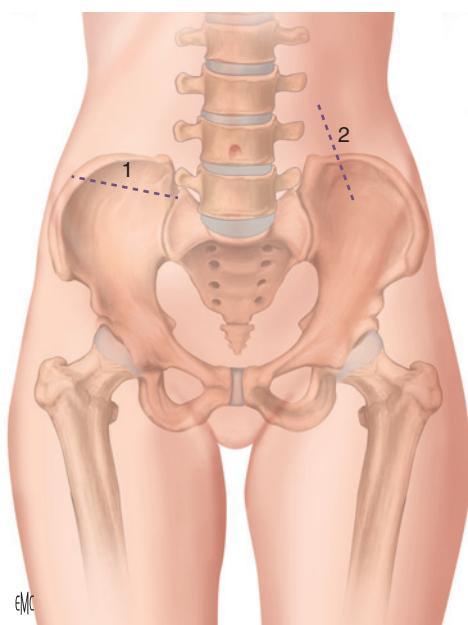


Figure 4. Incision standard le long de la crête iliaque postérieure (1) et incision plus verticale (2).

10 cm de la pointe de la malléole externe ^[17] et pour éviter de léser le nerf fibulaire, il faut rester à 10 cm sous l'interligne articulaire du genou. L'incision est verticale et la voie passe entre le muscle peroneus longus et le muscle soleus (soléaire). L'ostéotomie peut être réalisée à l'aide d'une petite scie oscillante.

Technique du fraiseur aspirateur irrigateur (reamer/irragator/aspirator [RIA])

Cette technique a été développée pour diminuer le taux de complications associées au prélèvement de greffons à la crête iliaque. Cet instrument permet de fraiser la diaphyse fémorale ou

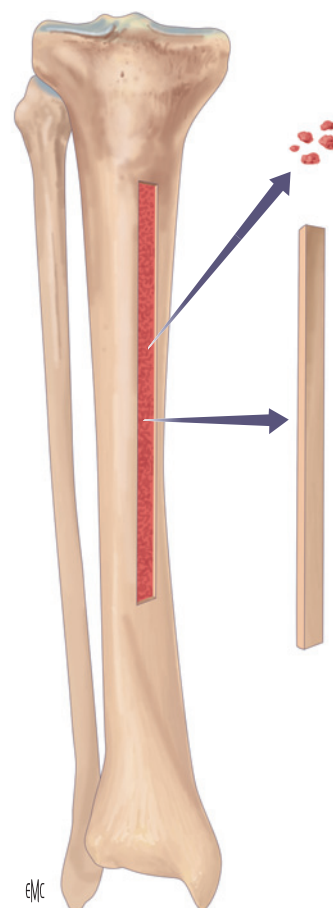


Figure 6. Greffes osseuses prélevées aux dépens du tibia : baguette tibiale et os spongieux.

tibiale tout en réalisant en même temps une irrigation et une aspiration du contenu médullaire par des canaux séparés. Le matériel endomédullaire recueilli est collecté dans un réservoir qui sépare l'os spongieux du liquide surnageant. Les techniques d'abord chirurgicales sont les mêmes que celles des principes d'enclouage

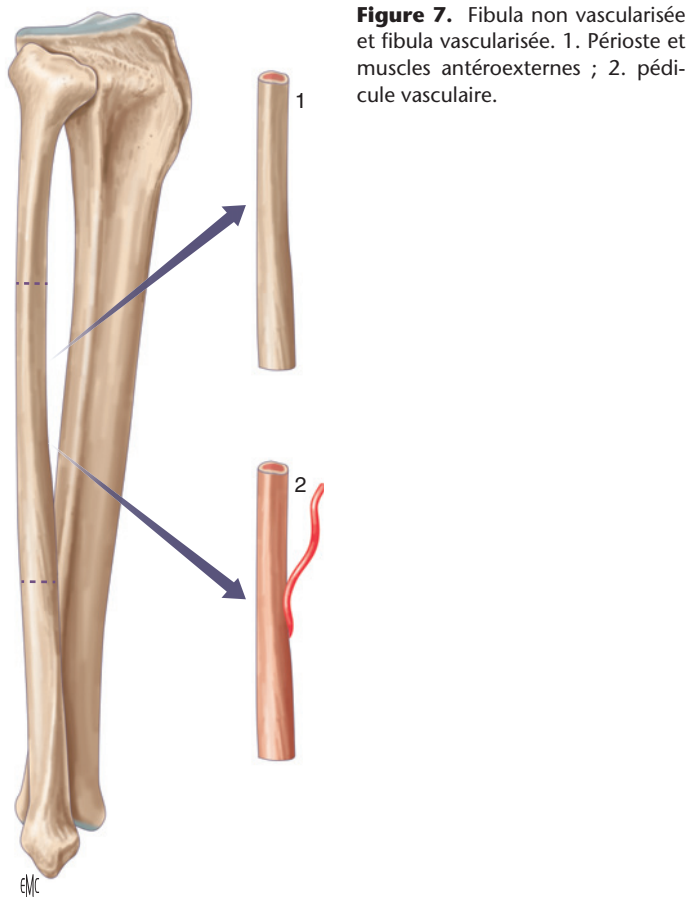


Figure 7. Fibula non vascularisée et fibula vascularisée. 1. Périoste et muscles antéroexternes ; 2. pédicule vasculaire.

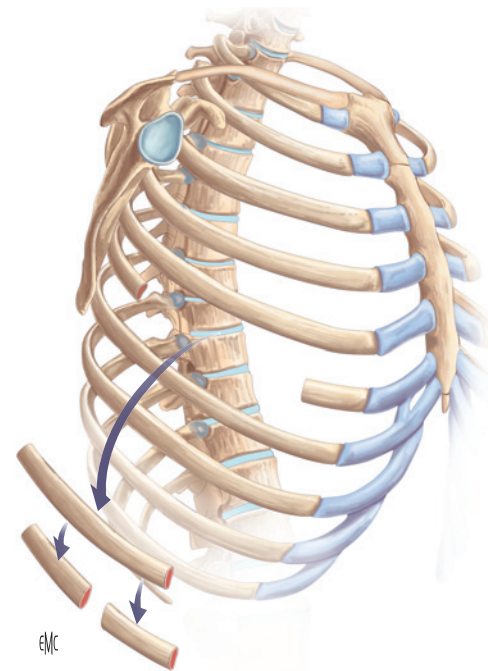


Figure 8. Lors d'une thoracotomie, une côte peut être prélevée et servir alors de greffon corticospineux.

centromédullaire [18]. Un grand volume d'os spongieux médullaire peut ainsi être obtenu (jusqu'à 75 ml) sans complication majeure [19].

Autres sites de prélèvement

D'autres sites peuvent également servir de site de prélèvement d'os spongieux :

- le grand trochanter ;
- la métaphyse tibiale supérieure ;
- l'olécrane ;
- le radius distal (pour une pseudarthrose de naviculaire carpien par exemple) ;
- un condyle fémoral ;
- le pilon tibial (en cas de chirurgie de cheville) ;
- une côte peut servir de greffon corticospineux en cas de thoracotomie (Fig. 8).

Moelle osseuse et cellules stromales

La moelle osseuse contient des cellules hématopoïétiques et des cellules stromales. Ces dernières forment un environnement optimal pour l'hématopoïèse médullaire et sont renouvelées par des cellules souches mésenchymateuses qui peuvent aussi exprimer une capacité d'ostéogenèse. C'est cette propriété qui intéresse notre spécialité. L'aspiration de moelle osseuse à l'aide d'un trocart à ponction de moelle est devenue populaire pour favoriser la guérison d'un retard de consolidation ou d'une pseudarthrose d'un os, voire encore pour favoriser la recolonisation d'un implant osseux [20].

Autogreffe osseuse vascularisée

Crête iliaque postérieure

Cette greffe peut être détachée avec ses attaches musculaires lombaires qui lui assurent sa vascularisation. Cette greffe peut être

utilisée pour la colonne lombaire basse ou pour une arthrodèse sacro-iliaque.

Fibula vascularisée

La fibula peut aussi être prélevée avec sa vascularisation fibulaire (Fig. 7). L'incision est la même, verticale, et la voie d'abord passe entre le muscle peroneus longus et le soleus. La membrane interosseuse est incisée près de la fibula. La dissection reste extrapériostée laissant une couche musculaire antéroexterne (muscle tibial postérieur). Le pédicule est disséqué jusqu'à son origine. La fibula est sectionnée à la hauteur prévue. Le greffon peut être mobilisé par translation pour combler une perte de substance tibiale (fibula pro tibia) ou par rotation pour combler un défaut fémorotibial. La greffe vascularisée de la fibula avec ou sans palette cutanée peut aussi être transférée ailleurs par réalisation sous microscope de microanastomoses vasculaires.

■ Complications liées au prélèvement des autogreffes

Le prélèvement d'une autogreffe d'os spongieux n'est pas dénué de complications potentielles. Il implique une voie d'abord chirurgicale supplémentaire. Ce prélèvement augmente la durée opératoire et la douleur postopératoire. Une gêne locale chronique ou une dysesthésie péricicatricielle sont fréquentes tandis que des complications plus sévères sont parfois observées. Les complications associées au prélèvement d'os iliaque incluent la douleur chronique, les lésions nerveuses et artérielles, la lésion urétérale, la perforation péritonéale, l'instabilité sacro-iliaque, la fracture, l'hématome et la hernie du contenu abdominal au travers du defect dans l'aile iliaque [21]. Les complications sont plus fréquentes lors des prélèvements iliaques antérieurs que lors des prélèvements iliaques postérieurs [22]. Pour les éviter, il faut commencer l'incision à au moins 3 cm de l'épine iliaque anté-supérieure, disséquer en sous-périosté et préférer un greffon unicortical corticospineux ou purement spongieux [21]. Chez un enfant, le prélèvement de la crête iliaque peut perturber la croissance de l'aile iliaque [23]. Prélever plus de 2 cm de fibula chez un enfant en croissance provoque une migration distale de la tête fibulaire dans 75 % des cas, une bascule talienne dans 45 %, une migration proximale de la malléole externe dans 55 % et en un valgus tibial dans 20 % des cas [24]. Certains auteurs recommandent

le vissage tibiofibulaire systématique chez tous les patients dont les cartilages de croissance sont encore ouverts [25]. Une régénération incomplète de la fibula a été observée chez 58 % des cas [24]. Des fractures de stress ont été décrites dans 4 % des cas après prélèvement de baguettes tibiales autologues [26].

■ Allogreffes osseuses

Une demande accrue

Les allogreffes osseuses font partie depuis plus d'un siècle de l'arsenal thérapeutique potentiel pour traiter une large perte de substance osseuse. Elles sont une alternative intéressante à l'autogreffe car il n'y a pas de limite au prélèvement, elles sont faciles à utiliser et font économiser du temps opératoire [27]. Elles peuvent offrir un intérêt supplémentaire en association avec une prothèse métallique lorsqu'il faut réinsérer un tendon comme le tendon rotulien ou le gluteus medius. Leur surface osseuse est un support naturel pour le cal osseux à leur jonction avec l'os hôte. Leur utilisation permet toutes les options de techniques chirurgicales primaires ou lors de révision. La demande d'allogreffe a nettement augmenté avec la fréquence accrue des révisions d'arthroplasties descellées dans la population vieillissante et avec l'essor de la chirurgie du rachis. En 2011, les allogreffes osseuses restent le substitut osseux le plus utilisé en Europe. En 2018, 19 banques d'os sont comptabilisées en France mais des importations restent encore nécessaires vu la demande [28]. Le donneur d'organe est également la seule source pour obtenir des segments d'os longs qui sont surtout utilisés dans la chirurgie oncologique. Les greffes de plus faible volume proviennent d'épiphyes. Le chirurgien peut choisir la forme (bloc ou copeaux) et le moyen de conservation de la greffe (congelé ou lyophilisé). Une directive européenne pour les tissus et cellules humaines a été publiée en 2004 et constitue le cadre réglementaire pour les allogreffes [29]. Ce sont les exigences de qualité et de sécurité qui y sont définies.

Risque de transmission de maladie avec les allogreffes osseuses

Le but d'une banque de tissus est de fournir aux chirurgiens des tissus sains. La sécurité des allogreffes reste un souci permanent car une allogreffe osseuse est capable de transmettre une maladie [30, 31]. Le greffon peut soit transmettre une maladie du donneur, soit être contaminé par le prélèvement [32]. Parmi les possibles maladies transmissibles, les virus et les prions sont les plus difficiles à détecter. La transmission par allogreffe osseuse du virus de l'hépatite C (VHC) et du virus de l'immunodéficience humaine (VIH) a été bien documentée [31]. La maladie de Creutzfeldt-Jakob a été transmise par implantation de dure-mère mais pas par une allogreffe osseuse. La sélection des donneurs potentiels est un moyen efficace pour réduire la transmission de cette maladie [33]. Une infection bactérienne du receveur par une allogreffe contaminée a été rapportée avec dans certains cas, des conséquences vitales [34]. Actuellement, le risque de transmission de micro-organisme avec une greffe tissulaire est minimisé mais n'est pas pour autant nul [30].

Source de tissus

Donneur vivant

La tête fémorale de patients opérés d'une arthroplastie de hanche est la source habituelle pour les banques de tissus. Si une sérologie périopératoire est négative, une bactériologie peropératoire est réalisée et le tissu est mis en quarantaine. Le patient est à nouveau contrôlé 4 à 6 mois après la chirurgie. Si la sérologie et le contrôle bactériologique sont négatifs, le tissu devient alors disponible.

Donneur multi-organe

Les os longs sont prélevés stérilement en salle d'opération après explantation d'un ou plusieurs organes. L'âge moyen de 155 don-

neurs d'organes et de tissus que nous avons prélevés est de 35 ± 12 ans (donnée non publiée). Dans cette population jeune, l'os est dense et solide. En l'absence de contre-indication, le donneur sélectionné est ensuite testé par une batterie de tests incluant une recherche directe du génome viral des virus VIH, virus de l'hépatite B (VHB) et VHC par biologie moléculaire.

■ Types d'allogreffes osseuses

Allogreffes corticospongieuses

C'est une allogreffe constituée d'os corticospongieux. Elle a uniquement des propriétés d'ostéoconduction sans aucune propriété ostéogénique ni d'ostéo-induction. Toute allogreffe spongieuse peut être enrichie de facteurs de croissance ou de cellules souches mésenchymateuses provenant du futur patient receveur pour stimuler l'envahissement vasculaire de la greffe et stimuler la néoformation osseuse [35]. L'ajout de ce matériel biologique à l'allogreffe semble promouvoir son incorporation à l'os hôte. L'allogreffe spongieuse ou corticospongieuse est la plus disponible dans les banques de tissus.

Têtes fémorales congelées

Il s'agit de la source principale d'os pour les banques de tissus en Europe.

Os corticospongieux traité

Le procédé consiste après avoir enlevé les tissus mous et la moelle osseuse par moyens physicochimiques, à découper l'os à la demande et à enlever le cartilage résiduel. L'os est ensuite conservé soit par congélation, soit par lyophilisation. Par expérience, nous préférons l'os lyophilisé quand le volume à remplir reste minime (< 5 ml). L'os lyophilisé est cassant et ne peut pas être façonné ou mis en œuvre en salle d'opération. Il a le grand mérite de pouvoir être gardé à température ambiante sans précaution particulière si l'emballage d'origine est protégé. L'os congelé sécurisé, qu'il soit délivré en un seul tenant ou en copeaux, est privilégié pour les plus gros volumes à reconstruire car il peut être mis en œuvre en salle d'opération et a la même résistance mécanique que celle de l'os physiologique.

Copeaux d'os corticospongieux

Ils peuvent être congelés ou lyophilisés suivant la demande du chirurgien. L'impaction de greffe osseuse dans un fémur étanche est plus facile et plus rapide avec de l'os lyophilisé car étant plus cassant, il est aussi plus compactable que l'os congelé. Dans un volume ouvert tel qu'un cotyle, l'os congelé est plus facilement mis en œuvre [36].

