UFR DE SANTÉ DE ROUEN NORMANDIE

ANNÉE 2022 N°

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

Par

REGNARD Sixtine

Née le 25 novembre 1994 à Angers

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 20 OCTOBRE 2022

ÉVALUATION RADIOGRAPHIQUE DE LA CONSOLIDATION DU TUBERCULE MAJEUR APRÈS HÉMIARTHROPLASTIE PROTHÉTIQUE PAR IMPLANT-FRACTURE ANATOMIQUE DANS LE TRAITEMENT DES FRACTURES COMPLEXES DE L'HUMÉRUS PROXIMAL

Président de jury

Monsieur le Pr Dujardin

Directeur de thèse

Monsieur le Pr Duparc

Membres du jury

Messieurs les Pr Maynou, Pr Clavert, Dr Courage

L'auteur déclare n'avoir aucun conflit d'intérêt quelconque pour aucun fabricant ou industriel décrit dans ce travail.

PLAN

INTRODUCTION	18
MATÉRIEL ET MÉTHODE	49
RÉSULTATS	55
DISCUSSION	63
MÉTA-ANALYSE	66
CONCLUSION	76
OUVERTURE	78
BIBLIOGRAPHIE	91
ANNEXES	97
ABSTRACT	98
RÉSUMÉ	99

INTRODUCTION

Le développement et l'utilisation des prothèses d'épaule anatomiques spécifiques des fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus ont été justifiés par la recherche d'une meilleure consolidation des tubercules. L'espoir d'une reconstitution de la coiffe des rotateurs capable d'aboutir à une meilleure récupération fonctionnelle est l'objectif. Cet aspect spécifique des implants dits « implants-fractures » conduit à une évaluation de la consolidation des tubercules de l'humérus.

I. <u>GÉNÉRALITÉS SUR LES FRACTURES D'ÉPAULE</u>

1. Caractéristiques anatomiques

◆ Ostéologie

La partie proximale de l'humérus comprend la tête, le col anatomique, les tubercules majeurs et mineurs, le col chirurgical et la partie supérieure de la diaphyse humérale.

La tête forme une demi-sphère orientée vers le haut et vers l'arrière : rétroversion d'une vingtaine de degrés par rapport à l'axe trans-épicondylien.

Elle s'articule avec la cavité glénoïdale formant une articulation de type sphéroïde ou énarthrose.

Les tubercules sont des surfaces proéminentes à la partie proximale de l'humérus, sièges de l'insertion des 4 muscles de la coiffe des rotateurs.

Le tubercule majeur est latéral et reçoit les insertions des muscles supraépineux, infraépineux et petit rond.

Le tubercule mineur, plus médial, délimite la zone d'insertion du muscle subscapulaire.

Un sillon sépare les deux tubercules appelé sillon intertuberculaire par lequel passe le chef long du biceps brachial. Angibaud et al. [1] et Kontakis et al. [2] jugent que ce sillon est un repère fiable pour déterminer la rétroversion à donner à l'implant. Aligner l'aileron latéral de la prothèse avec l'axe épicondylien du coude à 20° de rétroversion de manière systématique est une manière fiable mais systématique de considérer la rétroversion de la tête humérale.

Myologie

L'étude des insertions musculaires est utile pour comprendre le déplacement des fractures et peuvent préciser des repères lors de l'implantation d'une prothèse.

D'après l'étude anatomique de Mochizuki [4] la zone d'insertion du tendon infraépineux sur le tubercule majeur est nettement prédominante par rapport à celle du tendon supraépineux (figure 1). Ainsi en cas de fracture détachant le tubercule majeur, le déplacement se fait vers l'arrière, plus que vers le haut.

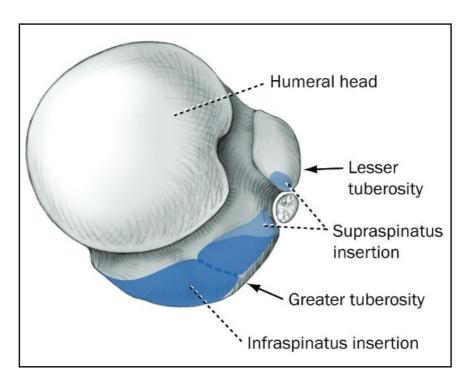


Figure 1. Insertion du tendon infra épineux sur plus de la moitié du tubercule majeur [4].

Le petit rond s'insère également sur le tubercule majeur.

Ainsi le tubercule majeur livre insertion aux rotateurs latéraux de l'épaule (figure 2). En cas de fracture et de déplacement du tubercule majeur, la perte de fonction des muscles s'insérant dessus handicape la vie de tous les jours pour manger, se coiffer, tenir un téléphone à l'oreille, etc. [5].

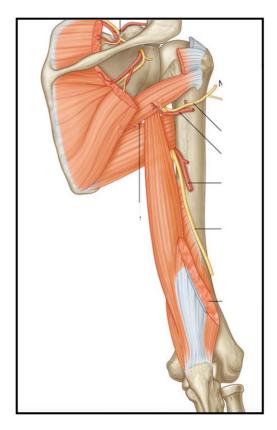


Figure 2. Illustration montrant les muscles s'insérant sur le tubercule majeur, à savoir les muscles supraépineux, infra-épineux et petit rond [3].

Figure 7.37. Page 676. Membre supérieur, Gray's Anatomie pour les étudiants. Coordination de l'édition française F Duparc. Elsevier, Paris, 2005. Avec l'autorisation de l'auteur.

Le muscle subscapulaire, puissant rotateur médial, s'attache sur le tubercule mineur (figure 3). En cas de fracture du tubercule mineur, celui-ci sera attiré en dedans. Ce muscle lutte contre le déplacement antérieur de la tête humérale.

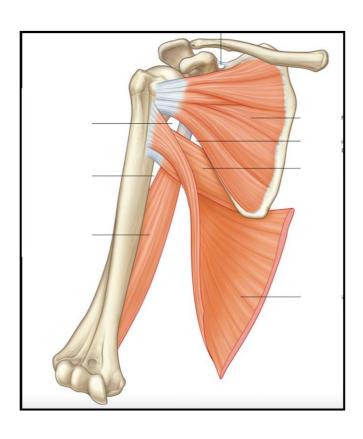


Figure 3. Illustration montrant le muscle sub-scapulaire qui s'insère sur le tubercule mineur [3].

Figure 7.45. Page 688. Membre supérieur, Gray's Anatomie pour les étudiants. Coordination de l'édition française F Duparc. Elsevier, Paris, 2005. Avec l'autorisation de l'auteur.

Les muscles supraépineux, infraépineux, petit rond et subscapulaire forment ensemble le groupe des muscles de la coiffe des rotateurs de l'épaule, qui stabilisent l'articulation glénohumérale.

♦ <u>Vascularisation</u>

La vascularisation de la tête humérale est assurée par deux artères : les artères circonflexes humérales antérieure et postérieure. Ces artères sont des branches collatérales de l'artère axillaire. Ces artères circonflexes humérales forment un cercle anastomotique autour du col chirurgical de l'humérus. De là est issue une branche latérale ascendante qui chemine sur le versant latéral du sillon intertuberculaire puis pénètre dans l'épiphyse au bord du tubercule majeur, et devient l'artère arquée dans son trajet intra-osseux.

La vascularisation épiphysaire issue de l'artère circonflexe humérale postérieure est assurée par de multiples branches qui pénètrent l'os au niveau du col anatomique. Le trait de fracture passant par le col anatomique, qui définit une fracture céphalotubérositaire, interrompt donc totalement l'apport sanguin à la tête humérale.

Un réseau anastomotique est également présent au col anatomique de l'humérus, intracapsulaire. De ce réseau naissent des ramifications sous-périostées et intra-osseuses (figure 4).

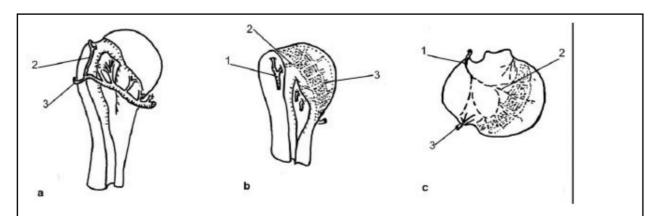


Fig. 3 a-c **a.** 1, ACA 2, lateral ascending branch 3, lateral branch (anastomosis to the PCA). **b.** 1, lateral ascending branch 2, arcuate a. 3, branches of the arcuate a. through the epiphyseal plate **c.** 1, arcuate a. 2, branches of the arcuate a. through the epiphyseal plate 3, small branch of the PCA penetrating in the anatomical neck along the insertion of the capsule

Figure 4. De l'anastomose entre l'artère circonflexe antérieure et l'artère circonflexe postérieure (a n°3) nait l'artère latérale ascendante (a n°2). L'artère latérale ascendante devient artère arquée dans son trajet interosseux (c n°1) et se divise en branches intraosseuses à visée épiphysaire (c n°2) [6].

La vascularisation de l'épiphyse humérale est menacée lorsqu'il y a une lésion directe des troncs des artères, une destruction des vaisseaux sous-périostés ou une interruption des vaisseaux intraosseux. Dans les cas de fractures avec déplacement important ou avec luxation, ces trois mécanismes d'interruption de la vascularisation peuvent être impliqués et compromettent la survie de l'épiphyse humérale.

Les tendons s'insérant sur les tubercules portent des vaisseaux pénétrant dans l'os mais ne peuvent à eux seuls suppléer la vascularisation de la tête humérale lorsque celle-ci est séparée de la métaphyse par le trait de fracture du col anatomique.

Par ailleurs, le nombre de vaisseaux dans l'os sous chondral diminue de 30% entre l'adolescence et 60 ans. Le risque de nécrose avasculaire de la tête humérale apparaît plus important avec l'âge en raison du faible apport sanguin restant.

2. Biomécanique de l'épaule

Il y a trois pré-requis à la bonne fonction de l'épaule [7] :

- 1) Un puissant moteur: le muscle deltoïde ;
- 2) Un positionnement correct de la tête humérale, maintenu en face de la cavité glénoïdale grâce à l'effet abaissant des muscles subscapulaire et infraépineux et des autres muscles de la coiffe des rotateurs;
- 3) Et un point pivot conservé : la tête humérale.

