
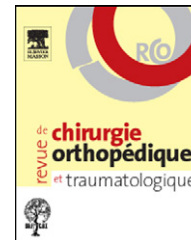




Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

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



TRAVAUX DE LA SOCIÉTÉ D'ORTHOPÉDIE ET DE TRAUMATOLOGIE DE L'OUEST. RÉUNION DE RENNES, JUIN 2009. MISE AU POINT

Le concept de plaque verrouillée

The concept of locking plates

P. Cronier^{a,*}, G. Piétu^b, C. Dujardin^c, N. Bigorre^a, F. Ducellier^a, R. Gérard^d

^a Département de chirurgie osseuse, CHU, 4, rue Larrey, 49000 Angers, France

^b Service de chirurgie osseuse, CHU, 1, place Alexis-Ricordeau, Nantes, France

^c Chirurgie orthopédique et traumatologique, clinique de la présentation, 64b, rue des Fossés, 45400 Fleury-Les-Aubrais, Orléans, France

^d Service de chirurgie orthopédique, traumatologique et réparatrice, CHU, 1, boulevard Tanguy-Prigent, Brest, France

MOTS CLÉS

Plaque verrouillée ;
Fixateur interne ;
Biomécanique

Résumé Après un court rappel historique depuis la naissance des plaques verrouillées, il y a plus d'un siècle jusqu'à l'aboutissement du concept depuis moins de 15 ans avec les plaques actuelles, les auteurs présentent les principaux mécanismes de verrouillage. Dans les deux grandes catégories, celles à angulation fixe et celles à angulation variable, la tête de vis est bloquée dans la plaque soit par un système de contre-écrou, soit par vissage de la tête de vis dans son logement sur la plaque, soit par vissage à travers une rondelle adaptée. Les auteurs expliquent ensuite de façon concrète à partir de modèles mécaniques simples, les différences fondamentales entre les plaques vissées ordinaires et les plaques verrouillées, et pourquoi un système à vis verrouillées présente une plus grande résistance au démontage, avec le rôle de la position et du nombre des vis. L'intérêt dans la fixation épiphysaire est ensuite démontré même pour un os de qualité médiocre. À titre didactique, ils présentent un montage avec une pomme ordinaire fixée par cinq vis verrouillées et qui a supporté une charge axiale de 47 kg sans aucun démontage. Les principes de pose sont détaillés au niveau de l'épiphyse et au niveau de la diaphyse, avec le nombre et la position des vis, et le respect des parties molles qui trouve son aboutissement avec les techniques mini-invasives voire percutanées. Les auteurs présentent ensuite l'intérêt des plaques verrouillées dans la fixation des fractures périprothétiques où les ostéosynthèses conventionnelles trouvent souvent leurs limites. Ils évoquent ensuite à partir de cas théoriques simplifiés issus de cas réels l'impact économique en France de ce type d'implant. Il est en moyenne nettement inférieur à 10% du coût global de la pathologie pour la société. Ils évoquent enfin les difficultés possibles lors de l'ablation de matériel et les moyens d'y remédier. © 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Introduction

La plaque verrouillée est entrée progressivement mais surtout récemment dans l'arsenal courant des moyens d'ostéosynthèse à la disposition du chirurgien orthopédiste et traumatologue. En revanche, le concept lui-même de

DOI de l'article original : [10.1016/j.otsr.2010.03.008](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2010.03.008).

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : pacronier@chu-angers.fr (P. Cronier).

plaque verrouillée est encore souvent appréhendé de façon incorrecte et par la même mésestimé. Schématiquement, la plaque verrouillée se comporte comme un fixateur externe mais sans avoir les inconvénients d'un système externalisé non seulement en ce qui concerne la transfixion des parties molles mais également sur le plan mécanique et vis-à-vis du risque septique. Il s'agit en fait plutôt d'un « fixateur interne » [1].

Le passage du clou ordinaire au clou verrouillé a été une révolution. Il s'agit de l'évolution d'un implant mais en restant dans le même cadre conceptuel, ce qui a permis d'en étendre les indications. En revanche, le passage de la plaque ordinaire à la plaque verrouillée ne correspond pas stricto sensu à l'évolution d'un implant, c'est un changement de concept.

Nous verrons quelles en sont les implications mécaniques et biologiques et leurs conséquences dans la technique chirurgicale. Les différences par rapport à l'utilisation d'une plaque conventionnelle sont loin d'être intuitives. Même pour un chirurgien parfaitement informé, une courbe d'apprentissage est nécessaire pour profiter pleinement du concept et ne pas utiliser une plaque verrouillée comme une plaque ordinaire améliorée.

Historique

Le plus lointain ancêtre de la plaque verrouillée est le fixateur monocortical de Carl Hansman en 1886. Elle atteint rapidement sa forme aboutie sous la main de Paul Reinhold en France en 1931, puis retombe dans l'oubli. Après le système LITOS en 1974 [2], puis le ZESPOL en 1982 [3], le concept se taille progressivement une place significative dans les moyens d'ostéosynthèse à partir de 1995. Ce concept est développé de façon indépendante et pratiquement simultanée par Patrick Sürer avec le système SURFIX® [4] inchangé depuis l'origine, et par l'association pour l'étude de l'ostéosynthèse (AO) avec de nombreuses étapes. La première ébauche en 2005 est le *point contact fixator* (PC-fix) [5] suivi en 2001 par le *less invasive stabilisation system* (LISS) [6] et le *locking compression plate* (LCP) [7]



Figure 1 Système Surfix® ; la tête de vis est bloquée par un contre-écrou fileté.

avec toutes ses déclinaisons. Dans une voie différente, des systèmes de contre-écrou « Schuli » (littéralement « petit sabot ») sont proposés en 1998 [8] pour permettre de verrouiller une vis ordinaire dans une plaque que l'on pourrait qualifier de « normale », préfigurant certains mécanismes de verrouillage actuels.

Parallèlement à l'évolution des implants, les modalités de mise en place changent. L'abord d'extensif, délabrant, déperiostant et dévascularisant devient de plus en plus « atraumatique » pour finir en percutané [9–12]. On passe de la réduction anatomique à la reconstitution des axes. Il revient à l'esprit que le tuteur est certes utile, mais que l'apport nutritif est fondamental tant pour la consolidation que pour augmenter la résistance à l'infection. On se rapproche ainsi de l'esprit du foyer fermé jusqu'alors réservé à l'enclouage.

L'intérêt de ce type d'implant est reflété par la croissance exponentielle des publications à ce sujet débutant vers 1998 et dont environ les trois-quarts ont été écrits depuis 2005.

Mécanismes de verrouillage

Il existe deux grandes catégories de plaques verrouillées : celles à angulation fixe et celles à angulation variable. Dans ce dernier cas, la vis peut être bloquée avec une orientation choisie à l'intérieur d'un cône d'angle de l'ordre de 10 à 15°.

Les mécanismes du blocage de la vis dans la plaque sont également de deux grands types : dans le premier, la vis est bloquée dans son logement par un contre-écrou fileté. Dans le second, la tête de la vis est elle-même filetée et vient se visser dans la plaque ou dans une rondelle adaptée. Nous en présentons quelques-uns parmi les plus répandus.

Plaques à angulation fixe

Dans le système Surfix® (Fig. 1), le verrouillage est obtenu par contre-écrou. La vis est pourvue d'une tête plate qui vient en butée dans le fond de son logement, puis elle est bloquée par le contre-écrou vissé dans l'épaisseur de la plaque.

Tornier® a utilisé un concept voisin pour les plaques épiphysaires de radius distal. Le contre-écrou est remplacé par une sorte de capot vissé permettant le blocage simultané de plusieurs vis.

Dans le système AO (Synthès®) (Fig. 2), la tête de la vis est conique et munie d'un pas de vis qui vient se bloquer dans un trou fileté. Le filetage de la tête possède le même pas que le filetage du corps de la vis pour éviter l'effet de compression, mais il est plus fin, de type métallique et doublé pour avoir un ancrage maximum. Il s'agit en fait d'un double filet.

Plaques à angulation variable

Le mécanisme retenu par Newclip® (Fig. 3) et par Stryker® comporte une rondelle à expansion dans laquelle vient se visser la tête de vis permettant le verrouillage à l'intérieur d'un cône de débattement de 10°.

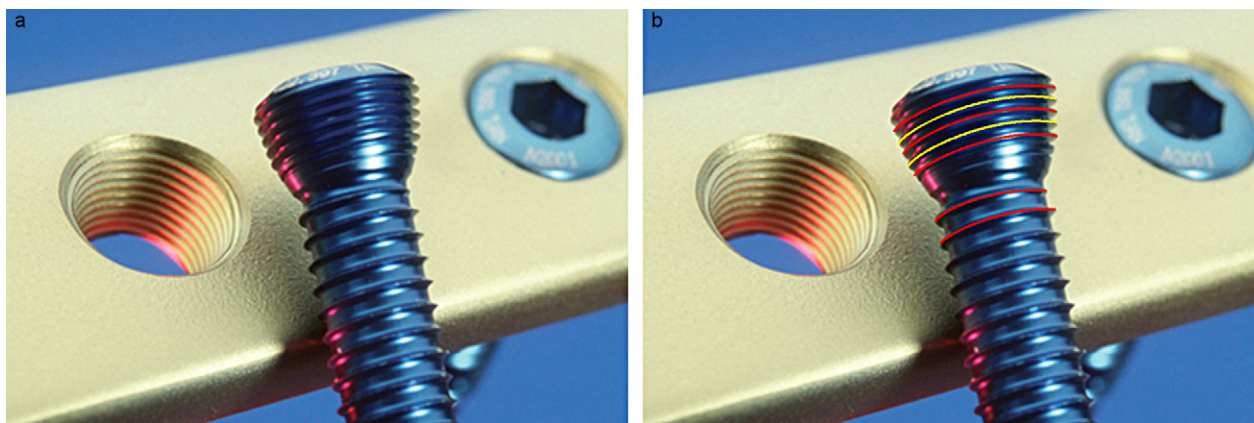


Figure 2 Système de verrouillage AO ; a : la tête de vis est filetée et se visse dans la plaque ; b : le filetage de la tête est double mais le pas est constant.

Dans le mécanisme Biotech® (Fig. 4), la tête de vis, conique et autotaraudante vient se bloquer avec l'angulation choisie dans un insert en PEEK serti dans la plaque.

Le système Zimmer® (Fig. 5) comporte un contre-écrou de verrouillage, qui encapuchonne la tête de vis sphérique autorisant un verrouillage avec un débattement de 15°.

Enfin, le système de vis à angulation variable AO (Synthès®) (Fig. 6) s'inspire du mécanisme de verrouillage des vis à angulation fixe. La tête de vis est filetée mais elle présente une forme sphérique et se visse à l'intérieur de son logement dans quatre languettes filetées séparées.

Éléments de mécanique

Nous ne présenterons pas ici de résultats de tests mécaniques complexes, déjà largement publiés [13]. Un peu de bon sens et des exemples concrets simples, loin des chiffres théoriques, vont nous permettre d'appréhender l'intérêt mécanique des plaques verrouillées et les erreurs à éviter dans leur utilisation.



Figure 4 Système de verrouillage Biotech®. La tête de vis est vissée dans un insert en PEEK.

Plaque avec vis ordinaire

La fixation par plaque vissée ordinaire intervient par friction grâce à la compression de l'os contre la plaque. Sur un modèle expérimental avec un morceau de balsa, ce rôle de

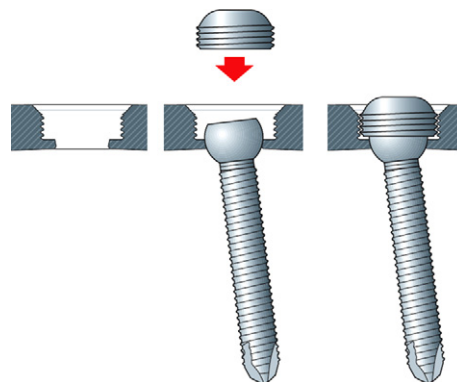


Figure 5 Système de verrouillage Zimmer® avec contre-écrou sur tête sphérique.