Allogreffes ostéo-inductrices

L'os cortical déminéralisé, dénommé par le vocable *demineralized bone matrix* aux États-Unis, est la seule allogreffe qui possède des propriétés d'ostéo-induction. La capacité d'ostéo-induction de l'os cortical déminéralisé fut découverte par Urist en 1965 et conduisit quatre décennies plus tard à l'isolement des BMP. La déminéralisation de l'os enlève sa fraction minérale mais laisse intacte sa fraction organique qui contient le collagène, des glycoprotéines et des protéoglycanes. Pour qu'une ostéo-induction puisse se produire, il faut trois conditions : la présence de BMP, le support (le plus souvent le collagène de type I) et la cellule cible. L'avantage principal de la DBM est qu'elle contient déjà deux des trois facteurs nécessaires pour l'ostéo-induction (BMP et collagène de type I). La DBM peut être mélangée à d'autres matériaux pour augmenter le volume. La consistance (morceaux, pâte) est variable pour convenir à différents types d'utilisation [37]. Parmi les indications pour une utilisation clinique de la DBM, il y a la pseudarthrose ou le retard de consolidation. Une autre indication moins classique est son utilisation dans un kyste osseux simple ou anévrysmal confirmé afin de promouvoir la phase d'ossification réparatrice [38].

Allogreffes structurales ou de reconstruction anatomique

Les allogreffes osseuses ont d'abord été utilisées pour combler les pertes de substance osseuses résultant du curetage d'une tumeur bénigne de l'os puis également pour remplacer le segment osseux réséqué d'une tumeur maligne et primitive de l'os. Elles restent encore aujourd'hui une option à considérer pour reconstruire une large perte osseuse. L'allogreffe massive est un segment osseux ou ostéoarticulaire résistant qui peut être associé à toutes les techniques de reconstruction : lambeau, prothèse, ostéosynthèse, greffe vascularisée [39]. Les allogreffes osseuses massives sont prélevées stérilement à partir de donneurs d'organes. Elles sont congelées à -80°C et ne sont pas irradiées. Parmi leurs avantages, citons : une reconstruction anatomique de la perte de substance osseuse, un ancrage à l'os hôte par un cal osseux, la possibilité de réinsérer les tendons sur les insertions tendineuses de l'allogreffe.

Combinaison d'une allogreffe structurale massive et d'une fibula vascularisée

La combinaison de l'allogreffe massive avec une fibula vascularisée est plus complexe à réaliser et nécessite des sutures microvasculaires [40]. Le taux de complications est élevé mais du fait de la biologie de la fibula vascularisée, la reconstruction peut être sauvegardée dans la plupart des cas de complication [40].

Complications associées aux allogreffes structurales massives

Il existe deux types de complications liées aux allogreffes. Le premier, lié au risque d'une transmission potentielle d'un micro-organisme pathogène, est réel mais minime. Il impose aux banques des critères de sélection du donneur et ensuite un bilan sérologique approfondi sur un échantillon pré mortem [32]. En Belgique, une recherche du génome viral par des techniques de biologie moléculaire est devenue obligatoire chez le donneur pour tout prélèvement de tissus sans possibilité de quarantaine.

Le deuxième type de complication est lié à la dévitalisation de la greffe. La consolidation ne se fait qu'à partir des cellules de l'os hôte tandis que l'os de banque mis en charge cycliquement va peu à peu se fatiguer mécaniquement. Pseudarthrose et fracture sont les écueils les plus fréquents.

Pseudarthrose

Vander Griend et al. rapportent un taux de pseudarthrose de 11 % avec les allogreffes massives congelées [41] (Fig. 9). Nous avons observé un taux de 35 % avec un recul de 7,5 ans dans une série consécutive de 128 patients [42]. Pour Vander Griend et al., le mode de fixation n'a pas d'influence sur le taux de non-consolidation. Un espace initial de 3 mm entre les jonctions osseuses apparaît être critique dans la formation de la pseudarthrose [41]. Les jonctions diaphysaires guérissent en 12 mois environ tandis que les jonctions métaphysaires consolident plus vite, habituellement en six mois [41, 43]. Le but de la fixation est d'obtenir un contact intime entre l'allogreffe et l'hôte avec une interface stable. Ceci est plus facile à obtenir avec des plaques que des clous [41]. Réaliser une marche d'escalier à l'interface pour améliorer la stabilité rotatoire en cas de fixation intramédullaire implique d'avoir des extrémités osseuses découpées parfaitement [44]. L'adjonction d'autogreffe spongieuse ou d'un matériel ostéo-inducteur à la jonction de l'allogreffe n'est pas obligatoire mais reste recommandée [45].

Fracture

La fracture est une autre complication majeure et survient avec une prévalence variable de l'ordre de 16 à 42 % après l'implantation [46-48] (Fig. 10). La fracture survient en moyenne après environ deux ans [47]. Thompson a montré que le risque de fracture est plus élevé en cas d'ostéosynthèse interne pénétrant le cortex de l'allogreffe par comparaison avec une ostéosynthèse interne ne pénétrant pas le cortex [47]. Il a été montré un potentiel de guérison après ostéosynthèse d'une fracture d'une allogreffe intercalaire tibiale avec autogreffe iliaque mais pas pour une allogreffe fémorale [49]. La plupart des fractures d'allogreffe sur-

viennent dans des zones où la revascularisation et l'invasion du tissu hôte sont absentes [47]. Comme pour tout matériel inorganique, une allogreffe osseuse va se fatiguer avec apparition de microfractures [50]. Wheeler et Enneking ont étudié des allogreffes massives explantées pour échec et ont observé qu'avec le temps, il y a une diminution de la résistance mécanique de l'os et une augmentation concomitante de la densité de fissures [51]. Pour éviter ces complications potentielles, différentes techniques ont été proposées pour augmenter mécaniquement la structure de l'allogreffe : soit en cimentant le canal médullaire [52], soit en augmentant la revascularisation de l'allogreffe par des perforations corticales [53]. Une autre possibilité reste l'utilisation de facteurs de croissance mais les réponses favorables observées expérimentalement n'ont pas été confirmées pour les allogreffes humaines [54].

Infection

L'infection d'une allogreffe, en cas de non-maîtrise de celle-ci, est une complication majeure qui peut se solder par une amputation. Son incidence varie entre 5 % et 13 % [55]. Le tibia proximal est le site qui est le plus exposé à cette complication. Des facteurs comme la transfusion sanguine, la localisation de la tumeur, les réopérations, l'arthrodèse ont été rapportés comme augmentant le risque [56]. La nécessité de couvrir la greffe est impérative. Une façon de prévenir l'infection est d'immerger l'allogreffe dans une solution antibiotique car l'os peut être un véhicule approprié pour la délivrance locale d'antibiotiques comme la vancomycine ou la rifampicine [57]. Des biopsies de fragments osseux imprégnés de vancomycine utilisés lors de révision d'arthroplastie de hanche ont montré une formation osseuse normale autour de la greffe, suggérant que la vancomycine n'influence pas la consolidation [58].

■ Que faut-il préciser à la banque de tissus lors de la commande d'une allogreffe ?

Il faut confirmer ou non la commande d'un tissu à la banque d'os en précisant l'adresse de l'hôpital de destination, l'endroit exact de livraison, l'identité du médecin destinataire et les références du patient. Il faut renvoyer à la banque de tissus la feuille de traçabilité avec les références de la greffe et du patient. Il faut préciser le plus précisément possible la taille de la greffe souhaitée (longueur, diamètre, etc.) ainsi que l'indication. La banque de tissu peut fournir un scanner de l'allogreffe afin que le médecin qui commande la greffe puisse se faire une idée de la forme et de la taille de l'allogreffe. Une possibilité est de travailler avec une firme de conception de guides de coupe qui peut fournir un guide de coupe pour le geste osseux mais également pour la recoupe de l'allogreffe [59].

■ Modalité de réception d'une allogreffe en salle d'opération

Matériel congelé

Lorsqu'une allogreffe massive est utilisée, il faut préparer un bain marie à 37°C contenant du sérum physiologique (± 2 à 4 l) dans lequel on ajoute de la rifampicine à la dose de 1,2 g/l. L'os congelé est déballé stérilement et immergé dans la solution. Il n'est recoupé ou façonné qu'une fois décongelé. Lorsque l'allogreffe est déjà morcelée et a un volume moins encombrant, la solution est mise dans un récipient stérile de plus faible capacité. La fixation de l'allogreffe doit être rigide et est obtenue soit par une ostéosynthèse (clou ou plaque) ou par impaction. Une ostéotomie en « marche d'escalier » est préférée en cas de clou pour augmenter la stabilité rotatoire. Une antibiothérapie prophylactique est maintenue 24 à 48 heures maximum.

Matériel lyophilisé

L'os lyophilisé est réhydraté de préférence dans de la moelle osseuse ou le sang du patient, ou à défaut dans du sérum



Figure 9. Exemple de pseudarthrose d'une allogreffe intercalaire de tibia diaphysaire implantée après résection d'un ostéosarcome. Évolution vers une pseudarthrose à un an. Reprise avec changement des plaques, conservation de la greffe, autogreffe spongieuse aux jonctions et consolidation six mois plus tard (radiographie à 18 mois).

physiologique. Dépendant du volume, un délai d'attente d'environ 15 minutes est nécessaire pour la réhydratation du matériel. Quand plus de 10 ml sont utilisés, l'ajout de rifampicine à la dose de 1,2 g/l est recommandé. Généralement, le matériel qui est impacté est placé dans un site protégé mécaniquement.

■ Indication des greffes osseuses ou ostéocartilagineuses

Retard de consolidation et pseudarthrose hypertrophique

Autogreffe spongieuse

Si un abord à ciel ouvert de la pseudarthrose diaphysaire est décidé, il se fait par une décortication laissant l'os cortical attaché par une charnière périostée, ce qui augmente la sur-

face d'ostéogenèse [60]. Il faut ensuite exciser le tissu fibreux interfragmentaire et aviver les surfaces osseuses. Il faut aussi reperméabiliser le canal médullaire souvent obturé par un os dense ou par du tissu fibreux. Les greffons spongieux sont alors insérés au contact du foyer de pseudarthrose. Une ostéosynthèse rigide et stable est nécessaire.

Injection de moelle osseuse

La moelle osseuse est très aisément aspirée de la crête iliaque à l'aide d'un trocart à ponction. Cette moelle est censée apporter des progéniteurs ostéoblastiques [61]. Muschler recommande de ne pas prélever plus de 2 ml de moelle par site de ponction pour maximiser le nombre de progéniteurs ostéoblastiques et éviter la contamination par le sang périphérique [62]. Chez l'enfant, Yandow recommande de ne pas prélever plus de 5 ml [63]. Il y a une corrélation directe entre le nombre de progéniteurs injectés dans le foyer et le volume du cal osseux observé ultérieurement [64].



Figure 10. Exemple de fracture d'une allogreffe ostéochondrale de radius distal. Même patient quelques mois plus tard montrant une résorption de la greffe avec fragmentation et fracture. La greffe sera par la suite changée.

Matrice osseuse déminéralisée

Le pouvoir ostéogénique de la moelle peut être augmenté par un effet synergique en la mélangeant à de la DBM [65, 66]. La granulométrie de la DBM est alors diminuée de façon à pouvoir être injectée en percutané. Ce mélange peut être utilisé dans des pseudarthroses ou encore pour arrêter la phase lytique d'un kyste osseux anévrisimal prouvé histologiquement [38] (Fig. 11).

Retard de consolidation avec perte de substance corticospongieuse

S'il existe une perte de substance, celle-ci doit être comblée. Différentes techniques existent.

Grefe intertibiofibulaire

À condition que la fibula soit solide, la greffe intertibiofibulaire permet de guérir grand nombre de pseudarthroses du tibia, même infectées. La technique consiste à encastrier un greffon iliaque corticospongieux entre le tibia et la fibula, habituellement par une voie d'abord postéroexterne [67] ou par une voie d'abord antéroexterne [68]. Dans la voie postéroexterne, la fibula est abordée entre le muscle peroneus longus et le soleus. Le soléaire, le long fléchisseur de l'hallux et le tibial postérieur sont ruginés jusqu'à la membrane interosseuse. La membrane interosseuse peut être conservée [67] ou excisée. Dans la voie antéroexterne, l'incision est antérieure à la fibula et le passage se fait entre les muscles fibulaires et l'extenseur des orteils [69]. La stabilité est assurée par un fixateur externe ou par une plaque. En cas d'antécédent de traumatisme grave ou de chirurgie itérative, un bilan vasculaire s'impose [67] car si la jambe n'est vascularisée que par un tronc artériel unique, il faut choisir la voie d'abord en conséquence (voie antérieure en cas d'artère tibiale postérieure unique).

Technique de Papineau

La première étape consiste en l'excision large de tous les tissus infectés (saucérisation). Aucune fermeture cutanée n'est pratiquée, et un pansement gras est mis en place. Les pansements sont

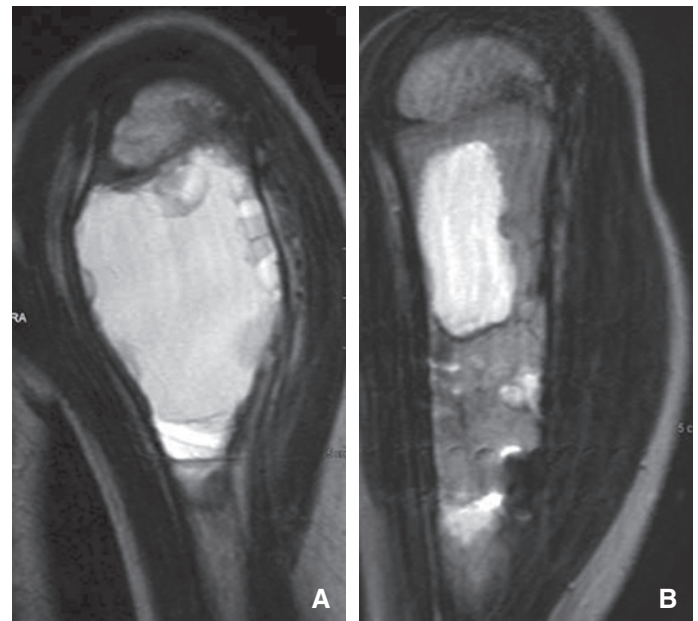


Figure 11.

A. Exemple d'utilisation de matrice osseuse déminéralisée associée à de la moelle osseuse par injection percutanée dans un kyste osseux anévrisimal chez un garçon de 7 ans. Une tuméfaction est visible et l'enfant est douloureux.

B. Deux ans après l'injection percutanée de matrice osseuse déminéralisée associée à de la moelle osseuse, la tuméfaction a disparu et l'enfant est asymptomatique. Le kyste est devenu latent et quelques lacunes résiduelles persistent.

changés tous les jours et un nettoyage par irrigation au sérum physiologique est réalisé tous les jours [70]. Après 15 jours, de l'os spongieux est prélevé au niveau des crêtes iliaques. Le site receveur est nettoyé à nouveau, le bourgeon charnu est avivé et les greffons sont insérés dans la perte de substance. Le temps d'hospitalisation est très long avec cette technique. Des lambeaux musculaires peuvent s'avérer utiles pour couvrir les greffons et accélérer la fermeture [71].

Une modification de la technique de Papineau a été décrite avec un débridement large de l'os nécrotique et infecté, une implantation d'autogreffe spongieuse et une fermeture par seconde intention assistée par le système Vacuum Assisted Closure® (VAC®) avec antibiothérapie parentérale concomitante [72].

Technique de la membrane induite

La technique de la membrane induite initiée par Masquelet [73] comprend deux étapes (Fig. 12). La première consiste en un débridement large de tout l'os infecté ou nécrotique et la mise en place d'une entretoise (ou espaceur) en ciment. L'entretoise doit couvrir toute la perte de substance osseuse en longueur et en diamètre et est responsable de la formation d'une membrane pseudosynoviale qui se comporte comme un néopérioste. L'entretoise doit aussi manchonner le premier centimètre d'os sain à chaque extrémité. Il faut également une couverture musculaire et cutanée de bonne qualité. La deuxième étape consiste en la reconstruction de la perte de substance osseuse par une greffe spongieuse autologue. La membrane est alors incisée, le canal médullaire est reperméabilisé tandis qu'une décortication est réalisée aux deux extrémités. Le tissu spongieux autologue est déposé. La membrane induite par l'entretoise prévient la résorption de la greffe et favorise sa vascularisation et sa corticalisation. Dans la série de Masquelet comportant 35 pertes de substance allant de 4 à 25 cm sur des segments diaphysaires d'os aux membres inférieurs, la marche normale a été possible en moyenne après huit mois et demi [73].