L'épaule met en jeu 3 articulations, l'articulation gléno-humérale, l'articulation acromio-claviculaire, et l'articulation sterno-claviculaire et deux espaces de glissement (syssarcoses) : scapulo thoracique et subacromiodeltoïdien.

Concernant l'articulation gléno-humérale, elle présente 3 degrés de libertés :

- Dans le plan de la scapula, l'abduction-adduction ;
- La flexion extension dans le plan perpendiculaire au plan de la scapula ;
- Les rotations médiale et latérale dans le plan transversal.

La coiffe des rotateurs assure la stabilité de l'articulation, appelé justement par Gagey le verrou fibreux [8] Tandis que le muscle deltoïde et les « trois grands » (muscles grand dorsal, grand rond et grand pectoral) assurent une réserve de puissance en abduction et adduction respectivement.

Le muscle deltoïde agit comme un câble sur une poulie que serait la tête humérale (figure 5). En effet, son action abaisse la tête humérale et la plaque contre la cavité glénoïdale pour assurer un point de pivot [9].

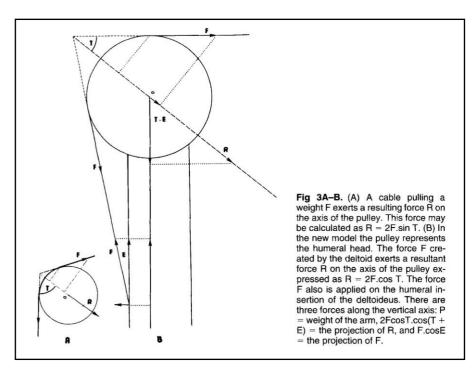


Figure 5. Biomécanique du deltoïde comparable a l'action d'un câble avec une poulie. Action orientée vers le bas et en médial. Il faut un rayon de courbure de la « poulie » (analogue a la tête humérale + tubérosités) suffisant pour mettre en tension les fibres du muscle deltoïde et permettre une action efficace du deltoïde [9].

Les mobilités fonctionnelles de l'épaule sont la flexion, l'abduction et la rotation externe. Elles déterminent l'essentiel du captage spatial du membre supérieur [10].

La flexion est assurée par le faisceau antérieur du muscle deltoïde, et les muscles grand pectoral, biceps brachial et coracobrachial.

L'abduction est assurée par le deltoïde moyen et le muscle supraépineux.

La rotation externe est assurée par les muscles infraépineux, petit rond et le faisceau postérieur du deltoïde.

En cas de déplacement, mauvais positionnement ou disparition des tubérosités, les muscles supraépineux, infraépineux et petit rond ne seront alors plus effectifs.

3. Prise en charge des fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus

◆ Epidémiologie des fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus

La distribution de l'incidence des fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus est unipolaire et l'incidence est la plus forte chez les femmes de 80-89ans [11]. Dans l'étude rétrospective de Palvanen chez le sujet âgé, on note une augmentation constante de l'incidence : de 32/100000

personnes en 1970 à 105/100000 personnes en 2002, et ce chiffre pourrait tripler dans les trois prochaines décennies [12]. Cette augmentation spectaculaire de l'incidence est le fait du vieillissement global de la population et de l'ostéoporose (figure 6). C'est donc un problème actuel majeur de santé publique.

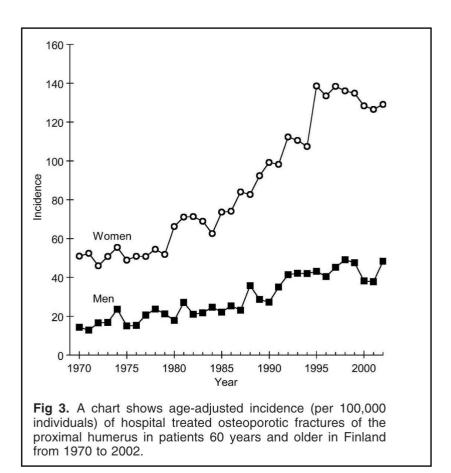


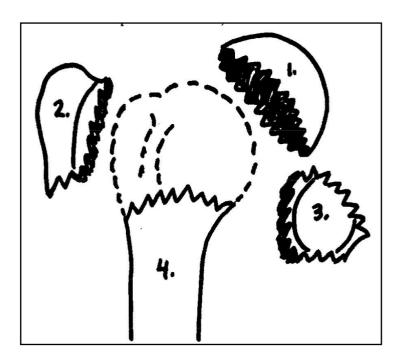
Figure 6. Graphique représentant l'incidence ajustée sur l'âge des cas de fracture de l'extrémité supérieure de l'humérus en Finlande en 1970 et 2002 [12].

Chez les patients de plus de 65 ans, les fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus sont les fractures les plus fréquentes après les fractures de l'extrémité supérieure du fémur et les fractures du poignet et sont presque toujours le fait d'une chute [13]. Il n'y a que chez les sujets plus jeunes (40-50 ans) que le mécanisme est à haute énergie, comme dans les accidents de la voie publique, les accidents sportifs ou les chutes de lieux élevés [11].

Ces fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus sont des témoins d'ostéoporose et associées à une augmentation du risque de future fracture [14].

Classifications des fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus

D'après Codman, les fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus surviennent suite à une impaction de l'humérus sous l'acromion en position de pivot [15]. Cette force de contrainte se diffuse via des zones de fragilité osseuse que sont les anciens cartilages de croissance (figure 7).



<u>Figure 7. Illustration des 4 fragments selon les lignes de fusion épiphysaire de l'extrémité supérieure de l'humérus [16].</u>

Ainsi on comprend la raison pour laquelle les classifications de l'extrémité supérieure de l'humérus s'attachent à décrire les fractures selon le déplacement de ces 4 fragments :

- 1) Tête humérale
- 2) Tubercule majeur
- 3) Tubercule mineur
- 4) Diaphyse.

A) La classification de Neer

La classification de Neer, finalisée en 1970, reprend le concept de Codman et le décline selon le type et le nombre de fragments fracturés [17]. Les fractures articulaires sont regroupées dans les fractures à 4 fragments. L'intérêt de cette classification réside surtout dans la séparation en colonnes avec la colonne des fractures à deux fragments au risque de nécrose très faible (sauf les exceptionnelles fractures du col anatomique), la colonne des fractures à trois fragments avec un risque de nécrose faible et la colonne des fractures à quatre fragments où ce risque est maximum (figure 8).

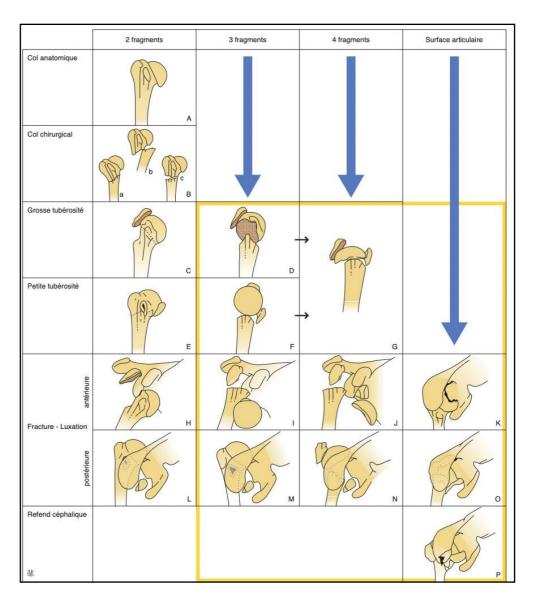


Figure 8. Illustration de la classification de Neer selon le nombre de fragments [18].

C'est cette classification que nous avons choisi comme référence pour notre travail de thèse.

B) La classification de Duparc

Duparc en 1976 différencia précisément les fractures extra-articulaires, des fractures articulaires qu'il dénomma fractures céphalo-tubérositaires [19].

Parmi les fractures extra articulaires (figure 9) :

- 1. Les fractures tubérositaires isolées, soit du tubercule majeur, soit du tubercule mineur (beaucoup plus rares).
- 2. Les fractures sous-tubérositaires, qui peuvent être différenciées en basse / haute / comminutive.
- 3. Les fractures sous-tubérositaires associées à une fracture d'une tubérosité : associée à une fracture du tubercule majeur ou à une fracture du tubercule mineur.

Concernant les fractures articulaires :

- 1. Les fractures céphaliques isolées (ou du col anatomique) très rares, voire exceptionnelles
- 2. Les fractures céphalo-tubérositaires : CT
 - CT 1 : elles représentent les fractures non déplacées
 - CT 2 : ce sont des fractures déplacées, mais engrenées (le plus souvent en valgus). Elles sont à priori, de meilleur pronostic vasculaire.
 - CT 3 : fractures céphalo-tubérositaires déplacées, dont la vascularisation céphalique est fortement compromise.
 - CT 4 : fracture-luxation, dont le pronostic vasculaire est lui aussi fortement réservé. Les luxations peuvent être antérieures ou postérieures.
- 3. Les fractures céphalo-métaphysaires, soit issues de l'encoche postérieure dans les luxations antérieures, soit issue de l'encoche antérieure dans les luxations postérieures.

Les fractures extra articulaires de Duparc sont toutes des fractures à 2 ou 3 fragments pour Neer, mais jamais à 4 fragments. Tandis que les fractures articulaires de Duparc sont toutes des fractures à 2 ou 3 ou 4 fragments pour Neer.

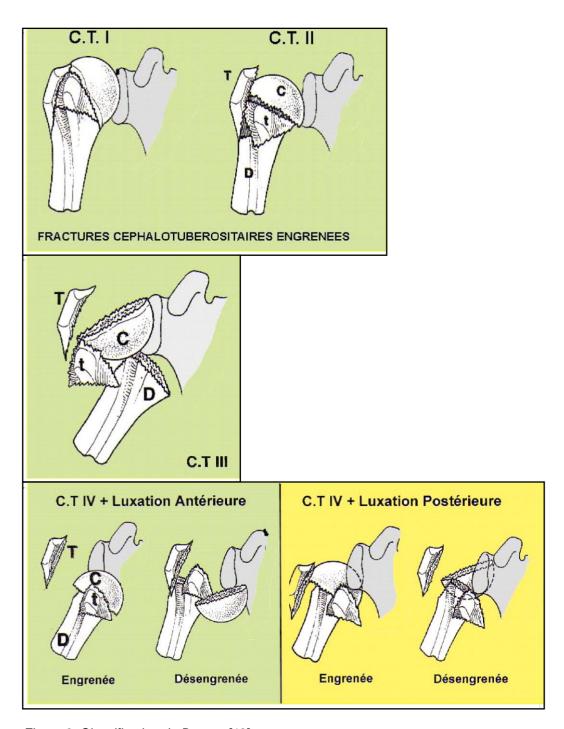


Figure 9. Classification de Duparc [19].