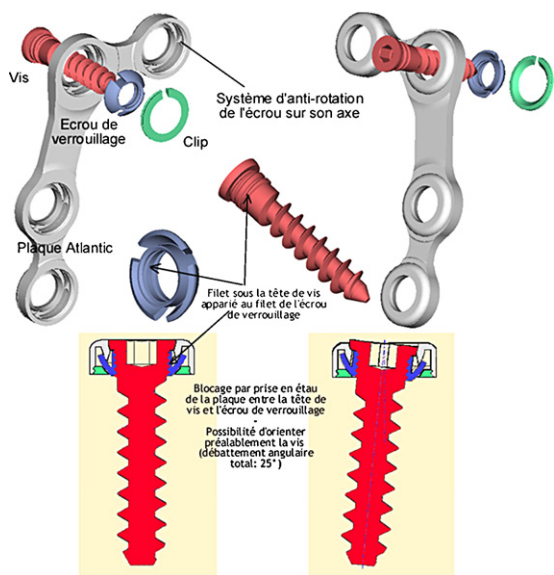


Figure 3 Système de verrouillage Newclip®, avec rondelle à expansion.

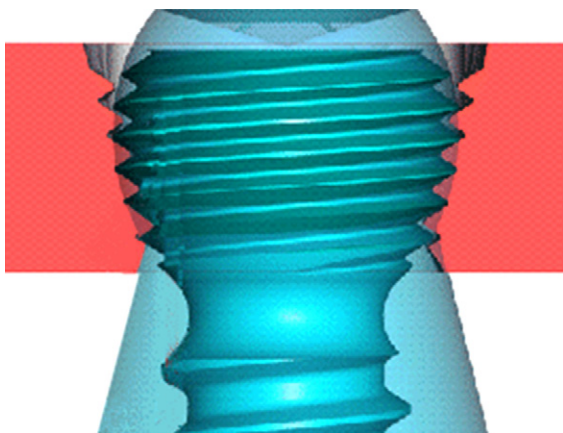


Figure 6 Système de verrouillage de l'AO à angulation variable, avec tête sphérique filetée.

compression de la vis peut être remplacé par un serre-joint (Fig. 7). On constate que la fixation est solide mais en cas de contrainte axiale importante, comme un choc axial, il peut se produire un glissement sous la plaque. En revanche, avec un modèle plus complet comportant une vis non serrée (mais dont la composante de compression est assurée par le serre-joint), il faut exercer une force axiale plus importante pour entraîner un glissement (Fig. 8). Cela met en évidence

la seconde composante mécanique du travail de la vis qui est le cisaillement.

Examinons maintenant le détail sur un modèle (Fig. 9). Il est aisé de constater que l'effet de compression s'exerce sur la totalité du filetage de la vis en contact avec l'os, mais que l'effet de lutte contre le cisaillement est avant tout dû à la partie de la vis en contact avec l'os en dessous de la plaque. L'extrémité de la vis dans la corticale opposée travaille presque uniquement en arrachement.

Plaque avec vis verrouillée

Sur un modèle expérimental, on constate que la résistance au cisaillement est beaucoup plus grande que précédemment (Fig. 10). Il est aisé de comprendre sur le détail que ce travail en cisaillement s'exerce sur la totalité de la longueur de la vis (Fig. 11) et est donc beaucoup plus efficace. On peut également appréhender le fait que le corps de la vis travaille en flexion (Fig. 12).

Caractéristiques des vis

L'exemple de ces deux types de vis chez un même fabricant nous montre comment les vis sont adaptées à leurs fonctions différentes (Fig. 13). La vis ordinaire possède un filetage large et asymétrique pour s'opposer à l'arrachement. La vis verrouillée possède un filetage fin destiné à la faire progresser dans

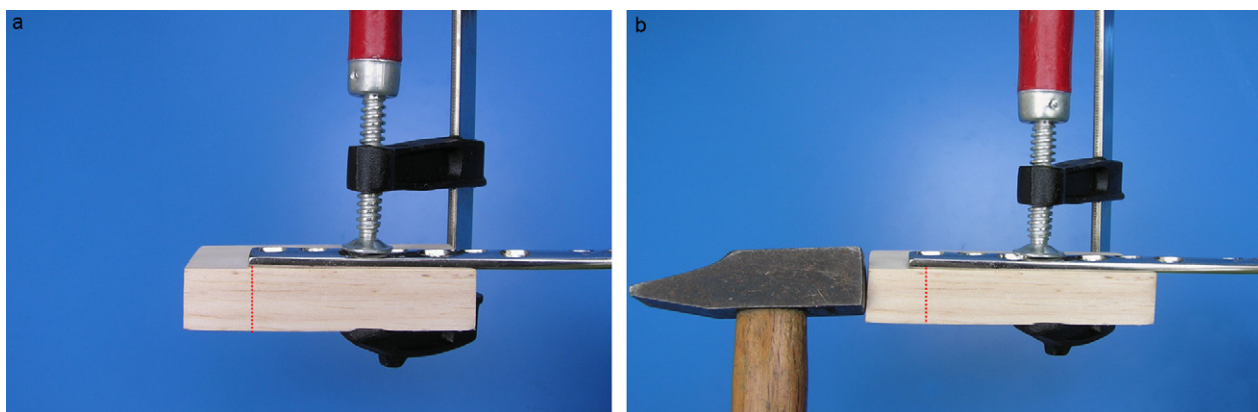


Figure 7 a : le rôle de compression de la vis peut être remplacé par un serre-joint ; b : le montage est peu efficace en cas de contrainte axiale importante.

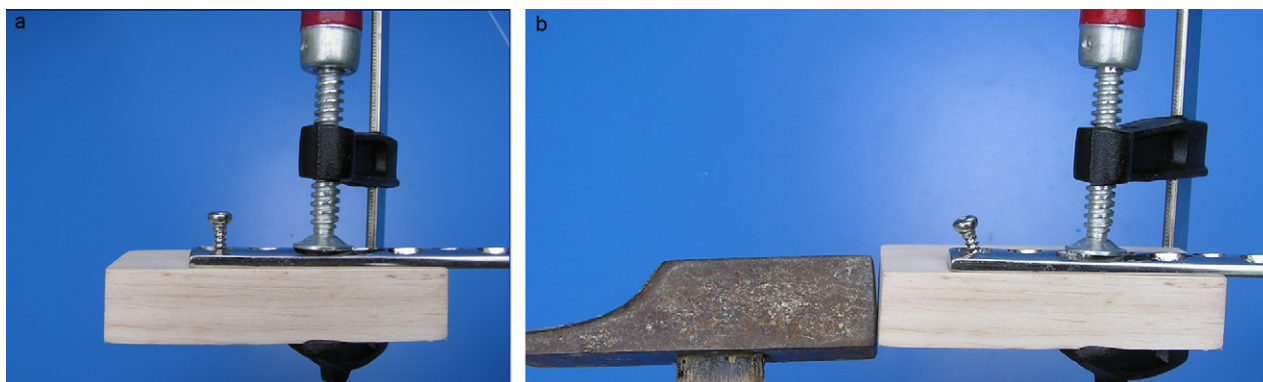


Figure 8 a : modèle plus complet avec une vis non serrée ; b : la résistance à la contrainte axiale est meilleure.

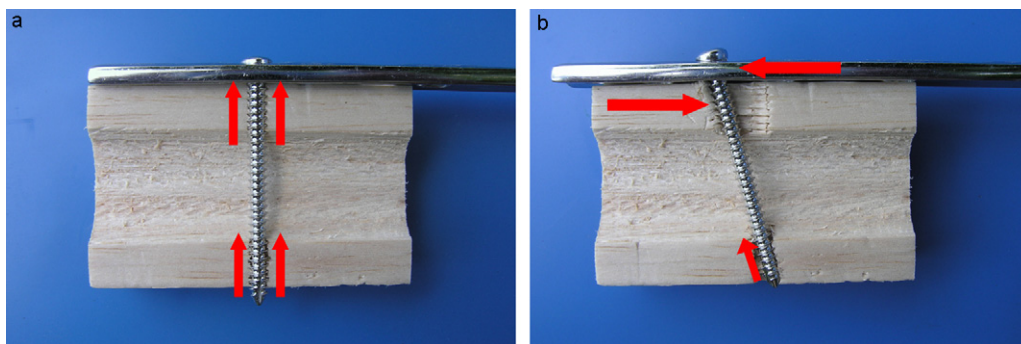


Figure 9 a : effet de compression sur la totalité du filetage en contact avec l'os ; b : effet de lutte contre le cisaillement uniquement sur la partie proximale de la vis.

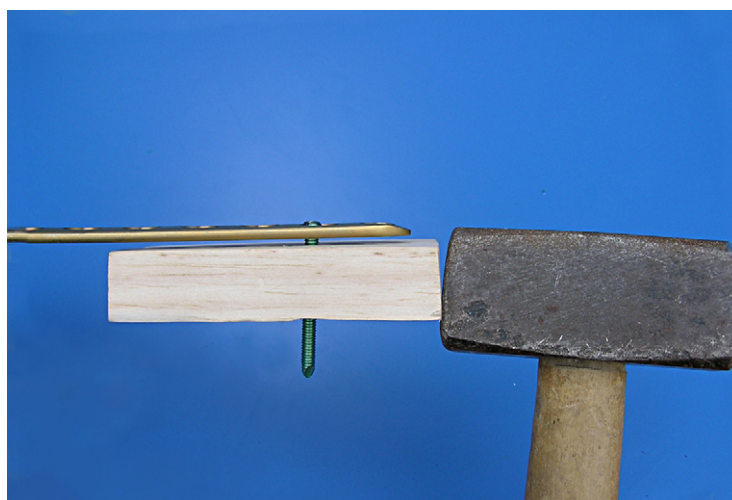


Figure 10 Plus grande résistance au cisaillement avec une vis verrouillée.

l'os et symétrique car il ne travaille pas plus dans le sens de l'arrachement que de l'enfoncement. Le diamètre de l'âme de la vis ordinaire est relativement étroit pour laisser la place au filet large, alors que pour la vis verrouillée, ce diamètre est beaucoup plus large. La résistance au cisaillement est multipliée par 2 et celle à la flexion par 3.

Faillite de l'ostéosynthèse

Lors des contraintes, le mécanisme du démontage est différent pour les deux types de fixation. Dans une ostéosynthèse par plaque ordinaire, on assiste à un arrachement séquentiel des différentes vis les unes après les autres (Fig. 14). Dans une ostéosynthèse à vis verrouillées, il se produit un arrachement « en bloc », toutes les vis travaillant en même temps

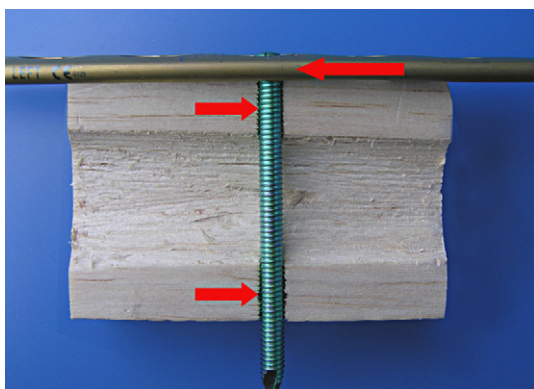


Figure 11 Une vis verrouillée s'oppose au cisaillement sur toute sa longueur.

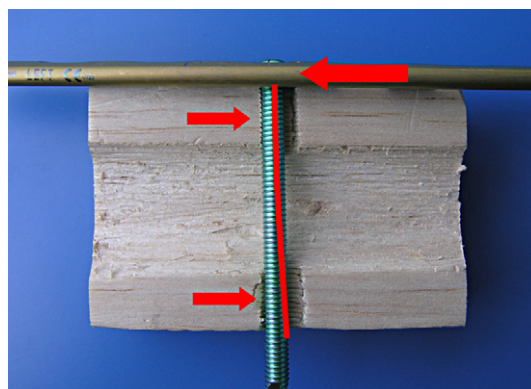


Figure 12 Une vis verrouillée est soumise à un effort de flexion.

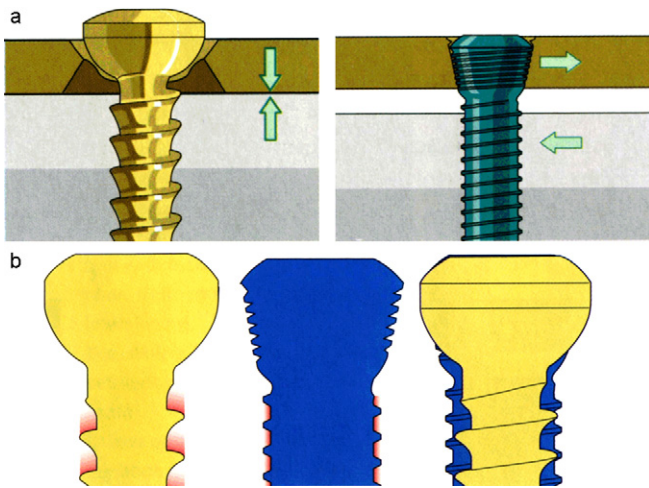


Figure 13 a : représentation d'une vis ordinaire et d'une vis verrouillée ; b : le diamètre de la vis verrouillée est plus large et son filetage plus fin.

