

# Plaques verrouillées en chirurgie mini-invasive des fractures : l'évolution de l'ostéosynthèse par plaque

## Mini-Invasive Surgery with Locking Plate: Evolution of Plating

M Ehlinger, P Adam, B Puliéro, D Brinkert, B Schenck, A Di Marco, F Bonnomet

*Service de chirurgie orthopédique et traumatologie - Hôpital de Hautepierre - Hôpitaux Universitaire de Strasbourg.*

### Mots clés

- ◆ Plaque verrouillée
- ◆ Traumatologie
- ◆ Ostéosynthèse
- ◆ Chirurgie mini-invasive
- ◆ Chirurgie biologique

### Résumé

L'ostéosynthèse par plaque a vécu une véritable révolution avec l'avènement, il y a un peu plus de 10 ans, des plaques à vis verrouillées. Quel que soit le moyen de verrouillage des vis dans la plaque et donc quel que soit le fabricant d'implants, le principe et les objectifs sont identiques. Le principe mécanique de ces plaques est d'avoir une tenue primaire de la vis dans la plaque, réalisant un montage monobloc laissant espérer une meilleure tenue du montage, notamment dans un os fragile. Cette tenue primaire des implants, différentes des plaques standards, a valu à ce système d'ostéosynthèse monobloc, le qualificatif de « fixateur interne ». En effet la fixation est indépendante de l'effet friction, autrement dit, indépendante du contact intime entre la plaque et la corticale osseuse. Les avantages mécaniques des systèmes verrouillés sont nombreux : meilleure tenue osseuse, meilleure tenue initiale et secondaire des réductions, résistances aux forces tangentielles et axiales, stabilité angulaire et axiale des vis, respect de la vascularisation périostée. Ces propriétés mécaniques ont permis de développer une chirurgie mini-invasive dite « chirurgie biologique » dont le fondement est la conservation du périoste et de l'hématome fracturaire, éléments favorables à la consolidation osseuse. Ces avantages sont multiples et sont confirmés par la littérature internationale : meilleur résultat fonctionnel, meilleur taux de consolidation, délai plus court, meilleure stabilité mécanique, moins de complications notamment infectieuses ou de décubitus et remise en charge immédiate possible. Cette chirurgie est délicate et exigeante, nécessitant rigueur et technicité. Il existe une courbe d'apprentissage inhérente à chaque nouvelle technique. Tout n'est cependant pas parfait et des limites existent. La technique est rigoureuse, la mécanique des implants et des montages doit être connue, les indications et les règles de pose respectées au risque de s'exposer à une faillite et une sanction sans appel.

Il s'agit d'un concept encore en évolution avec de constantes améliorations et de fréquentes mises à jour apportées sur la mécanique de ces montages, comme en témoignent les nombreuses publications sur le sujet. Plus que d'une nouvelle technique il s'agit d'une nouvelle philosophie de l'ostéosynthèse par plaque se rapprochant de l'ostéosynthèse par enclouage centromédullaire.

### Keywords

- ◆ Locking plate
- ◆ Traumatology
- ◆ Osteosynthesis
- ◆ Mini-invasive surgery
- ◆ Biologic surgery

### Abstract

Osteosynthesis by plate has seen a revolution since the appearance a decade ago of locking plates. Whatever the locking mechanism in the plate, and whatever the manufacturer, the principle and goals are the same. The mechanical concept of these plates is to have a primary stability of the screw in the plate, realizing a monobloc assembling which supposedly has a better fixation, especially in fragile bones. This primary stability, different from standard plates has given to this assembling the title of « internal fixator ». Indeed, the fixation is independent of friction effect, which means independent of the close contact between the plate and the cortical bone. The mechanical advantages of locking systems are numerous: better bone fixation, better primary and secondary stability of reduction, resistance to tangent and axial stress forces, angular and axial stability of the screws, respect of periosteal vascularization. These mechanical properties have helped develop a minimal invasive surgery also called « biological surgery » that relies on conserving both the periosteum and the hematoma, that are important for consolidation. The many advantages are recognized by international publications: better functional results, better union rate, and shorter delay, better mechanical stability, less complication, especially infectious or bedsores complications, immediate weight. This is a delicate and demanding surgery, requiring rigor and technicity. There is a learning curve that goes with every new technique. However all is not perfect and there are some limitations. The technique is demanding, the mechanics of the implants and of the assembling must be well known, the indications and surgical technique repeated in order to avoid failure.

It is still an evolving concept with constant improvements and frequent updates regarding the mechanics of the assemblings, as we see in the many publications on the subject. More than a new technique, it is a new osteosynthesis philosophy that encounters intra medullary nailing principles.

### Correspondance :

*Matthieu Ehlinger, Service de chirurgie orthopédique et traumatologie - CHU Hautepierre - Hôpitaux Universitaires de Strasbourg - 1 Avenue Molière - 67098 Strasbourg Cedex.*

*E-mail : matthieu.ehlinger@chru-strasbourg.fr*

Une plaque verrouillée est définie comme étant un implant d'ostéosynthèse dont les vis sont fixées dans la plaque, et ce quel que soit le mode de verrouillage (contre-écrou, bague, filetage). Les montages réalisés sont alors monoblocs et considérés comme des « fixateurs internes ».

Historiquement le principe des plaques à vis verrouillées est apparu en France dès les années 1930, avec un brevet déposé en 1931 et obtenu en 1933 par Paul Reinbold. La commercialisation de ces implants verrouillés a été réalisée par la Société Collin en 1935. Les bases techniques étaient posées, avec la nécessité déjà reconnue de l'utilisation d'un canon de visée permettant un méchage parfaitement dans l'axe du filetage de la plaque et ainsi un positionnement adéquat de la vis.

Indépendamment du fabricant, du mode de verrouillage et du type de verrouillage (mono ou polyaxial) l'objectif est unique : obtenir une tenue améliorée de ces implants, indépendamment de l'effet friction et surtout indépendamment de la qualité osseuse rencontrée.

La version « moderne » de ces plaques verrouillées est apparue au début des années 2000 sous l'impulsion du laboratoire Synthes®, aujourd'hui DePuy-Synthes®. Leur utilisation est de plus en plus fréquente en traumatologie courante compte tenu de leurs propriétés mécaniques. Les indications sont multiples notamment en géro-traumatologie avec le cas particuliers des fractures fémorales péri-prothétiques (1-4).

Leurs propriétés mécaniques, assurant entre autres une meilleure tenue dans l'os fragile (5,6), ont permis une évolution des techniques opératoires vers la chirurgie mini-invasive par plaque (1,2,7,8-11). Plus que d'une nouvelle technique, il s'agit d'une nouvelle philosophie de l'ostéosynthèse avec ses propres règles, une biomécanique particulière et des montages spécifiques, sans oublier pour autant les grands principes de la chirurgie des fractures osseuses. Ses avantages sont nombreux et sont autant biologiques que mécaniques. Ces plaques verrouillées diffèrent dans leur conception des plaques à vis standards développées par M.E. Muller (et l'Association pour l'Ostéosynthèse (AO)) précurseur de l'ostéosynthèse par plaque.

## Comparaison plaque standard / plaque verrouillée

Afin de mieux comprendre l'évolution que reflètent ces implants verrouillés comparons-les aux plaques standards.

### Vis et plaque

Afin de s'opposer aux contraintes d'arrachage auxquelles elles sont soumises, les vis standards présentent une âme plus fine et un filetage plus large et asymétrique. A l'inverse les vis verrouillées ont classiquement une âme plus large, un filetage plus fin, régulier et symétrique ce qui permet une progression intra-osseuse facilitée et une augmentation de la surface de contact. Leur résistance en cisaillement et en flexion est supérieure de l'ordre de deux à trois fois. En revanche, étant bloquée dans la plaque, ces vis ne peuvent avoir en aucune façon une action compressive.