C) La classification de Hertel

La classification de Hertel est une déclinaison didactique du concept de Codman utilisant le jeu Lego® [20]. Elle permet d'envisager toutes les possibilités de fracture de 1 à 12 avec les fractures à 2 puis 3 puis 4 fragments (figure10). Les fractures types 2, 9, 10, 11 et 12 avec une composante cervicale anatomique étaient à haut risque vasculaire. L'interruption de la corticale médiale était associée à un risque plus important d'ischémie céphalique.

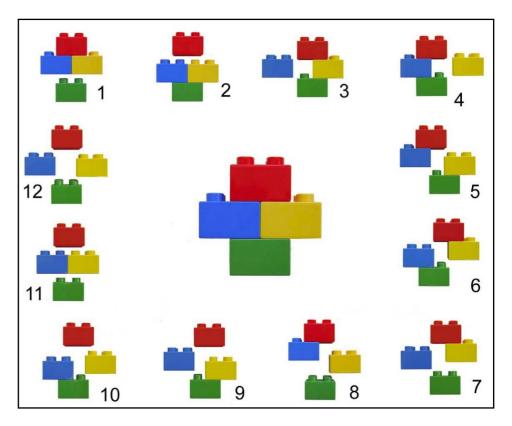


Figure 10. Classification de Hertel. [20]

D) La classification de l'AO

Muller a proposé, en 1987, la classification de l'Association for Osteosynthesis/Association for the Study of Internal Fixation (AO/ASIF) qui définit trois grands groupes :

- A et B, les fractures extra articulaires uni ou bifocales respectivement ;
- et C, les fractures articulaires [21].

Le risque de nécrose augmente du groupe A au groupe C. Chaque groupe est lui-même divisé en trois sous-groupes de gravité croissante, selon un codage alphanumérique facilitant un classement informatique (figure 11).

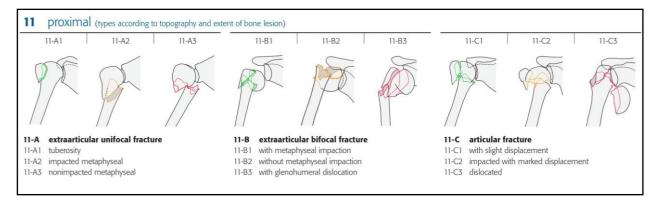


Figure 11. Classification de l'AO [21]

E) Choix de classification

Quelle que soit la classification adoptée, leur reproductibilité est médiocre avec une variabilité inter et intra-observateur importante. Plus le chirurgien est expérimenté [22, 23] et la classification est simple [24], plus la reproductibilité est bonne.

Entre la classification de Neer et la classification de l'AO, probablement grâce à l'habitude des chirurgiens, la variabilité inter et intra observateur est moindre pour la classification de Neer que pour celle de l'AO [25].

La réalisation de scanner et la reconstruction 3D améliorent l'analyse et la classification des fractures complexes de l'extrémité proximale de l'humérus [26]. Cependant si nous avions inclus dans notre thèse uniquement des patients ayant eu un examen scannographique, nous aurions eu un biais puisque nous aurions sélectionné les fractures les plus complexe, les plus difficiles à classer sur des radiographies simples. La réalisation d'un examen tomodensitométrique devrait être systématique pour toute fracture articulaire.

Nous avons choisi de classer les fractures selon la classification de Neer sachant qu'elle est la plus utilisée dans la littérature internationale (CF notre méta-analyse). Pour éluder le problème de reproductibilité, les radiographies étaient examinées par 2 observateurs indépendants.

◆ <u>Traitement orthopédique des fractures de l'extrémité</u> supérieure de l'épaule

Le choix du traitement orthopédique dépend du déplacement et du type de patient. Le déplacement des tubercules tolérable est de 0,5 cm et les déplacements angulaires doivent être inférieurs à 20°, notamment en varus pour autoriser un traitement orthopédique [27].

Également en cas de risque anesthésique majeur, de comorbidité importante, ou du choix du patient refusant la chirurgie, de problème de compliance du patient, on optera logiquement pour un traitement orthopédique.

Zyto a montré dans un essai randomisé chez les sujets âgés de plus de 65 ans, une absence d'amélioration significative des paramètres fonctionnels après ostéosuture versus traitement orthopédique. De plus, il y avait beaucoup plus de complications dans le groupe opérés [28].

Dans l'étude d'Olerud, l'ostéosynthèse par plaque à vis verrouillées pour les fractures déplacées à 3 fragments n'apporte qu'un avantage modéré comparé au traitement orthopédique. Une amélioration de la mobilité de l'épaule, de la <u>fonction et de la qualité de vie</u> semblent être améliorées par la chirurgie. Pas de différence concernant la <u>douleur.</u> Mais le taux de complications post chirurgie nécessitait 13 % de <u>réopérations</u> majeures dues soit à une infection profonde, soit une pseudarthrose, ou pour prise en charge d'une ostéonécrose avasculaire ; et 17 % de reprises chirurgicales mineures pour ablation de la plaque ou acromioplastie pour conflit sous-acromial [29]. Il a également étudié le traitement pour les fractures déplacées à 4 fragments en comparant l'hémiarthroplastie avec le traitement orthopédique. Les scores de qualité de vie et de <u>douleur</u> étaient plus favorables au traitement chirurgical. Néanmoins l'amélioration de la <u>mobilité</u> de l'épaule et de la fonction n'était pas significativement en faveur du traitement par hémiarthroplastie [30].

Ainsi en cas d'hésitation entre chirurgie du fait du déplacement et traitement orthopédiques du fait de l'état du patient, ces résultats peuvent être utiles à la décision.

Foruria a montré que les fractures impactions en valgus donnent de mauvais résultats, les impactions postéromédiales donnent un mauvais résultat si la distance acromiohumérale est diminuée et les fractures isolées du tubercule majeur donnent un mauvais résultat s'il y a un déplacement médial jusqu'au niveau de l'interligne [31]. Ainsi, l'orientation de la tête, l'impaction du col chirurgical et le déplacement tubérositaire sont très corrélés au résultat (figure 12-14).

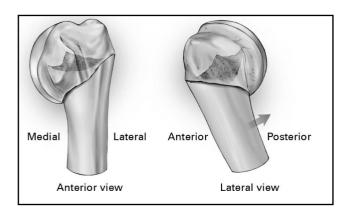


Figure 12. Fracture avec impaction postéromédiale [31].

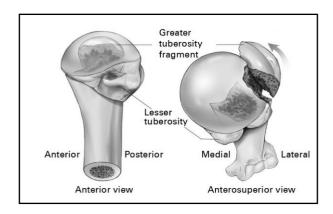


Figure 13. Fracture avec impaction latérale du col en valgus associée à une fracture du tubercule majeur [31].

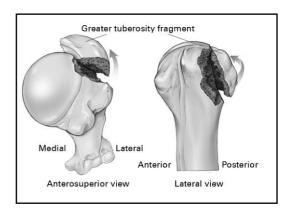


Figure 14. Fracture isolée du tubercule majeur [31]. Notez le déplacement postérieur et médial.

Le traitement orthopédique a sa place dans l'arsenal thérapeutique des fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus. Principalement efficace sur les douleurs, il sera préféré chez les sujets très âgés ou ayant des besoins fonctionnels peu importants.

◆ <u>Traitement chirurgical conservateur</u>

Le but du traitement chirurgical conservateur est d'obtenir une reconstruction anatomique de l'extrémité supérieure de l'humérus tout en respectant la vascularisation céphalique.

Les indications concernant les fractures peu déplacées ou à 2 fragments de Neer. Les fractures à 3 fragments peu déplacées avec conservation d'une charnière médiale, garante de la préservation de la vascularisation céphalique, peuvent bénéficier d'un traitement conservateur.

Les principales complications du traitement chirurgical conservateur sont les déplacements secondaires des fragments, la pseudarthrose et l'ostéonécrose de la tête humérale.

Il existe de nombreuses techniques. Nous ne développerons pas ici le bilboquet [54] et l'embrochage selon Kapandji [55] ni les techniques arthroscopiques.

A) Ostéosynthèse par plaque latérale

L'abord du foyer de fracture permet sans doute une réduction plus anatomique. Les montages sont souvent plus stables, surtout chez les patients jeunes, du fait d'un bon stock osseux. Une rééducation plus précoce peut être autorisée. Mais leur mise en place nécessite une dissection plus étendue des tissus mous, pouvant compromettre la vascularisation céphalique.

Chez les patients âgés et ostéoporotiques, il existe un risque élevé de démontage, en particulier au niveau des vis épiphysaires, surtout lorsqu'elles ne sont pas verrouillées. Enfin, les plaques standards sont contre-indiquées en cas de comminution médiale sauf à en mettre deux, dans deux plans perpendiculaires. C'est pourquoi l'évolution s'est faite vers l'utilisation de plaques à vis verrouillées dans la plaque.

En plus des avantages de l'ostéosynthèse par plaque, l'utilisation de vis épiphysaires verrouillées, diminue nettement les risques de démontage, renforce la stabilité du montage, notamment en cas d'absence de console médiale. Son principal inconvénient est les perforations céphaliques par les vis 11,6 %, soit du fait de l'ostéoporose, soit du fait de nécroses secondaires.

L'ostéosynthèse par plaque se complique également de 13,7 % de réopérations (pour fracture de plaque si trop rigide ou cal vicieux du tubercule majeur) et 7,9 % d'ostéonécroses [32].

B) Enclouage centromédullaire

Les clous centromédullaires ont l'avantage de limiter la dissection et la perte sanguine liée à l'acte chirurgical. Du fait de leur caractère centromédullaire, les clous représentent l'ostéosynthèse qui s'oppose le mieux aux contraintes en flexion, notamment en cas de comminution médiale. Il leur était reproché d'être pourvoyeur de douleurs en traversant la coiffe des rotateurs près de son insertion, et en sous-acromial lorsqu'ils étaient insuffisamment impactés.