Allogreffe osseuse

Une perte de substance corticospongieuse peut aussi être traitée par la mise en place d'une allogreffe massive. Celle-ci n'a aucun

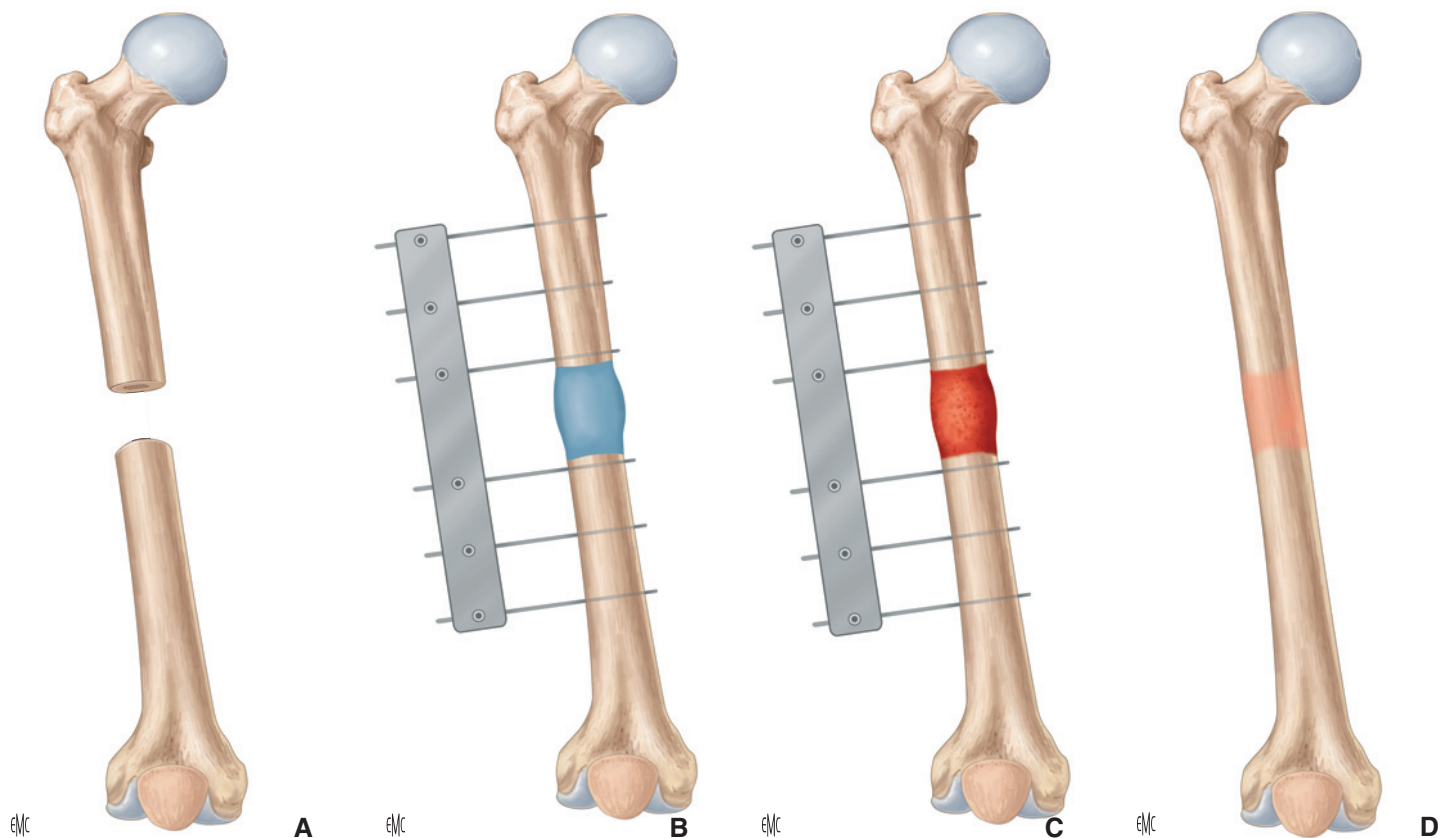


Figure 12. Technique de la membrane induite (A à D). La zone de pseudarthrose est largement réséquée. Une entretoise en ciment est mise en place, ce qui induit une pseudomembrane synoviale. La membrane est ensuite ouverte et l'espace qui était occupé par l'entretoise en ciment est rempli avec de l'os spongieux autologue ce qui permet une consolidation.

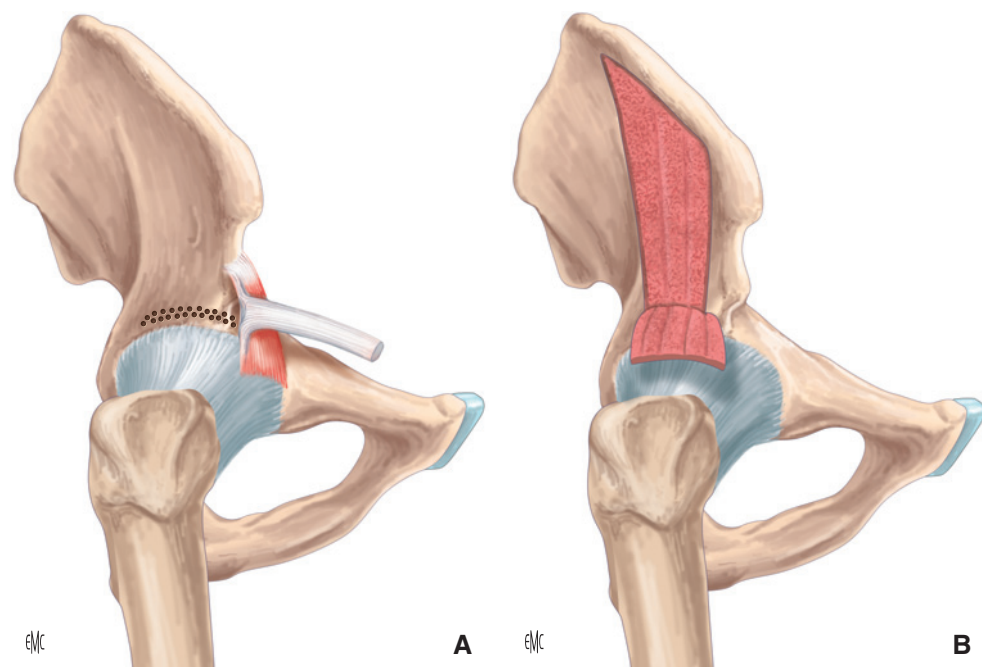


Figure 13. Technique de la butée de hanche chez l'enfant (A, B). Une voie d'abord antérieure de hanche est réalisée. Le tendon réfléchi du muscle droit fémoral est relevé car il s'attache sur le rebord cotyloïdien. De petits trous sont réalisés à la mèche au ras de la capsule, puis sont réunis à l'aide d'une fine pince-gouge. Des greffons corticaux sont prélevés aux dépens de la corticale externe de l'os iliaque et encastrés dans la rainure. Plusieurs couches de greffons sont ensuite rajoutées pour augmenter le volume de la greffe.

pouvoir d'ostéo-induction. La reprise de l'appui est réalisée après deux mois mais on s'expose alors au risque de pseudarthrose, de fracture et d'infection comme avec toute allogreffe structurale massive.

Butées de stabilisation ou de recentrage

Une butée osseuse est une greffe qui vise à augmenter la couverture épiphysaire d'une articulation. Une autogreffe a moins

tendance à la résorption qu'une allogreffe et ce, d'autant qu'elle est sollicitée par les contraintes mécaniques. À la hanche, on peut utiliser une crête iliaque (corticale externe) pour avoir une concavité qui épouse la forme de la tête fémorale. Les indications de butée de hanche sont la maladie de Legg-Calvé-Perthes [74, 75] (Fig. 13, 14), la dysplasie symptomatique de l'adolescent et du jeune adulte [76] ou une luxation récidivante post-traumatique de hanche [77]. À l'épaule, l'apophyse coracoïde est souvent prélevée et vissée au bord antérieur de la glène (technique



Figure 14. Butée de hanche chez un enfant de 7 ans et demi avec nécrose massive de la tête fémorale (maladie de Legg-Calvé-Perthes).

A. La tête fémorale commence à s'excentrer et à déborder du cotyle et à s'aplatir.

B. Une large butée a été réalisée pour couvrir la tête.

C. Résultat radiologique après deux ans. La tête fémorale s'est reconstruite en gardant une sphéricité satisfaisante car la butée a prévenu une excentration et un aplatissement de la tête.

de Latarjet). Cette intervention peut être réalisée par arthroscopie [78].

Comblement spongieux ou corticospongieux (fracture, tumeur ou révision d'arthroplastie de hanche ou de genou)

En cas de perte de substance, qu'elle soit liée à une fracture ostéoporotique, consécutive à un curetage tumoral ou encore suite à l'usure d'une prothèse à réviser, il peut s'avérer utile de combler la cavité avec des greffons spongieux ou corticospongieux.

Autogreffe

Une cavité créée après curetage d'une tumeur ou suite à une fracture épiphysaire doit être comblée. De l'os spongieux autologue peut être prélevé au niveau des crêtes iliaques ou sur un autre site comme le tibia proximal. Les fragments sont tassés au chasse-greffon pour remplir complètement la cavité. En cas de reconstruction cotyloïdienne pour une prothèse de première intention, la tête fémorale du patient peut être utilisée comme butée si le cotyle du patient est dysplasique et trop peu profond pour sceller de façon adéquate un cotyle prothétique. Le bord du cotyle est avivé à la curette puis la tête fémorale du patient est vissée dans la zone dysplasique en veillant à ce que les têtes de vis ne soient pas dans la zone où la greffe est fraisée. La butée est alors fraisée avec le cotyle renforcé (Fig. 15).

Allogreffe : morcelée, en bloc, injectable, lyophilisée ou congelée ?

L'allogreffe spongieuse est souvent prélevée aux dépens d'une tête fémorale de banque. Elle peut être soit congelée ou lyophilisée. L'allogreffe peut aussi être fournie soit d'un seul tenant, soit en « copeaux ». Si une tête fémorale non préparée est livrée, l'os cortical et le cartilage sont éliminés et l'os spongieux restant est morcelé à l'aide d'une pince-gouge ou à l'aide d'un moulin à os. Ces fragments sont alors tassés dans la cavité pour la remplir complètement. Un tassement adéquat de la cavité permet une solidité primaire satisfaisante. Il est également possible de mélanger allogreffe et autogreffe (Fig. 16).

Si le comblement intéresse une zone articulaire portante, il faut parfois soutenir l'os sous-chondral par un greffon corticospongieux, par exemple un fragment de crête iliaque, pour éviter l'effondrement de l'articulation. De même après ablation d'un clou fémoral proximal, il est parfois nécessaire de remplir l'espace vide correspondant à l'emplacement du clou avec une allogreffe de fibula lyophilisée (Fig. 17).

Dans une révision de prothèse, la perte de substance cotyloïdienne peut être comblée par une tête de banque congelée. Il est préférable de l'armer d'un anneau de soutien pour diminuer les risques de descellement et de résorption. Cet anneau prend appui sur le trou obturateur et permet de positionner correctement le cotyle [79].



Figure 15. Patient âgée de 23 ans avec forme sévère d'arthrite rhumatoïde infantile ayant commencé à l'âge de 18 mois. Le cotyle est dysplasique et la tête fémorale subluxée a créé une perte de substance au niveau du cotyle. La tête fémorale du patient est utilisée comme autogreffe et vissée avant fraissage du cotyle et implantation d'une prothèse cotyloïdienne cimentée.

La perte de substance pariétale d'un os long qui présente une menace mécanique (par exemple fragilisation par lyse de la corticale d'une métaphyse par une tumeur osseuse bénigne) peut être reconstruite par la confection d'une réplique provenant d'une allogreffe massive. Un guide de coupe (instrument spécifique au patient) peut être réalisé pour faciliter la découpe de la réplique. La réplique permet de recréer une anatomie normale mais nécessite une ostéosynthèse de protection. Dans les kystes anévrysmaux démontrés histologiquement, l'utilisation de l'os cortical déminéralisé pour induire l'amorce de la reconstruction spontanée du kyste est licite. Les particules de la matrice organique sont suffisamment fines pour être injectées au travers d'un trocart à ponction de moelle (Fig. 11) [80].

Comblement diaphysaire fémoral (impaction)

En cas de révision de prothèse totale de hanche, il existe la plupart du temps une plus ou moins grande perte de substance

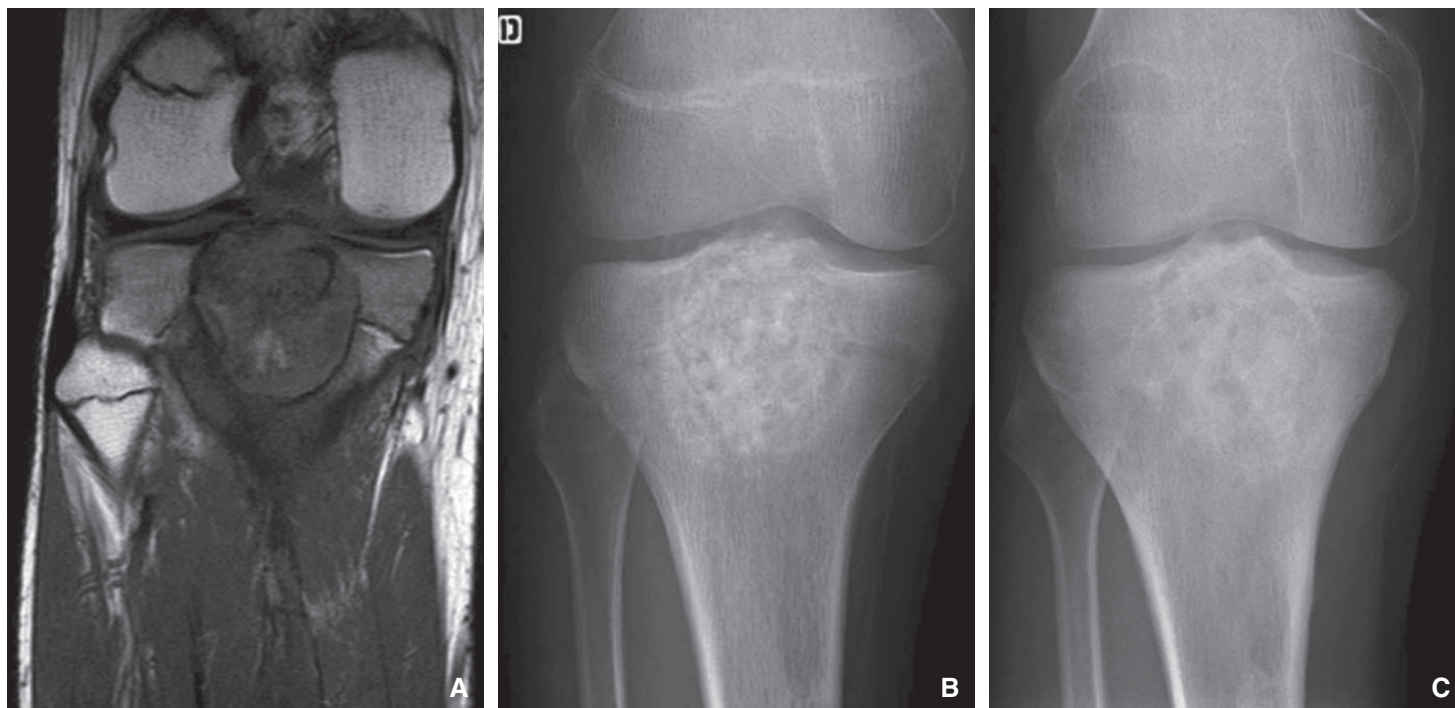


Figure 16. Chondroblastome chez un garçon de 14 ans.