D'après Wagner M, Frigg R [1], avec l'autorisation de l' AO International.

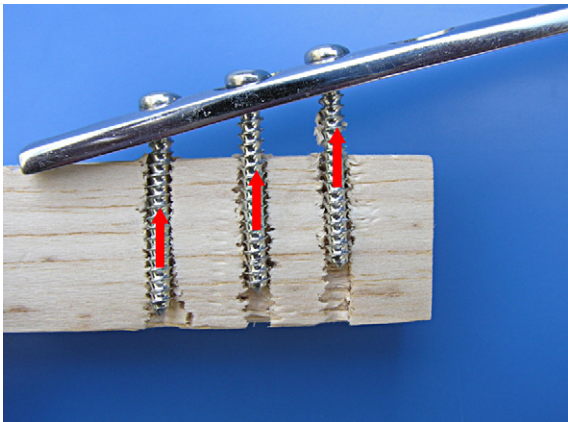


Figure 14 Arrachement séquentiel des vis ordinaires.

(Fig. 15). Cette dernière ostéosynthèse est donc beaucoup plus solide et d'ailleurs, dans notre montage expérimental sur balsa, l'arrachement séquentiel des vis ordinaires s'est produit très facilement, alors que les efforts sur la plaque verrouillée ont induit la fracture du fragment de balsa au-dessus de la plaque (Fig. 16).

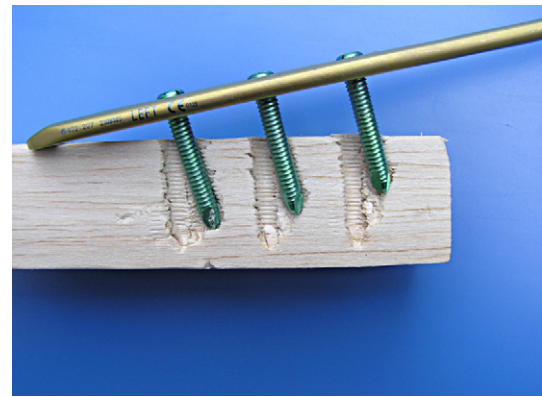


Figure 15 Arrachement « en bloc » d'un système à vis verrouillées.

Lors des contraintes en arrachement pur dans l'axe des vis, il est aisé de comprendre qu'un montage avec des vis de directions différentes offrira une plus grande résistance à l'arrachement qu'un montage à vis parallèles. C'est une des raisons pour lesquelles la plupart des implants épiphysaires ont des vis dans des directions différentes, particulièrement au niveau de l'épaule où l'os est souvent de qualité médiocre.

Position des vis

Avec un modèle mécanique simple (Fig. 17), il est aisé de comprendre que le montage avec des vis groupées à l'extrémité de la plaque est moins solide que si les vis sont réparties sur une plus grande longueur.

Nombre des vis

Pour des raisons équivalentes, on peut comprendre intuitivement qu'une vis supplémentaire, par exemple, aura plus d'effet sur un montage de grande longueur de travail que si les vis sont groupées sur une courte distance (Fig. 18).

En revanche, il faut faire confiance aux tests mécaniques publiés [13] pour admettre qu'au-delà de trois vis, l'adjonction d'une quatrième vis est de peu d'effet sur la stabilité axiale. En revanche, cette quatrième vis améliore un peu la stabilité en torsion.

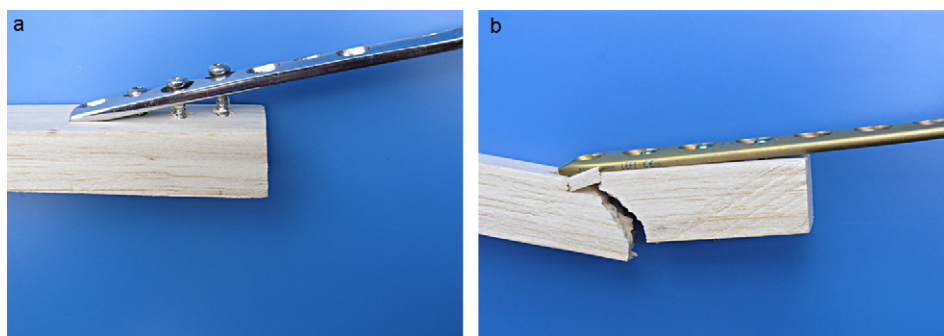


Figure 16 a : arrachement facile des vis ordinaires dans le balsa ; b : rupture du fragment avec lors de la tentative d'arrachage des vis verrouillées.



Figure 17 a : le montage avec des vis groupées à l'extrémité de la plaque ; b : est moins solide que ; c : si les vis sont réparties sur une plus grande longueur.

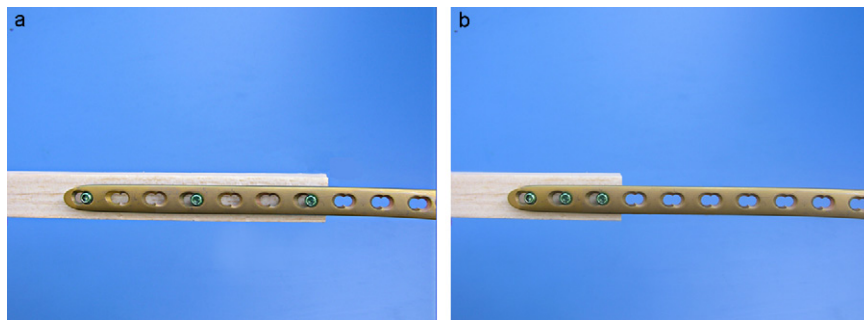


Figure 18 Au-delà de deux vis, l'adjonction d'une vis supplémentaire ; a : est plus efficace sur un montage de grande longueur de travail que ; b : si les vis sont groupées sur une courte distance.

La conclusion est qu'en diaphysaire trois à quatre vis verrouillées suffisent.

Fixation épiphysaire

À ce niveau, les vis ordinaires apportent souvent une stabilité médiocre. La compression de l'os spongieux contre la plaque est peu efficace, surtout si l'os est de qualité médiocre et/ou en cas de fracture multifragmentaire. L'utilisation de vis verrouillées dans la plaque rend inutile cette compression de l'os contre la plaque. L'exemple de la fourche à foin est démonstratif. La fourche est capable de supporter sans problème une charge importante, malgré les médiocres qualités mécaniques du matériau soulevé (Fig. 19).

Un autre exemple mécanique simple et accessible à tous permet de mieux appréhender l'intérêt des plaques verrouillées. Lorsqu'on fixe une pomme sur une plaque avec une vis verrouillée, la stabilité angulaire du montage est évidente (Fig. 20). En revanche, cette stabilité n'est acquise, avec une vis ordinaire, que par la compression de la pomme contre la plaque. Il est évident que cela n'est pas compatible avec le respect de la vascularisation périoste.

Dans le montage par vis verrouillée, la stabilité primaire est augmentée sans perte de réduction par l'adjonction d'une deuxième vis verrouillée (Fig. 21). Dans le montage par vis ordinaire, si la plaque n'est pas anatomiquement moulée sur l'épiphyse, la compression induite par une deuxième vis ordinaire entraîne une « perte de réduction » primaire.

Des tests de mise en charge sur cette pomme fixée par deux vis donnent des résultats spectaculaires (Fig. 22). Dans le montage par deux vis verrouillées, il a été possible de charger axialement la pomme avec 25 kg sans aucun démontage, alors que dans le montage par deux vis ordinaires, le déplacement a commencé avec une charge de 3 kg et l'ensemble a basculé complètement à 5 kg.

Compte tenu de ces résultats, nous avons poursuivi l'expérience avec la fixation d'une pomme par cinq vis ver-



Figure 19 Exemple de la fourche à foin qui peut soulever de fortes charges.



Figure 20 Fixation d'une pomme sur une plaque ; a : avec une vis verrouillée, le montage est stable ; b : avec une vis ordinaire non serrée le montage est instable ; c : il est nécessaire d'exercer une compression contre la plaque.

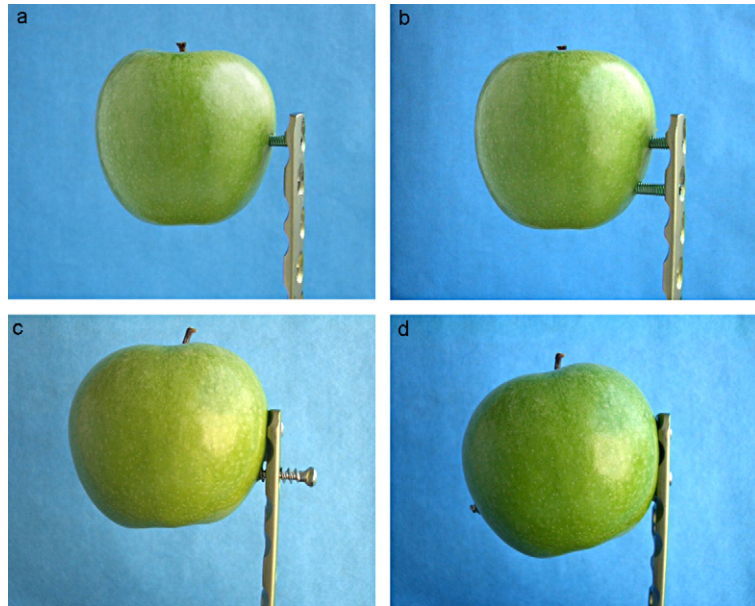


Figure 21 a : montage par une vis verrouillée ; b : une deuxième vis verrouillée ne déplace pas le montage ; c : montage avec une vis ordinaire sur une plaque non adaptée ; d : une deuxième vis ordinaire déplace le montage.

rouillées sur une plaque pour fémur distal. Le montage a supporté la charge complète d'une jeune femme de 47 kg sans aucune altération de la pomme ni déplacement du montage (Fig. 23). Ce test n'a évidemment aucune valeur

scientifique mais il permet néanmoins d'appréhender de façon parlante la qualité de la fixation épiphysaire obtenue par plaque verrouillée, même sur un os de qualité médiocre.

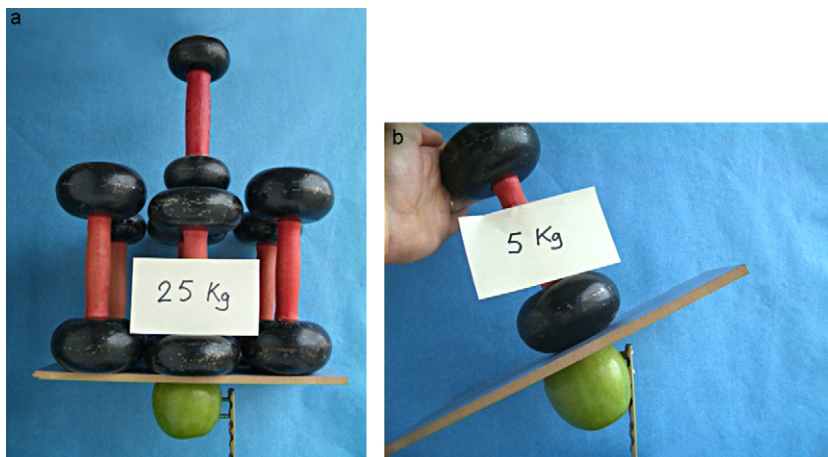


Figure 22 Test de mise en charge du montage ; a : pomme fixée par deux vis verrouillées ; b : pomme fixée par deux vis ordinaires.



Figure 23 a : montage avec pomme fixée par cinq vis verrouillées sur une plaque pour fémur distal ; b : test de mise en charge.

Antinomie plaque ordinaire/plaque verrouillée

Il existe une antinomie entre les deux modes de fixation : plaque verrouillée et plaque ordinaire [1,14]:

L'ostéosynthèse par plaque ordinaire cherche à obtenir le maximum de stabilité, avec une plaque rigide et si possible la mise en compression du foyer de fracture. La fixation par plaque verrouillée cherche au contraire à maintenir une certaine élasticité, pour stimuler la consolidation. Les plaques verrouillées sont généralement moins rigides que les plaques ordinaires.

Dans l'ostéosynthèse par plaque ordinaire, la réduction anatomique est recherchée, car elle augmente la stabilité, alors que dans l'ostéosynthèse par plaque verrouillée, la qualité de la réduction est moins essentielle, pourvu que les parties molles locales (et donc la vascularisation des fragments) soient respectées. Les objectifs sont plutôt ceux de l'enclouage que ceux d'une fixation conventionnelle par plaque.