Cependant, la lésion iatrogène sur la coiffe était l'apanage des clous béquillés. Désormais, comme le préconise Riemer, le passage au travers de la coiffe des rotateurs doit se faire en zone médiale, vascularisée et épaisse, rendu possible avec les clous droits [33]. Un clou droit peut être inséré de façon mini-invasive dans l'humérus par une petite fente dans les muscles de la coiffe des rotateurs, dans l'alignement de leurs fibres, en évitant d'endommager les tendons proprement dits [5]. Le point d'entrée en zone cartilagineuse postéro-supérieure évite les refends du tubercule majeur.

L'utilisation de vis verrouillées empêchent leur dévissage mais expose au même risque de perforation de la tête que les plaques d'ostéosynthèse. L'avantage de cette technique chirurgicale est qu'elle se complique peu d'infection du fait de la voie d'abord limitée, elle est peu dévascularisante et utilise un matériel peu encombrant. En cas de longueur excessive du clou, cela conduit à la distraction du foyer, et on s'expose à un risque de pseudarthrose de la fracture [5].

L'indication de choix est le traitement des fractures du col chirurgical. Si elles sont associées à un refend trochitérien, il faudra l'ostéosuturer, puisque l'orientation des vis de verrouillage proximal est prédéfini par l'ancillaire et ne permet souvent pas de synthéser le tubercule fracturé au clou.

◆ Traitement chirurgical prothétique

Le remplacement prothétique est indiqué lorsque les conditions pour la synthèse anatomique ne sont pas réunies ou lorsque le risque d'ostéonécrose de la tête humérale est élevé [34].

A) Hémiarthroplastie

Les résultats de Neer rapportés en 1970 dans ses publications sur les hémiarthroplasties pour les fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus étaient encourageants [17, 35].

Cependant, de nombreux auteurs ne sont pas parvenus à réitérer ces bons résultats. Ils constataient certes une amélioration sur la douleur mais les résultats fonctionnels étaient moins satisfaisants.

Le résultat fonctionnel des arthroplasties anatomiques est directement dépendant de l'état de la coiffe des rotateurs, de la consolidation des tubérosités en position anatomique et du positionnement de l'implant. En effet, la restauration de la longueur humérale, de l'anatomie des tubérosités et de l'orientation de la tête prothétique donne de meilleurs résultats [36].

Les indications des hémiarthroplasties concernent les cas complexes tels que les fractures céphalotubérositaires déplacées.

Les indications sont classiquement [37]:

- Fractures à 4 fragments déplacées,
- Fractures à 3 fragments chez le sujet âgé,
- Fractures luxations,
- Fractures céphaliques,
- Et fracture impaction de la tête humérale intéressant plus de 40% de la surface articulaire.

L'âge du patient est un élément important à prendre en compte. En effet, Boileau retrouvait plus de migrations des tubérosités chez les femmes âgées de plus de 75 ans. Ces paramètres d'âge avancé et de sexe féminin étaient corrélés à des résultats fonctionnels décevants [36]. Ce constat a poussé l'auteur à recommander de différer la rééducation chez ces patients âgés.

Les comorbidités du patient conditionnent également les résultats fonctionnels, comme l'a montré Robinson. Il a créé un modèle de régression pour estimer le score de Constant à 1 an. Les facteurs retrouvés en pré opératoire sont la présence d'un déficit neurologique préopératoire, de la consommation d'alcool et de la dépendance tabagique [38].

Concernant la fracture, en cas de persistance d'une charnière médiale et d'intégrité du périoste, la vitalité de la tête humérale n'est pas compromise [20,39]. C'est le cas par exemple des fracture à 4 fragments impacts en valgus. Ainsi pour les auteurs, il est préférable de surseoir à un traitement par remplacement prothétique et de préférer une ostéosynthèse, même si le patient est âgé [39].

La qualité osseuse de l'extrémité proximale de l'humérus conditionne la consolidation des tubérosités notamment. Une mauvaise qualité osseuse peut expliquer une mauvaise fixation des vis, un descellement postopératoire de l'implant et une altération de la consolidation des fractures. Elle peut être évaluée par le score de Tingart, mesurant l'épaisseur des corticales à la jonction métaphyso-diaphysaire humérale [40]. Une épaisseur corticale moyenne inférieure à 4 mm est prédictive d'une mauvaise qualité osseuse au niveau de l'épiphyse (figure 15).

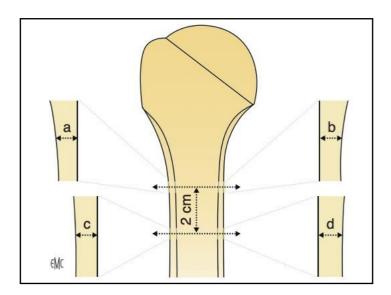


Figure 15. Score de Tingart : l'épaisseur des corticales médiale et latérale est mesurée. Les mesures sont a des niveaux précis : a et b, là où les deux corticales deviennent parallèles ; puis c et d, 2 cm en dessous. Si la moyenne des épaisseurs corticales est supérieure à 4 mm, la densité osseuse est jugée satisfaisante [40].

L'habitude du chirurgien concernant cette chirurgie arthroplastie dans un contexte traumatique influence le résultat. C'est ce que Kralinger a mis en exergue dans son travail : la consolidation des tubérosités était inférieure dans les établissements où moins de 15 hémiarthroplasties avaient été réalisées dans l'année [41].

La rééducation post opératoire n'est pas consensuelle. En général c'est 3 semaines à 1 mois d'immobilisation en écharpe avec une rééducation passive précoce pour limiter la raideur. Cependant lorsque le bras est en écharpe, l'épaule est en rotation interne et induit donc une traction sur le tubercule majeur. Boileau a montré que le risque de migration des tubérosités était augmenté en cas d'immobilisation en rotation interne [36] et de rééducation précoce [42]. Par conséquent, il recommande chez les sujets âgés une immobilisation en rotation neutre et de retarder la rééducation.

L'hémiarthroplastie est efficace sur la douleur et donne des résultats significativement meilleurs que l'ostéosynthèse ou le traitement orthopédique, pour les fractures à fort risque de nécrose [30].

Pour Neer, les résultats étaient excellents ou bons chez au moins 80% des patients. Cependant dans son résumé, il nuançait ses résultats : "Using these indications, the typical result was satisfactory but imperfect and many months were required for maximum recovery" [35].

Les résultats fonctionnels en termes de récupération de la mobilité sont décevants, comme nous le verrons dans la méta-analyse plus loin. Néanmoins, ceci peut s'expliquer car les patients âgés ont une demande fonctionnelle peu importante et sont donc moins motivés pour la rééducation. La consolidation du tubercule majeur est l'élément clé pour la restauration de la fonction de l'épaule [36]. Les problèmes liés à la consolidation des tubérosités sont les plus fréquents et représentent la cause principale des échecs et des reprises [43].

Krishnan [57] et Kontakis [77] retrouvent que l'utilisation d'un implant fracture améliore les amplitudes articulaires et le taux de consolidation osseuse des tubérosités (79 % pour Krishnan, 80% pour Kontakis).

De même, Sperling [78] a également trouvé une amélioration de la consolidation des tubérosités (75 %) et donc une amélioration des paramètres fonctionnels avec l'utilisation d'une tige dédiée à la fracture.

Ces résultats ont été repris par Boileau [36] avec une cicatrisation des tubérosités supérieure à 80 % avec une tige humérale spécifique à la fracture.

Les résultats après implants spécifiques dédiés pour le traitement des fractures sont encourageants et c'est ce que nous évaluons dans notre travail de thèse.

B) Prothèse inversée

L'utilisation des prothèses inversées dans les fractures n'est pas une nouveauté. Paul Grammont lui-même l'avait utilisé dans les années 90 sur quelques cas non publiés. Depuis, l'intérêt des prothèses inversées notamment en cas de coiffe détruite ou après résection de l'humérus proximal pour tumeur a été démontré [44, 45].

Parallèlement l'analyse des résultats des hémiarthroplasties pour fracture a montré que la principale cause d'échec est la migration ou la non consolidation des tubérosités rendant la coiffe non fonctionnelle. Et il a été observé qu'en cas d'échec de l'hémiarthroplastie, le changement par prothèse inversée améliorait significativement la fonction [46].

Ainsi, il a été proposé d'utiliser la prothèse inversée en première intention pour le traitement des fractures de l'extrémité proximale chez les patients à risques d'échec d'hémiarthroplastie. À savoir, ceux âgés de plus de 75 ans, avec des comorbidités associées, un mauvais état des tubérosités, une lésion préopératoire de la coiffe des rotateurs, ou une non compliance probable à l'immobilisation et au programme de rééducation spécifique [38].

Les lésions de la coiffe sont rares dans les fractures de l'extrémité proximale de l'humérus, environ 5% chez les plus de 65 ans d'après Parsch [47].

L'avantage de la prothèse inversée est principalement la récupération de l'élévation antérieure, possible même en cas de consolidation incomplète des tubérosités ; alors qu'avec une hémiarthroplastie, un défaut de consolidation des tubérosités conduit à une limitation majeure des amplitudes [48]. Sirveaux rapporte néanmoins une amélioration de la rotation externe des prothèses inversées lorsque les tubérosités sont consolidées [48]. La consolidation des tubérosités est donc également un objectif même lorsqu'est choisi l'option du traitement par prothèse inversée.

II. <u>PLANIFICATION PRÉOPÉRATOIRE D'UNE HÉMIARTHROPLASTIE</u> POST FRACTURE

1. Bilan préopératoire

Le bilan préopératoire commence par l'évaluation de l'état général du patient, son âge, ses comorbidités.

Il faut rechercher des lésions associées, comme une lésion du nerf axillaire ou d'autres fractures qu'il faudra également prendre en charge.

L'évaluation de l'épaule controlatérale est utile pour vérifier sa bonne fonction et ses amplitudes en élévation et rotations.

Le bilan radiographique doit comporter 2 incidences orthogonales : face et profil.

Des radiographies des deux humérus en entier à 100% peuvent être utiles pour régler la hauteur de la prothèse.