A. Après curetage complet et soigneux de la lésion et traitement adjuvant au laser, la cavité est comblée par de l'allogreffe spongieuse morcelée associée à de l'autogreffe provenant de la crête iliaque.

B. Résultat à six semaines.

C. Résultat deux ans et demi plus tard.



Figure 17.

A. Fracture pathologique du fémur proximal sur un kyste osseux essentiel chez un garçon de 10 ans.

B. Ostéosynthèse par clou fémoral proximal.

C. Après ablation du clou, deux ans plus tard, la cavité est remplie avec une fibula lyophilisée pour prévenir une fracture.

D. Résultat final à l'âge de 19 ans et demi.

après avoir retiré la prothèse préexistante ainsi que son manteau de ciment. Afin de recréer un capital osseux suffisant, la technique de l'impaction peut être utilisée avec de bons résultats [36, 81]. Des greffons spongieux morcelés sont tassés dans le fût fémoral

avant implantation de la nouvelle prothèse (Fig. 18). Pour obtenir un résultat optimal, les copeaux d'os lyophilisé sont de faible granulométrie tandis que ceux d'os congelé sont de l'ordre du centimètre [82].

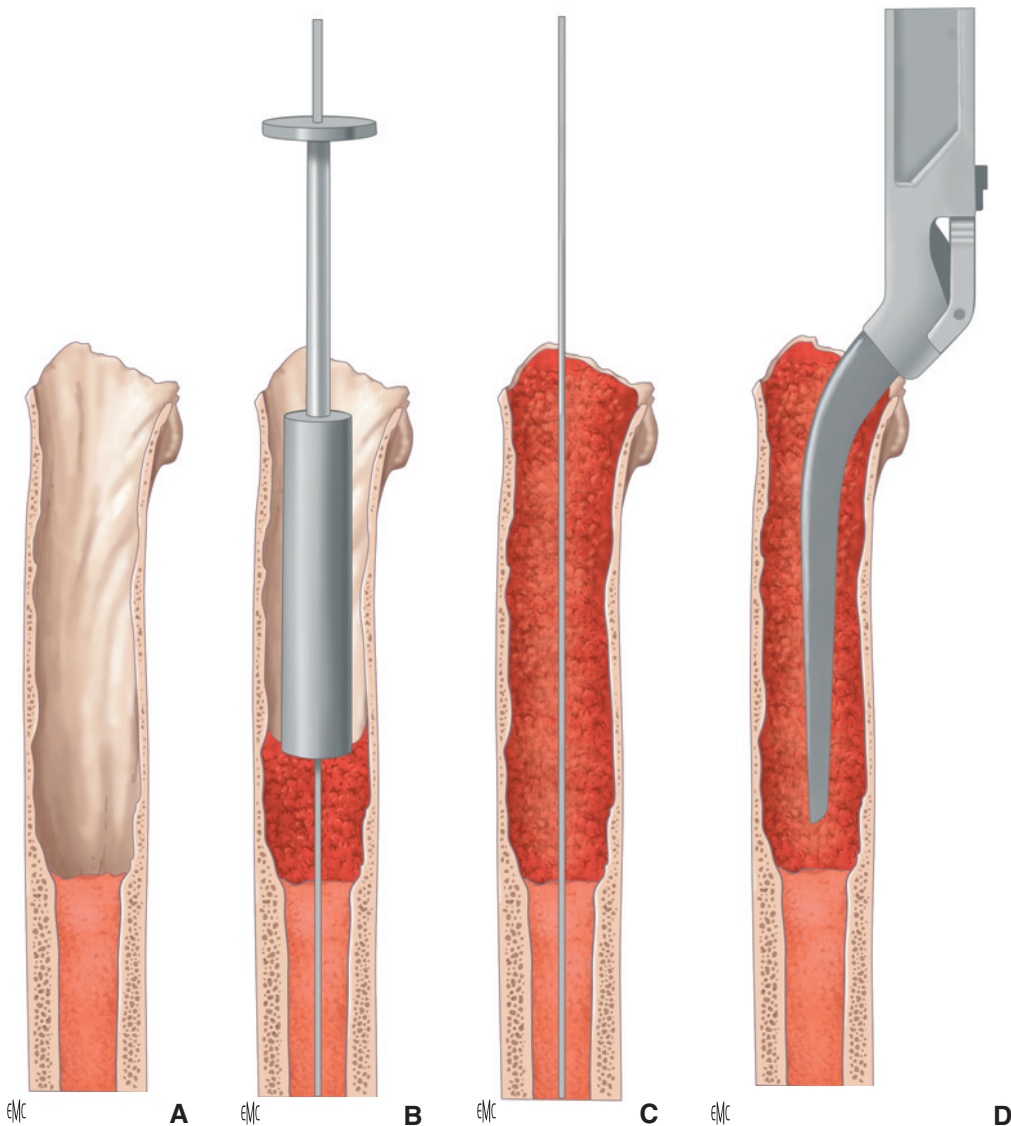


Figure 18. Technique de l'impaction.
A. Après exérèse de la prothèse et du manteau de ciment, il existe une cavité importante et les corticales sont amincies.
B à D. Un impacteur canulé est utilisé pour tasser des copeaux spongieux dans la cavité autour du guide. Un fantôme de prothèse permet de recréer la cavité qui accueillera la prothèse de révision.

Reconstruction après chirurgie tumorale du membre supérieur

Réséction-reconstruction de l'extrémité supérieure de l'humérus

Reconstruction par prothèse inversée

En cas de réséction de l'extrémité supérieure de l'humérus avec conservation du deltoïde, la reconstruction peut se faire par prothèse inversée, en utilisant une allogreffe autour de la prothèse (Fig. 19). L'allogreffe devient impérative pour une réséction de plus de 10 cm lorsque l'insertion humérale du deltoïde est sacrifiée. L'implant huméral est scellé dans l'allogreffe avec du ciment chargé en antibiotique. Ce bloc prothèse et implant est ensuite scellé dans l'humérus receveur avec une autre dose de ciment en positionnant l'ensemble avec une rétroversion de 5 à 10°. La jonction allogreffe-humérus doit être la plus congruente possible. La capsule et la coiffe des rotateurs de l'allogreffe sont suturées dans la mesure du possible sur celles du receveur. Le patient est immobilisé dans une attelle d'abduction de l'épaule durant six semaines pour favoriser la consolidation de la jonction osseuse. La rééducation active commence dès l'ablation de l'attelle.

Reconstruction par allogreffe ostéochondrale isolée (Fig. 20)

La tête humérale est ensuite positionnée en regard de la néocavité en cas de réséction extra-articulaire. Une immobilisation de huit semaines est nécessaire pour obtenir la cicatrisation des

parties molles articulaires. La fonction attendue du membre supérieur est médiocre et contraste avec le maintien d'une esthétique très satisfaisante.

Réséction-reconstruction de la diaphyse humérale

Les localisations diaphysaires des tumeurs malignes sont beaucoup plus rares. Il s'agit le plus souvent de sarcomes d'Ewing ou de chondrosarcomes. Le repérage du nerf radial est souvent nécessaire à sa partie distale. La reconstruction fait appel à une allogreffe massive diaphysaire d'humérus. L'ostéosynthèse est effectuée à l'aide d'un clou centromédullaire, idéalement en titane avec verrouillage proximal et distal. Il est aussi possible d'utiliser une fibula vascularisée comme autogreffe, et elle est positionnée latéralement par rapport au clou. Si la fibula est encastree dans le canal médullaire à chaque extrémité, l'ostéosynthèse fait appel à une plaque vissée latérale.

Réséction-reconstruction de l'articulation du coude

Les tumeurs localisées au coude sont rares et touchent surtout l'humérus distal. À ce niveau, les os sont sous-cutanés et en contact direct avec les pédicules vasculonerveux. En cas d'envahissement des pédicules, un traitement conservateur n'est plus possible.

Réséction de l'humérus distal

La voie postérieure est souvent utilisée. Si nécessaire, deux voies d'abord, médiale et latérale, peuvent être utilisées. Le nerf ulnaire

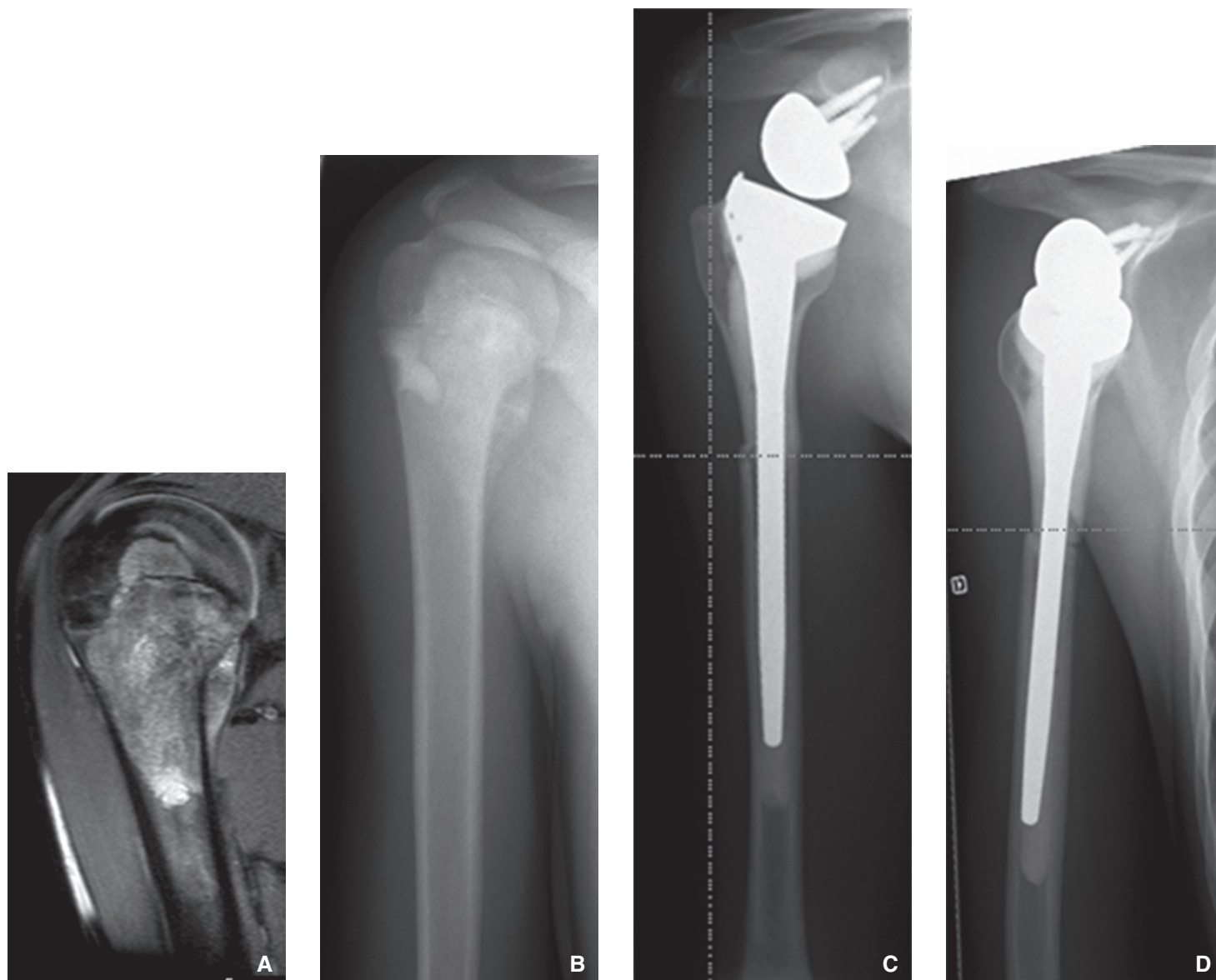


Figure 19. Résection d'un ostéosarcome de l'humérus chez un jeune garçon de 14 ans (A à D). Une prothèse inversée est mise en place manchonnée sur une allogreffe d'humérus.

est repéré et disséqué s'il est possible de le conserver. Le triceps est sectionné en V en restant à distance de la tumeur. Si la tumeur remonte à plus de 7 cm du coude, le nerf radial doit être aussi disséqué. La diaphyse est sectionnée à la scie oscillante à la hauteur déterminée. La reconstruction peut consister en une arthrodèse chez les travailleurs de force et les patients jeunes. Une allogreffe associée à de l'autogreffe est utilisée en cas de grande reconstruction. Pour une reconstruction plus limitée, l'autogreffe seule peut être utilisée, sous forme de baguettes tibiales ou de fibula. La reconstruction peut aussi être réalisée par une prothèse contrainte fabriquée sur mesure. L'apport d'une allogreffe osseuse manchonnant la prothèse est discuté [83, 84]. Les tiges prothétiques sont cimentées en respectant la rotation. Certains auteurs proposent d'utiliser une allogreffe d'extrémité d'humérus distal avec sa capsule et ses ligaments [85]. L'ostéosynthèse est réalisée à l'aide d'une plaque vissée. La capsule et les ligaments du receveur sont suturés à ceux de l'allogreffe. Pour les résections partielles (colonne médiale ou latérale de l'humérus distal), l'allogreffe est taillée aux dimensions nécessaires, puis fixée par plaque. Il est aussi possible d'utiliser une autogreffe iliaque taillée de telle sorte qu'elle ressemble plus ou moins à une palette humérale.

Résection de l'ulna proximal

L'atteinte de l'ulna proximale seule est exceptionnelle. La reconstruction peut aussi se faire par arthrodèse de coude avec autogreffe et ostéosynthèse par plaque. Il est aussi possible de

placer une prothèse mais l'ancrage dans l'ulna est souvent précaire avec possibilité de descellement précoce. Une reconstruction par une allogreffe ostéochondrale de l'ulna proximal reste aussi possible mais avec une usure articulaire endéans les deux ans. Rydholm propose une arthroplastie de coude où le radius est luxé postérieurement jusqu'à ce que le col radial s'articule avec la trochlée. Le tendon tricipital est suturé sur la tête radiale [8].

Résection du radius proximal

L'atteinte du radius proximal seul par une tumeur maligne est aussi exceptionnelle. Des tumeurs bénignes sont plus fréquentes : il s'agit le plus souvent de tumeurs à cellules géantes et de dysplasie fibreuse. Il n'est pas toujours nécessaire de reconstruire. En cas de reconstruction, une prothèse de tête radiale, voire une allogreffe ostéochondrale peut être utilisée [86].

Résection-reconstruction de la diaphyse des deux os de l'avant-bras

Les tumeurs malignes à cet endroit sont aussi exceptionnelles. Souvent la tumeur envahit les pédicules vasculonerveux et la conservation du membre est contre-indiquée. La reconstruction, lorsqu'elle est possible, peut se faire avec une diaphyse fibulaire, vascularisée ou non, ou une allogreffe massive et l'ostéosynthèse est confiée à une plaque [86].

Réséction-reconstruction du poignet

Les tumeurs les plus fréquentes au niveau du radius distal sont les tumeurs à cellules géantes. Si cela est techniquement possible, un curetage-comblement de la tumeur à cellules géantes peut être réalisé avec comblement à l'aide d'allogreffes spongieuses morcelées. Une arthroplastie avec une extrémité proximale de fibula autologue non vascularisée est une possibilité thérapeutique à considérer [87]. Le traitement de choix reste cependant l'arthrodèse entre le radius et la première rangée des os du carpe avec un greffon tibial interposé [88]. Les patients conservent ainsi une pronosupination normale et une mobilité en flexion-extension dans

l'articulation médiocarpienne. Les alternatives sont la greffe de fibula vascularisée et l'allogreffe massive (Fig. 21). Pour l'ulna distal, il n'est pas nécessaire d'effectuer de reconstruction. Une allogreffe ostéocondrale peut aussi être utilisée. Il faut assurer une stabilité de l'articulation par une suture de la capsule articulaire. Il n'est généralement pas possible de conserver une stabilité de la radio-ulnaire distale mais cela impacte peu la mobilité du patient.

