
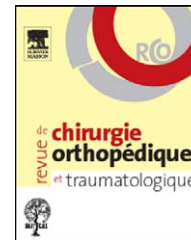




Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
 EM|consulte
www.em-consulte.com



NOTE DE TECHNIQUE

Ostéosynthèse mini-invasive des fractures proximales et distales extra-articulaires du tibia par plaque à vis bloquées[☆]

Minimally invasive locking screw plate fixation of non-articular proximal and distal tibia fractures

M. Ehlinger*, P. Adam, F. Bonnomet

Service de chirurgie orthopédique et de traumatologie, CHU Hautepierre, hôpitaux universitaires de Strasbourg, 1, avenue Molière, 67098 Strasbourg cedex, France

Acceptation définitive le : 16 avril 2010

MOTS CLÉS

Fracture du tibia ;
Plaque à vis
bloquées ;
Chirurgie
mini-invasive ;
Traumatologie

Résumé L'enclouage des fractures des quarts proximaux et distaux du tibia est reconnu difficile en raison de l'élargissement métaphysaire, de la diminution de contact entre l'implant et la corticale et de la comminution fracturaire. Certains auteurs proposent alors l'ostéosynthèse par plaque dans ces fractures délicates. Nous proposons de présenter et préciser notre technique de l'ostéosynthèse des fractures extra-articulaires des extrémités proximales et distales du tibia par voie mini-invasive par plaque à vis bloquées. Le matériel utilisé correspond à une plaque à vis bloquées dont les règles de montage que nous nous fixons autorisent habituellement une remise en charge immédiate et une mobilisation précoce. Cette chirurgie mini-invasive permet d'allier la stabilité du montage aux principes de la chirurgie à foyer fermé.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Introduction

Le traitement de référence des fractures de la diaphyse du tibia est l'enclouage centromédullaire verrouillé [1]. Cette technique est cependant reconnue délicate pour les fractures des quarts proximaux et distaux du tibia. Le long bras de levier et l'élargissement métaphysaire rendent difficile la réduction et l'enclouage. D'autres difficultés techniques sont classiquement reconnues : extension intra-articulaire, survenue d'une faillite du matériel ou difficulté de fixation

DOI de l'article original : [10.1016/j.otsr.2010.03.025](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2010.03.025).

[☆] Ne pas utiliser, pour citation, la référence française de cet article, mais celle de l'article original paru dans *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, en utilisant le DOI ci-dessus.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : matthieu.ehlinger@chru-strasbourg.fr
(M. Ehlinger).

épiphysométaphysaire [2,3]. Certains auteurs privilégient alors l'ostéosynthèse par plaque pour ces fractures du quart proximal [4,5] ou du quart distal [6,7].

Nous proposons de détailler notre technique chirurgicale de l'ostéosynthèse mini-invasive par plaque à vis verrouillées des fractures extra-articulaires des extrémités tibiales. Cette technique associe la stabilité du montage à la conservation de l'hématome fracturaire et autorise le plus souvent la remise en charge immédiate.

Technique chirurgicale

Matériel

Le matériel d'ostéosynthèse mis en place correspond à des plaques à vis bloquées gros fragment en alliage de titane LCP™ (Locking Compression Plate, société Synthes Etupes France). Le système verrouillé réalise un montage monobloc qui est qualifié de « fixateur interne ». Deux modèles anatomiques sont classiquement utilisés pour cette chirurgie mini-invasive en fonction du site de la fracture : la « plaque anatomique proximale latérale » pour les fractures proximales et la « plaque anatomique distale médiale » pour les fractures distales (Fig. 1). Les plaques anatomiques sont classiquement distribuées avec la mention de convenir à 80 % de la population. Il existe des plaques droites et des plaques gauches. L'ancillaire LISS™ (Low Invasive Stabilization System) est utilisé de façon systématique pour les plaques proximales permettant l'introduction aisée extrapériostée de la plaque mais surtout un vissage verrouillé facilité. Il n'existe pas à ce jour d'ancillaire LISS pour les plaques distales, mais un fantôme de visée est disponible pour les vis les plus distales. Pour les plaques proximales la visserie est de type gros fragments, soit standard, permettant un vissage en rappel de l'os à la plaque, soit verrouillée. Pour les plaques distales médiales, la visserie est de type gros fragments, standard ou verrouillées, pour la partie haute et de type petit fragment, standard ou verrouillé, pour la partie basse métaphysioépiphysaire. Les trous sont dits combinés, permettant la mise en place de vis standard ou bien verrouillée. Cette plaque distale peut donc être utilisée comme une plaque classique de type DCP™ (Dynamic Compression Plate), comme une plaque verrouillée ou comme l'association des deux en montage dit mixte.

Installation

L'intervention est réalisée en décubitus dorsal, soit sur une table orthopédique soit sur une table normale. L'installation sur la table orthopédique est identique à celle effectuée pour un enclouage centromédullaire, avec une traction transosseuse calcanéenne, voire avec une bottine dans les cas de fractures proximales sans extension distale. L'installation sur la table standard peut nécessiter une aide opératoire qui tracte le membre dans l'axe et contrôle la rotation. Un coussin peut être positionné sous la fesse homolatérale afin d'annuler la rotation latérale automatique du membre dans les fractures distales. Le type d'installation est opératoire dépendant, les fractures distales comme proximales pouvant être parfaitement contrôlées par l'une ou l'autre des installations. Il est vrai que l'installation

sur une table standard nécessitera plus souvent des gestes d'aide à la réduction. Enfin, un fixateur externe peut être utilisé de façon temporaire permettant de stabiliser la réduction le temps de l'intervention.