Pour les mêmes raisons, le cal obtenu avec une plaque verrouillée est un cal de contrainte, secondaire, comme dans les ostéosyntheses par clou, différent de la consolidation *per primam* des ostéosyntheses classiques stables.

En revanche, l'élasticité habituelle de la synthèse par plaque verrouillée en fait une contre-indication au moins théorique en cas d'os dévascularisé ou nécrotique, ne permettant pas d'obtenir un cal secondaire.

De ce qui précède, il ressort que le concept de plaque verrouillée est beaucoup plus proche de celui du clou ou du fixateur externe que de celui d'une plaque ordinaire. En dépit des apparences, une plaque verrouillée n'est donc pas une « plaque » au sens classique du terme, mais bien plutôt un « fixateur interne » [1]. Il s'agit d'une notion essentielle, qui est loin d'être intuitive pour un chirurgien familier des ostéosyntheses classiques. Même pour un chirurgien parfaitement informé des différences fondamentales de concept, un temps d'adaptation est généralement

nécessaire pour qu'il accepte de « reconsidérer » ses acquis de l'ostéosynthèse classique et utilise la plaque verrouillée de façon optimale.

Un autre élément important à prendre en compte est la différence fondamentale de comportement des deux types d'ostéosynthèse face à l'infection. Selon Perren [14], l'effet corps étranger qui diminue la résistance à l'infection est moins dû au matériel étranger qu'à la nécrose (induite par l'implant) et à l'effet espace mort. Dans une ostéosynthèse par plaque conventionnelle, en effet, il se produit systématiquement une nécrose de l'os cortical comprimé sous la plaque. Une fixation par plaque verrouillée, en revanche, n'entraîne pas de nécrose osseuse.

Par ailleurs, le titane, matériau généralement utilisé dans les plaques verrouillées, n'entraîne pas la formation d'une membrane à corps étranger et ne crée donc pas d'effet « espace mort » au contact de l'implant.

Dans une étude expérimentale sur le lapin, le ratio de la quantité de staphylocoque doré nécessaire pour obtenir une infection sur ostéosynthèse a été de 1/450 pour une fixation par plaque ordinaire inox, versus fixation par plaque verrouillée titane [14].

À titre d'exemple clinique, nous présentons le cas d'une pseudarthrose suppurée fistulisée d'humérus, ayant fait l'objet de multiples interventions chez une patiente de 82 ans (Fig. 24). Le germe était un *staphylococcus epidermidis* multirésistant. Après excision lavage, l'ostéosynthèse a été assurée par une plaque verrouillée en titane. Une antibiothérapie adaptée a été maintenue jusqu'à normalisation des tests biologiques. La consolidation a été obtenue sans problème.

Principes de pose

Au niveau de l'épiphyse

Réduction

Le principe de base de la réduction anatomique d'une fracture articulaire reste évidemment valable avec les ostéosyntheses par plaques verrouillées.

Direction des vis

Elle est imposée sur les plaques verrouillées « classiques », mais on voit se développer de plus en plus de matériels permettant d'obtenir un verrouillage avec une angulation variable. Ce concept souvent mis en avant par les fabricants correspond plus ou moins à une demande intuitive des chirurgiens, mais à l'expérience, on peut se demander s'il ne relève pas de la « fausse bonne idée ».

Dans une plaque épiphysaire prémodelée, la direction des vis imposée a été étudiée pour résoudre trois problèmes potentiels : c'est-à-dire pour éviter une effraction articulaire, un conflit entre les vis, ou un conflit extra-articulaire si la plaque est correctement placée sur l'épiphyse. Cela est particulièrement vrai pour éviter la pénétration des vis dans la fosse intercondyloïde du fémur distal par exemple. Enfin, sur certaines localisations comme le genou, la direction des vis est une aide précieuse au contrôle des axes. Ainsi, en cas de comminution métaphysaire, le positionnement des vis juxta-articulaires parallèle à l'interligne fémoro-tibial per-

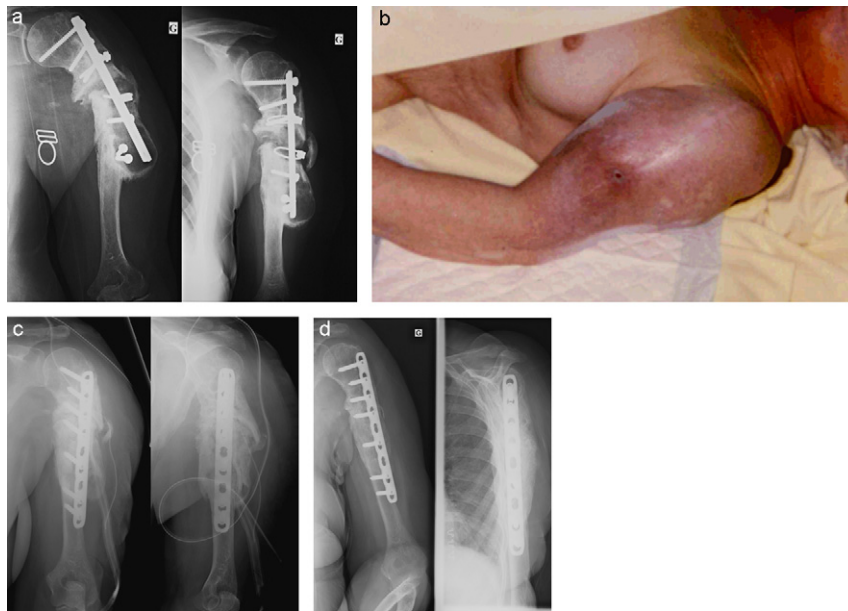


Figure 24 Pseudarthrose infectée d'humérus multi-perforée ; a : aspect radiologique ; b : fistule ; c : fixation par plaque verrouillée ; d : contrôle radio à 15 mois.

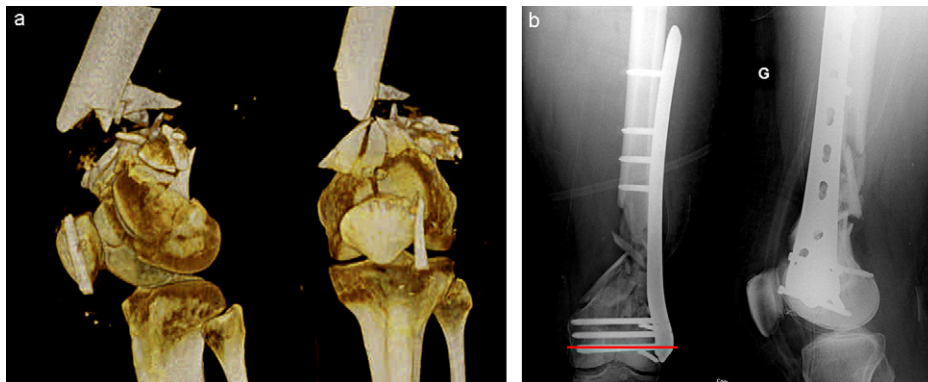


Figure 25 a : fracture comminutive de l'extrémité distale du fémur ; b : aide à la réduction en positionnant les vis épiphysaires, parallèles à l'interligne.

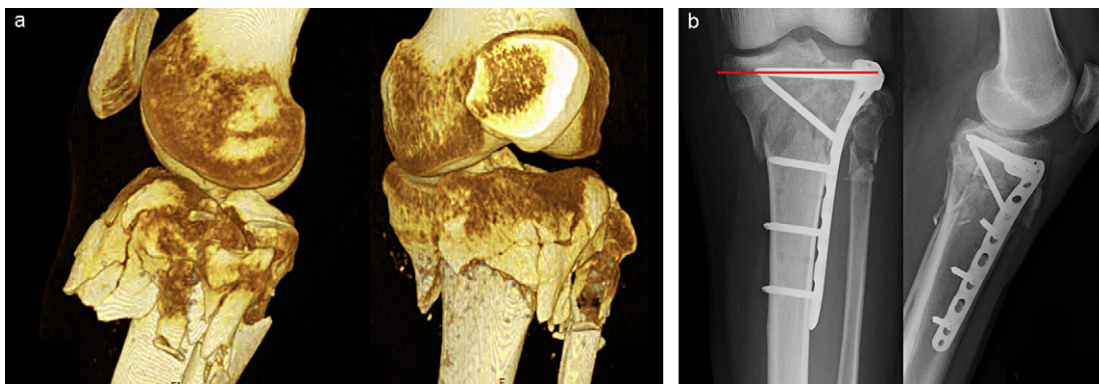


Figure 26 a : fracture comminutive du plateau tibial ; b : aide à la réduction en positionnant les vis épiphysaires, parallèles à l'interligne.

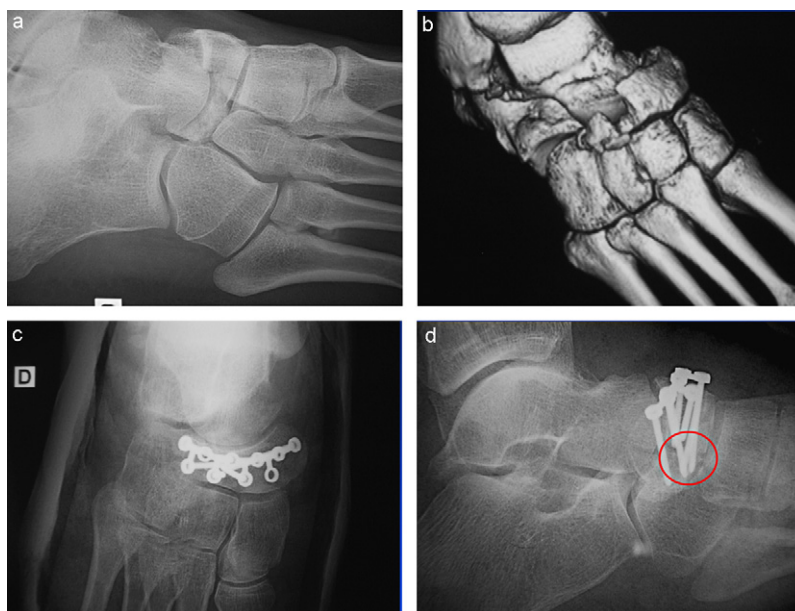


Figure 27 Fracture comminutive du naviculaire ; a : clichés standard ; b : reconstruction TDM 3D ; c : fixation par plaque verrouillée ; d : les vis risquent d’entrer en conflit du fait de la convexité de l’os.

met d’éviter tout défaut d’axe dans le plan frontal (Fig. 25 et 26).

La justification d’un système à angulation variable est souvent implicitement admise comme étant la possibilité de s’adapter à différents types fracturaires pour aller fixer tel ou tel fragment. En fait, cette notion est avant-tout valable pour les vis ordinaires qui doivent aller chercher une bonne prise dans les différents fragments qu’elles attirent contre la plaque. Les vis verrouillées travaillent d’une façon différente en réalisant une sorte de grille qui soutient les fragments réduits. La direction des vis à angulation fixe a généralement été étudiée pour qu’elles soutiennent le maximum de surface articulaire possible compte tenu de la forme de la plaque.

Par ailleurs, les dispositifs de verrouillage à angulation variable nécessitent en règle une plus grande épaisseur de l’implant, ce qui n’est généralement pas souhaitable à proximité d’une articulation. Enfin, et même si les tests mécaniques in vitro annoncés par les fabricants sont « bons », il n’y a pas à notre connaissance de normes en la matière et un certain recul clinique est certainement nécessaire pour juger de la stabilité de tel ou tel mécanisme, aussi ingénieux soit-il, par rapport aux systèmes de référence à angulation fixe.

En revanche, ce concept d’angulation variable devient particulièrement intéressant pour les plaques épiphysaires modelables et adaptables comme on commence à en rencontrer notamment, pour la cheville et le pied. Si la plaque est modelée sur un os convexe, ce qui est généralement le cas, avec une direction imposée les vis convergent et risquent d’entrer en conflit les unes avec les autres (Fig. 27). Par ailleurs, si la plaque est posée à proximité d’une articulation, il peut être difficile d’éviter une pénétration articulaire. Dans ce cas, le choix de l’angulation devient un critère essentiel.