Réséction-reconstruction des métacarpiens

Les tumeurs malignes sont exceptionnelles à ce niveau. Pour les résections diaphysaires, la reconstruction se fait avec une autogreffe prélevée sur le tibia ou la fibula avec une ostéosynthèse par broche ou plaque. Pour une résection totale de métacarpien, la reconstruction peut se faire avec une allogreffe ou une autogreffe de métatarsien. Ce métatarsien est arthrodésé sur le carpe préalablement avivé et fixé par un embrochage. L'articulation métacarpophalangienne est reconstituée par suture de la capsule et des ligaments latéraux.

Reconstruction après chirurgie tumorale du membre inférieur

Réséction-reconstruction du fémur proximal

La reconstruction fait souvent appel à une prothèse totale de hanche. La tige peut être cimentée et manchonnée par une allogreffe (Fig. 22). Le composant acétabulaire peut, quant à lui, être cimenté ou non. L'allogreffe permet la réinsertion anatomique des tendons du gluteus medius et minimus. À la jonction allogreffe-hôte, une « marche d'escalier » est souvent réalisée pour augmenter la stabilité rotatoire. Chez les patients avec un cartilage de croissance encore ouvert, l'implantation d'une prothèse fémorale bipolaire sans resurfaçage acétabulaire est préférée, afin de préserver la croissance du cotyle. La tige est cimentée dans l'allogreffe.

Si la tumeur fémorale a envahi l'acétabulum, il faut réséquer tout le fémur proximal et l'acétabulum. La reconstruction reste possible avec une prothèse manchonnée dans une allogreffe fémorale et avec une allogreffe de bassin.

Réséction-reconstruction de la diaphyse fémorale

La reconstruction peut faire appel à une allogreffe de diaphyse fémorale, soit à une prothèse métallique intercalaire. La greffe est ostéosynthésée par un clou ou par une plaque (Fig. 23).

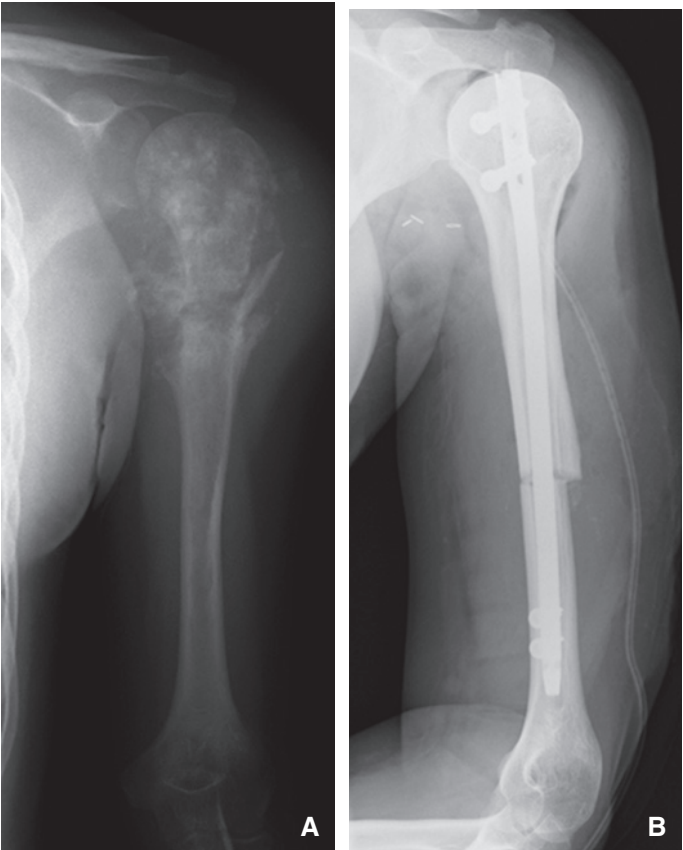


Figure 20. Fille de 14 ans et demi avec ostéosarcome d'humérus déjà bien envahissant (A, B). Reconstruction avec une allogreffe d'humérus.

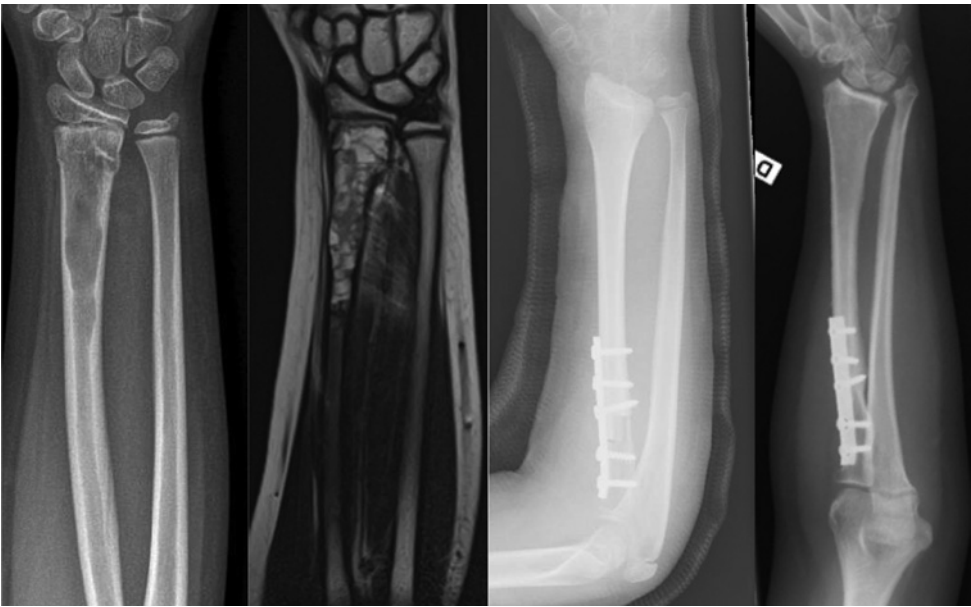


Figure 21. Fille de 8 ans présentant un ostéosarcome télangiectasique du radius distal envahissant le cartilage de croissance. De gauche à droite : radiographie préopératoire, imagerie par résonance magnétique (IRM) préopératoire, radiographie postopératoire précoce, radiographie après trois ans et demi d'évolution.



Figure 22. Montage d'une allogreffe de fémur proximal avec prothèse totale de hanche. Résection de 22 cm de fémur proximal pour un chondrosarcome chez un homme de 56 ans au moment de l'intervention, recul de trois ans.

Résection-reconstruction du fémur distal et du tibia proximal

C'est au fémur distal et au tibia proximal que les tumeurs primitives des os sont les plus fréquentes. La reconstruction peut être réalisée par une prothèse. Si la tumeur atteint le fémur distal, le fémur est réséqué en respectant une marge de sécurité. Si la lésion concerne aussi l'articulation, la résection est extra-articulaire et le tibia est coupé à 5 mm de sa surface articulaire. Il n'est pas nécessaire de manchonner la prothèse fémorale par une allogreffe car aucun muscle ne s'insère sur le fémur distal. Si la tumeur concerne le tibia proximal, une prothèse de genou manchonnée par une allogreffe de tibia proximal peut s'envisager. La reconstruction du tendon rotulien est plus facile avec une allogreffe mais cette dernière n'est pas indispensable avec l'artifice de Dubousset utilisant un lambeau de jumeau interne [89]. Ce dernier est quasi toujours utilisé pour la couverture de la reconstruction et permet un meilleur contrôle des complications septiques [90].

Alternativement, une allogreffe ostéochondrale peut être préférée chez un enfant avec un potentiel de croissance au genou inférieur à 4 cm. En effet, l'allogreffe ostéoarticulaire remplace la physe atteinte mais respecte la physe opposée à la lésion (Fig. 24). La physe controlatérale correspondante est épiphysiodésée pour éviter une différence de longueur difficile à gérer par la suite. Chez l'enfant, une prothèse tibiale non cimentée permet aussi une croissance du tibia proximal. Si l'épiphyse peut être conservée, une allogreffe intercalaire est employée (Fig. 25).



Figure 23. Exemple d'une allogreffe diaphysaire intercalaire de fémur bien intégrée après un an.

Reconstruction après chirurgie tumorale du bassin

Une tumeur en zone I et en zone III d'Enneking [91] ne nécessite le plus souvent aucune reconstruction (Fig. 26). Une tumeur en zone II nécessite une reconstruction. Celle-ci peut être palliative en cas d'atteinte métastatique. Une allogreffe massive peut être envisagée en cas de tumeur maligne primitive [92]. Si l'articulation de la hanche est envahie, une prothèse totale de hanche est implantée (Fig. 27). Dans le cas contraire, la tête fémorale du patient peut être utilisée. Pour ce type d'allogreffe, il est critique d'avoir une bonne correspondance entre le bassin du patient et l'allogreffe (Fig. 28).

Ces allogreffes de bassin donnent de bons résultats à moyen terme. La greffe travaille néanmoins en fatigue et finit souvent par se briser. Sur les reconstructions périacétabulaires, il est nécessaire de stabiliser au mieux la prothèse acétabulaire : elle finit sinon systématiquement par se desceller. Une option est d'utiliser un vissage au travers de la greffe ou un implant de type « cornet de glace ». Les guides de coupes ont très nettement amélioré les résections et les reconstructions par greffes du bassin. En rendant le contact entre la greffe et l'os natif plus précis, la consolidation et l'ostéo-intégration de l'allogreffe s'en sont trouvées considérablement améliorées. Compte tenu des limites de greffes de bassin, les nouvelles générations d'implants ont encore leurs preuves à faire mais semblent très prometteuses.

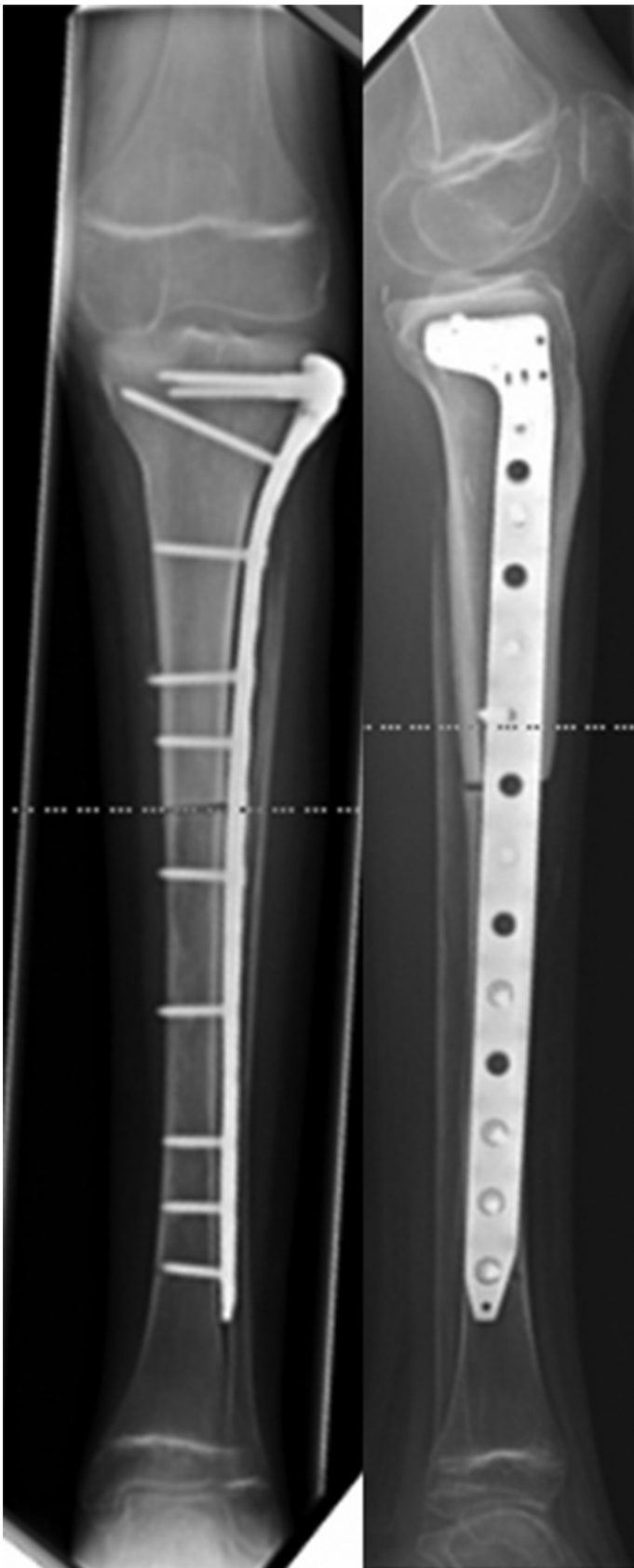


Figure 24. Garçon de 11 ans et demi avec sarcome d'Ewing du tibia proximal. Après résection, la reconstruction est assurée par une allogreffe ostéochondrale avec ménisques. Le pivot central est suturé ainsi que les ligaments collatéraux permettant une mobilisation rapide du genou. L'avantage par rapport à une prothèse est la conservation de la croissance du fémur distal. Le tibia proximal controlatéral est épiphysiodésé par vissage percutané.



Figure 25. Patient de 18 ans opéré d'un ostéosarcome tibial (A, B). La surface articulaire a pu être conservée. La zone de résection est comblée par une allogreffe intercalaire. La plaque interne et la fibula externe donnent une bonne stabilité au montage.

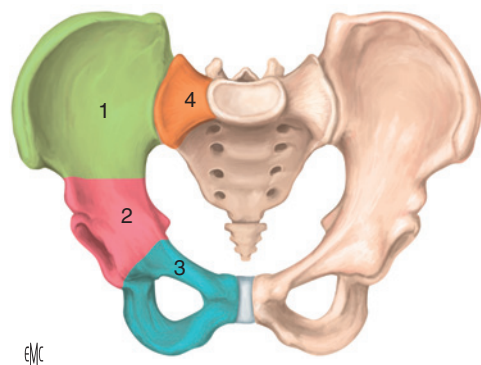


Figure 26. Zones d'Enneking pour la classification des tumeurs envahissant le bassin. Zone 1 : résection de l'ilion ; zone 2 : résection de la région de l'acétabulum ; zone 3 : résection du cadre obturateur ; zone 4 : résection de l'aileron sacré.

Rachis : corporectomie et allogreffe

La reconstruction du corps vertébral se fait à l'aide d'une ou plusieurs greffes s'appuyant sur la vertèbre saine sus- et sous-jacente. Il est donc nécessaire d'exciser les disques adjacents, tout

1161

1162

1163

1164

en respectant si possible l'os sous-cortical, plus dense, des plateaux vertébraux. Les greffes utilisées sont :

- soit des greffes spongieuses, s'il y a une perte de substance minimale ne compromettant pas la stabilité mais réalisant un vide dans le corps vertébral ;
- soit des greffes corticospongieuses ou corticales qui peuvent être prises à la crête iliaque antérieure ou postérieure, ou au péroné. Ces greffes peuvent être maintenues par des agrafes spéciales ou des plaques vissées. La reconstruction peut faire aussi appel à des cages prothétiques avec ou sans matériau ostéoconducteur. Lors d'une chirurgie palliative, la reconstruction peut être faite avec du ciment ;
- soit des allogreffes corticales (segment de diaphyse fémorale ou de fibula sur une hauteur variable) qui peuvent être impactées à frottement dur et qui donnent une excellente stabilité au montage [93].

Perte de substance ostéocartilagineuse

Il faut tenir compte dans le traitement des pertes de substance cartilagineuses de nombreux facteurs, tels que la taille de la perte

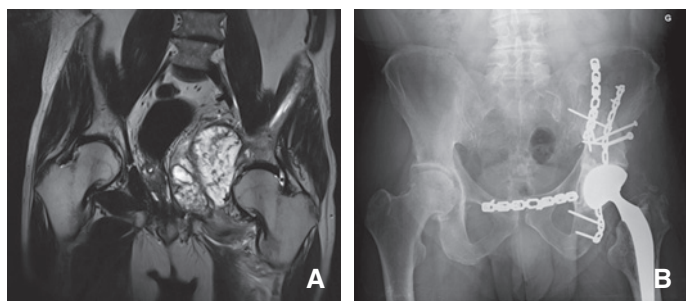


Figure 27. Patient de 63 ans avec volumineux ostéosarcome en zones II et III d'Enneking (A, B). La reconstruction est assurée par une allogreffe massive d'os iliaque et par une prothèse totale de hanche.

de substance, la localisation, l'âge du patient et la demande fonctionnelle du patient [94].