Certains fabricants ont trouvé une alternative en proposant sur leurs plaques verrouillées des « trous combinés » qui permettent de mettre l'une ou l'autre vis, jouant alors des qualités de chacune, permettant de répondre aux besoins locaux. Les plaques verrouillées sont habituellement anatomiques (membre supérieur ou inférieur) ce qui sous-entend l'existence d'un côté droit et d'un côté gauche. Leur profil fait en sorte d'être le moins agressif possible sur leur face profonde, respectant au mieux le périoste, ménageant alors des espaces

pour la vascularisation périostée. Ces profils sont connus sous le terme de « *low contact* ». Les plaques standard sont très peu anatomiques dans leur dessin. Certaines cependant présentent également un profil « *low contact* ».

Le matériau utilisé (acier ou titane) ne change en rien le concept de vis standard ou verrouillé. Il en est de même pour le caractère auto-taraudeur et auto-perforant des vis que l'on peut retrouver dans les deux séries (standard ou verrouillée). Enfin tous les diamètres de vis sont représentés dans chaque série.

### Tenue des plaques

La fixation primaire des plaques standards est rendue possible par leur compression sur la corticale osseuse grâce à l'effet « étai » ou « davier » des vis standards (Fig.1). Ce phénomène, appelé effet friction, entraîne *de facto* un contact intime entre la plaque et la corticale osseuse et par voie de conséquence une compression du périoste. Plus la compression de la plaque par les vis est importante, meilleure est la tenue de la plaque. Il est d'ores et déjà sous-entendu que la qualité osseuse aura un impact sur la tenue de la plaque par l'effet direct de la qualité de la fixation des vis dans les corticales. Moins cette tenue corticale est bonne, plus les vis ont potentiellement le risque de se mobiliser et donc de reculer, point de départ du démontage « programmé » de l'ostéosynthèse. Le facteur limitant est donc le degré d'ostéoporose présent.

A l'inverse, la tenue primaire des plaques verrouillées est indépendante de cet effet friction, les vis verrouillées n'ayant aucun pouvoir de compression de la plaque sur l'os. La tenue primaire de la plaque est due à l'association « verrouillage des vis dans la plaque » et « fixation dans l'os ». Le dessin des vis assure une meilleure fixation intra-osseuse à laquelle s'ajoute la fixation dans la plaque. Même si la tenue osseuse est de médiocre qualité, les vis ne peuvent reculer car elles sont fixées dans la plaque, ce qui rend ainsi la tenue du montage moins dépendante de la qualité osseuse. Cette absence de compression de la plaque sur l'os laisse libre le périoste et ajoute à l'avantage mécanique, un avantage biologique avec le respect de la vascularisation périostée (5,6). (Fig.2).

### Faillite de l'ostéosynthèse

Quel que soit le type d'implant une faillite mécanique est à craindre. En revanche, compte tenu des données suscitées et des propriétés mécaniques connues de chaque type de visserie, les démontages seront différents et surviendront à des niveaux de contraintes variables.

Pour les plaques standards la résistance axiale des vis est moindre, notamment dans un os fragile, avec des contraintes en cisaillement sur la 1ère corticale et des contraintes en arrachement sur la seconde. La résultante sera un recul des vis au sein d'une chambre de mobilité. Cette faillite est séquentielle avec le recul des vis les unes après les autres, dont le point de départ est le plus souvent localisé au niveau de la fracture. (Fig.3)

Le cas des montages verrouillés est plus complexe. Autant la faillite survient plus rarement et pour des charges plus importantes, autant les dégâts sont plus importants. En effet, si démontage il y a, celui-ci est monobloc avec une perte de substance osseuse autour des vis, inhérente au meilleur ancrage osseux des vis verrouillées mais également au caractère monobloc de ces ostéosynthèses. La faillite ne pouvant se faire dans l'axe des vis, par simple recul de celles-ci, une véritable chambre d'attrition apparaît lorsqu'il existe un démontage. (Fig.4).

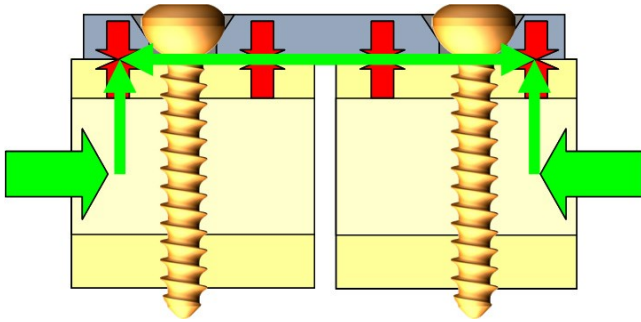


Figure 1. Tenue primaire des plaques standards. Schématisation de l'effet friction (flèche rouge) et du passage des contraintes exercées sur l'os qui suivent les vis puis l'interface plaque/os.

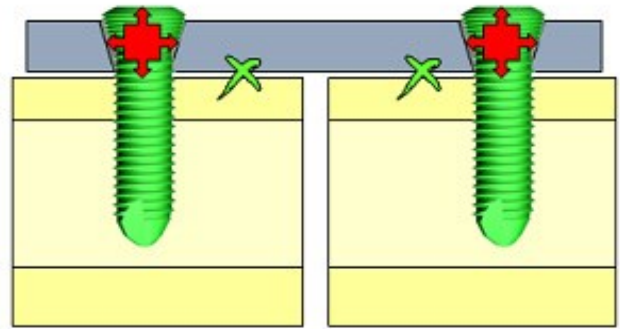


Figure 2. Tenue primaire des plaques verrouillées indépendante de l'effet friction (croix verte). Fixation des vis dans la plaque (croix rouge).

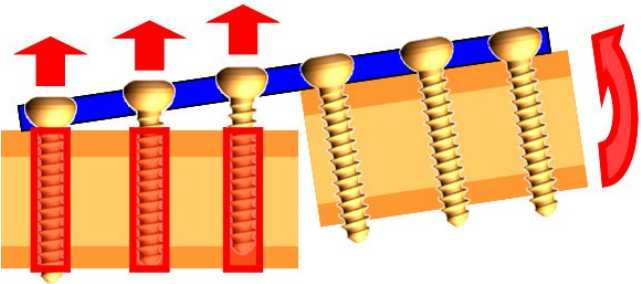


Figure 3. Recul progressif des vis et faillite par arrachage séquentiel des vis standard et de l'ostéosynthèse.

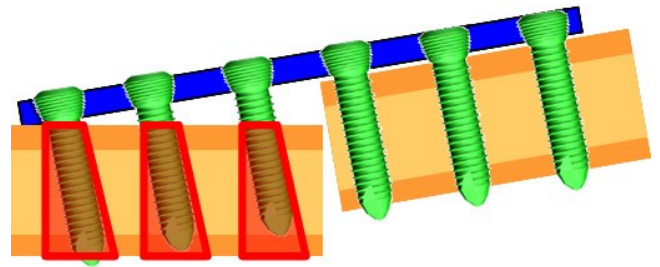


Figure 4. Faillite monobloc du système verrouillé avec formation « d'un cône d'ombre » et perte de substance osseuse au sein d'une chambre d'attrition.

## Avantages

Les ostéosynthèses par plaque verrouillées présentent un double avantage, biologique et mécanique, dont nous avons déjà esquissé les limites. Six avantages ont été dénombrés.