Voie d'abord

La technique que nous décrivons est mini-invasive. La voie d'abord est adaptée au site fracturaire et au type de plaque. En proximal, elle est latérale et oblique, orientée d'arrière en avant et de haut en bas. De l'ordre de 5 cm de long, elle débute sous le niveau de l'interligne fémorotibiale. Au besoin soit un repère scopique peut être réalisé repérant le niveau de l'articulation, soit une aiguille peut être introduite dans l'articulation. Pour les fractures du tibia distal, deux voies d'abord peuvent être utilisées. La première est longitudinale centrée sur la malléole médiale de l'ordre de 4/5 cm de long, dans l'axe du tibia. La mise en place des vis distales est facilitée si on utilise le fantôme mais elle peut exposer à des soucis de cicatrisation car située dans l'axe de la plaque. La seconde voie est arciforme antéromédiale centrée sur la malléole médiale. La mise en place des vis peut être plus délicate mais la cicatrisation est moins risquée. Sous contrôle scopique sont repérés, au feutre dermographique, les niveaux de la fracture permettant de choisir la longueur de la plaque, ainsi que l'axe diaphysaire permettant de faciliter le positionnement de la plaque sans utilisation intempestive de scopie peropératoire. L'objectif est de conserver le caractère mini-invasif de cette chirurgie, cependant, il faut savoir convertir en cas de fracture irréductible.

Réduction et fixation

S'agissant de fractures extra-articulaires, l'objectif est de restituer l'axe osseux anatomique. C'est à cette échelle que se situe le niveau de réduction. Celle-ci se déroule en deux phases. La réduction débute en préopératoire, puis est complétée en peropératoire de façon indirecte par manœuvres externes sous contrôle scopique.

La phase préopératoire correspond au contrôle scopique de la réduction sous traction. La réduction est rendue possible par une traction dans l'axe, soit grâce à la table orthopédique à l'instar de l'enclouage centromédullaire, soit par l'aide opératoire lors d'une installation standard, voire l'utilisation d'un fixateur externe temporaire.

La phase peropératoire correspond aux manœuvres complémentaires de réduction. À l'instar du brochage intrafocal selon Kapandji, un brochage temporaire (Fig. 2) peut être réalisé permettant de réduire une angulation en recurvatum ou en flessum, une translation. Le brochage est maintenu jusqu'au moment de la stabilisation des deux fragments par au moins deux vis verrouillées. Le caractère anatomique de la plaque (proximal ou distal) sert de véritable moule de réduction. En effet, les vis les plus distales des plaques médiales distales ou les vis les plus proximales des plaques latérales proximales sont destinées à être parallèles à l'interligne articulaire. Le positionnement initial de la plaque est contrôlé sous scopie. Une broche de diamètre 2 mm, introduite dans l'avant dernier canon des plaques tibiales distales et dans les canons les plus proximaux des