Longueur des vis

Il s’agit d’un autre point qui différencie les vis verrouillées des vis ordinaires. Avec une vis ordinaire, il est parfois intéressant de prendre la « corticale » opposée pour essayer d’avoir le maximum de prise, mais cela est parfois délétère à l’origine d’un conflit avec les éléments de voisinage (tendons, ligaments). En revanche, la prise dans la « corticale » opposée n’est pas nécessaire avec les vis verrouillées car elles ne travaillent pas en arrachement. En pratique, avec une vis verrouillée, il n’est jamais nécessaire que la vis dépasse (Fig. 28) et il vaut mieux choisir une vis un peu courte qu’une vis un peu trop longue, ce qui met à l’abri de bien des problèmes. Il faut tout de même bien prendre en compte le type de la fracture car



Figure 28 Erreur de montage : avec une vis verrouillée au niveau épiphysaire, il est inutile de risquer un excès de longueur généralement mal toléré.

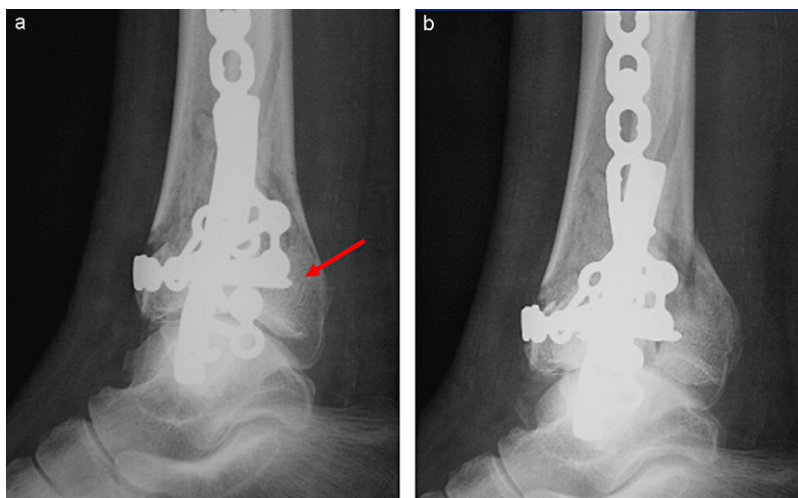


Figure 29 a : vis verrouillée trop courte pour fixer le fragment postérieur du pilon tibial ; b : déplacement secondaire.

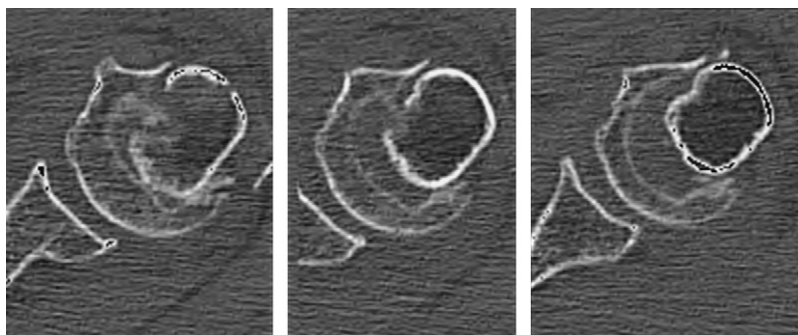


Figure 30 Coupes TDM d'une fracture de l'extrémité proximale de l'humérus chez une patiente âgée. L'os spongieux est réduit à une mince couche sous-chondrale.

une vis trop courte ne fixera pas du tout un fragment de petite taille sur le côté opposé (Fig. 29). La fixation au niveau de l'extrémité supérieure de l'humérus pose un problème spécifique. Chez la personne âgée et/ou ostéoporotique, la qualité de l'os spongieux de la tête humérale est assez médiocre et généralement la zone osseuse dans laquelle les vis peuvent trouver une prise acceptable est réduite à une mince couche d'os sous-chondral de moins de 1 cm d'épaisseur (Fig. 30). La longueur des vis est donc un élément déterminant de la stabilité de la fixation. Il faut vérifier en peropératoire que les vis atteignent bien l'os sous-chondral, à la limite de l'effraction articulaire (Fig. 31). Pour la même raison, la résistance à l'arrachement de ces vis qui travaillent uniquement sur leur extrémité est assez médiocre et il est donc souhaitable de privilégier un mode de synthèse avec des vis dans des directions très différentes.

Grefe osseuse

La greffe osseuse au niveau épiphysaire dans un but mécanique n'est pas nécessaire avec les plaques verrouillées. La stabilité est obtenue par l'effet « grille » des différentes vis juxta-articulaires qui soutiennent et fixent les fragments. En revanche, une greffe osseuse peut éventuellement être intéressante en métaphysaire, s'il existe une perte de substance osseuse, de façon à éviter qu'un tissu fibreux d'interposition ne perturbe la consolidation. Mais cette greffe ne peut être

envisagée que si elle ne risque pas de majorer la dévascularisation métaphysaire.

Au niveau diaphysaire

Les recommandations pratiques basées sur les conditions mécaniques que nous avons évoquées sont en cours de

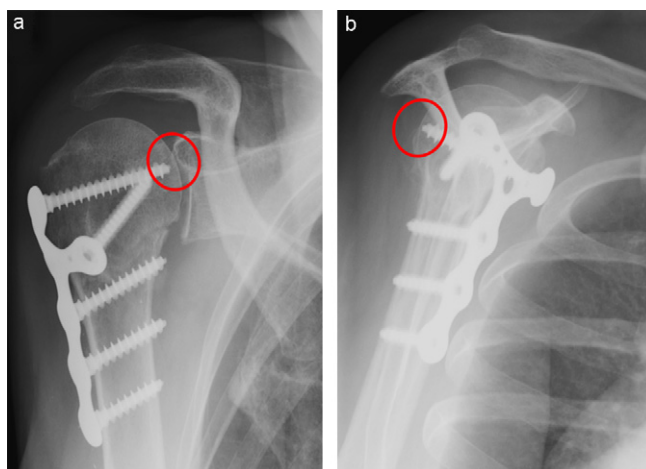


Figure 31 Fixation d'une fracture de l'humérus proximal. Les vis atteignent l'os sous-chondral ; a : dans le plan frontal ; b : dans le plan sagittal.

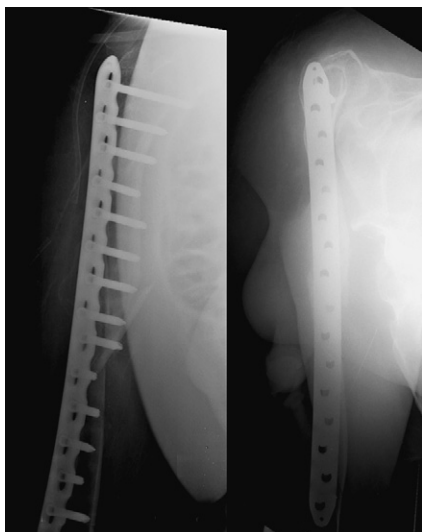


Figure 32 Nombre excessif de vis dans la fixation d'une fracture chez un malade mental.

validation en pratique clinique. De grandes séries seront nécessaires avant qu'elles puissent être érigées en dogme.

Il faut remarquer d'emblée qu'une plaque verrouillée est mécaniquement moins satisfaisante qu'un clou centromédullaire en raison de l'excentration des contraintes. La plaque verrouillée n'est donc en principe indiquée que si l'enclouage est impossible.

Réduction

La fixation par plaque verrouillée ne nécessite pas de réduction anatomique au niveau de la diaphyse, nous l'avons vu, et le type de réduction s'apparente plutôt à celui d'un enclouage, avec le respect des axes et de la longueur. Il existe tout de même une différence importante, car la pose d'un clou centromédullaire implique obligatoirement une certaine qualité de réduction « automatique » lors du passage du clou au niveau du foyer de fracture. L'enclouage peut donc améliorer notablement une réduction

approximative obtenue par manœuvres externes. Ce n'est pas le cas avec la plaque verrouillée et l'unique objectif n'est pas que la plaque soit bien fixée sur les deux extrémités osseuses. Il est tout de même nécessaire d'obtenir une réduction « satisfaisante » de la fracture. Il reste maintenant à déterminer ce qu'est une réduction « satisfaisante » et seule l'expérience collective et individuelle permettra à l'avenir d'établir des critères fiables. À tout le moins, il est évident que s'il existe une interposition de parties molles musculaires ou aponevrotiques entre les deux extrémités fracturaires, la consolidation ne pourra pas être obtenue. Par ailleurs, l'expérience de l'enclouage à foyer fermé montre que la consolidation fracturaire est obtenue plus facilement en cas de grande comminution que dans certaines fractures simples qui nécessitent une réduction plus précise. Enfin, l'expérience acquise avec les plaques verrouillées est déjà suffisante pour montrer que la qualité de la réduction ne doit pas être obtenue au prix d'une manipulation directe des fragments avec l'inévitable dévascularisation qu'elle suppose. L'utilisation de davier à pointes, en percutané ou à travers les masses musculaires après un abord superficiel, est de nature à permettre une réduction acceptable sans retentissement sur la vitalité osseuse.

Pose de la plaque

Le modelage anatomique d'une plaque verrouillée n'est pas utile car l'ostéosynthèse ne nécessite pas un contact intime entre l'os et l'implant. Les plaques prémodelées ont généralement une forme qui permet de les positionner à proximité de l'os sans craindre un déplacement de la réduction au moment du vissage. Malgré tout, et surtout lorsqu'on travaille sous contrôle fluoroscopique, il faut s'assurer que les extrémités de la plaque sont en regard de la diaphyse. Il est donc recommandé de commencer la fixation par les extrémités. L'utilisation de davier doit être évitée si possible, avec toujours la préoccupation de préserver le plus possible la vascularisation osseuse. Au total, il doit s'agir d'une chirurgie « mini-invasive », même à ciel ouvert.

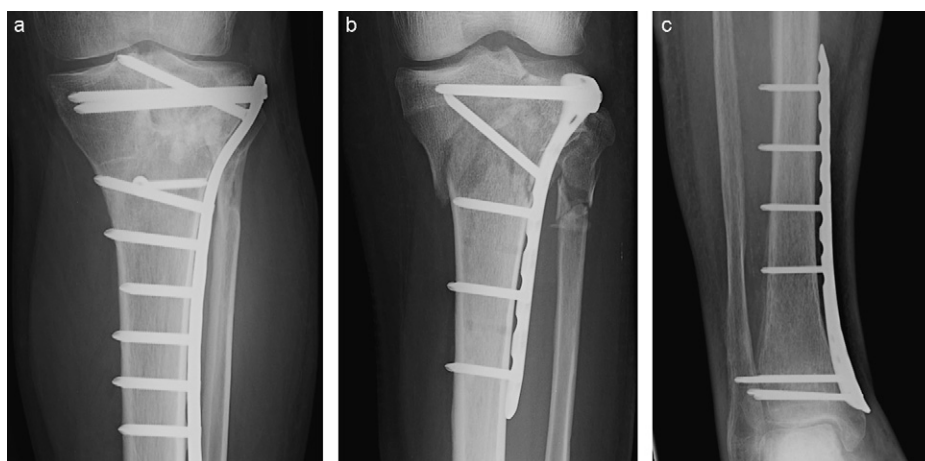


Figure 33 a : nombre excessif de vis diaphysaires sur une ostéosynthèse du plateau tibial ; b : trois vis diaphysaires espacées suffisent sur un os de qualité normale ; c : quatre vis diaphysaires espacées sont indiquées en cas d'ostéoporose.

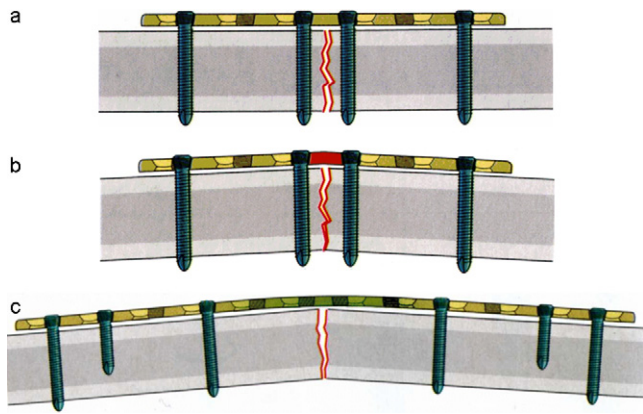


Figure 34 En cas de fracture simple ; a : le montage avec des vis proches du foyer ; b : entraîne des contraintes excessives sur l'implant ; c : il faut laisser de trois à quatre trous inoccupés. D'après Wagner M, Frigg R [1], avec l'autorisation de l' AO International.