Le premier est biologique, avec le respect de la vascularisation périostée, garantissant ainsi un apport cellulaire de qualité, nécessaire à la consolidation osseuse. Par ailleurs l'absence de souffrance périostée et corticale, associée à la modification des dessins des plaques avec un profil « low contact » permet d'éviter au maximum les phénomènes de résorption corticale sous plaque qui font le lit des fractures itératives après ablation du matériel d'ostéosynthèse.

Les cinq suivants sont mécaniques :

Le premier d'entre eux est l'obtention d'une meilleure tenue osseuse des vis et des montages, grâce à la stabilité angulaire et axiale des vis verrouillées. Que les vis soient mono ou poly-axiales ce principe est intangible. En effet une fois que la direction de la vis est choisie le verrouillage la « bloque » dans cette direction. Il a été démontré que la tenue mécanique était équivalente entre les vis mono ou poly-axiales voire supérieure pour les poly-axiales (12). Cette tenue mécanique, et notamment la résistance à l'arrachage des vis, est encore renforcée par le caractère convergent ou divergent des vis, rendu possible par le dessin des plaques et le positionnement des trous de vis.

Les deux suivants sont complémentaires et sont liés à la fixation de la vis dans la plaque. En effet une vis standard présentera deux sites de fixation osseuse lorsqu'elle est bicorticale. Une vis verrouillée, posée dans les mêmes conditions, présentera trois points de fixation (2 corticales osseuses + la plaque) reproduisant alors une « double cadre » (plaque/première corticale + première corticale/seconde corticale), mécaniquement plus résistant. Le corollaire est que si une seule corticale osseuse est fixée, il existe tout de même un « cadre » (plaque/première corticale), ce qui permet dans certaines conditions de s'affranchir de complications telles que les synostoses de l'avant-bras ou les complications péroratoires comme la perforation vasculaire ou pulmonaire lors

d'une fixation d'une fracture de la clavicule. Ces trois premiers avantages mécaniques expliquent la tenue globale améliorée de ces montages verrouillés.

Le dernier point est certainement le plus important et il fait toute la différence avec les montages standards. Il est le fruit de la synergie des avantages mécaniques décrits qui permettent une plus grande résistance aux déplacements secondaires qui sont avec les plaques à vis verrouillées moins importants et moins fréquents. Ceci autorise une rééducation postopératoire précoce et plus intensive garantissant une meilleure récupération fonctionnelle, ainsi que la possibilité d'une remise en charge immédiate.

En effet dans notre pratique courante, après ostéosynthèse par technique mini-invasive d'une fracture du membre inférieur, une remise en charge immédiate au seuil douloureux (4,9,10,11) est autorisée, sous réserve que le montage effectué réponde au cahier des charges que nous nous sommes fixés (9,10,13,14) :

- fracture en situation extra-articulaire, chez un patient à l'autonomie suffisante avec un score de Parker supérieur ou égal à 4 (4).
- réalisation de montage long avec au moins cinq trous de plaque en dessous d'une fracture du tibia/fémur proximal ou au-dessus d'une fracture du tibia/fémur 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 (5,6),
- utilisation systématique de vis bicorticales augmentant la tenue du montage et limitant les phénomènes d'arrachage (15),
- pour les fractures proximales ou distales, on veillera à positionner dans le bloc métaphyso-épiphysaire au moins trois vis verrouillées pour absorber les contraintes en compression,
- utilisation préférentielle des vis verrouillées à proximité d'une fracture complexe et à distance d'une fracture simple dite stable, permettant de jouer du caractère élastique du

matériau titane (16).

## Plaque verrouillée et ancillaire

Nous avons déjà fait le point sur les vis, clarifions maintenant certaines données sur les plaques. Pour celles-ci, certains fabricants proposent des « trous combinés » sur leurs implants, permettant l'utilisation de vis standard ou verrouillée au sein de la même entité fonctionnelle. Les intérêts en sont multiples : possibilité de fermer une fracture par une vis passant par la plaque / orientation libre et supérieure aux classiques 15° des vis poly-axiales permettant éventuellement d'aller chercher un fragment osseux / s'affranchir de l'encombrement prothétique endomédullaire / compression éventuelle de la fracture à l'instar d'une plaque standard / enfin et surtout de ramener l'os à la plaque ce qui permet d'utiliser ces plaques comme des moules de réduction. En effet ces plaques modernes, quel que soit le fabricant, sont habituellement anatomiques, adaptée à un os donné (membre inférieur, membre supérieur), présentant par conséquent un côté droite et gauche. En revanche ces plaques, même dites anatomiques, ne peuvent s'adapter à l'ensemble de la population, et classiquement couvrent 80 % des morphologies osseuses. L'intérêt majeur de ce caractère anatomique est de pouvoir se servir d'elles comme d'un moule de réduction à la condition que l'os vienne à elle, au risque à l'inverse de déformer la plaque et d'induire un cal vicieux.

Enfin les industriels ont développé des ancillaires spécifiques pour ces implants verrouillés. Ils permettent et facilitent une chirurgie mini-invasive tout en diminuant l'utilisation du contrôle radioscopique peropératoire et donc les risques liés à l'irradiation.

En résumé ce matériel par plaque verrouillé correspond à une évolution majeure dans l'histoire de l'ostéosynthèse par plaque.

Il est monobloc et est à considérer ainsi comme un fixateur interne ne nécessitant aucun contact cortical pour avoir une tenue primaire de qualité. Cette stabilité primaire est alors indépendante de l'effet friction. En ce sens les montages sont biologiques avec respect du périoste et de sa vascularisation. La stabilité des montages est axiale et angulaire assurant une meilleure tenue notamment dans l'os fragilisé. Les plaques sont anatomiques servant de moule de réduction assurant théoriquement une réduction parfaite. Des ancillaires spécifiques ont été développés par les industriels permettant et surtout facilitant la chirurgie mini-invasive. Enfin la biomécanique de ces montages est propre et spécifique. Elle doit être connue. Il s'agit d'une nouvelle philosophie plus que d'une nouvelle technique.

L'ensemble de ces éléments mécaniques réunis ont autorisé et ont permis le développement d'une chirurgie mini-invasive par plaque.

## La chirurgie mini-invasive

### Introduction

Nous l'avons dit, cette chirurgie est biologique par essence. Elle épargne le périoste grâce aux propriétés mécaniques et géométriques des implants. Elle préserve l'hématome fracturaire et les tissus mous environnants (5,6,17). Elle se rapproche du point de vue philosophique et « biologique » de l'enclouage centromédullaire des os longs qui est l'exemple de référence pour l'ostéosynthèse mini-invasive des fractures diaphysaires.

## Principes et indications

Certains principes sont essentiels à respecter. En dehors de l'expérience du chirurgien, la fracture est le facteur limitant essentiel. Elle doit être par définition extra-articulaire. Un refend est tout à fait contrôlable, en revanche une comminution articulaire contre-indique le plus souvent cette chirurgie. Le membre inférieur est le terrain d'application principal. Certains auteurs proposent une telle chirurgie au membre supérieur mais s'exposent au risque de complication neuro-vasculaires (18).

La recherche de la réduction se fait au niveau du segment osseux. En effet l'élément majeur est la restitution de l'axe osseux cherchant à contrôler l'axe anatomique et donc mécanique. La marquerie fracturaire n'est pas nécessaire. Une attention toute particulière doit cependant être donnée aux fractures métaphysaires, car plus un cal vicieux est proche d'une articulation plus le risque d'arthrose est important. Il donc reconnu que concept de restitution de l'axe osseux répond au terme habituel de « bridging surgery ». La fracture est donc pontée, laissant la fracture telle quelle.