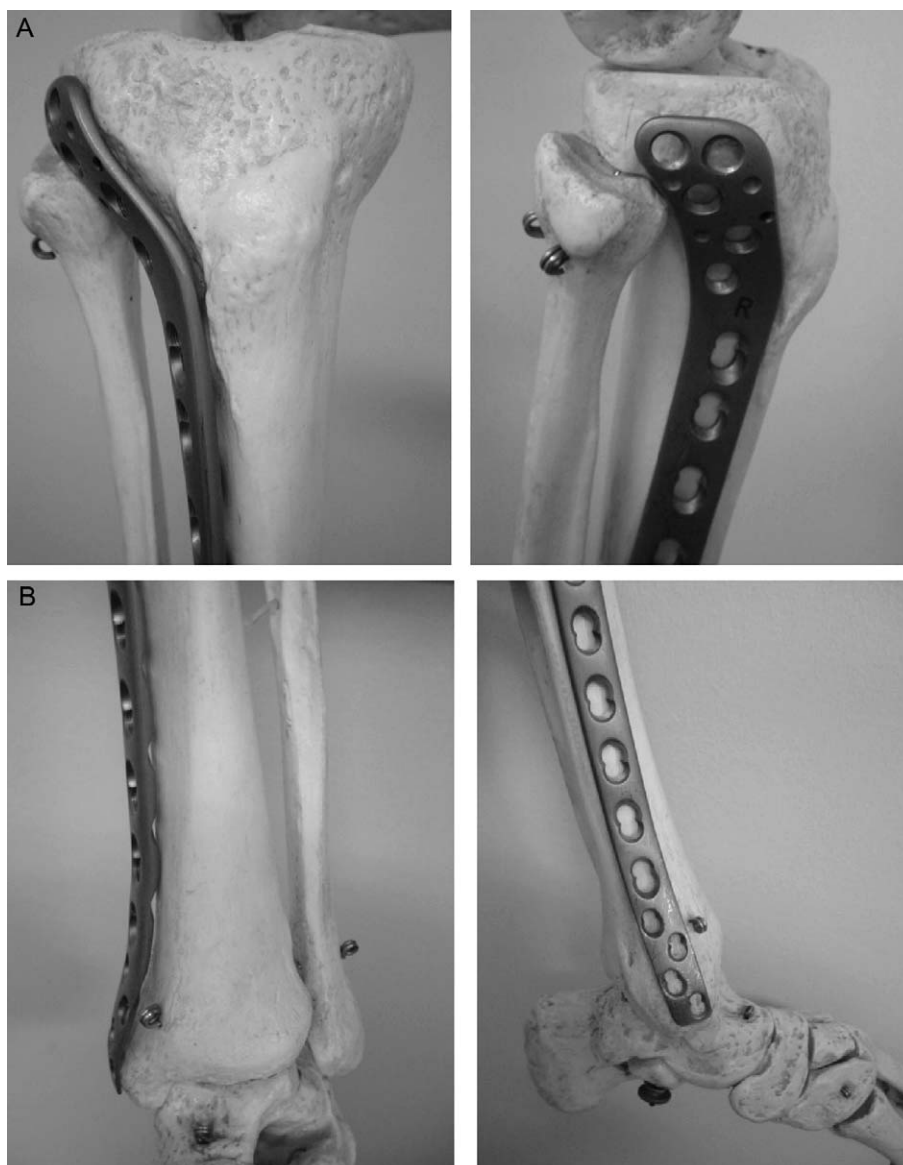


Figure 1 Plaques utilisées. A. Plaque anatomique tibiale proximale latérale vue de face, plaque coté droit. B. Plaque latérale proximale de profil, plaque coté droit. C. Plaque anatomique médiale distale vue de face, plaque coté gauche. D. Plaque médiale de profil, plaque coté gauche.

plaques proximales, doit être parallèle à l'interligne (Fig. 3). Le montage est un système monobloc réalisant une véritable fixation interne qui ne nécessite pas d'être parfaitement appliqué à l'os, s'affranchissant de l'effet de contact cortical en compression sous la plaque (effet friction) pour obtenir une stabilité primaire. Ce montage doit, cependant, être parallèle à la fois au fragment proximal et au fragment distal. Le risque est d'induire un cal vicieux si la plaque n'est pas située à une distance homogène de la corticale du fragment proximal et distal. Dans ce cas, le parallélisme des vis à l'articulation n'est plus un repère valable et suffisant de bon positionnement de la plaque. En effet, les vis peuvent rester parallèles à l'interligne mais la plaque être « cintrée » par le vissage induisant un défaut d'axe. Un moyen indirect de jouer du caractère anatomique de la plaque est le vissage en rappel de l'os sur la plaque par utilisation d'une vis stan-

dard, la plaque servant de véritable moule de réduction. Il est important que ce soit l'os qui vienne à la plaque et non l'inverse. En effet, le matériau que nous utilisons est du titane, élastique et déformable, ainsi si c'est la plaque qui va à l'os, celle-ci peut se déformer et induire une attitude vicieuse en valgus par cintrage de la plaque.

Lorsque l'intervention se fait sur une table standard, la réduction peropératoire peut être obtenue par la mise en place temporaire d'un fixateur externe, s'affranchissant de la traction dans l'axe par un aide opératoire. Celui-ci peut être monoplan tibiotibial pour les fractures proximales ou en triangulation tibio-calcanéen pour les fractures distales. Les fiches sont mises en place dans le fragment proximal et distal, au nombre de deux par fragments, pour un montage tibiotibial. Pour les montages en triangulation, une fiche transfixiante calcanéenne et deux tibiales