Nombre de vis

L'erreur la plus commune dans les débuts de l'expérience consiste à mettre toutes les vis (Fig. 32). Il est initialement difficile de se détacher de cette habitude prise avec les

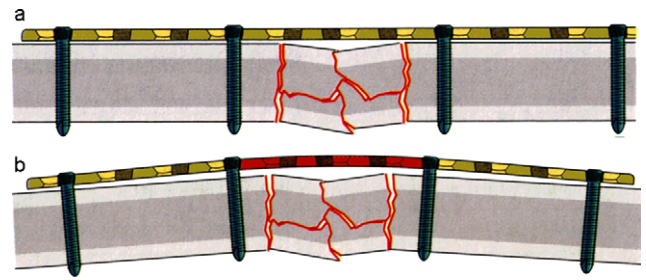


Figure 35 En cas de fracture comminutive ; a : le montage avec les vis au plus près du foyer de fracture ; b : limite l'excès de mobilité sans surcharger la plaque. D'après Wagner M, Frigg R [1], avec l'autorisation de l'AO International.

ostéosynthèses classiques. Indépendamment du coût qui est un élément non négligeable, nous avons vu que la solidité du montage généralement suffisante avec trois vis dans un os « normal » n'augmente pratiquement pas au-delà de quatre vis par fragment diaphysaire. En revanche, nous avons vu aussi que la qualité de la fixation augmente avec la longueur de l'implant. En pratique, on utilise donc un implant de longueur suffisante pour laisser libre

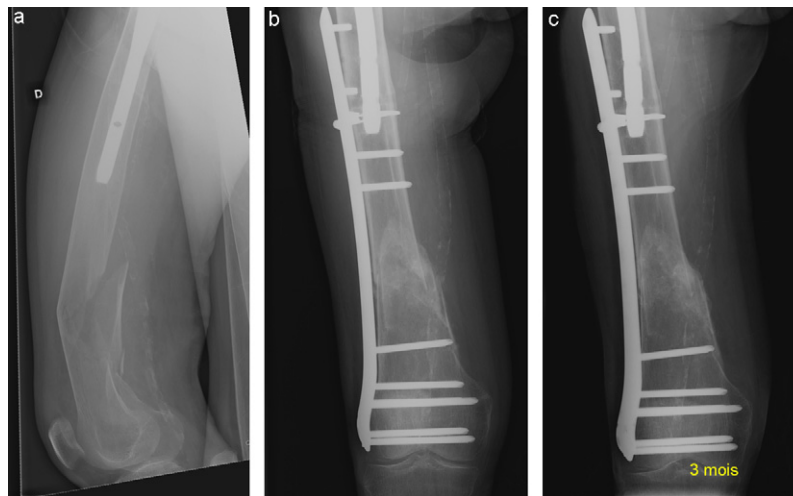


Figure 36 Fracture de l'extrémité distale du fémur ; a : radio-initiale avec troisième fragment ; b : contrôle postopératoire ; c : consolidation à trois mois.

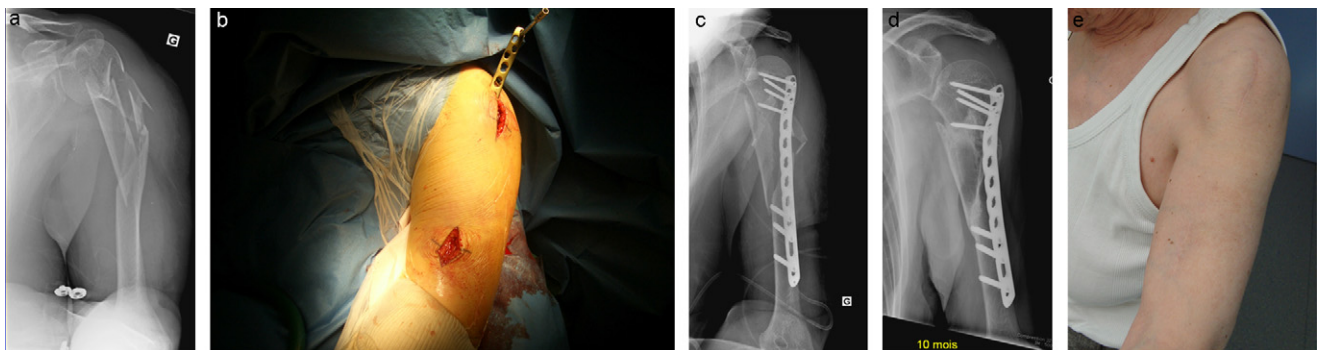


Figure 37 Femme de 68 ans, fracture complexe de l'humérus ; a : radio initiale ; b : vue peropératoire avec deux abords limités ; c : contrôle postopératoire ; d : radio à dix mois ; e : aspect clinique à dix mois.

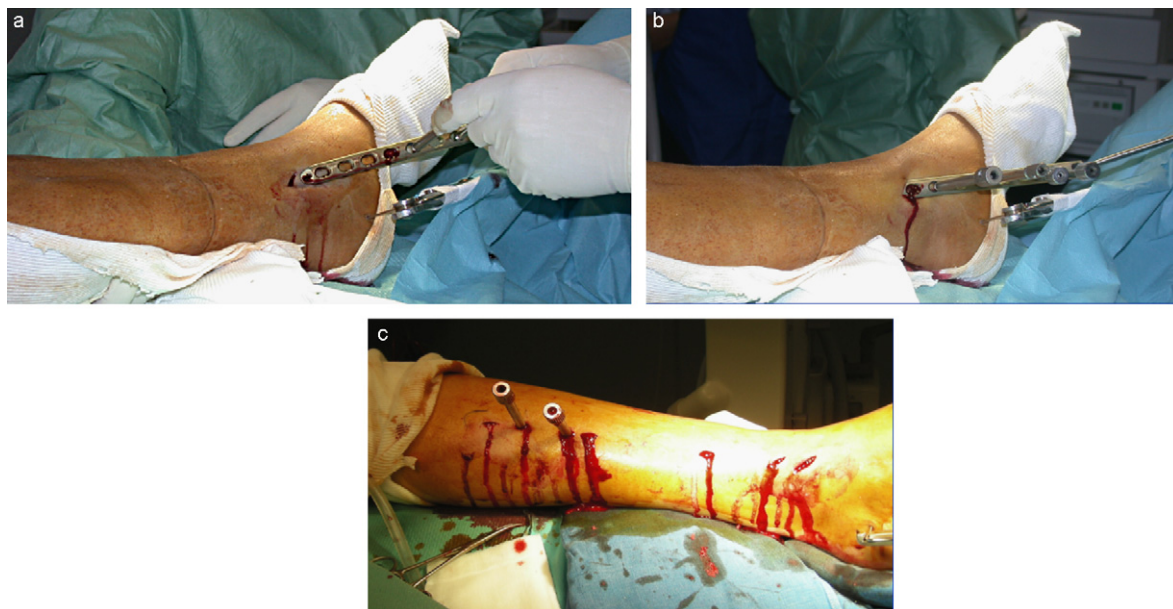


Figure 38 Ostéosynthèse percutanée du tibia distal ; a : incision supramalléolaire ; b : la plaque est glissée sous la peau de la face médiale du tibia ; c : les vis sont posées par des contre-incisions.

un trou sur deux au niveau de la fixation diaphysaire (Fig. 33).

Position des vis par rapport au foyer de fracture

En cas de fracture simple (Fig. 34), il est recommandé de laisser trois trous inoccupés au niveau du foyer de fracture pour augmenter l'élasticité du système (et donc favoriser la consolidation dans l'optique d'une ostéosynthèse biologique) et éviter des contraintes excessives sur une petite partie de l'implant ce qui conduirait à sa rupture prématurée.

En cas de fracture comminutive (Fig. 35) ou étendue sur une hauteur plus importante, on peut mettre des vis à proximité foyer pour ne pas faire une fixation trop souple, tout en évitant les contraintes excessives sur l'implant (Fig. 36).

À titre scientifique, il est même possible d'établir un indice de densité de vis par rapport au nombre de trous [1,15] Celui-ci doit être de 50% au niveau de la fixation diaphysaire, de 0 en regard de la zone fracturaire et peut être notablement plus élevé au niveau épiphysaire qui n'obéit pas aux mêmes principes, l'essentiel étant à ce niveau, d'obtenir une fixation parfaitement stable.

Technique mini-invasive

Nous avons vu que pour obtenir une fixation optimale, une grande longueur de plaque est nécessaire. Cela n'est pas un problème avec les plaques verrouillées et dans le doute, il vaut mieux choisir une plaque plus longue que trop courte. Les vis extrêmes peuvent facilement être mises en percutané, par une moucheture en dehors de l'incision principale, juste pour pouvoir introduire le viseur dans la plaque. Il importe seulement de vérifier que la plaque est bien en face de la diaphyse. On peut également mettre plusieurs vis en transmusculaire, après avoir glissé la plaque sous le muscle, si un abord superficiel a été nécessaire. La logique de ce concept de respect des parties molles conduit

tout naturellement à la technique *minimally invasive plate osteosynthesis* (MIPO) [1,10].

Il est ainsi possible (Fig. 37) de glisser une plaque contre l'os par un minime abord, un peu comme pour un enclouage, et de faire si nécessaire une contre-incision à distance pour contrôler le positionnement et la fixation de la plaque. Cette technique qui nécessite une certaine expérience ne relève pourtant pas de la prouesse technique et peut être envisagée dans certaines localisations en fonction des données anatomiques régionales.

La localisation sur la diaphyse humérale illustrée dans cet exemple respecte en proximal les contraintes de la voie d'abord transdeltôïdienne classique, et en distal, l'abord permet de positionner la plaque dans le sillon bicipital latéral en dedans du nerf radial qu'il n'est pas nécessaire de récliner ni de soulever. Le principal intérêt de la technique n'est pas celui de la taille des incisions, mais bien celui du respect des parties molles, comme dans un traitement orthopédique, mais sans en avoir les inconvénients. De façon provocatrice, C. Sommer (cité en [1], page 46) a même pu dire : « la peau protège la fracture du chirurgien ».

La face médiale du tibia est accessible à une technique transcutanée pure, particulièrement pour les fractures du quart distal. Après réduction en s'aidant au besoin d'un dispositif de traction ou d'un fixateur externe, la plaque est glissée sous la peau et vissée en percutané (Fig. 38) ; il s'agit d'une bonne alternative à l'enclouage pour les fractures très distales (Fig. 39).

L'extension de ce concept à des sites moins directement accessibles a conduit l'AO à développer l'ancillaire de la technique LISS, au niveau de l'extrémité distale du fémur [6] et de l'extrémité proximale du tibia. La plaque, munie d'un arceau viseur, est introduite par un court abord à proximité de l'articulation (Fig. 40), avec éventuellement réduction d'une fracture articulaire. La fixation diaphysaire est faite par l'intermédiaire de l'arceau comme un verrouillage de clou.



Figure 39 Femme de 37ans fractures bilatérales des tibias distaux ; a : radios initiales ; b : état cutané au quatrième jour ; c : radios à six mois ; d : état clinique à six mois.

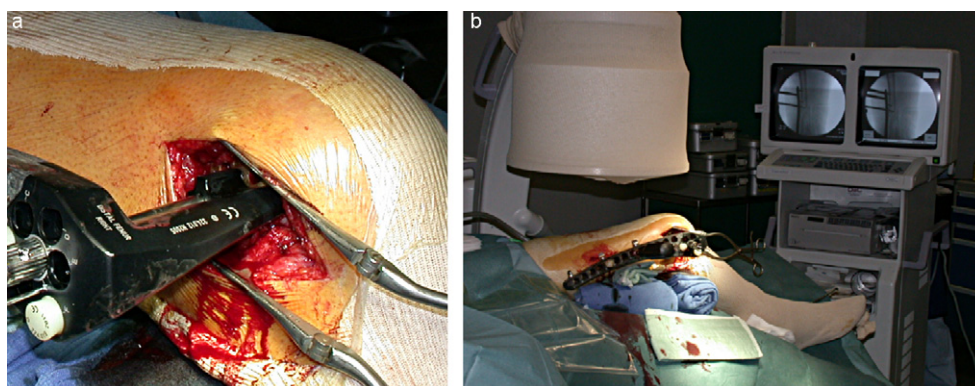


Figure 40 Ostéosynthèse du fémur distal par la technique LISS ; a : abord limité juxta-épiphysaire ; b : verrouillage diaphysaire au moyen de l'arceau de visée.

Fractures périprothétiques

Dans ces fractures au pronostic particulièrement sévère avec 30% de complications [16], le concept des plaques verrouillées trouve tout son intérêt. Au contact de la tige, la fixation peut être obtenue par des vis monocorticales, éventuellement associées à un cerclage pour lutter contre l'arrachement (Fig. 41). Ces fractures surviennent habituellement sur un os de mauvaise qualité dans lequel la fixation obtenue avec une plaque verrouillée est bien plus solide qu'avec une plaque conventionnelle. Dans la majorité des cas, la technique LISS permet d'éviter un abord étendu particulièrement agressif (Fig. 42). L'ancillaire prévu pour l'extrémité distale du fémur peut également être utilisé pour le fémur proximal.