Les montages verrouillés en chirurgie mini-invasive sont donc spécifiques et répondent à des règles mécaniques simples, mais qui doivent être respectées au risque de s'exposer à des faillites rapide des montages. Cette conception et ces règles de montage s'opposent aux règles classiques des ostéosyntheses par plaque standard.

Quatre points sont essentiels :

- montage long avec au moins 5 trous de plaque en delà de la fracture. 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).
- il faut s'astreindre à positionner dans le bloc métaphyso-épiphysaire au moins
- 4 vis verrouillées, utilisation systématique de vis bicorticales augmentant la tenue du montage et limitant les phénomènes d'arrachage.
- vissage verrouillé 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.

La réduction se décompose en deux phases, l'une préopératoire, l'autre peropératoire, l'objectif étant de commencer l'intervention sur une fracture le plus parfaitement contrôlée possible. La phase préopératoire comprend l'analyse de la fracture permettant de comprendre celle-ci et de planifier la chirurgie en termes de matériel et d'installation. La phase peropératoire correspond à l'utilisation de différents « trucs et astuces » assurant une réduction de qualité.

## Phase préopératoire

### Planification - préparation

Comprendre et analyser la fracture sont essentiel afin de se préparer au mieux pour cette chirurgie qui peut rapidement être difficile. Cela permettra de définir l'intervention : quel type de plaque ? Quelle longueur de plaque ? Quelle installation ? Quelle stratégie opératoire de réduction ? Quel artifice utiliser ?

### Matériel

Vérifier que celui-ci soit stérile, que les plaques et les longueurs désirées soient présentes. Vérifier que l'ancillaire mini-invasif soit disponible. Le contrôle du matériel comprend également la vérification de tous les éléments de la table orthopédique, si cette installation est choisie.

### Installation

Au choix de l'opérateur, l'installation se fait sur une table orthopédique ou sur une table standard. Il conviendra au moment de l'installation de vérifier que le contrôle scopique peropératoire soit possible de face et de profil, surtout pour une installation sur une table standard. Pour nous, l'installation sur une table orthopédique est préférable car elle permet de contrôler la quasi-totalité des fractures et d'obtenir une réduction la plus aisée possible. Ainsi et comme pour un enclouage centromédullaire, l'installation sur une table orthopédique est la première phase de la réduction. Elle se déroule au temps non stérile de l'intervention. Elle doit être rigoureuse et effectuée par l'opérateur.

### Repères cutanés

Dessiner ces repères est fondamental. Ils facilitent la chirurgie mini-invasive en repérant la zone de fracture, les lignes d'incision et les limites des éventuels implants endomédullaires déjà présents (e.g : pivot fémoral d'une prothèse de hanche ou quille d'une prothèse de genou, enclouage centromédullaire fémoral proximal). Ils permettent de diminuer l'irradiation scopique peropératoire et de définir plus précisément la longueur de la plaque.

### Phase peropératoire

Dix astuces d'aide à la réduction peuvent être utilisées. Seules ou le plus souvent en association, elles ont pour objectif de parfaire le contrôle de la réduction :

- traction dans l'axe ;
- appui externe ;
- caractère anatomique des plaques ;
- vissage en rappel ;
- brochage temporaire intra-focal ;
- broche joystick ;
- vissage temporaire ;
- davier pointu ;
- cerclage percutané ;
- synthèse de la *fibula* pour les cas particuliers des fractures du tibia distal.

### Traction dans l'axe

A l'instar de l'enclouage il s'agit de retrouver la longueur, de contrôler la rotation et de réduire la fracture dans son axe frontal et sagittal. La situation la plus satisfaisante semble être la table orthopédique, permettant un maintien constant de cette traction qui ne doit pas être excessive. Elle n'a rien de spécifique et est superposable à l'installation pour un enclouage centromédullaire. Une traction par un aide est possible lors d'une installation sur une table standard mais sujette à une relative fatigabilité, avec une gestion plus difficile de la rotation. Enfin la troisième alternative est l'utilisation temporaire d'un fixateur externe, qui évitera le temps d'installation sur une table orthopédique, tout en apportant les mêmes bénéfices, mais exposant à une légère iatrogénie par des incisions supplémentaires (19) (Fig.5).

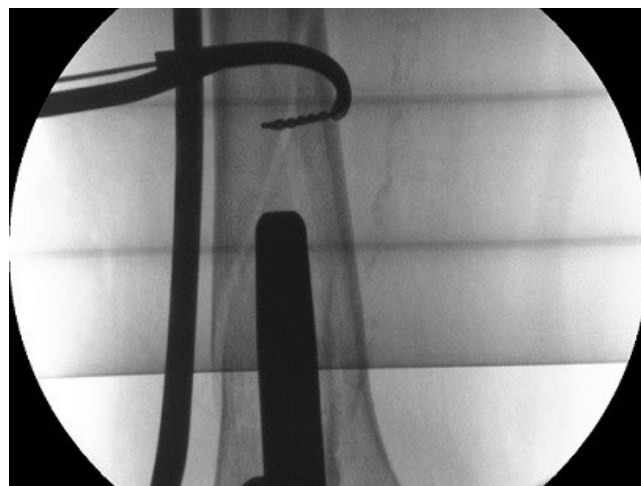
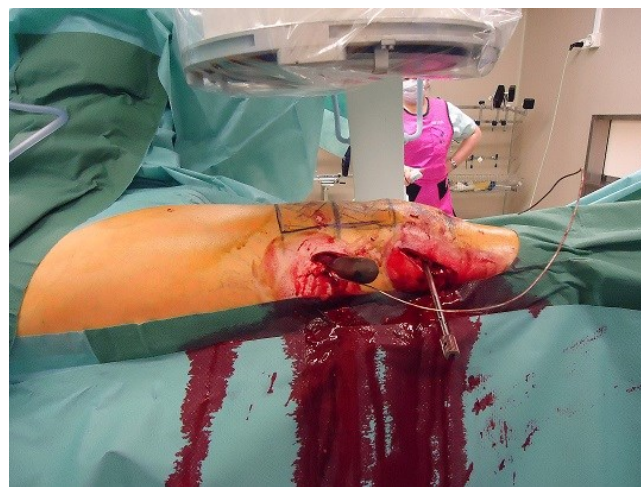
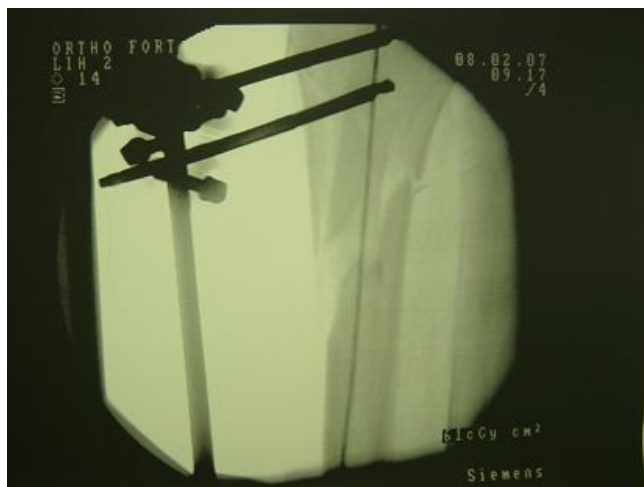


Figure 5. Utilisation d'une exofixation temporaire peropératoire pour aligner une fracture métaphysaire comminutive du tibia proximal avant fixation définitive par plaque. Noter l'utilisation du bistouri électrique comme fil à plomb évaluant la restitution de l'axe osseux.