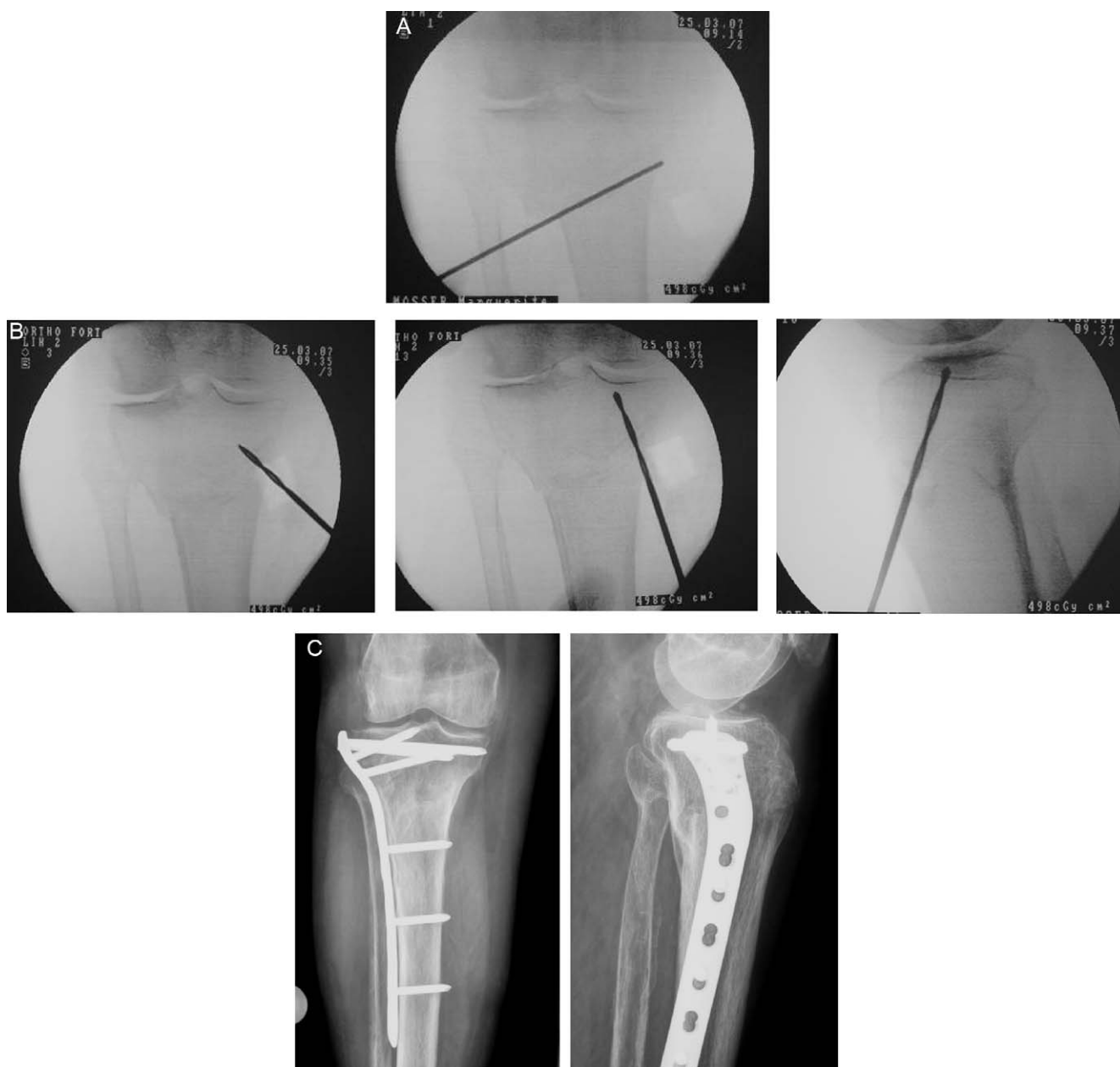


Figure 2 Fracture métaphysaire proximale du tibia droit. A. Clichés scopiques peropératoires, repérage du trait de fracture avec déplacement en translation important. B. Contrôle et réduction de la fracture par un brochage temporaire intrafocal, permettant par une manœuvre de levier la réduction du déplacement. C. Contrôle radiographique à consolidation de la fracture : face et profil. Notez le caractère divergent des vis proximales.

sont positionnées. L'absence de trait articulaire permet une meilleure tenue de ces fiches. Afin de faciliter la mise en place de la plaque (proximale ou distale), les fiches tibiales doivent être positionnés en antérieur. Cette fixation temporaire permet de récupérer la longueur, la rotation et de maintenir la réduction le temps de l'ostéosynthèse. Le câble du bistouri électrique est utilisé comme fil à plomb (Fig. 4). Dans les fractures spiroïdes ou obliques longues, un davier pointu de type Weber peut être utilisé pour parfaire la réduction et la contenir (Fig. 5). Enfin, l'association de ces différents artifices techniques est possible.

Il est important de préciser que la technique de pose de ce matériel de plaque à vis verrouillées doit être rigoureusement suivie. Ainsi, l'utilisation du canon de visée et du tournevis dynamométrique doit être systématique comme nous l'avons précédemment souligné [8].

Cahier des charges de l'ostéosynthèse

Dans notre pratique courante, nous autorisons autant que possible la remise en charge immédiate postopératoire de ces fractures. Cela passe par le respect de quelques règles d'ostéosynthèse :