Stimulation médullaire (microfractures)

La perforation à l'aide d'une petite pointe carrée de l'os sous-chondral favorise la migration locale de cellules souches de la moelle osseuse sous-jacente vers le cartilage. Ces cellules sont capables de faire un fibrocartilage (Fig. 29). Le caillot de fibrine qui se forme va évoluer vers la constitution d'un fibrocartilage [95]. Au préalable, la lésion cartilagineuse est débridée. Les trous de forage sont réalisés perpendiculairement à la surface osseuse, séparés entre eux de 2 à 3 mm. Une décharge postopératoire de six semaines est observée avec une mobilisation passive sur arthromoteur. Pour des lésions ostéochondrales inférieures à 2 cm au condyle interne du fémur, le résultat des microfractures est



Figure 28. Patiente de 16 ans et demi avec ostéosarcome touchant les zones I, II et IV d'Enneking. La reconstruction est assurée par une allogreffe massive d'os iliaque avec conservation de la tête fémorale de la patiente.

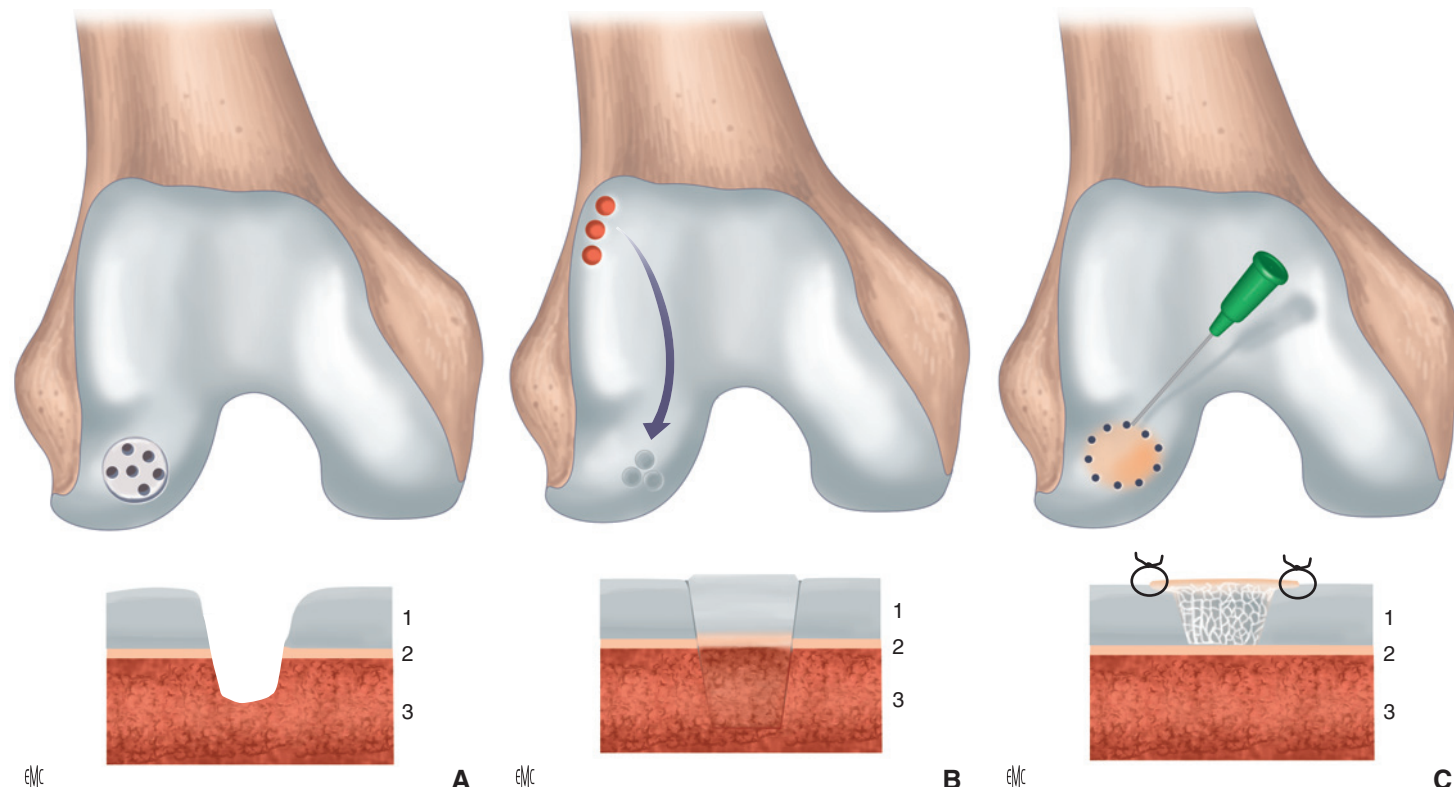


Figure 29. Les trois couches correspondent au cartilage (1), à l'os sous-chondral (2) et à la moelle osseuse (3).

A. Microfractures. La lésion cartilagineuse est débridée et l'os sous-chondral perforé pour permettre la migration de cellules souches de la moelle osseuse et ainsi former un fibrocartilage.

B. Autogreffe en « mosaïque », des carottes ostéocartilagineuses sont prélevées sur le bord de la trochlée en zone non portante et introduite dans la lésion.

C. Autogreffe de chondrocytes. Un lambeau de périoste est suturé au cartilage et les cellules sont injectées en dessous.

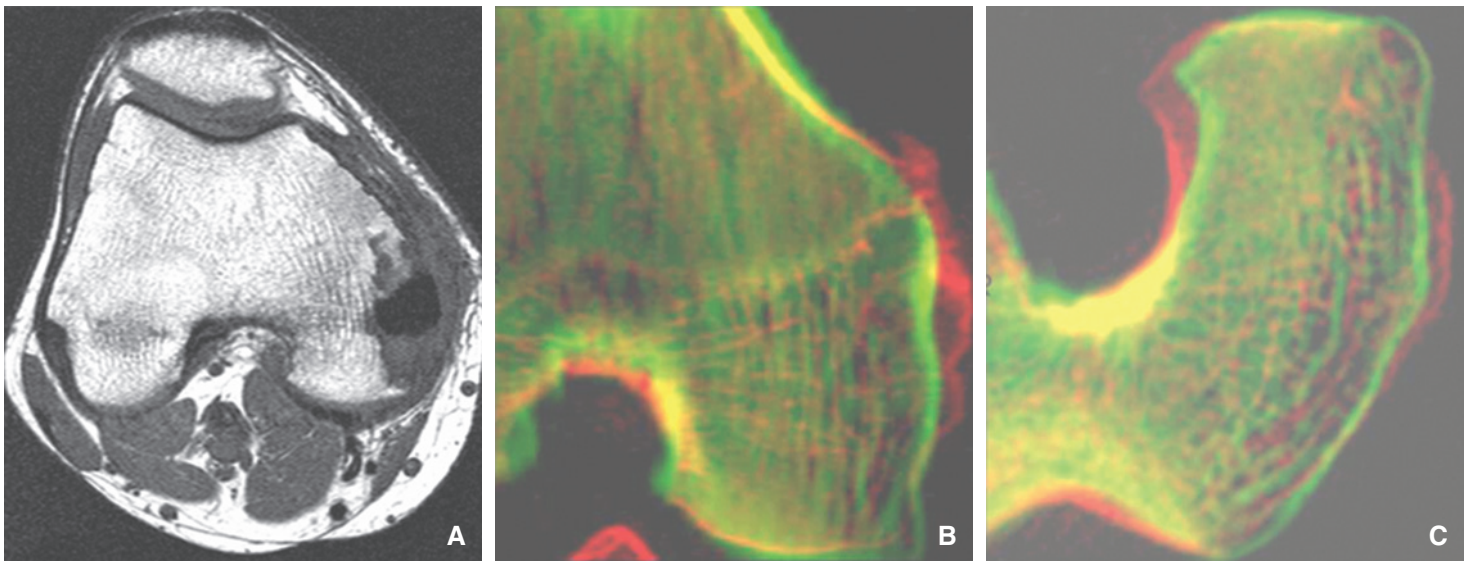


Figure 30. Homme de 31 ans avec un chondrosarcome de grade I du condyle fémoral médial.

A à C. Coupe en imagerie par résonance magnétique. Registration du condyle du patient avec la greffe en coupes coronale et transversale.

équivalent à celui de l'implantation de chondrocytes autologues [96], mais pour des lésions plus grandes (plus de 2 cm), l'autogreffe ostéochondrale semble donner de meilleurs résultats [97].

Autogreffe ostéochondrale (en « mosaïque »)

Cette technique consiste à transférer de petites carottes ostéochondrales d'une zone articulaire non portante vers la perte de substance de façon à reconstituer une surface cartilagineuse (Fig. 29). Les sites de prélèvement décrits sont la trochlée latérale, l'échancrure intercondylienne, la trochlée médiale [1]. Cette technique donne les meilleurs résultats pour de petites lésions mais semble être encore performante pour des lésions entre 2 et 4 cm² [96]. Cette technique peut être réalisée entièrement par arthroscopie ou par arthrotomie. De nombreux systèmes commerciaux permettent de prélever des carottes pour créer un implant jusqu'à 10 mm en diamètre. Il est important de réaliser le prélèvement perpendiculairement à la surface articulaire pour faciliter la congruence après implantation [98]. Il faut éviter de léser les chondrocytes durant l'impaction et il faut donc éviter d'utiliser trop de force lors de l'insertion de la greffe [99]. Généralement, les patients sont laissés en charge durant six semaines mais avec une mobilisation passive sur arthromoteur [98].

Thérapie cellulaire (implantation de chondrocytes autologues)

Cette technique est possible pour des lésions chondrales ou ostéochondrales mesurant de 2 à 10 cm² avec une perte osseuse de moins de 6 à 8 mm [98]. La première étape consiste en une évaluation arthroscopique de la taille et de la profondeur de la lésion chondrale et se termine par la biopsie de cartilage. Ce prélèvement est réalisé par arthroscopie dans une zone non portante. Au laboratoire, le cartilage est traité enzymatiquement pour libérer les chondrocytes qui sont ensuite cultivés in vitro [1]. La deuxième étape consiste en l'implantation des cellules après six semaines de culture [98]. La perte de substance est préparée par débridement du fibrocartilage jusqu'à la couche calcifiée. Des trous verticaux sont créés à la périphérie de la lésion. Un lambeau de périoste est prélevé, par exemple sur la partie médiale proximale du tibia, distalement par rapport à la patte-d'oie ou ailleurs si nécessaire. Le lambeau doit être au minimum 2 mm plus large que la lésion. Une membrane de collagène synthétique est une alternative possible. Le lambeau de périoste est suturé au cartilage avec des points espacés d'environ 4 mm et le reste est collé avec une colle de fibrine [98]. La suspension cellulaire est alors injectée sous la membrane de périoste par un cathéter. En postopératoire, une charge de six semaines est respectée avec une mobilisation passive.

Allogreffe ostéochondrale (héli-, partielle, totale)

Les allogreffes ostéochondrales fraîches ou congelées sont largement utilisées dans le traitement des lésions ostéochondrales profondes ou de grande taille. Aucune immunosuppression ni appariement des groupes tissulaires n'est nécessaire car les chondrocytes implantés sont isolés du milieu ambiant par la matrice cartilagineuse et ne sont donc pas exposés à une réaction immunitaire [100].

Les allogreffes ostéochondrales fraîches sont normalement maintenues à 4 °C dans des milieux de culture normaux ou enrichis, pour une durée maximale de 24 heures, ce qui permet aux chondrocytes de survivre après transplantation [98]. Elles induisent une réaction immunitaire minimale. Les chondrocytes survivent et l'os est revascularisé progressivement [101, 102]. Leur mise en œuvre reste très difficile car il faut respecter à la fois les impératifs de sécurité biologiques et l'accessibilité hospitalière endéans les 24 heures.

Les allogreffes congelées sont maintenues à -80 °C et peuvent se conserver pendant des années. Lors de leur utilisation, l'allogreffe congelée est lentement réchauffée jusqu'à 37 °C dans une solution saline additionnée d'antibiotiques. Le réchauffement lent minimise les dommages cellulaires de la greffe [103]. Nonobstant, la survie des chondrocytes reste aléatoire et n'explique pas les résultats satisfaisants observés avec ce type de greffe. Le cartilage finit par perdre son organisation matricielle et donc sa cohésion, se délitant progressivement en quelques années.

L'allogreffe ostéochondrale peut n'être que partielle, si elle ne concerne qu'une partie limitée d'une articulation (Fig. 30, 31). Dans ce cas, le choix de la greffe qui correspond le mieux est critique et l'utilisation de guides de coupe permet d'avoir la meilleure congruence. Une hémiarthrodèse représente la solution ultime.

■ Type de reconstruction : intercalaire-composite-arthrodèse-greffe vascularisée avec ou sans allogreffe

Intercalaire

La greffe est intercalée entre deux segments osseux du receveur. C'est le cas après résection diaphysaire, mais aussi lors des résections-arthrodèses. Cela peut être réalisé avec une autogreffe (crête iliaque, greffon tibial ou fibulaire), ou avec une allogreffe (cylindre diaphysaire) ou avec une greffe composite (par exemple,

une fibula vascularisée manchonnée dans l'allogreffe). La reconstruction peut aussi se faire avec une allogreffe sélectionnée par ordinateur et découpée avec l'aide de la navigation (Fig. 25).

Terminale

La partie épiphysométaphysaire a été réséquée et doit être reconstruite. La reconstruction peut être réalisée soit par une allogreffe massive ostéochondrale non vascularisée, avec reconstruction des structures capsuloligamentaires, soit par une allogreffe manchonnant une prothèse (reconstruction composite).

Sélection de l'allogreffe

Même si souvent, le nombre d'allogreffes disponibles est limité, il est important de tenter de trouver, parmi celles-ci, celle qui correspond le mieux à l'os du patient. De nouvelles techniques basées sur l'imagerie tridimensionnelle sont maintenant disponibles.

Acquisition au scanner de l'allogreffe et de l'os receveur

Toutes les images des allogreffes disponibles à la banque de tissus sont acquises au scanner en utilisant des paramètres

d'acquisition standards (espacement entre les coupes de 1 mm, épaisseur de coupe 2,7 mm) [59]. Les allogreffes sont scannées tout en restant congelées et emballées dans leur emballage stérile et ne sont exposées que durant moins de cinq minutes à la température ambiante. L'os du patient est aussi scanné mais ce scanner est classiquement déjà réalisé dans le bilan préopératoire du patient. Les scanners du patient et des allogreffes sont d'abord délimités pour ne concerner que la région d'intérêt (où la concordance doit être respectée). Un seuillage des voxels permet d'éliminer tous les tissus mous se trouvant autour de l'os. En cas de destruction substantielle de l'os receveur par une tumeur par exemple, l'os controlatéral peut être pris en compte et un effet miroir est alors appliqué.