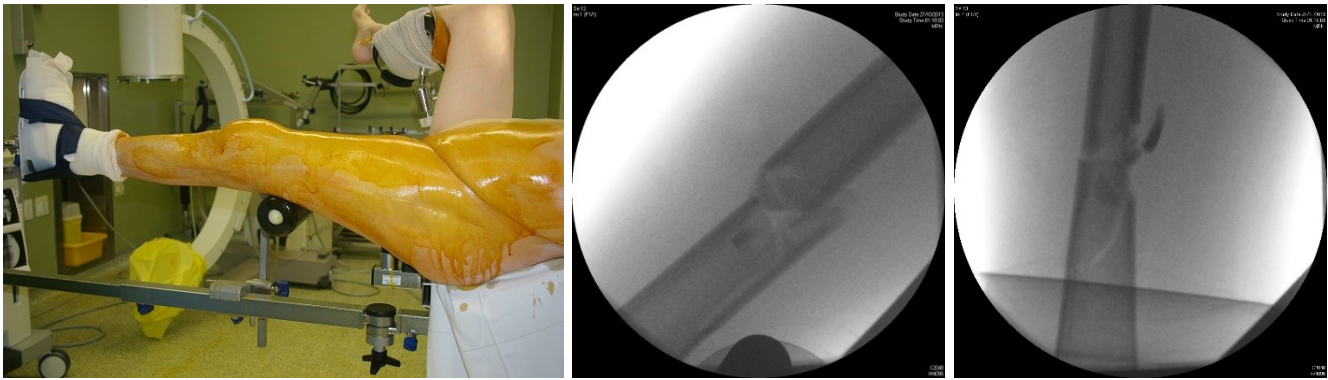


Figure 6. Appui externe fixé sur la table orthopédique permettant de contrôler l'extension du fragment distal d'une fracture fémorale distale. Contrôle scopique peropératoire de face et de profil.

**Appui externe**

L'appui externe permet de contrôler un déplacement frontal si l'on utilise un appui latéral de type marteau ou enclume, et un déplacement sagittal lorsque l'on utilise un appui distal qui peut être fixé sur la barre d'extension de la table orthopédique (Fig.6). Il est essentiellement utilisé pour réduire un déplacement en extension du fragment fémoral distal. Ce positionnement et cette étape de la réduction se fait à la phase non stérile et reste pourtant un élément essentiel, soulignant toute l'importance de bien installer ces patients lorsqu'une chirurgie mini-invasive par plaque est décidée. Sur une table standard il faudra mettre un coussin sous le fémur distal, en prenant garde au creux poplité et à la compression des éléments nobles qu'il contient.

**Le caractère anatomique des plaques**

Ce caractère anatomique ne peut être utilisé à bon esient que si deux critères fondamentaux sont respectés simultanément : 1/ le parallélisme articulaire des vis les plus épiphysaires ET 2/ le parallélisme de la plaque à la corticale latérale

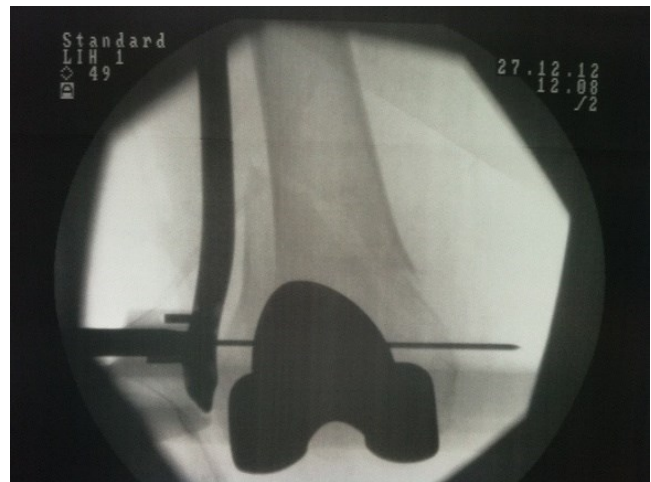


Figure 7. Critères de bon positionnement de la plaque : 1/ parallélisme articulaire des vis épiphysaires ET 2/ parallélisme à la corticale latérale.

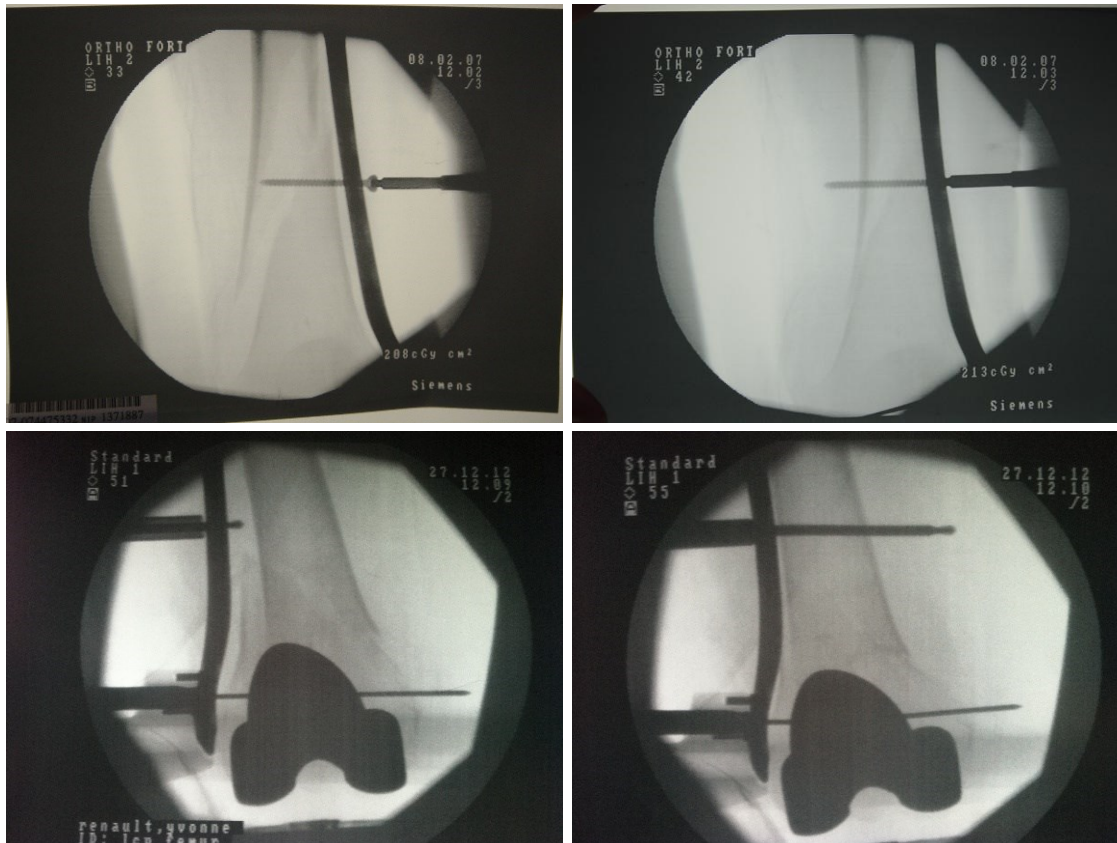


Figure 8. Exemple d'un vissage en rappel sur plaque permettant de fermer une longue fracture oblique. Dans l'ancillaire il est parfois disponible un tirefond qui lui aussi peut être utilisé comme moyen de rappel de l'os sur la plaque.