Impact économique

Un des principaux obstacles à l'utilisation des plaques verrouillées est leur coût élevé, c'est du moins le principal

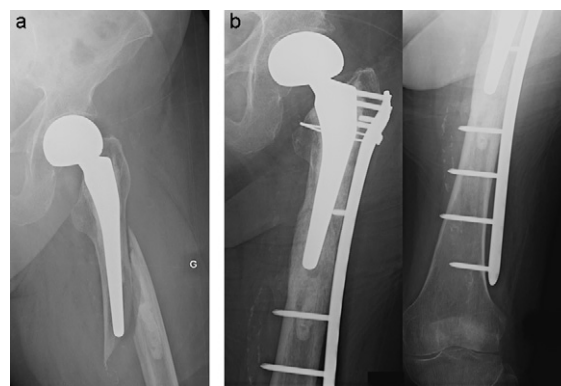


Figure 41 a : fracture périprothétique du fémur proximal ; b : fixation par plaque verrouillée avec vis trochantériennes, vis monocorticales et cerclage.

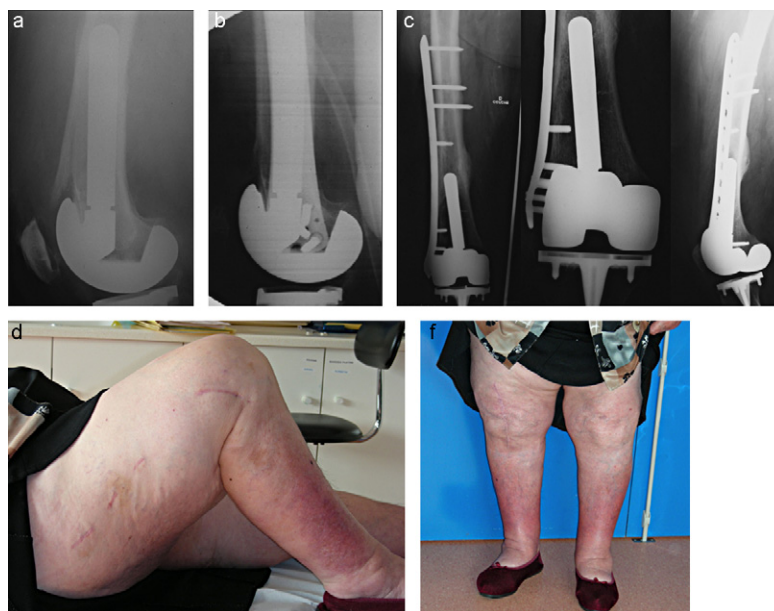


Figure 42 Fracture périprothétique du fémur distal; a : radio initiale ; b : contrôle postopératoire, mise en charge immédiate ; c : contrôle radio à cinq mois ; d, e : résultat clinique à cinq mois.

argument mis en avant pour en limiter l'utilisation. Nous avons donc entrepris une étude de cas théoriques issus de cas réels représentatifs afin d'évaluer concrètement en France le prix du matériel dans la prise en charge globale de la maladie pour la société. Nous avons utilisé des cas simplifiés sans comorbidités afin d'en faciliter la compréhension. Nous avons colligé pour chaque cas les données concernant les coûts de l'hospitalisation, des soins ultérieurs (pansements, traitements médicaux, consultations de suivi, radiographies de contrôle, séances de kinésithérapie), celui de l'arrêt de travail en indemnité journalière et en manque à gagner pour les organismes sociaux, et/ou celui de l'hospitalisation en convalescence. Le prix de l'implant (prix moyen facturé à un hôpital par le fabricant) a été comparé au total (Tableau 1).

Le cas n° 1 concerne une femme de 53 ans enseignante qui a présenté une fracture de l'extrémité distale du radius avec refend articulaire ostéosynthésée par plaque verrouillée

(Fig. 43). Le matériel représente ici 8 % du coût global de la maladie estimée à 9840 €.

Le cas n° 2 concerne une femme de 57 ans cadre supérieur dans une banque qui a présenté une fracture céphalotubérotoriaire de l'épaule, ostéosynthésée par plaque verrouillée (Fig. 44). Le matériel représente 4 % du coût global estimé à 18 800 €.

Le cas n° 3 concerne une femme de 72 ans retraitée et autonome à son domicile qui a présenté une fracture sus- et intercondyloire de l'extrémité distale de l'humérus ostéosynthésée par double plaque verrouillée (Fig. 45). Le matériel représente 11 % du coût global estimé à 14 800 €.

Le cas n° 4 concerne un patient âgé de 68 ans qui a bénéficié d'une arthroplastie totale de hanche huit ans auparavant et qui lors d'une chute a présenté une fracture périprothétique laquelle a été ostéosynthésée par plaque verrouillée en mini-invasif (Fig. 46). Le matériel représente 7 % du coût global estimé à 20 600 €.

Tableau 1 Coût estimé simplifié de six cas démonstratifs.

	Hospitalisation (€)	Soins ultérieurs (€)	AT/Soins de suite (€)	Total (€)	Prix du matériel (€)	% du total
Cas n° 1 radius distal	2400	600	6840	9840	800	8
Cas n° 2 humérus proximal	3900	700	14 200	18 800	700	4
Cas n° 3 humérus distal	3200	1100	10 500	14 800	1700	11
Cas n° 4 fracture périprothétique	3900	2000	14 700	20 600	1400	7
Cas n° 5 plateau tibial	3500	1800	8500	13 800	800	6
Cas n° 6 pilon tibial	3900	1500	18 020	23 420	1200	5

La colonne « Hospitalisation » est le prix du groupe homogène des malades (GHM) versé par l'organisme payeur. La colonne « soins ultérieurs » représente le prix des pansements, traitements médicaux, consultations de suivi, radiographies de contrôle, séances de kinésithérapie. La colonne « AT/Soins de suite » représente les indemnités versées par les organismes sociaux et leur manque à gagner, et/ou l'hospitalisation en convalescence. Le « Prix du matériel » est le prix moyen facturé à un hôpital par le fabricant.



Figure 43 Fracture du radius distal ; a : radio initiale ; b : ostéosynthèse par plaque verrouillée.

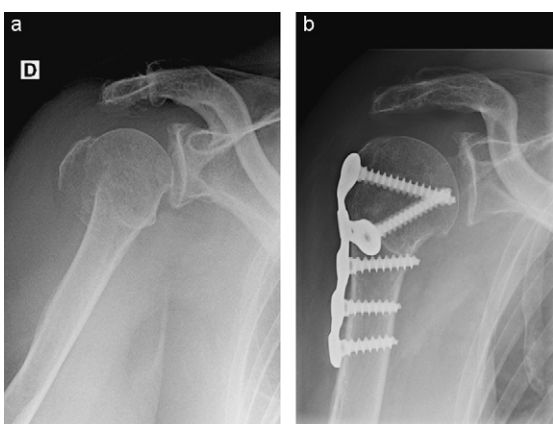


Figure 44 Fracture de l'humérus proximal ; a : radio initiale ; b : fixation par plaque verrouillée.

Le cas n° 5 concerne un patient de 25 ans mécanicien, qui au cours d'un accident de la voie publique a présenté une fracture du plateau tibial latéral ouverte Gustilo 2 ostéosynthésée par plaque verrouillée (Fig. 47). Le matériel représente 6% du coût global estimé à 13 800 €.

Le cas n° 6 concerne un homme de 35 ans couvreur, qui au cours d'un accident de travail a présenté une fracture complexe du pilon tibial ostéosynthésée par plaque ver-

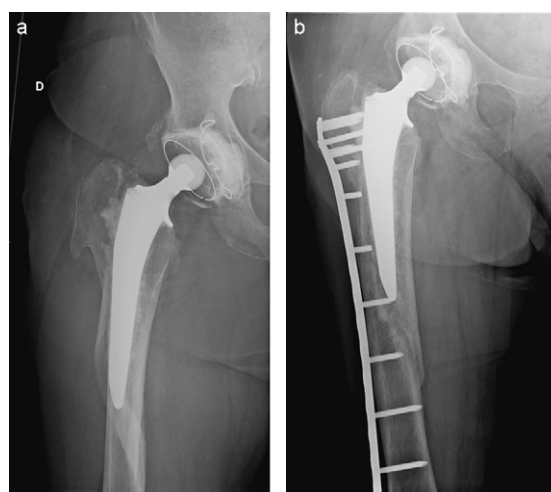


Figure 46 Fracture périprothétique du fémur proximal ; a : radio initiale ; b : fixation par plaque verrouillée.

rouillée (Fig. 48). Le matériel représente 5% du coût global estimé à 23 420 €.

Cette étude n'a évidemment pas de valeur statistique, mais elle permet d'avoir un ordre d'idée du coût de l'implant par rapport au coût global de la prise en charge

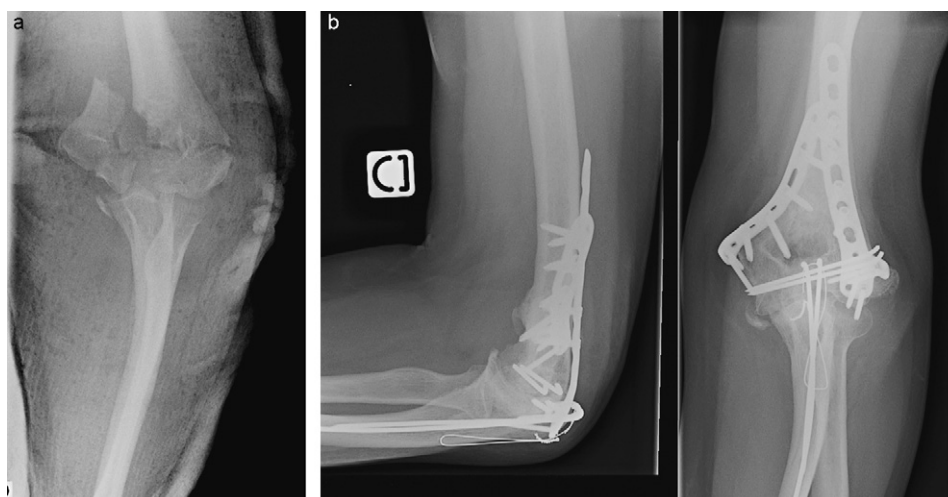


Figure 45 Fracture de l'humérus distal ; a : radio initiale ; b : fixation par plaque verrouillée.

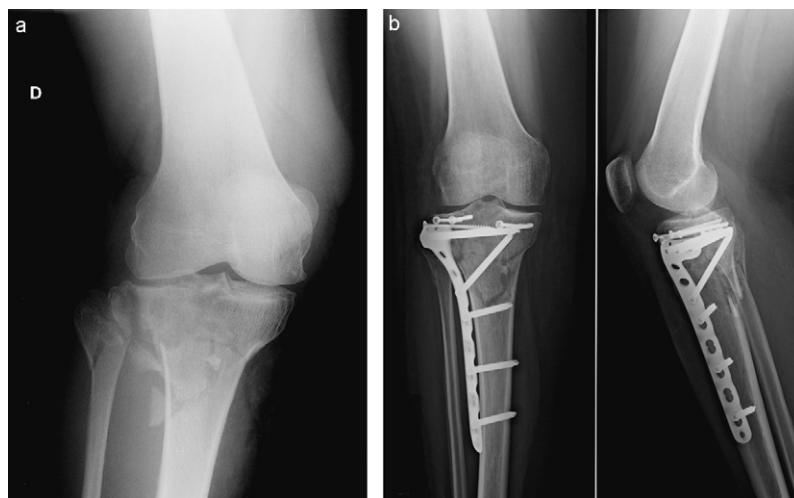


Figure 47 Fracture du plateau tibial ; a : radio initiale ; b : fixation par plaque verrouillée.