Algorithme de registration

La registration d'images consiste à aligner spatialement deux Images 2D ou deux volumes 3D. Dans le cas de l'os, la registration doit être rigide, ce qui signifie que les volumes ne sont pas déformés (il n'y a pas de facteurs d'échelle ou de distorsions des volumes lors de la registration). Un des volumes est considéré comme « fixe » (os receveur) et le deuxième est considéré comme « mobile » (allogreffe). L'algorithme va essayer de trouver la transformation qui fait correspondre au mieux chaque voxel du premier volume au voxel correspondant du deuxième volume. À chaque itération, l'algorithme applique une transformation au volume mobile. La valeur de niveau de gris de chaque voxel est alors comparée avec le voxel correspondant du volume fixe. Si

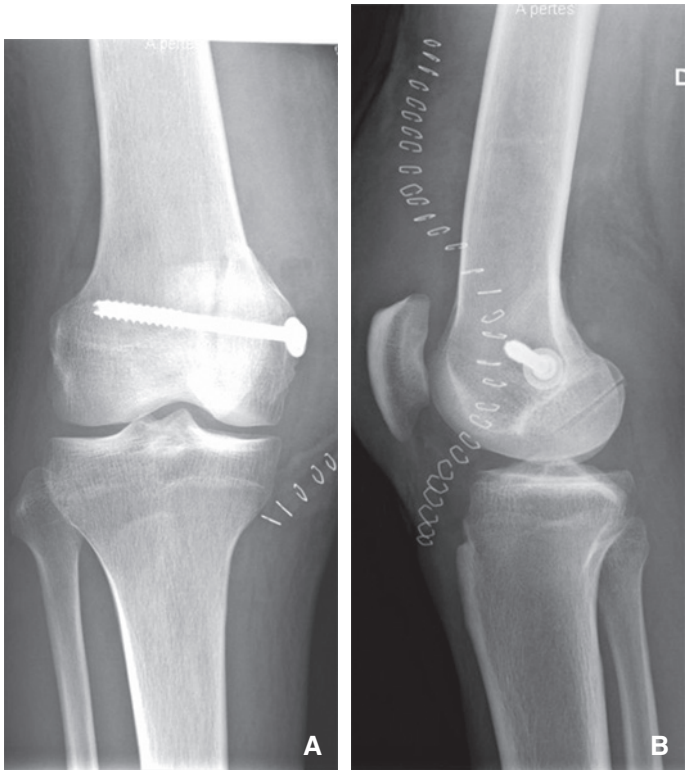


Figure 31. Même patient que sur la Figure 30. Reconstruction par allogreffe ostéochondrale de condyle fémoral (A, B).

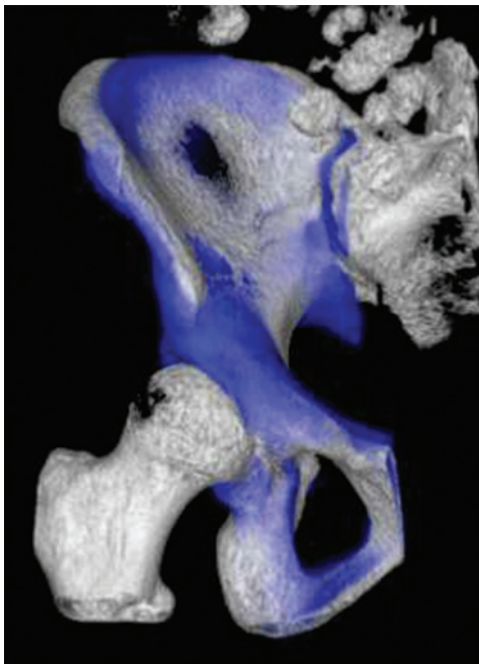


Figure 32. Le volume de l'allogreffe est superposé (fusionné) avec le volume du patient.



Figure 33. Superposition des coupes 2D d'un os iliaque et d'une allogreffe d'os iliaque. En blanc, les pixels de la greffe qui ne se superposent pas aux pixels du patient. En gris clair, les pixels du patient qui ne se superposent pas aux pixels de la greffe. En gris foncé, les pixels qui se superposent exactement.

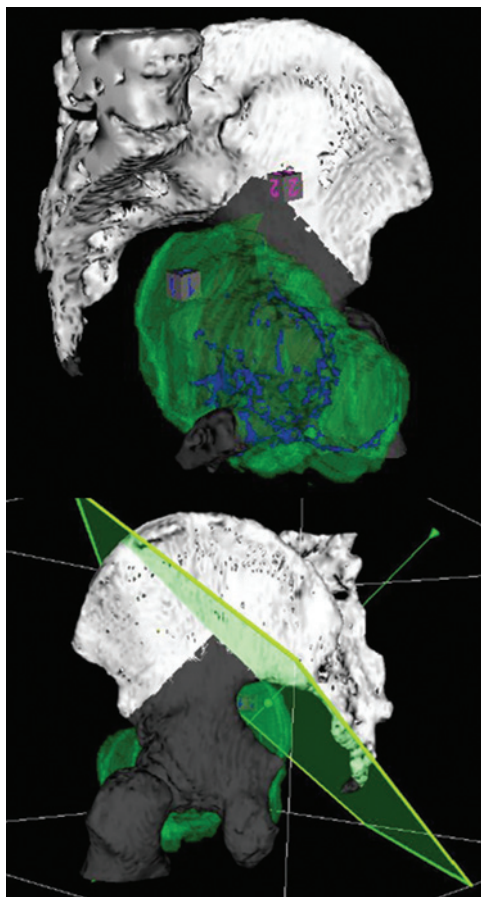


Figure 34. La tumeur est en vert, l'os du patient en blanc. Les plans d'ostéotomie sont choisis les uns après les autres et enregistrés avec une distance connue par rapport à la tumeur.

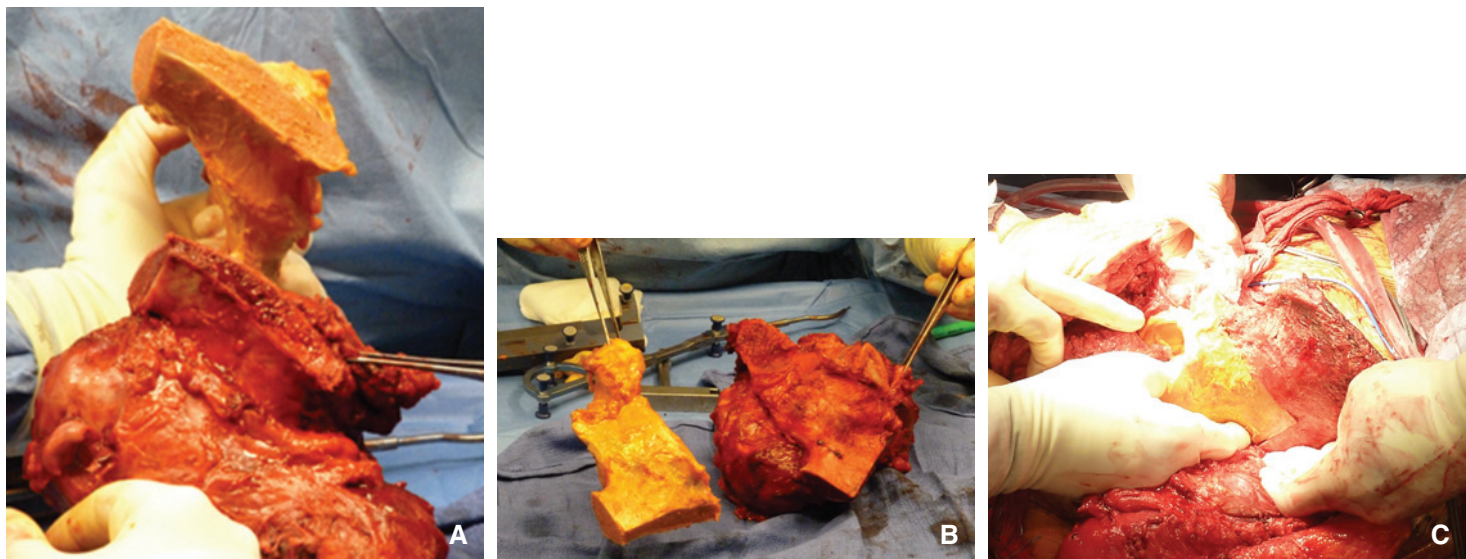


Figure 35.
A. La tumeur est découpée suivant les plans prédéfinis et l'allogreffe également.
B. Correspondance de la tumeur et de la greffe découpées.
C. Lorsque l'allogreffe est placée pour combler le defect consécutif à la résection tumorale, la correspondance est optimale.

la correspondance devient meilleure, la transformation continue dans le même sens. La boucle d'itération est répétée jusqu'à ce que la différence de niveau de gris entre les pixels soit minimale. Une image de superposition de l'os du patient et de la greffe peut alors être obtenue (Fig. 32, 33).

Navigation de la tumeur et de l'allogreffe

La tumeur est délimitée manuellement sur l'IRM à l'aide d'une souris et d'un logiciel. Comme l'IRM et le scanner ont des localisa-

tions, des tailles d'images et des résolutions différentes, l'IRM doit être exportée vers le scanner par coregistration de telle sorte que l'IRM et le scanner partagent le même système de coordonnées. Les plans d'ostéotomie sont planifiés par un logiciel de planification^[104] (Fig. 34). Les plans de coupe de la tumeur sont choisis de façon à obtenir une marge saine de 1 cm en général. Cette marge peut parfois être diminuée jusque 5 mm pour pouvoir sauver une épiphyse ou un cartilage de croissance. Les plans d'ostéotomie sont transférés du patient sur l'allogreffe en utilisant la registration scanner sur scanner. Lors de l'intervention, des guides de

coupe sont utilisés [59, 105]. De même, la découpe de l'allogreffe à l'aide de guides de coupe est le reflet de la coupe tumorale. Le résultat en est un affrontement millimétrique (Fig. 35).

■ Références

- [1] Farr J, Cole B, Dhawan A, Kercher J, Sherman S. Clinical cartilage restoration: evolution an overview. *Clin Orthop* 2011;**469**:2696–705.
- [2] Dufrane D, Docquier PL, Delloye C, Poirel HA, André W, Aouassar N. Scaffold-free three-dimensional graft from autologous adipose-derived stem cells for large bone defect reconstruction: clinical proof of concept. *Medicine* 2015;**94**:e22.
- [3] Schecroun N, Delloye C. In vitro growth and osteoblastic differentiation of human bone marrow stromal cells supported by autologous plasma. *Bone* 2004;**35**:517–24.
- [4] Chiodo CP, Hahne J, Wilson MG, Glowacki J. Histological differences in iliac and tibial bone graft. *Foot Ankle Int* 2010;**31**:418–22.
- [5] Bignon A, Chouteau J, Chevalier J, Fantozzi G, Carret JP, Chavassieux P, et al. Effect of micro- and macroporosity of bone substitutes on their mechanical properties and cellular response. *J Mater Sci Mater Med* 2003;**14**:108.
- [6] Cornu O, Banse X, Docquier PL, Luyckx S, Delloye C. Effect of freeze-drying and gamma irradiation on the mechanical properties of human cancellous bone. *J Orthop Res* 2000;**18**:426–31.
- [7] Garavaglia G, Lubowicki A, Fritschy D, Menetrey J. Autologous chondrocyte implantation for focal cartilage lesions: state of the art in 2007. *Rev Med Suisse* 2007;**3**(120):1772–5.
- [8] van Isacker T, Barbier O, Traore A, Cornu O, Mazzeo F, Delloye C. Forearm reconstruction with bone allograft following tumor excision: a series of 10 patients with a mean follow-up of 10 years. *Orthop Traumatol Surg Res* 2011;**97**:793–9.
- [9] Graham SM, Leonidou A, Aslam-Pervez N, Hamza A, Panteliadis P, Heliotis M, et al. Biological therapy of bone defects: the immunology of bone allo-transplantation. *Expert Opin Biol Ther* 2010;**10**:885–901.
- [10] Mankin HJ, Gebhardt MC, Jennings LC, Springfield DS, Tomford WW. Long-term results of allograft replacement in the management of bone tumors. *Clin Orthop* 1996;**324**:86–97.
- [11] Delloye C, Cornu O, Druetz V, Barbier O. Bone allografts: what they can offer and what they cannot. *J Bone Joint Surg Br* 2007;**89**:574–9.
- [12] Hill J, Little J, Ford T. Bone wax: a foreign body/giant cell reaction in the foot. *Foot Ankle Spec* 2013;**6**:236–8.
- [13] Saleh M. Bone graft harvesting: a percutaneous technique. *J Bone Joint Surg Br* 1991;**73**:867–8.
- [14] Colterjohn NR, Bednar DA. Procurement of bone graft from the iliac crest. An operative approach with decreased morbidity. *J Bone Joint Surg Am* 1997;**79**:1756–9.
- [15] Merritt AL, Spinnicke A, Pettigrew K, Alamin TF. Gluteal-sparing approach for posterior iliac crest bone graft: description of a new technique and assessment of morbidity in ninety-two patients after spinal fusion. *Spine* 2010;**35**:1396–400.
- [16] Schade VL, Roukis TS. Percutaneous bone marrow aspirate and bone graft harvesting techniques in the lower extremity. *Clin Podiatr Med Surg* 2008;**25**:733–42.
- [17] Babhulkar SS, Pande KC, Babhulkar S. Ankle instability after fibular resection. *J Bone Joint Surg Br* 1995;**77**:258–61.
- [18] Quintero AJ, Tarkin IS, Pape HC. Technical tricks when using the reamer irrigator aspirator technique for autologous bone graft harvesting. *J Orthop Trauma* 2010;**24**:142–5.
- [19] Madison RD, Nowotarski PJ. The reamer-irrigator-aspirator in nonunion surgery. *Orthop Clin North Am* 2019;**50**:297–304.
- [20] Braly HL, O'Connor DP, Brinker MR. Percutaneous autologous bone marrow injection in the treatment of distal meta-diaphyseal tibial nonunions and delayed unions. *J Orthop Trauma* 2013;**27**:527–33.
- [21] Seiler 3rd JG, Johnson J. Iliac crest autogenous bone grafting: donor site complications. *J South Orthop Assoc* 2000;**9**:91–7.
- [22] Ahlmann E, Patzakis M, Roidis N, Shepherd L, Holtom P. Comparison of anterior and posterior iliac crest bone grafts in terms of harvest-site morbidity and functional outcomes. *J Bone Joint Surg Am* 2002;**84**:716–20.
- [23] Rossillon R, Desmette D, Rombouts JJ. Growth disturbance of the ilium after splitting the iliac apophysis and iliac crest bone harvesting in children: a retrospective study at the end of growth following unilateral Salter innominate osteotomy in 21 children. *Acta Orthop Belg* 1999;**65**:295–301.
- [24] Frick SL. Valgus deformity after fibular resection in children. *J Pediatr Orthop* 2004;**24**:345.
- [25] Fragnière B, Wicart P, Mascard E, Dubouset J. Prevention of ankle valgus after vascularized fibular grafts in children. *Clin Orthop* 2003;**408**:245–51.
- [26] Chou LB, Mann RA, Coughlin MJ, McPeake 3rd WT, Mizel MS. Stress fracture as a complication of autogenous bone graft harvest from the distal tibia. *Foot Ankle Int* 2007;**28**:199–201.
- [27] Albert A, Leemrijse T, Druetz V, Delloye C, Cornu O. Are bone autografts still necessary in 2006? A three-year retrospective study of bone grafting. *Acta Orthop Belg* 2006;**72**:734–40.
- [28] Erivan R, Villatte G, Ollivier M, Descamps S, Boisgard S. Update on the supply and use of allografts in locomotor system pathologies in France. *Orthop Traumatol Surg Res* 2018;**104**:1125–30.
- [29] European Union. Directive 2004/23/EC of the European parliament and of the council of 31 March 2004 on setting standards of quality and safety for the donation, procurement, testing, processing, preservation, storage and distribution of human tissues and cells. *Off J Eur Union* 2004;**L102**:48–58.
- [30] Delloye C. Tissue allografts and health risks. *Acta Orthop Belg* 1994;**60**:62–7.
- [31] Eastlund T. Bacterial infection transmitted by human tissue allograft transplantation. *Cell Tissue Bank* 2006;**7**:147–66.
- [32] Schubert T, Bigaré E, Van Isacker T, Gigi J, Delloye C, Cornu O. Analysis of predisposing factors for contamination of bone and tendon allografts. *Cell Tissue Bank* 2012;**13**:421–9.
- [33] Pauli G. Tissue safety in view of CJD and variant CJD. *Cell Tissue Bank* 2005;**6**:191–200.
- [34] Ireland L, Spelman D. Bacterial contamination of tissue allografts - experiences of the donor tissue bank of Victoria. *Cell Tissue Bank* 2005;**6**:181–9.
- [35] Dufrane D. Impact of age on human adipose stem cells for bone tissue engineering. *Cell Transplant* 2017;**26**:496–504.
- [36] Cornu O, Bavadekar A, Godts B, Van Tomme J, Delloye C, Banse X. Impaction bone grafting with freeze-dried irradiated bone. Part I. Femoral implant stability: cadaver experiments in a hip simulator. *Acta Orthop Scand* 2003;**74**:547–52.
- [37] Sohn HS, Oh JK. Review of bone graft and bone substitutes with an emphasis on fracture surgeries. *Biomater Res* 2019;**23**:9.
- [38] Docquier P, Delloye C. Treatment of aneurysmal bone cysts by introduction of demineralized bone and autogenous bone marrow. *J Bone Joint Surg Am* 2005;**87**:2253–8.
- [39] Innocenti M, Abed YY, Beltrami G, Delcroix L, Manfrini M, Capanna R. Biological reconstruction after resection of bone tumors of the proximal tibia using allograft shell and intramedullary free vascularized fibular graft: long-term results. *Microsurgery* 2009;**29**:361–72.
- [40] Errani C, Ceruso M, Donati DM, Manfrini M. Microsurgical reconstruction with vascularized fibula and massive bone allograft for bone tumors. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2019;**29**:307–11.
- [41] Vander Griend RA. The effect of internal fixation on the healing of large allografts. *J Bone Joint Surg Am* 1994;**76**:657–63.
- [42] Delloye C, van Cauter M, Dufrane D, Francq BG, Docquier PL, Cornu O. Local complications of massive bone allografts: an appraisal of their prevalence in 128 patients. *Acta Orthop Belg* 2014;**80**:196–204.
- [43] Delloye C, de Nayer P, Allington N, Munting E, Coutelier L, Vincent A. Massive bone allografts in large skeletal defects after tumor surgery: a clinical and microradiographic evaluation. *Arch Orthop Trauma Surg* 1988;**107**:31–41.
- [44] Cascio BM, Thomas KA, Wilson SC. A mechanical comparison and review of transverse, step-cut, and sigmoid osteotomies. *Clin Orthop* 2003;**411**:296–304.
- [45] Wang JW, Shih CH. Allograft transplantation in aggressive or malignant bone tumors. *Clin Orthop* 1993;**297**:203–9.
- [46] Berrey Jr BH, Lord CF, Gebhardt MC, Mankin HJ. Fractures of allografts. Frequency, treatment, and end-results. *J Bone Joint Surg Am* 1990;**72**:825–33.
- [47] Thompson Jr RC, Garg A, Clohisy DR, Cheng EY. Fractures in large-segment allografts. *Clin Orthop* 2000;**370**:227–35.
- [48] Ippolito JA, Martinez M, Thomson JE, Willis AR, Beebe KS, Patterson FR, et al. Complications following allograft reconstruction for primary bone tumors: considerations for management. *J Orthop* 2018;**16**:49–54.
- [49] Aponte-Tinco LA, Ayerza MA, Muscolo DL, Farfalli GL. Should fractures in massive intercalary bone allografts of the lower limb be treated with ORIF or with a new allograft? *Clin Orthop* 2015;**473**:805–11.
- [50] Delloye C, Simon P, Nyssen-Behets C, Banse X, Bresler F, Schmitt D. Perforations of bone allografts improve their incorporation. *Clin Orthop* 2002;**396**:240–7.
- [51] Wheeler DL, Enneking WF. Allograft bone decreases in strength in vivo over time. *Clin Orthop* 2005;**435**:36–42.