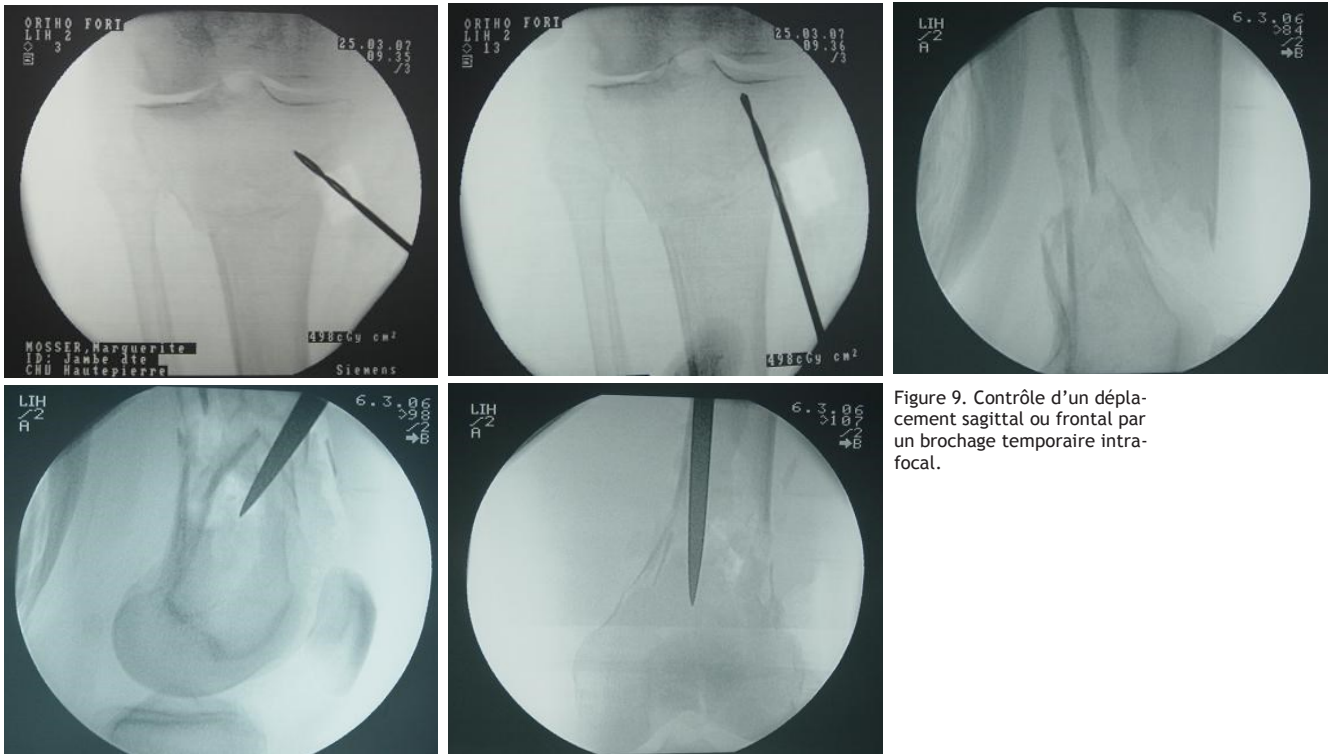


Figure 9. Contrôle d'un déplacement sagittal ou frontal par un brochage temporaire intra-focal.

(Fig.7). Dans ces conditions cette plaque anatomique peut être considérée comme « anatomique » et peut jouer son rôle de moule de réduction. Il faut alors que ce soit l'os qui vienne à la plaque en utilisant une vis standard de rappel, et non l'inverse au risque de déformer la plaque et d'induire une réduction vicieuse iatrogène. Ce moule de réduction permet surtout une réduction frontale.

#### Vissage en rappel

Le rappel par vis permettra d'utiliser la plaque comme un moule de réduction en ramenant l'os à la plaque, mais également de fermer la fracture (e.g. une écaille) si la plaque est positionnée correctement (cf supra) (Fig.8a et 8b). Une partie de l'ancillaire peut jouer parfois le même rôle qu'une vis standard, comme le tire-fond de chez DePuy-Synthes® (Fig.8c et 8d). Le contrôle est essentiellement frontal.

#### Brochage temporaire intrafocal

Un « brochage intra-focal », à l'instar des fractures du radius distal, peut permettre d'améliorer la réduction. Cette technique peut être utilisée tant pour les déformations frontales que pour les déformations sagittales (Fig.9). Cependant pour

les déformations frontales un conflit peut survenir avec la plaque et rendre difficile son introduction. Le « brochage » est maintenu en place par l'aide opératoire ou fiché dans la corticale opposée, et ce jusqu'à la fixation complète de la fracture par la plaque verrouillée.

#### Broche joystick

Une broche « joystick fragmentaire » peut être utilisée. Plantée dans le fragment concerné, elle permet une mobilisation aisée de celui-ci et son repositionnement anatomique (Fig.10). Une fois en place cette broche permet une stabilisation temporaire en allant se fiché dans la corticale opposée.

#### Vissage temporaire

Si la stabilisation temporaire par broche (intra-focale ou fragmentaire) est insuffisante, un vissage temporaire percutané peut être réalisé. Il permet de contrôler une fracture spirroïde, oblique, sagittale ou frontale. Dans le cas d'utilisation de matériel en titane, ce vissage devra être retiré afin de bénéficier de l'élasticité du matériau au niveau de la fracture. S'il était laissé en place au niveau de la fracture il aurait tendance à rigidifier le montage.

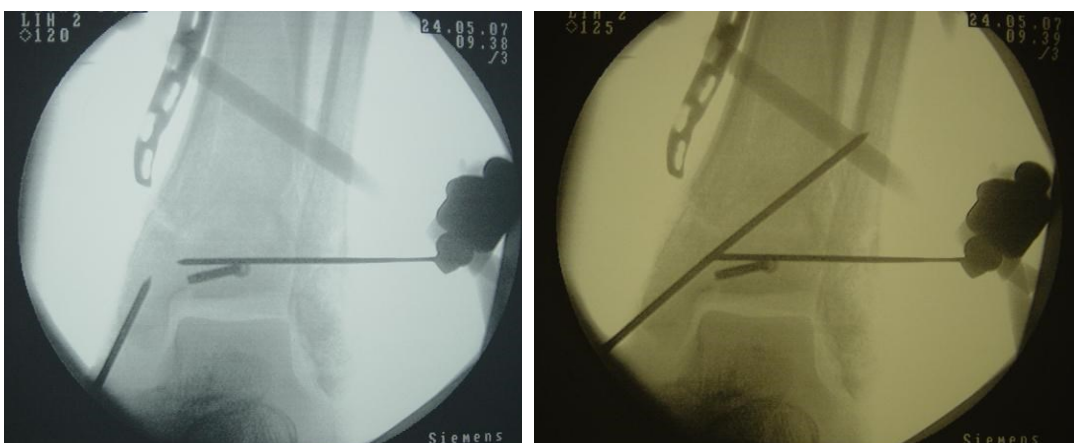


Figure 10. Broche joystick permettant de mobiliser un fragment. Noter la fixation temporaire de celui-ci sur la corticale opposée le temps de compléter l'ostéosynthèse par plaque verrouillée.



Figure 11. Exemple d'utilisation d'un davier pointu en percutané. Aspect scopique peropératoire de la qualité de la fermeture de la fracture et vue per-opératoire.