Pour préciser l'état des tubérosités et leur déplacement, et analyser la trophicité de la coiffe des rotateurs, il est nécessaire d'avoir un scanner, sans injection. La trophicité des corps musculaires de la coiffe est le reflet de la condition des tendons. Notre critère principal est la présence d'un signe de la tangente [56] sur les coupes sagittales, qui traduit une lésion pré-existante du supra-épineux (figure 16).

Figure 16. Coupes IRM en T1, sagittales, en Y [56].

<u>Image de gauche : 1) muscle supraépineux ; 2) muscle infraépineux ; 3) muscle petit rond ; 4) muscle subscapulaire.</u>

<u>Image du milieu :</u> signe de la tangente négatif : le volume du muscle supraépineux dépasse la ligne tracée entre les bords supérieurs de la coracoïde et de l'épine de la scapula.

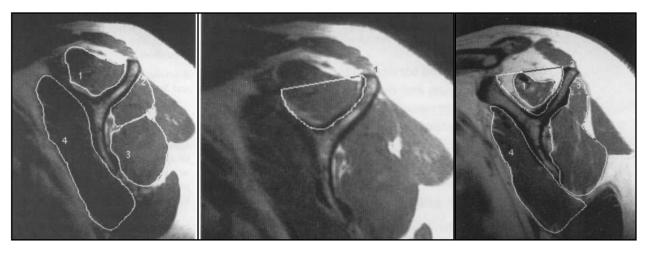


Image de droite : signe de la tangente positif, mise en exergue d'une atrophie du muscle supraépineux.

2. Voie d'abord

La voie d'abord deltopectorale est la voie classique pour l'implantation des prothèses d'épaule.

La voie d'abord supérolatérale facilite le repérage et la mobilisation du tubercule majeur.

Cependant en cas d'extension diaphysaire de la fracture, l'extension de la voie d'abord nécessite d'isoler le nerf axillaire.

3. Positionnement de l'implant

Boileau a montré que la hauteur et la rétroversion de l'implant ont un impact significatif sur le résultat fonctionnel [36].

Un allongement de plus de 10 mm ou un raccourcissement de plus de 15 mm ont une influence néfaste sur le score de Constant [36].

En effet, un implant positionné trop haut augmente la tension sur les sutures tubérositaires, augmentant le risque de détachement des tubérosités, de pseudarthrose ou de cal vicieux, responsable d'une altération de la fonction de la coiffe des rotateurs et un risque de conflit sous-acromial (figure 17).

Un raccourcissement réduit le bras de levier du deltoïde et compromet la fonction de l'épaule.

Figure 17. Cliché radiographique antéropostérieur issu de l'article de Boileau montrant une prothèse d'épaule trop haute induisant un gap entre le tubercule majeur et la diaphyse [36].

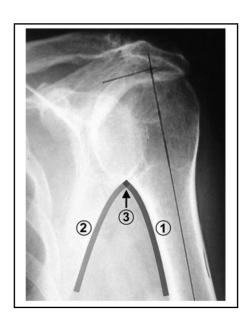


Un repère peropératoire pour la hauteur peut être le tendon du grand pectoral comme l'ont montré Gerber et Warner. La distance entre le bord supérieur du tendon du grand pectoral et le sommet de la tête doit être de 5,5 cm +- 0,5 cm [49].

La reconstruction du cintre scapulohuméral a été mise en valeur par la restauration de l'arche gothique décrite par Krishnan (figure 18) entre le bord médial de l'humérus et le bord latéral de la scapula est une aide radiographique au bon positionnement de l'implant [50].

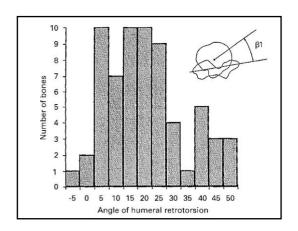
Figure 18. Principe de restauration de l'arch gothique d'après Krishnan [50].

Concernant la rétroversion de l'implant, elle est classiquement de 20°.



En effet, Boileau a retrouvé dans une étude cadavérique sur 65 humérus, une rétroversion de 17,9° (-6,7 à 47,5) par rapport à l'axe trans-épicondylien [51] (figure 19).

<u>Figure 19 . Distribution de la rétroversion de la tête humérale par rapport à l'axe trans épicondylien sur 65 humérus [51].</u>

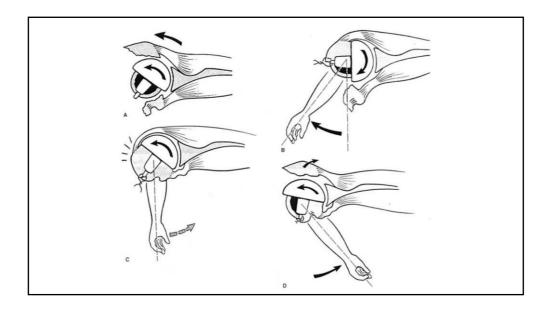


Il y a une variabilité interindividuelle importante de la rétroversion de l'humérus [51].

Une rétroversion excessive de plus de 40° est associée à un score de Constant plus bas et une moins bonne récupération de l'élévation antérieure et de la rotation externe [36] (figure 20).

Figure 20. Les conséquences d'une rétroversion excessive d'après Boileau [36].

A, prothèse scellée avec rétroversion excessive B, l'ostéosynthèse des tubérosités n'est possible qu'en rotation externe. C, mise en tension des sutures des tubérosités en rotation neutre. D, migration postérieure du tubercule majeur en rotation interne (position du bras en écharpe).



À l'inverse, un défaut de rétroversion peut créer un conflit avec le processus coracoïde [51].

Ainsi selon Boileau, un excès de rétroversion et un excès de longueur, entraînent un mauvais positionnement du tubercule majeur et une traction excessive sur celui-ci, qui augmentent le risque de déplacement secondaire et de non-consolidation.

4. Réinsertion des tubérosités

Positionnement

Les impératifs anatomiques à respecter pour préserver la bonne fonction de l'épaule après une fracture de l'extrémité supérieure de l'épaule sont [52] :

- La hauteur du tubercule majeur par rapport à la tête ;
- Le déport latéral du tubercule majeur par rapport à la tête ;
- La rétroversion de la tête humérale.

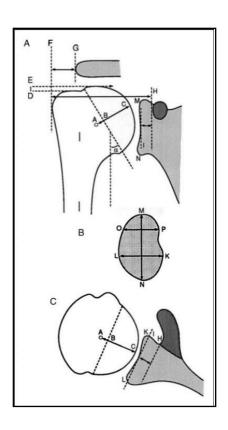
D'après une étude anatomique, la hauteur du tubercule majeur, la distance verticale entre le sommet de la tête humérale et le sommet du tubercule majeur est en moyenne de $8 \pm 3,2$ mm (3-20mm) [53].

Boileau préconise que dans la reconstruction prothétique, le tubercule majeur doit être situé 5 à 10 mm sous le sommet de la tête humérale pour un meilleur résultat fonctionnel. Un tubercule majeur trop bas est toujours plus délétère pour l'efficacité de la coiffe que le contraire [36].

Le déport latéral de la tête humérale redonne à la coiffe des rotateurs la tension de ses tendons nécessaires à leur action et au deltoïde son efficacité de bras de levier.

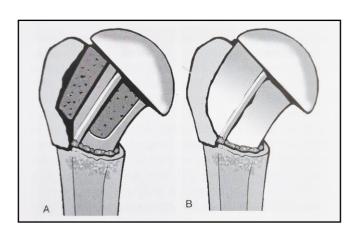
D'après l'étude de Pearl, la largeur du tubercule majeur (entre l'axe du canal médullaire huméral et la partie la plus latérale du tubercule majeur) était en moyenne de 18 ± 2 mm (15 - 22 mm) [52]. Pour lannotti, l'offset latéral de l'humérus (entre le bord latéral du tubercule majeur et le pied du processus coracoïde) est de 56 + - 5.7 mm (43 - 67 mm) [53] (figure 21).

Figure 21. Illustration des mesures utilisées par lannotti pour la hauteur du tubercule majeur : distance D-E (entre le sommet de la tête humérale et le sommet du tubercule majeur) et l'offset huméral F-H (entre le bord latéral du tubercule majeur et le pied du processus coracoïde) [53].



Le déport latéral est rétabli en introduisant un greffon entre la prothèse et le tubercule majeur quand la prothèse est étroite ou en utilisant une prothèse à métaphyse large sans greffe (figure 22).

Figure 22. Restauration de la latéralisation avec A, prothèse étroite et greffe osseuse ou B, prothèse à métaphyse large sans greffe [34].



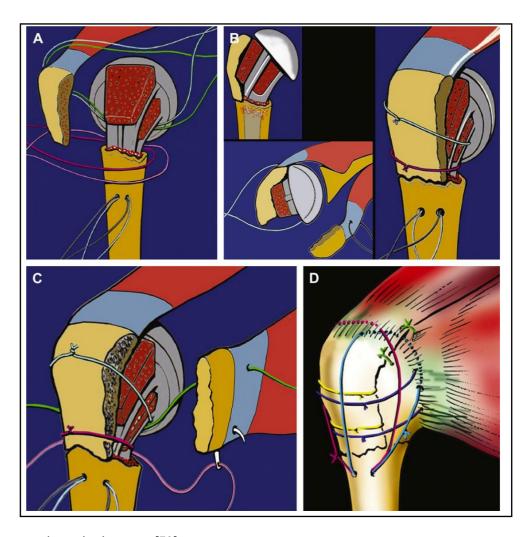
◆ Fixation

Les tubérosités doivent être synthésées solidement pour résister aux contraintes los des mouvements et pour pouvoir s'affranchir de micromouvements risquant de compromettre la consolidation osseuse.

Krishnan a décrit une technique de suture associant des cerclages horizontaux et verticaux [50]. Les cerclages horizontaux luttent contre les contraintes en rotation (figure 23).

Les cerclages verticaux créés un effet hauban et de compression intertuberculaire.

Figure 23. Fixation des tubérosités autour d'une prothèse anatomique par des cerclages verticaux et des



cerclages horizontaux [50].