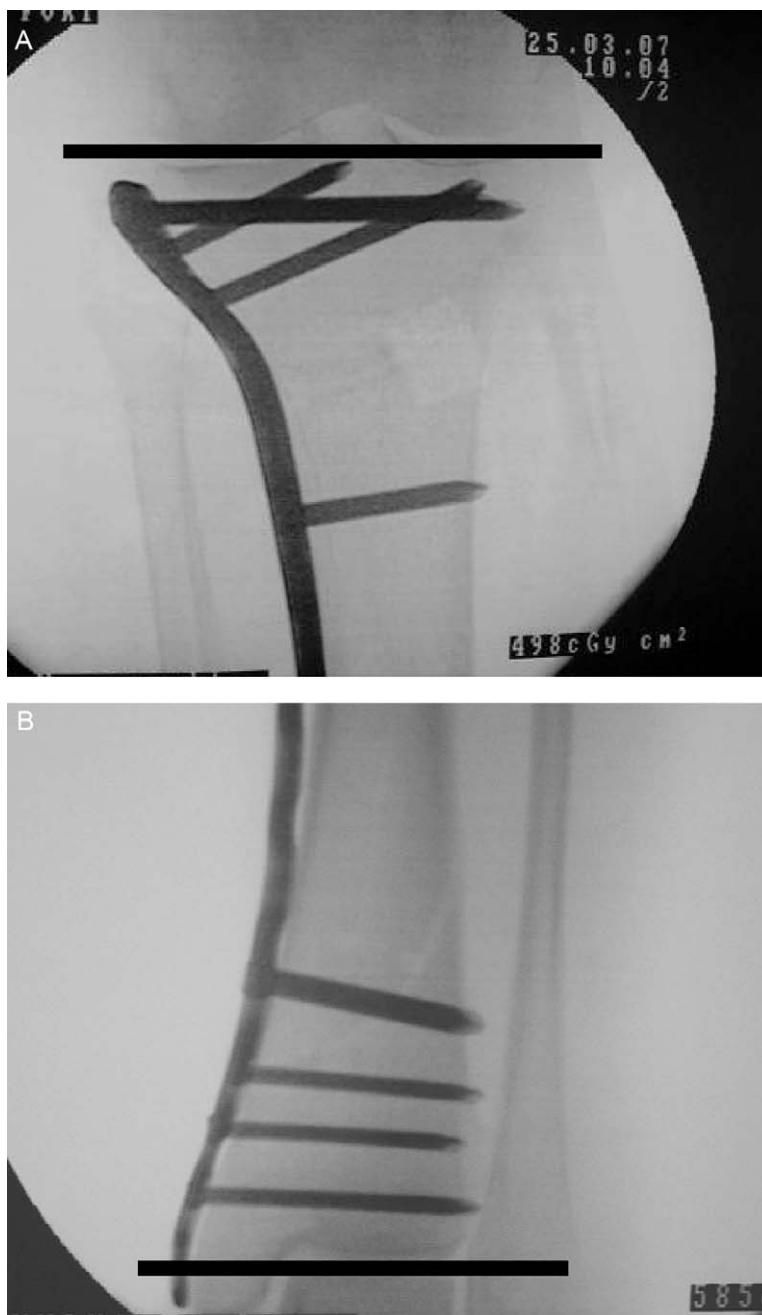


Figure 3 Critère de bonne position de la plaque qui permet d'utiliser la plaque comme moule de réduction et de jouer ainsi du caractère anatomique de la plaque. A. Plaque tibiale proximale latérale : parallélisme artriculaire (trait plein) des vis les plus épiphysaires. B. Image peropératoire d'une plaque tibiale médiale distale : parallélisme artriculaire (trait plein) de la vis a plus épiphysaire.

- caractère extra-articulaire des fractures ;
- chirurgie mini-invasive avec conservation de l'hématome dite ostéosynthèse biologique [9] ;
- réalisation de montage long avec au moins cinq trous de vis en dessous d'une fracture du tibia proximal ou au-dessus d'une fracture du tibia distal. Une vis verrouillée sera mise en place en alternance avec un trou libre afin de permettre une meilleure répartition et une meilleure absorption des contraintes (soit trois vis verrouillées et deux trous libres sur les cinq trous au-delà de la fracture) (Fig. 6) ;
- le membre inférieur est soumis à des contraintes en compression, ainsi il faut s'astreindre à positionner dans le bloc métaphysoépiphysaire proximal ou distal au moins trois vis verrouillées ;
- nous préconisons l'utilisation systématique de vis bicorticales augmentant la tenue du montage et limitant les phénomènes d'arrachage ;
- le vissage verrouillé doit être situé à proximité d'une fracture complexe et à distance d'une fracture simple dite stable, permettant de jouer du caractère élastique du matériau titane.



Figure 4 Fracture complexe métaphysaire proximale du tibia gauche. Exemple de réduction par fixateur externe temporaire tibiotibial. A. Radiographie préopératoire de face et profil. B. Images peropératoires de face : contrôle de la réduction avec le câble du bistouri électrique comme « fil à plomb ». C. Image peropératoire de profil : réduction de la fracture. D. Radiographies postopératoires à consolidation.