- [52] Gerrand CH, Griffin AM, Davis AM, Gross AE, Bell RS, Wunder JS. Large segment allograft survival improved with intramedullary cement. *J Surg Oncol* 2003;**84**:198–208.
- [53] Delloye C, Cornu O. Incorporation of massive bone allografts: can we achieve better performance? *Acta Orthop Belg* 2003;**69**:104–11.
- [54] Delloye C, Surawala SJ, Cornu O, Lee FY. Treatment of allograft nonunions with recombinant human bone morphogenetic proteins (rhBMP). *Acta Orthop Belg* 2004;**70**:591–7.
- [55] Aponte-Tiniao LA, Ayerza MA, Muscolo DL, Farfalli GL. What are the risk factors and management options for infection after reconstruction with massive bone allografts? *Clin Orthop* 2016;**474**:669–73.
- [56] Mankin HJ, Hornicek FJ, Raskin KA. Infection in massive bone allografts. *Clin Orthop* 2005;**432**:210–6.
- [57] Witsø E, Persen L, Benum P, Bergh K. Cortical allograft as a vehicle for antibiotic delivery. *Acta Orthop* 2005;**76**:481–6.
- [58] Buttarò M, Comba F, Piccaluga F. Vancomycin-supplemented cancellous bone allografts in hip revision surgery. *Clin Orthop* 2007;**461**:74–80.
- [59] Evrard R, Schubert T, Paul L, Docquier PL. Resection margins obtained with patient-specific instruments for resecting primary pelvic bone sarcomas: a case-control study. *Orthop Traumatol Surg Res* 2019;**105**:781–7.
- [60] Judet T, Richard L, Arnault O, De Thomasson E, Boury G. Treatment of tibial pseudarthrosis using Robert Judet's method of osteoperiosteal decortication. *Acta Orthop Belg* 1992;**58**(Suppl. 1):182–6.
- [61] Lucarelli E, Fini M, Beccheroni A, Giavaresi G, Di Bella C, Aldini NN, et al. Stromal stem cells and platelet-rich plasma improve bone allograft integration. *Clin Orthop* 2005;**435**:62–8.
- [62] Muschler GF, Boehm C, Easley K. Aspiration to obtain osteoblast progenitor cells from human bone marrow: the influence of aspiration volume. *J Bone Joint Surg Am* 1997;**79**:1699–709.
- [63] Yandow SM, Van de Velde SK, Siebert J, Perkins SL. The influence of aspiration volume on the number of osteoblastic progenitors obtained from bone marrow in children. *J Pediatr Orthop* 2017;**39**:382–6.
- [64] Hernigou P, Poignard A, Beaujean F, Rouard H. Percutaneous autologous bone-marrow grafting for nonunions. Influence of the number and concentration of progenitor cells. *J Bone Joint Surg Am* 2005;**87**:1430–7.
- [65] Green E, Hinton C, Triffitt JT. The effect of decalcified bone matrix on the osteogenic potential of bone marrow. *Clin Orthop* 1986;**205**:292–8.
- [66] Tiedeman JJ, Garvin KL, Kile TA, Connolly JF. The role of a composite, demineralized bone matrix and bone marrow in the treatment of osseous defects. *Orthopedics* 1995;**18**:1153–8.
- [67] Vidal J, Buscayret C, Finzi M, Melka J. Tibio-fibular graft as a treatment of non-union of the tibia. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1982;**68**:123–32.
- [68] Foster MJ, O'Toole RV, Manson TT. Treatment of tibial nonunion with posterolateral bone grafting. *Injury* 2017;**48**:2242–7.
- [69] Ryzewicz M, Morgan SJ, Linford E, Thwing JI, de Resende GV, Smith WR. Central bone grafting for nonunion of fractures of the tibia: a retrospective series. *J Bone Joint Surg Br* 2009;**91**:522–9.
- [70] Papineau LJ, Alfageme A, Dalcourt JP, Pilon L. Chronic osteomyelitis: open excision and grafting after saucerization. *Int Orthop* 1979;**3**:165–76.
- [71] Fleischmann W, Suger G, Kinzl L. Treatment of bone and soft tissue defects in infected nonunion. *Acta Orthop Belg* 1992;**58**(Suppl. 1):227–35.
- [72] Archdeacon MT, Messerschmitt P. Modern papineau technique with vacuum-assisted closure. *J Orthop Trauma* 2006;**20**:134–7.
- [73] Masquelet AC, Fitoussi F, Begue T, Muller GP. Reconstruction of the long bones by the induced membrane and spongy autograft. *Ann Chir Plast Esthet* 2000;**45**:346–53.
- [74] Ghanem I, Haddad E, Haidar R, Haddad-Zebouni S, Aoun N, Dagher F, et al. Lateral shelf acetabuloplasty in the treatment of Legg-Calvé-Perthes disease: improving mid-term outcome in severely deformed hips. *J Child Orthop* 2010;**4**:13–20.
- [75] Yoo WJ, Choi IH, Cho TJ, Chung CY, Shin YW, Shin SJ. Shelf acetabuloplasty for children with Perthes' disease and reducible subluxation of the hip: prognostic factors related to hip remodelling. *J Bone Joint Surg Br* 2009;**91**:1383–7.
- [76] Fawzy E, Mandellos G, De Steiger R, McLardy-Smith P, Benson MK, Murray D. Is there a place for shelf acetabuloplasty in the management of adult acetabular dysplasia? A survivorship study. *J Bone Joint Surg Br* 2005;**87**:1197–202.
- [77] Marti RK, Kloen P. Chronic recurrent posterior dislocation of the hip after a Pipkin fracture treated with intertrochanteric osteotomy and acetabuloplasty. A case report. *J Bone Joint Surg Am* 2000;**82**:867–72.
- [78] Boileau P, Thélou CÉ, Mercier N, Ohi X, Houghton-Clemmey R, Carles M, et al. Arthroscopic Bristow-Latarjet combined with bankart repair restores shoulder stability in patients with glenoid bone loss. *Clin Orthop* 2014;**472**:2413–24.
- [79] Parratte S, Argenson JN, Flecher X, Aubaniac JM. Acetabular revision for aseptic loosening in total hip arthroplasty using cementless cup and impacted morselized allograft. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2007;**93**:255–63.
- [80] Kerboul L, Hamadouche M, Kerboul M. Impaction grafting in association with the Charnley-Kerboul cemented femoral component: operative technique and two- to 16-year follow-up results. *J Bone Joint Surg Br* 2009;**91**:304–9.
- [81] Cornu O, Schubert T, Libouton X, Manil O, Godts B, Van Tomme J, et al. Particle size influence in an impaction bone grafting model. Comparison of fresh-frozen and freeze-dried allografts. *J Biomech* 2009;**42**:2238–42.
- [82] Schwab JH, Healey JH, Athanasian EA. Wide en bloc extra-articular excision of the elbow for sarcoma with complex reconstruction. *J Bone Joint Surg Br* 2008;**90**:78–83.
- [83] Weber KL, Lin PP, Yasko AW. Complex segmental elbow reconstruction after tumor resection. *Clin Orthop* 2003;**415**:31–44.
- [84] Donati D, Giacomini S, Gozzi E, Di Bella C, Mercuri M. The results of the surgical treatment of bone tumors using massive homoplastic grafts. *Chir Organi Mov* 2003;**88**:115–22.
- [85] Rydholm A. Reconstruction after resection of the proximal ulna. Report of a case of chondrosarcoma. *Acta Orthop Scand* 1987;**58**:671–2.
- [86] Saini R, Bali K, Bachhal V, Mootha AK, Dhillion MS, Gill SS. En bloc excision and autogenous fibular reconstruction for aggressive giant cell tumor of distal radius: a report of 12 cases and review of literature. *J Orthop Surg Res* 2011;**6**:14.
- [87] Anract P, Tomeno B. Résections-reconstructions pour tumeurs osseuses malignes du membre supérieur. *EMC - Techniques chirurgicales - Orthopédie-Traumatologie* 2005:1–15 [Article 44-097].
- [88] Duboussset J, Missenard G, Kalifa C. Management of osteogenic sarcoma in children and adolescents. *Clin Orthop* 1991;**270**:52–9.
- [89] Gilbert NF, Yasko AW, Oates SD, Lewis VO, Cannon CP, Lin PP. Allograft-prosthetic composite reconstruction of the proximal part of the tibia. An analysis of the early results. *J Bone Joint Surg Am* 2009;**91**:1646–56.
- [90] Enneking WF, Dunham WK. Resection and reconstruction for primary neoplasms involving the innominate bone. *J Bone Joint Surg Am* 1978;**60**:731–46.
- [91] Delloye C, Banse X, Brichard B, Docquier PL, Cornu O. Pelvic reconstruction with a structural pelvic allograft after resection of a malignant bone tumor. *J Bone Joint Surg Am* 2007;**89**:579–87.
- [92] Hart RA, Daniels AH, Bahney T, Tesar J, Sales JR, Bay B. Relationship of donor variables and graft dimension on biomechanical performance of femoral ring allograft. *J Orthop Res* 2011;**29**:1840–5.
- [93] Frank RM, Cotter EJ, Strauss EJ, Gomoll AH, Cole BJ. The utility of biologics, osteotomy, and cartilage restoration in the knee. *J Am Acad Orthop Surg* 2018;**26**:e11–25.
- [94] Shapiro F, Koide S, Glimcher MJ. Cell origin and differentiation in the repair of full-thickness defects of articular cartilage. *J Bone Joint Surg Am* 1993;**75**:532–53.
- [95] Knutsen G, Drogset JO, Engebretsen L, Grøntvedt T, Ludvigsen TC, Løken S, et al. A randomized multicenter trial comparing autologous chondrocyte implantation with microfracture: long-term follow-up at 14 to 15 years. *J Bone Joint Surg Am* 2016;**98**:1332–9.
- [96] Gudas R, Gudaite A, Pocius A, Gudiene A, Cekanauskas E, Monastyreckiene E, et al. Ten-year follow-up of a prospective, randomized clinical study of mosaic osteochondral autologous transplantation versus microfracture for the treatment of osteochondral defects in the knee joint of athletes. *Am J Sports Med* 2012;**40**:2499–508.
- [97] Cole BJ, Pascual-Garrido C, Grumet RC. Surgical management of articular cartilage defects in the knee. *Instr Course Lect* 2010;**59**:181–204.
- [98] Pylawka TK, Wimmer M, Cole BJ, Virdi AS, Williams JM. Impaction affects cell viability in osteochondral tissues during transplantation. *J Knee Surg* 2007;**20**:105–10.
- [99] Ding L, Zampogna B, Vasta S, Jang KW, De Caro F, Martin JA, et al. Why do osteochondral allografts survive? Comparative analysis of cartilage biochemical properties unveils a molecular basis for durability. *Am J Sports Med* 2015;**43**:2459–68.
- [100] Acosta CA, Izal I, Ripalda P, Forriol F. Cell viability and protein composition in cryopreserved cartilage. *Clin Orthop* 2007;**460**:234–9.
- [101] Pearsall 4th AW, Tucker JA, Hester RB, Heitman RJ. Chondrocyte viability in refrigerated osteochondral allografts used for transplantation within the knee. *Am J Sports Med* 2004;**32**:125–31.

- [102] Pylawka TK, Virdi AS, Cole BJ, Williams JM. Reversal of suppressed metabolism in prolonged cold preserved cartilage. *J Orthop Res* 2008;**26**:247–54.
- [103] Paul L, Docquier PL, Cartiaux O, Cornu O, Delloye C, Banse X. Selection of massive bone allografts using shape-matching 3-dimensional registration. *Acta Orthop* 2010;**81**:250–5.

- [104] Docquier PL, Paul L, Cartiaux O, Delloye C, Banse X. Computer-assisted resection and reconstruction of pelvic tumor sarcoma. *Sarcoma* 2010;**12010**:125162.
- [105] Bellanova L, Paul L, Docquier PL. Surgical guides (patient-specific instruments) for pediatric tibial bone sarcoma resection and allograft reconstruction. *Sarcoma* 2013;**12013**:787653.

P.-L. Docquier, Chirurgien orthopédiste, MD, PhD (pierre-louis.docquier@uclouvain.be).

T. Schubert, Chirurgien orthopédiste, MD, PhD.

Institut de recherche expérimentale et clinique, Neuro Musculo Skeletal Lab (NMSK), Université catholique de Louvain, Secteur des sciences de la santé, avenue Mounier 53, 1200 Bruxelles, Belgique.

Service d'orthopédie et de traumatologie de l'appareil locomoteur, Cliniques universitaires Saint-Luc, avenue Hippocrate 10, 1200 Bruxelles, Belgique.

Toute référence à cet article doit porter la mention : Docquier PL, Schubert T. Techniques et indications des greffes osseuses et ostéocartilagineuses. EMC - Techniques chirurgicales - Orthopédie-Traumatologie 2020;0(0):1-26 [Article 44-030].

Disponibles sur www.em-consulte.com



Arbres
décisionnels



Iconographies
supplémentaires



Vidéos/
Animations



Documents
légaux



Information
au patient



Informations
supplémentaires



Auto-
évaluations



Cas
clinique