Duparc [86] rappelait que le cerclage inférieur horizontal plaque les tubercules en bonne position, le cerclage supérieur oblique assure plus spécifiquement une fixation des tubercules sous le niveau du pourtour périphérique de la calotte céphalique prothétique. Et le hauban latéral en « 8 » résiste à la fois à l'arrachement vertical du tubercule majeur, et à l'écartement inter-tubérositaire dans le plan horizontal.

◆ Importance de la consolidation en position anatomique des tubérosités Boileau [36] a démontré que les migrations et la non-consolidation du tubercule majeur peut conduire à des complications :

- Conflit sous acromial,
- Migration proximale de la prothèse,
- Raideur articulaire de l'épaule,
- Douleurs persistantes de l'épaule.

Il a également été démontré qu'une mauvaise position du tubercule majeur modifie le bras de levier de l'articulation gléno-humérale lors de l'abduction, altère les caractéristiques biomécaniques locales, accélère le processus d'usure de la prothèse et de la glène et conduit finalement à l'échec prothétique [59, 60].

5. Générations d'implants d'hémiarthroplasties

De nombreux types d'implants sont utilisés dans le cadre du traitement des fractures de l'extrémité proximale de l'humérus.

La prothèse dessinée par Neer en 1951 était un implant monobloc, comprenant des orifices sur la tige pour amarrer les ostéosutures des tubérosités.

La deuxième génération d'implant fait apparaître des calottes modulaires. L'interêt est d'adapter le rayon de courbure et le diamètre de la calotte à l'anatomie. En cas de totalisation secondaire ou de reprise par prothèse inversée, la modularité permet d'enlever la calotte et de l'adapter à l'implant glénoïdien.

Le problème était l'absence de consolidation os-métal pour les tubercules réinsérés autour de la prothèse humérale.

En 2004 dans une étude multicentrique, Kralinger montre que les meilleurs taux de consolidation des tubérosités sont avec des implants spécifiques [41].

Krishnan [57] a mis en exergue les avantages de ces implants dédiés aux fractures, favorisant le bon positionnement des tubérosités et la consolidation de celles-ci autour de l'implant. Le choix d'une tige humérale spécifique pour fracture, en favorisant la fonctionnalité de la coiffe des rotateurs, améliore les paramètres fonctionnels des patients qui en bénéficient.

Concernant la partie proximale de l'implant, deux concepts s'opposent [58]. L'un défend l'intérêt de réduire le volume de la partie métaphysaire afin de maximiser la conservation osseuse et ne pas interférer dans le processus de consolidation osseuse des tubérosités. Cela nécessite une greffe entre l'implant et le tubercule majeur, pour rétablir la latéralisation. C'est le cas de la prothèse Aequalis fracture Tornier® que nous étudions dans notre travail de thèse. À l'inverse, d'autres modèles ont une partie métaphysaire volumineuse, de sorte que la grosse tubérosité peut être latéralisée sans recours à un greffon.

Le cimentage a pour objectif d'assurer une stabilité rotationnelle. À l'inverse, le sans-ciment éviterait que la chaleur dégagée par le ciment fragilise la vascularisation métaphysaire.

6. Soins post opératoire

Boileau préconise une immobilisation neutralisant les forces de contraintes s'exerçant dans le plan horizontal sur l'ostéosynthèse du tubercule majeur. Ainsi il recommande une immobilisation en rotation neutre plutôt qu'en rotation interne [36].

La rééducation selon les principes de Neer [35] commence par des exercices en pendulaires dès J1 post-opératoire. Des mouvements passifs tels que des élévations antérieures ou des mouvements de rotation externe passive étaient réalisés les 6 à 8 premières semaines. Passé ce délai de 6 à 8 semaines, était débutée la rééducation active.

III. LA PROTHÈSE AEQUALIS FRACTURE TORNIER®

1. Particularités de la prothèse Aequalis facture®

La prothèse Aequalis fracture a été crée par un groupe de concepteurs comprenant des chirurgiens orthopédistes français de renommée internationale tels que le Pr Boileau et le Dr Walch (figure 24).

Ils ont dessiné la prothèse de manière à solutionner 3 problèmes.

Tout d'abord, une prothèse conventionnelle a un volume important, un col latéralisé et un aileron frontal, constituant des obstacles au positionnement du tubercule majeur. Cela empêche la réduction du tubercule majeur fracturé qui reste trop postérieur.

Ensuite, l'excès de métal au niveau du col prothétique empêche la consolidation osseuse des tubérosités. Il faut un contact osseux entre les tubérosités, et avec le reste de l'humérus pour espérer obtenir une consolidation. Conserver un maximum d'os spongieux sous la tubérosité est un moyen également de favoriser cette consolidation.

Et enfin, les prothèses conventionnelles ont des angles et des surfaces agressives et risquent de rompre les fils de suture. Un lâchage de suture peut être responsable d'une migration secondaire des tubérosités.

Le concept initial était donc « une prothèse avec moins de métal et plus d'os ».

Ils ont choisi une tige scellée dans le ciment.

La métaphyse, non cimentée, est recouverte d'hydroxyapatite.

Le col est médialisé et l'aileron prothétique est étroit et situé dans le plan sagittal, permettant de ramener le tubercule majeur à sa place.

Le col comprend une fenêtre pour l'ajout de greffe osseuse.

L'objectif est d'améliorer ainsi la consolidation os-os entre les tubercules et le greffon corticospongieux et réduire le risque de migration secondaire des tubérosités.

Par ailleurs, la partie médiale du col de la prothèse est poli pour éviter le risque de rupture des sutures.

La tête est modulaire, adaptable.

Il existe un ancillaire extramédullaire d'aide au réglage de la hauteur et de la rétroversion, calibré sur une radiographie à l'échelle de l'humérus controlatéral.



Figure 24. Prothèse Aequalis fracture® (Tornier Inc, St Ismier, France)

2. Technique opératoire

La technique opératoire a été standardisée et suit les principes détaillés par Neer.

L'abord est par voie deltopectorale.

L'examen de la coiffe des rotateurs recherche une éventuelle rupture.

On identifie les tubérosités et on réalise l'arthrotomie antéro-supérieure.

Quand c'est possible, les attaches périostées entre les tubérosités et la diaphyse sont conservées.

Une ténotomie et excision du chef long du biceps brachial est effectuée. Il est néanmoins possible de réaliser une ténodèse.

Les fils de sutures tubérositaires sont passés à la jonction os-tendon.

L'exposition de l'articulation autorise le contrôle de l'intégrité de la cavité glénoïdale.

L'humérus est préparé avec des sondeurs cylindriques de taille croissante, avec un repère pour contrôler la version de la tige selon l'axe de l'avant bras.

La tige définitive est cimentée. En cas d'extension métaphysaire de trait de fracture, on peut utiliser une tige humérale extra longue.

Le choix de la tâille de la tête de l'implant correspond au diamètre de la tête native mesurée avec le pied à coulisse.

L'ostéosynthèse des tubérosités a pour objectif d'attacher les tubérosités entres elles, à l'humérus, à la prothèse.

De l'os spongieux est prélevé sur la tête humérale native, conformé d'emblée pour se placer dans la fenêtre prothétique, entre les tubérosités et l'implant pour favoriser la consolidation osseuse (figure 25).



Figure 25. Pince coupe greffons de l'ancillaire de la prothèse fracture Aequalis Tornier®. La pince permet de prélever de l'os spongieux sur la tête humérale à la dimension de la fenêtre métaphysaire.

IV. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'objectif de notre étude était d'évaluer le taux de consolidation du tubercule majeur après implantation d'une prothèse humérale anatomique de type "implant fracture" suite à une fracture de l'humérus proximal.

Nous avons effectué une revue de patients, et complété la discussion des données de la littérature par une méta-analyse.

Pour élargir les données concernant la consolidation du tubercule majeur, nous avons également étudié une population de patients traités par prothèse totale inversée pour le même type de fracture.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

I. <u>CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉTUDE</u>

Dans cette étude rétrospective multicentrique, nous avons inclus entre janvier 2001 et décembre 2020 tous les patients avec fracture de l'humérus proximal qui ont été traités en première intention par prothèse fracture anatomique type Aequalis Tornier® dans deux centres hospitalo-universitaires, Rouen et Strasbourg. Ils ont tous été suivis avec un recul moyen de 4 ans (3 mois à 16 ans). L'objectif principal de cette étude était d'évaluer le taux de consolidation en position anatomique du tubercule majeur.

L'objectif secondaire était le résultat fonctionnel en fonction de cette consolidation.

II. POPULATION D'ÉTUDE

51 patients ont été opérés d'une prothèse d'épaule Aequalis pour fracture, avec 33 patients issus du CHU de Rouen et 18 patients du CHU de Strasbourg.

Parmi eux, 6 patients ont été exclus. Deux patients avaient eu en première intention un enclouage centromédullaire et la mise en place de l'hémiarthroplastie était donc retardée à > 20 jours. Pour 2 patients, il y a eu un délai de plus de 20 jours entre le traumatisme et la prise en charge chirurgicale. Pour Krishnan [50], au-delà de 20 jours post traumatisme, la mobilisation et la fixation des tubérosités sont compromises par la consolidation osseuse et la résorption osseuse. Et 2 patients ont rapidement été perdus de vue avec un suivi inférieur à trois mois dont l'un décédé à 1 mois.

Ainsi, 45 patients ont été inclus dans l'étude. Tous les patients ont eu deux contrôles radiographiques, l'un en post opératoire immédiat et l'autre à minimum 3 mois post opératoire. Vingt-trois patients ont pu être revus cliniquement.

Les patients ont donné leur accord pour participer à l'étude.

L'âge moyen était 66 ans avec 55,5 % de femmes (25/45). L'indice de masse corporelle moyen était de 28,8 kg/m2, soit une population en surpoids d'après la définition de l'HAS.

L'épaule fracturée concernait la droite dans 60% des cas.

La majorité des patients étaient des retraités relativement actifs (31/45).

L'épaule était vierge de toute chirurgie dans tous les cas.

Les circonstances traumatiques étaient dans la plupart des cas une chute de leur hauteur (35/45) (figure 26).