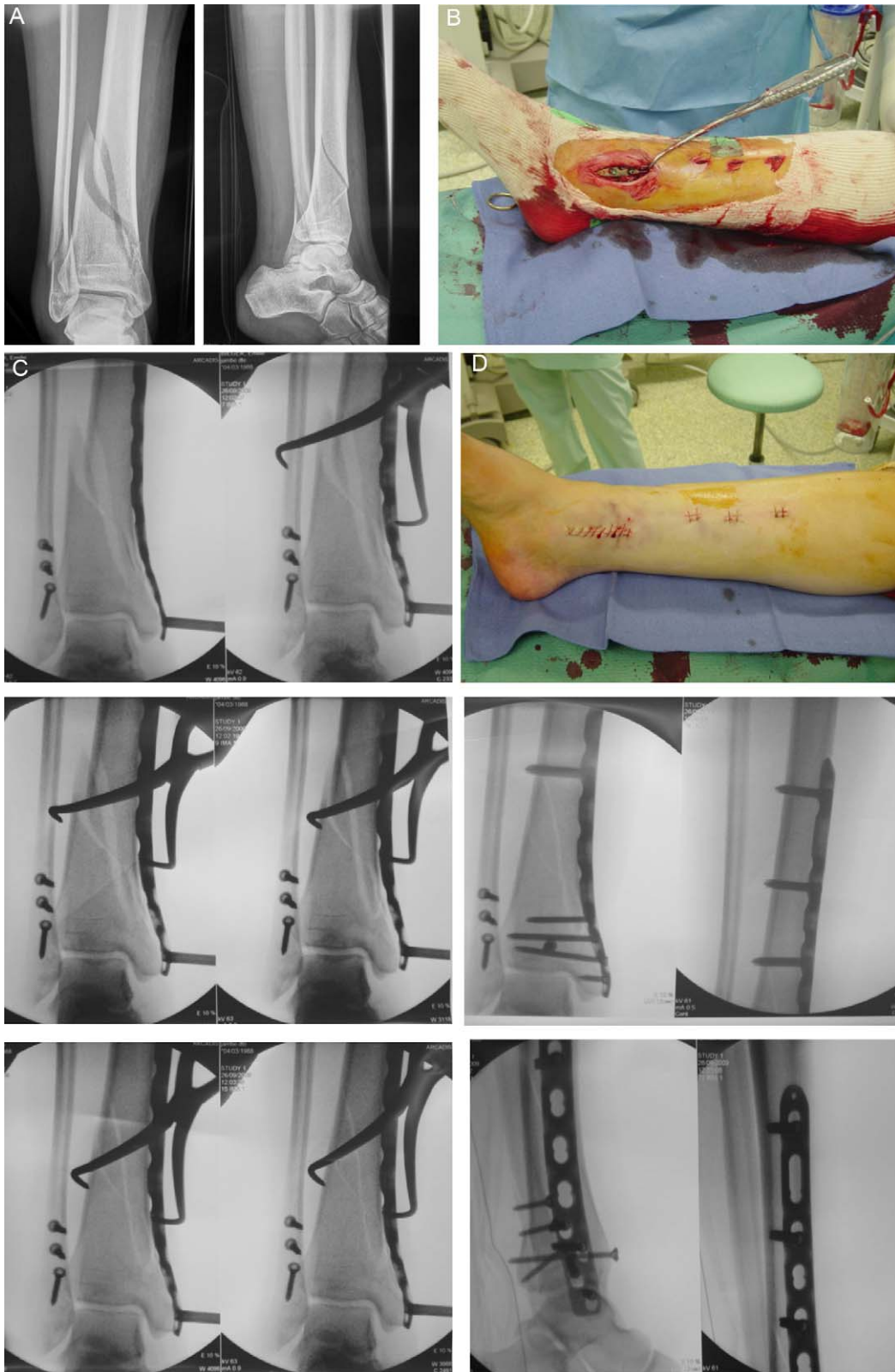


Figure 5 Exemple d'une fracture distale des deux os de la jambe droite. Réduction percutanée par davier. A. Radiographie préopératoire de face et de profil. B. Vue peropératoire des voies mini-invasives tibiales médiales avec contrôle de la fracture par un davier. C. Images peropératoires de face : fermeture progressive de la spire grâce à l'utilisation du davier pointu. D. Images peropératoires finales : aspect scopique et macroscopique.



Figure 6 Exemple d'une fracture distale de la jambe gauche traitée par un montage classique autorisant dans notre pratique une remise en charge au seuil douloureux. A. Radiographie préopératoire de face et de profil. B. Radiographie postopératoire : noter le montage long (au moins cinq trous au-delà de la fracture en proximal) avec mise en place de vis verrouillées espacées (alternance de trous libres et de vis verrouillées) et la marque encore visible des fiches du fixateur externe permettant de maintenir la réduction en peropératoire.

Discussion

La technique que nous présentons ici, associe l'ostéosynthèse à foyer fermé avec conservation de

l'hématome à la stabilité du montage. Cette synthèse est biologique, à l'instar de l'enclouage centromédullaire, avec le respect du périoste, de l'hématome et des tissus mous environnants [9–13].

Le matériel que nous utilisons est un système de « plaque à vis verrouillées » de type LCP™ (Société Synthès). Le caractère bloqué des vis à la plaque confère à ce système le titre de « fixateur interne », ce qui permet de s'affranchir de « l'effet friction » pour la stabilité primaire préservant la vascularisation périphérique périostée et limitant les phénomènes de résorption osseuse sous plaque [10]. La triple prise des vis et le caractère monobloc du montage permet une meilleure tenue avec une résistance accrue à l'arrachement [10–12]. À l'instar de Dougherty et al. [14], nous préconisons l'utilisation de vis bicorticales systématiques. Ces auteurs ont démontré la supériorité de la tenue mécanique des vis bicorticales verrouillées sur un modèle de fracture complexe du tibia proximal sur des os frais ostéoporotiques. Le matériau titane, par une plus grande biocompatibilité, permet un ancrage à l'os plus important. Le positionnement du vissage verrouillé sera adapté au type de fracture. Il doit être à proximité du foyer dans les cas de traits de fractures « complexes » et à distance dans les cas de fractures dits « simples » [15]. Ce mode de montage et de positionnement du verrouillage permet de jouer avec l'élasticité du matériau titane bénéfique à la consolidation osseuse. Il permet de s'adapter à la fracture, rigidifiant les fractures complexes et laissant plus « dynamiques » les fractures à traits plus simples. En effet, pour ces fractures « à trait simple », laisser un espace libre permet d'éviter la concentration des contraintes sur la plaque autour de la fracture risquant la survenue d'une fracture de fatigue.