### Davier pointu ou colinéaire

A l'instar du vissage en rappel qui amène l'os sur la plaque, il est possible de réaliser la manœuvre inverse à savoir fermer la fracture en utilisant un davier qui fermera la fracture sur la plaque (Fig.11). Cet artifice permet essentiellement de contrôler un déplacement frontal. L'anatomie du membre inférieur rend plus délicat un contrôle sagittale.

### Cerclage percutané

Le cerclage percutané est un moyen efficace de parfaire une réduction, fermant une grande spire ou une longue oblique dans un plan frontal ou sagittal. Deux solutions s'offrent à nous : soit cerclage premier qui réduit la fracture, soit cerclage sur plaque qui permet de réduire la fracture mais également de rapprocher l'os à la plaque. Enfin lorsqu'il existe un implant endo-médullaire ce cerclage permet d'assurer la tenue de la plaque en regard de celui-ci, s'opposant aux contraintes d'arrachage et s'affranchissant de l'encombrement médullaire qui peut rendre difficile la fixation par vis, même verrouillées (Fig.12)

### Fixation de la fibula

Enfin il semble essentiel, dans les cas particuliers des fractures distales de jambes (tiers et quart distal), de réaliser la synthèse des fractures de la fibula permettant de contrôler la longueur, l'axe et la rotation (17). Cette synthèse doit être première pour les fractures simples de la fibula, les seules susceptibles d'aider à la réduction. Elle permet d'obtenir une aide au contrôle de la réduction initiale, mais surtout de conserver cette réduction dans le temps (17).

## Discussion

Le matériel à vis bloquées est très efficace dans le traitement des fractures métaphysaires ou épiphyso-métaphysaires surtout en présence d'un os fragilisé. Ce concept a relancé l'ostéosynthèse par plaque et a permis une chirurgie mini-invasive biologique garantissant à la fois de meilleurs résultats fonctionnels mais également radiologiques.

La chirurgie mini-invasive ne doit pas être un but absolu et une réduction de qualité doit rester l'objectif. Cependant cette qualité de la réduction ne se situe pas à l'échelle de la fracture, mais à l'échelle du « segment osseux global ». Le but est la restitution d'un axe anatomique parfait, en pontant la fracture (bridging surgery). La réduction anatomique du foyer de fracture en réalisant de la « marqueterie » chirurgicale n'est pas l'objectif dans ce type de chirurgie. Le principe de ce système d'ostéosynthèse, qualifié de fixateur interne, est de ponter la fracture et d'obtenir un axe osseux anatomique reproduisant *de facto* l'axe mécanique. Les artifices techniques précédemment cités permettent d'obtenir cet objectif et doivent être utilisés le plus souvent en association. Les critères réductionnels et la technique d'ostéosynthèse sont fondamentalement différents de ceux d'une ostéosynthèse par plaque classique.

A l'instar de l'enclouage centro-médullaire, l'ostéosynthèse par plaque en chirurgie mini-invasive permet de conserver l'hématome péri-fracturaire, de préserver la vascularisation périostée et de respecter les tissus mous. C'est le respect de ces tissus mous péri-fracturaires qui définit véritablement « le caractère mini-invasif » de cette chirurgie. Cependant il n'est pas à sacrifier au profit d'une « réduction » médiocre. Le respect des tissus mous étant un objectif de la chirurgie « mini-invasive », l'intervention s'inscrit dans une démarche thérapeutique globale avec planification préopératoire et compréhension de la fracture. La stratégie thérapeutique doit être clairement établie :

- 1/ il faut une surveillance des tissus mous pour choisir le moment de l'intervention et la voie d'abord ;
- 2/ il faut connaître et comprendre la fracture (au besoin réalisation d'un scanner préopératoire) ;
- 3/ il faut réfléchir à la chronologie opératoire et au matériel à utiliser (type d'installation, de fixateur externe, de plaque) ;
- 4/ il faut planifier la position des vis notamment standards, qui permettront de ramener l'os à la plaque jouant du caractère anatomique de celle-ci.



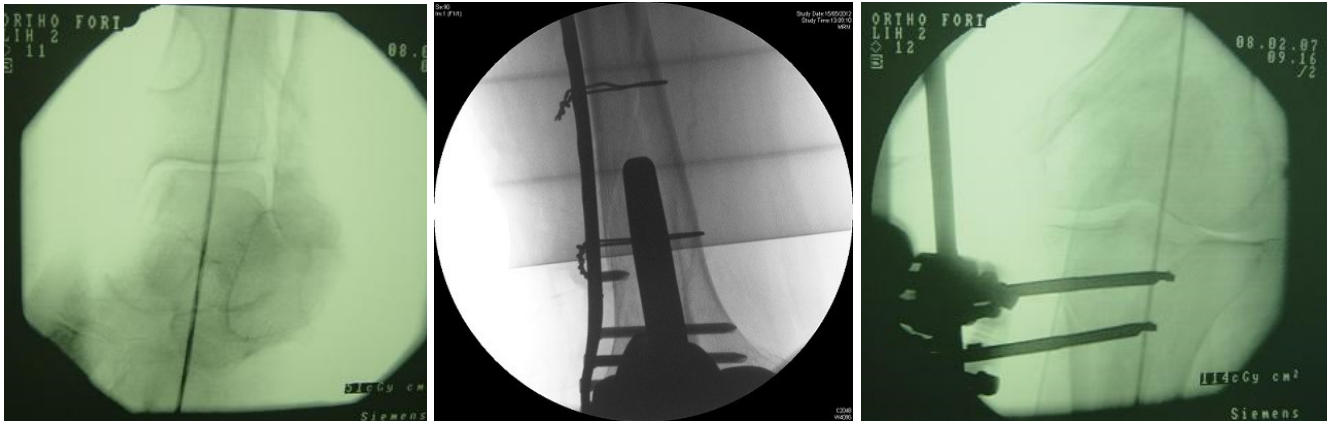


Figure 12. Cerclage percutané permettant de rapprocher l'os la plaque tout en assurant la fixation de la plaque en regard d'une quille longue de prothèse de genou, s'affranchissant de l'encombrement prothétique intra-médullaire.

Cette chirurgie est délicate et difficile, mais élégante et efficace permettant d'obtenir un cal périoste de bonne qualité, à l'instar de l'enclouage. Cependant la courbe d'apprentissage peut-être longue et les difficultés rencontrées multiples. La connaissance des artifices techniques décrits précédemment s'inscrit à part entière dans la préparation et la planification de l'intervention.

## Conclusion

L'ostéosynthèse mini-invasive par plaque verrouillée est une technique élégante mais exigeante. Il s'agit d'une nouvelle philosophie plutôt que d'une nouvelle technique opératoire. En ce sens elle se rapproche de l'ostéosynthèse par enclouage centromédullaire, exemple parfait de la chirurgie mini-invasive en traumatologie. Les règles de pose doivent être connues, la biomécanique de ces montages doit être comprise ce qui permettra de réaliser des montages adéquats. Ce matériel est efficace mais il ne souffre aucune erreur. La sanction est alors prévisible, avec des démontages qui laissent alors des dégâts osseux souvent plus importants. Le but est la restitution de l'axe osseux.

## Discussions en séance

### Question de JY Jenny

Regain d'intérêt des plaques verrouillées modernes ?