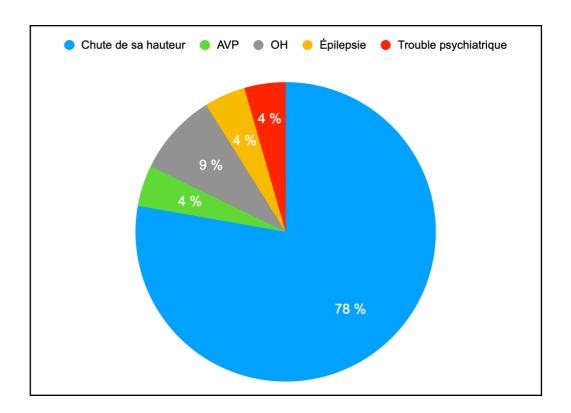


Figure 26 . Étiologies des fractures de l'extrémité proximale de l'humérus.

AVP : accident de la voie publique ; OH : intoxication éthylique aigüe.

Pour sept patients, le bilan initial retrouvait des lésions associées : fracture du col du fémur (1), traumatisme crânien avec hématome intraparenchymateux (2), fracture ou luxation des membres supérieurs (5). Un patient présentait un déficit du nerf radial en préopératoire.

Les comorbidités des patients sont présentées dans le tableau 1. Soixante deux pour-cent des patients présentaient des comorbidités.

Comorbidités	Nombre de patients concernés
Aucune	17
Diabète	8
Maladie de Parkinson	2
Intoxication éthylique chronique	6
Insuffisance organique chronique (respiratoire, rénale, hépatique)	4
Pathologie cardiovasculaire	9
Maladie chronique (lupus, cancer)	2
Toxicomanie	6
Epilepsie idiopathique	2

Tableau 1. Comorbidités de la population étudiée.

Le délai entre la date du traumatisme et la chirurgie était de 6 jours en moyenne (1-16).

Le type de fracture était défini sur les radiographies pré-opératoires de face et de profil, par 2 examinateurs indépendants, selon la classification de Neer (figure 27). En cas de discordance, un consensus était systématiquement recherché. Les coupes tomodensitométriques pré-opératoires étaient utilisées pour préciser les types fracturaires.

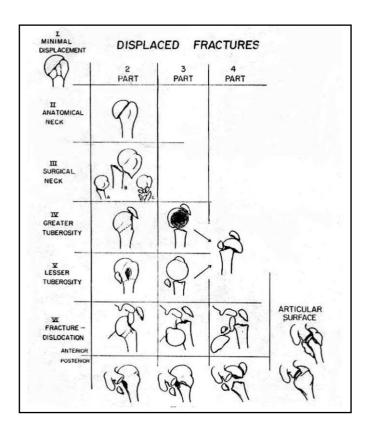


Figure 27. Classification de Neer [17].

Les types de fractures sont présentés dans le tableau 2.

Classifications		Nombre de patients concernés
Neer	4 fragments	17
	4 fragments et luxation antérieure associée	14
	Avec refend céphalique	8

Tableau 2. Types de fractures.

On appréciait la densité minérale osseuse en évaluant l'épaisseur des corticales selon le score de Tingart [40]. Une densité minérale était jugée satisfaisante au-delà d'une épaisseur moyenne de 4

mm. La moyenne du score de Tingart était 2,25 mm, avec aucun score > 4 mm. Ainsi tous les patients présentaient une faible densité minérale osseuse (figure 15).

III. <u>TECHNIQUE CHIRURGICALE ET SOINS POSTOPÉRATOIRES</u>

Un seul type de prothèse a été implanté : prothèse Aequalis fracture® ; Tornier, Inc, St Ismier, France, de longueur standard (130 mm). L'implant était toujours cimenté.

Une voie d'abord deltopectorale a été réalisée dans 42 cas et une voie supéroexterne dans 3 cas. La greffe osseuse autologue (prélevée dans la tête humérale fracturée), positionnée dans la fenêtre prothétique, sous le tubercule majeur, a été réalisée dans 80 % des cas (36/45).

Il a systématiquement été réalisé une ostéosuture des tubérosités. Elle pouvait être réalisée de 2 manières :

- Pour 21 cas on retrouve des sutures horizontales seulement :
- Et dans 24 cas, en plus des sutures horizontales, était réalisé un hauban vertical.

Il y a eu autant de ténotomie-excision que de ténotomie-ténodèse du tendon du chef long du biceps brachial (respectivement 23/45 et 22/45).

Dans 6 cas, l'amplificateur de brillance a été utilisé pour vérifier la hauteur de l'implant avec contrôle de la restauration de l'arche gothique.

L'épaule était immobilisée par coude au corps pendant minimum 1 mois.

La kinésithérapie était dans 69% des cas débutée qu'à 3-4 semaines post opératoire. Les autres patients avaient une rééducation précoce dès le premier jour post opératoire.

IV. <u>ÉVALUATION RADIOGRAPHIQUE DE LA CONSOLIDATION DU TUBERCULE MAJEUR</u>

Des contrôles radiographiques de face et de profil étaient réalisés à deux temps : en post opératoire précoce, c'est-à-dire dans le mois suivant la chirurgie, et au plus long recul.

1. En post opératoire précoce

Les paramètres évalués concernaient la présence et la position du tubercule majeur sur les incidences de face et de profil.

2. Au plus long recul

Consolidation du tubercule majeur

Nous évaluons la consolidation du tubercule majeur en objectivant la présence ou non de ponts osseux ou d'un cal osseux visible.

◆ Position du tubercule majeur

L'étude de la position du tubercule majeur était faite selon deux plans.

Dans le plan vertical, sur les clichés de face, nous mesurions la distance entre le sommet de la tête prothétique et le sommet du tubercule majeur. D'après Boileau [36], le tubercule doit être situé entre 5 et 10 mm sous la prothèse (cf repère A sur la figure 28).

Et dans le plan horizontal, en utilisant les clichés de face et de profil, nous vérifions si le tubercule majeur était visible latéralement par rapport à l'implant prothétique ou s'il était déplacé en position postéromédiale.

◆ Position de l'implant prothétique

Nous savons qu'en cas de migration proximale de la prothèse il y a une réduction de l'espace subacromial [36] et un risque de conflit.

La migration proximale de l'implant signe également la défaillance de la coiffe des rotateurs à maintenir la tête humérale en face de la glène.

Nous avons mesuré sur le cliché de face, la distance entre la partie supérieure de la prothèse et la ligne sclérotique de l'acromion (cf repère B sur la figure 28). Une distance de moins de 7 mm indiquait la migration proximale de la prothèse [36].

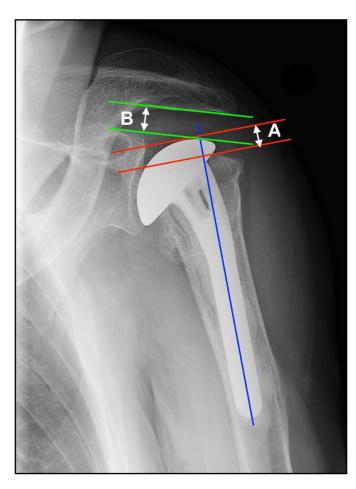


Figure 28. Évaluation de la position du tubercule majeur (A) et de la hauteur de l'implant prothétique par rapport à l'acromion (B) selon les critères de Boileau [36].

La mesure A est faite entre la tangente au sommet de la prothèse (perpendiculaire à l'axe de la prothèse) et la tangente au sommet du tubercule majeur.

La mesure B est calculée entre le sommet de la prothèse et le bord sclérotique de l'acromion.

Autres paramètres évalués

La qualité du greffon osseux placé dans la fenêtre était notifiée, selon qu'il était densifié ou résorbé.

La taille du tubercule majeur sur le bilan préopératoire.

Nous relevions également la présence de lignes périprothétiques radiotransparentes, référencées selon la classification d'O Driscoll en 8 zones.

Nous précisions également la présence d'ossifications hétérotopiques périarticulaires.

V. <u>ÉVALUATION CLINIQUE</u>

Les patients étaient évalués cliniquement au plus long recul.

Le score de Constant-Purley a été utilisé pour préciser le résultat fonctionnel.

Les amplitudes articulaires, en particulier l'élévation antérieure et la rotation externe ont été notifiées et mesurées à l'aide d'un goniomètre.

VI. COMPLICATIONS

Nous avons observé une seule infection précoce ayant nécessité une reprise à 20 jours postopératoire pour lavage chirurgical. Les prélèvements sont revenus positifs à *Staphylococcus* epidermidis, *Corynebacterium*, et *Cutibacterium acnes*. Une antibiothérapie adaptée a été conduite pendant 12 semaines ayant permis la résolution de cet épisode infectieux.

RÉSULTATS

I. <u>ÉVALUATION RADIOGRAPHIQUE DE LA CONSOLIDATION DU</u> <u>TUBERCULE MAJEUR</u>

1. En post opératoire précoce

En postopératoire précoce le tubercule majeur était présent sur les clichés de contrôle de face et de profil dans 30 cas sur 45. Et la position du tubercule majeur était correcte dans seulement 9 cas. Il manquait les clichés radiographiques pour juger de la présence du tubercule majeur dans 10 cas et pour juger de la position (face et profil) dans 11 cas (tableau 3).

Paramètres post opératoire immédiats		Nombre de cas
Présence du tubercule majeur	Oui	30
	Non	5
	Non renseigné	10
Position correcte du tubercule majeur	Oui	9
	Non	25
	Non renseigné	11

Tableau 3 . Paramètres radiographiques post opératoires immédiats concernant le tubercule majeur

2. Au plus long recul

◆ Consolidation du tubercule majeur

La consolidation du tubercule majeur était visible dans 32 cas soit dans 73% des cas (figure 29).



Figure 29. Radiographies de gauche et au centre : fracture à 4 fragments avec luxation antérieure.

Radiographie de droite montre le contrôle à 1 an avec une consolidation osseuse du tubercule majeur satisfaisante. La continuité de la corticale entre la diaphyse et le tubercule majeur est vérifiée.

La population des patients avec le tubercule majeur consolidé présentait des caractéristiques démographiques, préopératoires et radiographiques sur le suivi un peu différente parfois de la population des patients avec le tubercule majeur non consolidé.

L'âge moyen était 68 ans (48 - 88).

L'indice de masse corporelle moyen de 28,8 kg/m2.

Les patients étaient majoritairement des retraitées relativement actifs (25/32), et 4 travailleurs actifs plutôt manuels et 3 patients inactifs.