Cette technique chirurgicale mini-invasive est bénéfique pour le patient. Autorisant la remise en charge si le montage le permet, elle améliore les temps de consolidation et diminue les complications de décubitus [16]. Par ailleurs, le caractère verrouillé des vis autorise une mobilisation articulaire précoce garant d'une récupération fonctionnelle rapide et de meilleure qualité.

Cette technique chirurgicale mini-invasive demande rigueur et technicité avec une courbe d'apprentissage indiscutable. Les artifices techniques d'aide à la réduction doivent être connus. Il est important de préciser que cette technique ne doit être réservée qu'aux fractures extra-articulaires ou lorsqu'il n'existe qu'un refend articulaire simple non déplacé. Cependant, la chirurgie mini-invasive ne doit pas être un but en soi. Obtenir une réduction de qualité à l'échelle du segment osseux doit être l'objectif restituant l'axe anatomique. Il ne faut pas hésiter à réaliser l'abord nécessaire pour obtenir la réduction par mise en place d'un davier temporaire ou lever une irréductibilité par incarceration musculaire ou tendineuse, notamment du tendon du tibia postérieur.

Cette chirurgie est, par définition, réalisée à foyer fermé posant ainsi le problème de l'irradiation peropératoire par l'amplificateur de brillance. La mise en place de repères cutanés marquant le niveau de la fracture permet de diminuer le temps d'exposition. L'absence de voie large délabrante permet de diminuer la perte sanguine et les douleurs immédiates postopératoires dues à un abord extensif.

Le montage que nous préconisons nous permet d'autoriser une remise en charge au seuil douloureux immédiate en postopératoire. Le but est de recouvrer une autonomie rapide, d'obtenir une récupération fonctionnelle de bonne qualité et de diminuer les complications

de décubitus. La littérature ne mentionne pas l'utilisation d'un tel protocole postopératoire. Nous avons rapporté précédemment dans deux publications notre expérience des fractures fémorales sur implants traitées par plaque à vis verrouillées et remise en charge immédiates au seuil douloureux en postopératoire [16,17]. Il est, cependant, important de rappeler qu'il existe un travail en flexion de la plaque en situation « extra-osseuse » par rapport au clou centromédullaire, qui lui travaille en compression axiale. Ainsi, la sollicitation dynamique répétée pourrait provoquer une fracture en fatigue du matériel, notamment si le montage est inadéquat, avec un vissage verrouillé rapproché où pourrait se concentrer les contraintes.

Les données récentes de la littérature expérimentale précisent encore un peu plus les règles mécaniques des montages à réaliser. Pour Ahmad et al. [18], le montage doit être relativement proche de l'os, malgré le caractère de la fixation interne du montage. Ils concluent au terme d'une étude expérimentale sur Sawbone® qu'une distance inférieure à 2 mm permet d'obtenir une meilleure résistance en compression et en torsion. Au-delà de 5 mm, la déformation plastique est majeure. Les plaques LCP présentent des trous de vis combinés permettant l'utilisation du système en « fixation interne LCP », « système compressif DCP » ou « mixte ». Une étude récente de Stoeffel et al. [19] compare ces trois modes d'utilisations sur des modèles de fractures supra-, sus- et intercondyliennes du fémur distal. Le système de « fixation interne » présente une meilleure rigidité en compression axiale avec une moindre déformation plastique et le « système en compression type DCP » résiste mieux aux forces de torsion, ainsi les auteurs proposent l'utilisation d'un « montage mixte ». Bottlang et al. [20] préconisent la mise en place d'une vis standard en bout de plaque en cas de fracture sur un os très fragilisé afin de limiter les contraintes et de ne pas s'exposer à une fracture de fatigue de l'os sous jacent. Ce type montage augmente la résistance en flexion sans altérer la résistance à la compression ni à la torsion.

La technique chirurgicale d'ostéosynthèse biologique des fractures tibiales proximales et distales extra-articulaires par plaque à vis verrouillées, telle que nous l'avons décrite, fait partie intégrante de notre pratique courante. Ces fractures restent cependant rares, ainsi notre expérience porte sur une soixantaine de cas (janvier 2004 à décembre 2008) dont les trois quarts correspondent à des fractures du tibia distal. Les résultats sont satisfaisants en termes de récupération fonctionnelle, de retour à un état d'autonomie antérieure, de taux de complications et de taux de consolidation. Les résultats radiologiques doivent, cependant, nous rendre attentifs à la qualité et la rigueur nécessaire à l'obtention d'une bonne réduction et d'une bonne ostéosynthèse. Des défauts d'axe de plus de 5° ont été observés mais très peu supérieurs à 10°, seuil de mauvaise tolérance retenu par le Symposium 2009 de la Sofcot sur les fractures du tibia distal auquel nous avons participé. Il nous paraît essentiel de synthétiser les fractures distales associées de la fibula dans les cas de fractures du tibia distal, ce qui permet de contrôler longueur et rotation améliorant la qualité de la réduction. Une remise en charge immédiate a été autorisée le plus souvent avec un avantage fonctionnel évident et sans complications majeures.