#### Réponse

Ceci n'était pas à proprement parlé une question, mais plutôt une remarque concernant l'évolution de l'ostéosynthèse par plaque depuis plus de 25 ans. Évolution dont la quintessence est l'apparition des plaques verrouillées sous leur forme moderne. Les modifications des implants et des techniques chirurgicales au fil du temps de la grande Histoire Chirurgicale avaient pour but de faciliter et de promouvoir une chirurgie de plus en plus respectueuse de la biologie avec des montages aux propriétés mécaniques améliorées. La première étape de ce chemin de croix, dont a fait mention Mr Jenny, a en effet été la modification du profil de la face profonde des plaques, avec l'apparition d'un profil « low contact ». L'objectif était de diminuer la surface de contact entre la plaque et l'os avec afin de respecter le périoste et sa vascularisation.

### Question de G Casanova

Avantage des plaques verrouillées modulaire en titane ?

#### Réponse

Cette question fait débat. Pour certains le titane, par ses propriétés mécaniques et notamment son élasticité, est le garant de l'obtention d'une consolidation plus rapide avec un

cal de meilleur qualité, plus volumineux [Bottlang, JBJS 2009, Lujan JOT 2010]. L'utilisation du titane autorise par ailleurs une remise en charge au membre inférieur, avec une tolérance mécanique à plus de un million de cycles de marche [Lujan JOT 2010]. Cette remise en charge est favorable à la consolidation car elle permet de jouer de l'élasticité du matériau et d'obtenir des micromouvements locaux bénéfiques. Notre expérience va dans ce sens [Ehlinger RCO 2008, OTSR 2009-2010-2011, KSSTA 2011]. Pour d'autres il n'apporte aucun bénéfice et il expose par ailleurs au risque de difficultés à l'ablation de matériel. En effet sa plus grande malléabilité favorise la destruction du filetage de la tête de vis et du filetage de la plaque au moment du serrage des vis, entraînant ainsi un « coinçage » plutôt qu'un verrouillage des vis. L'extractibilité des vis peut alors devenir très délicate et souvent source de iatrogénie.

### Question de H Judet

Délai de consolidation après techniques mini-invasives ?

#### Réponse

Dans notre expérience, l'association d'une chirurgie mini-invasive respectant la biologie aux propriétés mécaniques des montages verrouillés favorisent la consolidation des fractures, notamment pour les cas de fractures péri-prothétiques et de fractures diaphysaires du tibia [Ehlinger RCO 2008, OTSR 2009-2010-2011, KSSTA 2011, Adam OTSR 2010]. Cependant la biomécanique de ces implants est si délicate, spécifique et évolutive que la réalisation de ces ostéosyntheses ne souffre aucune erreur au risque d'induire des faillites biologiques et mécaniques lourdes de conséquences [Henderson CORR 2011-JOT 2011, Smith Injury 2009]. La limite de cette technique de l'ostéosynthèse par plaque verrouillée se situe au niveau de la tolérance de ces montages vis-à-vis des erreurs mécaniques et donc de l'exigence de leur réalisation. Le plus souvent les auteurs rapportent les résultats de leurs séries d'ostéosynthese avec des taux de consolidation tout à fait satisfaisants. A notre connaissance peu d'études ont comparé l'ostéosynthèse par plaque verrouillée par voie classique ou par voie mini-invasive. Ruchholtz et al [Injury, 2013] donnent l'avantage à la chirurgie mini-invasive en terme de taux de consolidation et de taux de complication par rapport aux voies classiques et mini-open. Nous avons colligé une étude multicentrique nationale prospective sur les fractures du fémur distal traitées par plaque verrouillée et l'avantage allait aux voies classiques, en revanche les complications étaient moins fréquentes pour les voies mini-invasives [Ehlinger, OTSR 2014]. Malgré tout, fort de notre expérience, nous continuons la réalisation de ces ostéosyntheses par voie mini-invasive pour lesquelles les complications, notamment infectieuses, sont moins fréquentes et la récupération fonctionnelle facilitée et plus rapide [Ehlinger OTSR 2011, Adam 2010, Ehlinger KSSTA

2011]. Le point essentiel est le respect des règles d'utilisation de ces plaques verrouillées.

## Conflit d'intérêt

Matthieu Ehlinger et Philippe Adam : consultants éducation pour DePuy-Synthes®.

François Bonnomet : consultant éducation pour Zimmer® et Amplitude®.

David Brinkert, Benoît Schenck, Antonio Di Marco, Benjamin Puliéro : aucun.

## Références

1. Kregor PJ, Stannard JA, Zlowodzki M, Cole PA. Treatment of distal femur fractures using the less invasive stabilization system: surgical experience and early clinical results in 103 fractures. *J Orthop Trauma* 2004;18:509-20.
2. Cole PA, Zlowodzki M, Kregor PJ. Treatment of proximal tibia fractures using the less invasive stabilization system: surgical experience and early clinical results in 77 fractures. *J Orthop Trauma* 2004;18:528-35.
3. Ricci WM, Borelli J. Operative management of periprosthetic femur fractures in the elderly using biological fracture reduction and fixation techniques. *Injury* 2007;38:553-8.
4. Ehlinger M, Adam P, Abane L, Rahmé M, Moor BK et al. Treatment of periprosthetic femoral fractures of the knee. *Knee Surg Sport Trauma Arthrosc* 2011;19:1473-8.
5. 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* 2002;84:1093-110.
6. Wagner M. General principles for the clinical use of the LCP. *Injury* 2003;34(Suppl 2):31-42.
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. Farouk O, Krettek C, Miclau T, Schandelmaier P, Guy P, Tscherne H. Minimally invasive plate osteosynthesis: does percutaneous plating disrupt femoral blood supply less than the traditional technique? *J Orthop Trauma* 1999;13:401-6.
9. Ehlinger M, Adam P, Abane L, Arlettaz Y, Bonnomet F. Minimally-invasive internal fixation of extra-articular distal femur fractures using a locking plate: tricks of the trade. *Orthop Traumatol Surg Res* 2011;97:201-5.
10. Ehlinger M, Adam P, Bonnomet F. Minimally invasive locking screw plate fixation of non-articular proximal and distal tibial fractures. *Orthop Traumatol Surg Res* 2010;96:800-9.
11. Ehlinger M, Brinkert D, Besse J, Adam P, Arlettaz Y, Bonnomet F. Reversed anatomic distal femoral plate for periprosthetic hip fracture. *Orthop Traumatol Surg Res* 2011;97:560-4.
12. Wilkens KJ, Curtiss S, Lee MA. Polyaxial plate fixation in distal femur fractures: a biomechanical comparison. *J Orthop Trauma* 2008;22:624-8.
13. Lujan TJ, Henderson CE, Maley SM, Fitzpatrick DC, Marsh JL, Bottlang M. Locked plating of distal femur fractures leads to inconsistent and asymmetric callus formation. *J Orthop Trauma* 2010;24:156-62.
14. Kanchanomai C, Muanjan P, Phiphobmongkol V. Stiffness and endurance of a locking compression plate fixed on fractured femur. *J Appl Biomech* 2010;26:10-6.
15. 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.
16. Stoffel K, Dieter U, Stachowiak G, Gächter A, Kuster MS. How can stability in locked internal fixators be controlled? *Injury* 2003;34:11-9.
17. Egol KA, Weisz R, Hiebert R, Tejwani NC, Koval KJ, Sanders RW. Does fibular plating improve alignment after intramedullary nailing of distal metaphyseal tibia fractures? *J Orthop Trauma* 2006;20:94-103.
18. Muncibi F, Paez DC, Matassi F, Carulli C, Nistri L, Onnocenti M. Long term results of percutaneous fixation of proximal humerus fractures. *Indian J Orthop* 2012;46:664-7.
19. Pallister I, Lowerth A. Indirect reduction using a simple quadrilateral frame in the application of distal tibial LCP-technical tips. *Injury* 2005;36:1138-42.