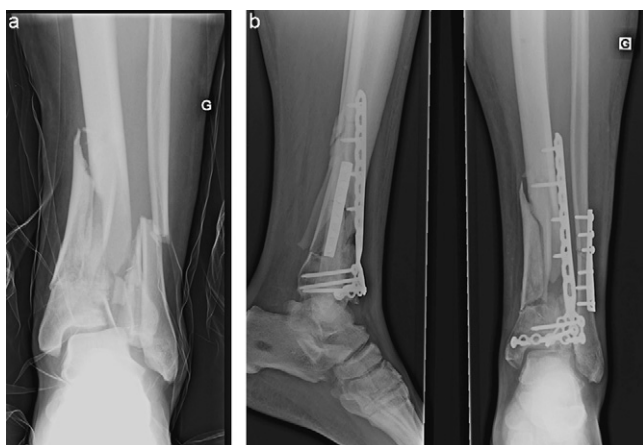


Figure 48 Fracture du pilon tibial ; a : radio initiale ; b : fixation par plaque verrouillée.

du traumatisme. Il convient de relativiser le coût élevé de cet implant qui représente en fait généralement moins de 10% du coût global. Nous avons volontairement fait abstraction des comorbidités qui viennent fréquemment alourdir

la prise en charge, avec un coût global bien supérieur. Seule une étude comparative de grande ampleur permettrait d'avoir une idée réelle du retentissement économique de l'utilisation d'une plaque verrouillée. Quoiqu'il en soit, compte tenu de l'énorme bénéfice clinique évident pour de nombreuses applications le rapport coût/bénéfice est vraisemblablement très favorable.

Le problème de l'ablation

L'ablation de matériel est un sujet fort débattu comme en témoigne la conférence d'enseignement de la Sofcot de 2005 [17]. Celle des plaques verrouillées semble la plus redoutée. Le problème est le blocage des vis verrouillées dans la plaque, qualifié de « soudure à froid ». Cependant, aucune fusion n'a été retrouvée et le terme de grippage est plus adapté.

La littérature sur ce sujet est rare. La fréquence des difficultés d'ablation va de 0% [18] à 4,25% [11] et 17% [19] pour les vis de diamètre 5mm, et de 8,6% pour les vis de diamètre 3,5mm (contre 0,5% en cas de vis non verrouillées) [18] Ainsi, même si sur la seule étude com-

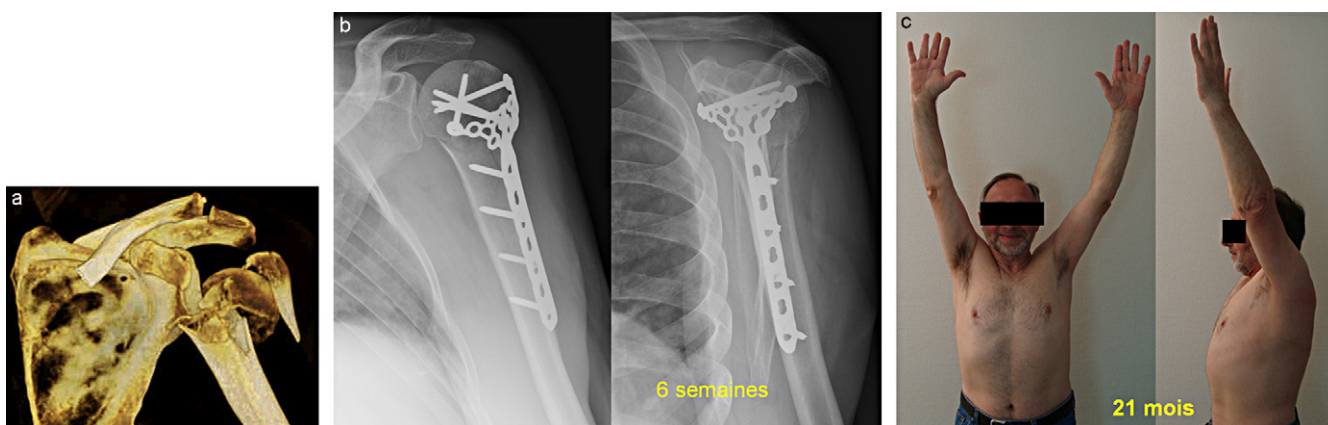


Figure 49 Fracture complexe de l'humérus proximal chez un homme de 61 ans ; a : reconstruction TDM 3D ; b : fixation par plaque verrouillée, rééducation immédiate ; contrôle à six semaines : pas de déplacement secondaire ; c : résultat clinique à 20 mois.

parative [18] les vis de 3,5 mm semblent surtout en cause, celles de diamètres plus élevés ne sont pas exemptes de problèmes.

Si un problème survient, il faut d'abord tenter de dévisser par un autre moyen, puisqu'en premier c'est l'empreinte qui se déforme. Pattison et al. [20] proposent un artifice peu convaincant pour améliorer la congruence du tournevis et de l'empreinte : envelopper l'extrémité du tournevis par l'emballage métallique d'une bobine de fil. Plus efficace est le recours à une vis d'extraction conique à pas inversé [18,19] dite « tourne-à-gauche ». Cet instrument est en matériau extrêmement dur et se casse facilement [19]. Il faut donc l'utiliser exactement dans l'axe de la vis pour éviter les contraintes en flexion.

On peut aussi essayer de dévisser en bloc la vis et la plaque, soit en tordant la plaque et en l'utilisant comme poignée, avec cependant un risque de fracture iatrogène [18], soit avec la plaque intacte si la localisation s'y prête.

En cas d'échec, il faut désolidariser la vis du reste de la plaque soit par destruction de la tête [21], soit par découpe de la plaque autour de la vis [18,19]. La destruction de la tête de vis se fait par méchage. Quelques points techniques sont importants. Il n'est pas nécessaire de détruire toute la tête avec une mèche large, mais bien de la désolidariser de l'âme en forant dans l'empreinte jusqu'à l'âme de la vis. Il faut une mèche parfaitement adaptée, du diamètre de l'âme de vis et à usage unique pour un tranchant optimal. Le détail le plus méconnu est la vitesse de rotation. Il faut forer très lentement, en exerçant une pression ferme et avec un arrosage permanent. De cette façon, la mèche pénètre facilement, en soulevant de grands copeaux spirales. À l'inverse, une vitesse trop élevée est inefficace et conduit rapidement à la destruction de l'extrémité de la mèche en raison de l'échauffement.

La diffusion des débris métalliques peut être maintenue par des compresses ou de la cire chirurgicale.

Il convient surtout de souligner que quel que soit l'implant, l'ablation commence le jour de la pose en respectant la technique. Dans le cas présent, il faut recourir aux viseurs afin de bien centrer la vis, serrer de façon adaptée grâce au tournevis dynamométrique et utiliser des empreintes de tournevis en bon état.

Quant à savoir s'il est des modèles à risque, les rares soucis rapportés l'ont été avec les plaques Synthès®. Il faut cependant souligner qu'il s'agit du matériel le plus ancien, a priori le plus posé et surtout le plus publié. Certains fabricants concurrents expliquent ce problème du fait du type de verrouillage ou de la forme de la tête de vis (conique), mais ces références n'ont pas passé le filtre d'un comité de lecture.

Quant au matériau utilisé, le titane est régulièrement accusé particulièrement pour le matériel Synthès®. Les mêmes réflexions modèrent l'impact de cette assertion quant à la marque mise en cause. Cependant, le titane semble plus propice au grippage d'autant que des difficultés à desserrer des bouchons d'extension de clou ont aussi été rapportés avec ce type de matériau [22,23].

Pour ce qui est du matériel Surfix® aucun problème n'a été rapporté dans la littérature. Là encore, il convient d'utiliser le tournevis ad hoc pour éviter de dévisser ensemble la vis et le contre-écrou.

Conclusion

L'histoire de la plaque verrouillée dans son utilisation actuelle est encore bien récente. C'est une révolution, mais comme toutes les révolutions elle devra être confrontée désormais à l'épreuve du temps. Les recommandations pratiques initialement basées sur des considérations théoriques expérimentales sont en cours de validation et d'« affinage » par l'expérience clinique quotidienne. On est encore un peu loin des notions validées par des dizaines d'années d'expérience dans les ostéosyntheses par plaques conventionnelles, mais d'ores et déjà ce nouveau type de fixation rend des services inestimables dans de nombreux domaines où elles trouvaient leurs limites. Un des plus spectaculaire est probablement celui de la fixation des fractures épiphysaires complexes (Fig. 49).

Conflit d'intérêt

Patrick Cronier : Ex membre du Foot and ankle Expert Group de l'AO-ASIF (association à but non lucratif mais ayant des liens avec le producteur Synthès®); consultant non rémunéré de l'AO International; conférences: invitations en qualité d'intervenant pour les cours de l'AO International.

Guy Piétu, Nicolas Bigorre, Florian Ducellier : Invitation en tant qu'auditeur aux cours de l'AO International, prise en charge des frais de voyage et d'hébergement par Synthès®.

Romain Gérard : invitations en qualité d'intervenant pour les cours de l'AO International.

Colin Dujardin : Interventions ponctuelles en tant que consultant rémunéré pour Synthès® – France; conférences: invitations en qualité d'intervenant pour les cours de l'AO International.

Références

- [1] Wagner M, Frigg R, editors. AO manual of fracture management, Internal fixators, concept and cases using LCP and LISS. Stuttgart. New York: Thieme; 2006.
- [2] Russell TA. An historical perspective of the development of plate and screw fixation and minimally invasive fracture surgery with a unified biological approach. *Tech Orthop* 2007;22:186–90.
- [3] Ramotowski W, Granowski R. Zespol, an original method of stable osteosynthesis. *Clin Orthop Relat Res* 1991;272:67–75.
- [4] Süreer P. Un nouveau matériel d'ostéosynthèse: la plaque à ancrage « Surfix® »: son utilisation dans les ostéosyntheses métaphyso-épiphysaires du genou. *Ann Orthop Ouest* 1995;27:125–8.
- [5] Auer J, Bishop N, Bresina SJ, et al. Point contact fixator Part I. Scientific background, design and application. *Injury* 1995;26(Suppl 2):B1–50.
- [6] Frigg R, Appenzeller A, Christensen R, et al. The development of the distal femur less invasive stabilisation system. *Injury* 2001;32:SC24–31.
- [7] Sommer C. Locking compression plate – LCP – A new AO principle. *Injury* 2003;34(Suppl 2):1–76.
- [8] Kolodziej P, Lee FS, Patel A, Kassab SS, Shen KL, Yang KH, et al. Biomechanical evaluation of the Schuhl nut. *Clin Orthop* 1998;347:79–85.
- [9] Blatter G, Weber BG. Wave plate osteosynthesis as a salvage procedure. *Arch Orthop Trauma Surg* 1990;109:330–3.

- [10] Farouk O, Krettek C, Miclau T, Schandelmaier P, Guy P, Tscherne H. Minimally invasive plate osteosynthesis and vascularity: preliminary results of a cadaver injection study. *Injury* 1997;28(Suppl 1):A7–12.
- [11] Cole PA, Zlowodzki M, Kregor PJ. Treatment of proximal tibia fractures using the less invasive stabilization system. *J Orthop Trauma* 2004;18:528–35.
- [12] Kregor PJ. Less invasive stabilization system for the tibia. *Injury* 2003;34(Suppl 1):S1–46.
- [13] Stoffel K, Dieter U, Stachowiak G, Gachter A, Kuster MS. Biomechanical testing of the LCP—how can stability in locked internal fixators be controlled. *Injury* 2003;34:SB11–9.
- [14] Perren SM. Evolution of the internal 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;84B:1093–110.
- [15] Gautier E, Sommer C. Guidelines for the clinical application of the LCP. *Injury* 2003;34:SB63–76.
- [16] Laffargue P, Soenen M, Pinoit Y, Migaud H. Mortalité, morbidité et facteurs pronostiques des fractures fémorales périprothétiques après arthroplastie de hanche: étude prospective multicentrique de 115 cas. *Rev Chir Orthop* 2006;92(Suppl 5), 2S64-2S65.
- [17] Bell JC. Ablation du matériel d'ostéosynthèse. Cahier d'enseignement de la Sofcot, 87. Paris: Elsevier; 2005. p. 21–43.
- [18] Bae JH, Oh JK, Oh CW, Hur CR. Technical difficulties of removal of locking screw after locking compression plating. *Arch Orthop Trauma Surg* 2009;129:91–5.
- [19] Georgiadis GM, Gove NK, Smith AD, Rodway IP. Removal of the less invasive stabilization system. *J Orthop Trauma* 2004;18:562–4.
- [20] Pattison G, Reynolds J, Hardy J. Salvaging a stripped drive connection when removing screws. *Injury* 1999;30: 74–5.
- [21] Hamilton P, Doig S, Williamson O. Technical difficulty of metal removal after LISS plating. *Injury* 2004;35:626–8.
- [22] Freeman BJ, Atkins RM. End caps for intramedullary nail: a help or a hindrance? *J Orthop Trauma* 1998;12:299–300.
- [23] Woodruff MJ, Hanson JR, Shaw DL. Intramedullary tibial nails: a novel approach to removal when the standard method is not possible. *Injury* 2003;34:789–90.