Conclusion

L'ostéosynthèse mini-invasive des fractures distales et proximales du tibia par plaque à vis verrouillées est une technique élégante mais exigeante. Elle associe les principes de l'ostéosynthèse à foyer fermé à la stabilité du montage. Le respect des règles énoncées est essentiel pour obtenir des montages stables et une réduction de bonne qualité. Si la remise en charge est autorisée, la récupération fonctionnelle est facilitée et la consolidation de bonne qualité.

Conflit d'intérêt

ME et PA : intervention ponctuelle : activité de consultant pour Synthes.

FB : aucun conflit.

Références

- [1] Kempf Y, Grosse A, Lafforge D. L'apport du verrouillage dans l'enclouage centromédullaire des os longs. *Rev Chir Orthop* 1978;64:635–51.
- [2] Hahn D, Bradbury N, Hartely R, Radford PJ. Intramedullary nail breakage in distal fractures of the tibia. *Injury* 1996;27:323–7.
- [3] Nork SE, Schwartz AK, Agel J, Holt SK, Schrik JL, Winkquist RA. Intramedullary nailing of distal metaphyseal tibial fractures. *J Bone Joint Surg (Am)* 2005;87-A:1213–21.
- [4] Phisitkul P, McKinley TO, Nepola JV, Marsh JL. Complications of locking plate fixation in complex proximal tibial injuries. *J Orthop Trauma* 2007;21:83–91.
- [5] Lang GJ, Cohen BE, Bosse MJ, Kellam JF. Proximal third tibial shaft fractures. Should they be nailed? *Clin Orthop* 1995;315:64–74.
- [6] Redfern DJ, Syed SU, Davies SJM. Fractures of the distal tibia: minimally invasive plate osteosynthesis. *Injury* 2004;35:615–20.
- [7] Helfet DL, Shonnard PY, Levine D, Borelli J. Minimally invasive plate osteosynthesis of distal fractures of the tibia. *Injury* 1997;28(Suppl.):42–7.
- [8] Ehlinger M, Adam P, Simon P, Bonomet F. Technical difficulties in hardware removal in titanium compression plates with locking screws. *Orthop Traumatol Surg Res* 2009;95:373–6.
- [9] Langerhausen W, Ulrich P. Biological osteosynthesis. *Zentralbl Chir* 1997;122:954–61.
- [10] Perren SM. Evolution of the fixation of long bones fractures. The scientific basis of biological internal fixation: choosing a new balance between stability and biology. *J Bone Joint Surg (B)* 2002;84-B:1093–110.
- [11] Wagner M. General principles for the clinical use of the LCP. *Injury* 2003;34(Suppl. 2):31–42.
- [12] Farouk O, Krettek C, Miclau T, Schandelmaier P, Guy P, Tschernig H. Minimally invasive plate osteosynthesis: does percutaneous plating disrupt femoral blood supply less than the traditional technique? *J Orthop Trauma* 1999;13:401–6.
- [13] Bolhofner BR, Carmen B, Clifford I. The results of open reduction and internal fixation of distal femur fractures using a biologic reduction technique. *J Orthop Trauma* 1996;10:372–7.
- [14] Dougherty PJ, Kim DG, Meisterling S, Wybo C, Yeni Y. Biomechanical comparison of bicortical versus unicortical screw placement of proximal tibia locking plates: a cadaveric model. *J Orthop Trauma* 2008;22:399–403.
- [15] Stoffel K, Dieter U, Stachowiak G, Gächter A, Kuster MS. How can stability in locked internal fixators be controlled? *Injury* 2003;34:11–9.
- [16] Ehlinger M, Cognet JM, Simon P. Treatment of femoral fracture on previous implants with minimally-invasive surgery and total weight-bearing: benefit of locking plate. Preliminary report. *Rev Chir Orthop* 2008;94:26–36.
- [17] Ehlinger M, Adam P, Moser T, Delpin D, Bonomet F. Type C peri-prosthetic fracture treated with locking plate fixation with a mean follow up of 2.5 years. *Orthop Traumatol Surg Res* 2010;96:43–7.
- [18] Ahmad M, Nanda R, Bajwa AS, Candal-Coutou J, Green S, Hui AC. Biomechanical testing of the locking compression plate: when does the distance between bone and implant significantly reduce construct stability? *Injury* 2007;38:358–64.
- [19] Stoffel K, Lorenz KU, Kuster MS. Biomechanical considerations in plate osteosynthesis: the effect of plate-to-bone compression with and without angular screw stability. *J Orthop Trauma* 2007;21:362–8.
- [20] Bottlang M, Doornink J, Byrd GD, Fitzpatrick DC, Madey SM. A non locking end screw can decrease fracture risk caused by locked plating in the osteoporotic diaphysis. *J Bone Joint Surg (Am)* 2009;91-A:620–7.