Des circonstances traumatiques dominées par les chutes de la hauteur, mais il y avait aussi 2 accidents de la voie publique, 2 malaises d'origine éthylique, 2 crise d'épilepsie et 1 défenestration.

Sept patients étaient diabétiques, 2 présentaient une maladie de Parkinson et 3 patients étaient éthyliques chroniques.

Le score de Tingart moyen était de 2,12 et toujours inférieur à 4 signant une densité minérale osseuse faible.

L'épaule fracturée était la droite dans 17 cas et la gauche dans 15 cas.

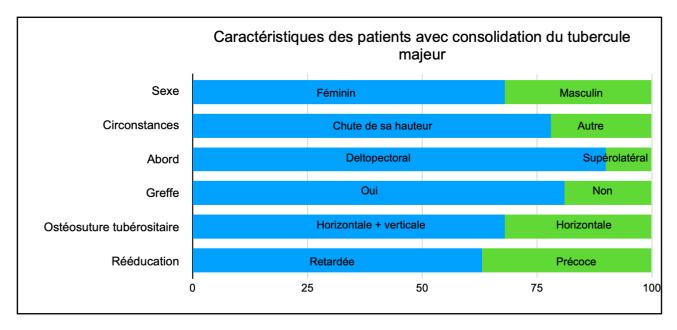
Le type de fracture était dans 12 cas une fracture à 4 fragments, dans 11 autres cas associé à une luxation et dans 4 cas on a observé un refend céphalique. Dans 5 cas nous ne disposions pas de clichés pré opératoires pour classer la fracture.

Le délai moyen entre le traumatisme et la chirurgie était de 6 jours, ce qui était identique aux patients avec tubercule majeur non consolidé.

Un contrôle par amplificateur de brillance a été réalisé dans 4 cas.

Chez tous les patients, le tubercule majeur était visible sur les clichés postopératoires précoces.

Les autres caractéristiques sont présentées sur le graphique 1.



Graphique en bâtons 1 . Caractéristiques des patients avec une consolidation du tubercule majeur.

Nous avons comparé les résultats des patients avec un tubercule majeur consolidé versus ceux avec une absence de consolidation tubérositaire (tableau 4).

L'âge plus élevé (68 ans en moyenne versus 60 ans chez les non-consolidés) et le type d'ostéosuture horizontale et verticale étaient significativement associés à un meilleur taux de consolidation de la tubérosité (p=0,04 et p=0,01 respectivement).

L'absence de visibilité du tubercule majeur au contrôle postopératoire immédiat est aussi de manière presque significative à un risque de non consolidation.

De même, la **migration proximale** de la prothèse est aussi associée à la limite de la significativité, à un risque plus élevé de non-consolidation du tubercule majeur.

Le sexe féminin, l'ajout de greffe osseuse, la position anatomique du tubercule majeur au plus long recul, et la rééducation retardée ne ressortent pas comme des facteurs significativement associé à la consolidation osseuse. L'expérience du chirurgien ne semble pas non plus augmenter le taux de consolidation osseuse.

	Patients avec tubercule majeur consolidé (n=32)	Patients avec tubercule majeur non consolidé (n=12)	p-value
Âge moyen (ans)	68	60	p=0,04
Sexe féminin n(%)	21 (66)	4 (33)	
Sexe masculin n(%)	11 (34)	8 (67)	p=0,08
Comorbidité associée(s)	22	7	0.54
Pas de comorbidité associée	10	5	p=0,51
Ostéosuture horizontale et verticale n(%)	21 (66)	3 (25)	0.04
Ostéosuture horizontale seule n(%)	11 (34)	9 (75)	p=0,01
Greffe osseuse n(%)	26 (81)	9 (75)	0.69
Absence de greffe n(%)	6 (19)	3 (25)	p=0,68
Pas de migration de la prothèse n(%)	25 (93)	8 (67)	n=0.06
Migration proximale de la prothèse n(%)	2 (7)	4 (33)	p=0.06
Expérience chirurgien élevée (PUPH) n(%)	12 (37,5)	4 (33)	p=1
Expérience moins élevée (PH ou CCA) n(%)	20 (62,5)	8 (67)	p-1
Rééducation retardée n(%)	20 (62,5)	10 (83)	p=0,28
Rééducation précoce n(%)	12 (37,5)	2 (17)	μ-0,26
Tubercule majeur présent en post opératoire immédiat n(%)	32 (100)	10 (83)	p=0,06
Tubercule majeur absent n(%)	0 (0)	2 (17)	ρ-0,00
Hauteur correcte du tubercule majeur n(%)	18 (67)	2 (33)	p= 0,18
Hauteur incorrecte du tubercule majeur n(%)	9 (33)	4 (67)	p- 0,10

<u>Tableau 4 . Étude de la significativité des paramètres étudiés en fonction de la consolidation du tubercule</u> majeur.

<u>Pour une variable qualitative :</u> Si n>5, réalisation de test du Chi2. Si n<5, réalisation d'un test de Fisher. <u>Pour une variable quantitative (âge):</u> Comme n<30 dans 1 groupe : réalisation du test de Mann Whitney. Seuil de significativité : p<0,05.

◆ Position du tubercule majeur

La position du tubercule majeur était anatomique (entre 5 et 10 mm sous le sommet de la prothèse) dans le plan vertical dans 34 % des cas (11/33).

Si nous élargissions la norme à **5 à 15 mm** sous la prothèse, nous retrouvions alors 20 cas de position **satisfaisante**, soit **61%**.

Dans 6 cas le tubercule majeur avait migré au-dessus de la prothèse. Dans 4 cas le tubercule était trop haut (entre 0 et 5 mm sous la prothèse). Dans 3 cas le tubercule majeur était à plus de 15 mm du sommet de la prothèse soit trop bas. Et dans 12 cas nous n'avions pas de données.

Le hauban vertical en plus d'une suture horizontale était associé à une position satisfaisante du tubercule majeur au plus grand recul dans 68% des cas.

◆ Position de l'implant prothétique

On observait un implant en bonne position sur le plan vertical dans 82,5% des cas.

C'est à dire qu'une migration proximale de la prothèse était présente dans moins d'1 cas sur 5, à risque de conflit sub-acromial (figure 30).

Nous avons vu que la migration proximale de l'implant était associée à la non-consolidation du tubercule majeur (tableau 4).



<u>Figure 30. Radiographies de face de deux épaules droites au plus long recul.</u>
<u>Sur l'image de gauche,</u> la position de la prothèse est correcte, à plus de 7 mm du rebord sclérotique de l'acromion.

<u>Sur l'image de droite,</u> on observe une migration proximale de la prothèse avec acétabulisation de l'acromion, signant aussi la défaillance de la coiffe des rotateurs.

◆ Autres paramètres évalués

Nous avons examiné également la densité du greffon sur 10 radiographies.

Lorsque le greffon était bien dense sur les clichés au plus long recul, c'était souvent (78%) associé à une bonne consolidation osseuse des tubérosités (figure 31).



Figure 31. À 1 an postopératoire, le greffon est dense et le tubercule majeur bien consolidé.

Malgré la mise en place de greffe peropératoire, parfois à quelques semaines postopératoires, la fenêtre de la prothèse semble vide de tout os (figure 32).



Figure 32. À 2 mois postopératoire, malgré l'ajout de greffe osseuse peropératoire, il y a une absence d'os visible dans la fenêtre.

L'épaisseur du tubercule majeur a été évalué lors du bilan préopératoire chez quelques patients. Les tubercules majeurs uniquement constitués d'os cortical, fins et fragmentés n'ont pas beaucoup de potentiel de consolidation. Les tubercules majeurs épais, corticaux et spongieux, semblent plus observés dans les cas de consolidations et de consolidations en position anatomique.

Des lignes radiotransparentes (liserés clairs) périprothétiques ont été observées dans 18 des cas. Parmi ces cas, seuls 3 présentaient des lignes radiotransparentes dans plus de 3 zones décrites par O'Driscoll. Deux cas sur les 3 ne présentaient pas de migration supérieure de la prothèse.

Ainsi la présence de ces lignes radiotransparentes ne semble pas être directement liée à une migration secondaire à un descellement de l'implant.

La présence d'ossifications hétérotopiques périarticulaires étaient notée dans 24 % des cas (11 cas /45).

◆ Taux de tubercule majeur consolidé et en position anatomique

Finalement les patients validant ces paramètres stricts de position et de consolidation sont seulement 10 sur les 45 patients.

Ils sont présentés dans le tableau 5 en annexe.

II. ÉVALUATION CLINIQUE ET FONCTIONNELLE

Nous avons pu évaluer cliniquement et fonctionnellement 22 patients.

Le score de Constant moyen était de 63,1 points (37-75).

67% des patients avec un tubercule majeur consolidé avaient un score de Constant supérieur à 60 points.

L'élévation antérieure moyenne était de 93° (20°-180°).

Parmi les patients avec une élévation antérieure active supérieure à 90°, on observait 77% de consolidation tubérositaire.

La rotation externe coude au corps était de 34° (0°-70°).

Soixante quinze pourcent des patients avec un tubercule majeur consolidé avaient une rotation externe supérieure à 20°.

Nous avons comparé statistiquement ces caractéristiques cliniques et fonctionnelles des patients et nous n'avons pas pu mettre en évidence de différence statistique entre les patients avec un

tubercule majeur consolidé versus ceux avec un tubercule majeur non consolidé. Tout se passe comme si la consolidation des tubérosités n'influait pas de manière significative les résultats cliniques et fonctionnels (tableau 6).

	Consolidé	Non consolidé	p-value
Élévation antérieure > 90	11 (77)	3 (23)	p= 0,36
Élévation antérieure <90	5 (55)	4 (45)	
RE > 20	12 (75)	4 (25)	p=0,14
RE < 20	2 (33)	4 (67)	
Constant > 60	8 (67)	4 (33)	p=0,10
Constant < 60	10 (100)	0	

<u>Tableau 6. Comparaison des taux de consolidation selon les résultats cliniques et fonctionnels.</u> Si n>5, réalisation de test du Chi2. Si n<5, réalisation d'un test de Fisher, seuil de significativité : p<0,05.

DISCUSSION

L'objectif de notre étude était d'évaluer le taux de consolidation du tubercule majeur après implantation d'une prothèse humérale anatomique de type "implant fracture" suite à une fracture de l'humérus proximal. Dans notre série de 45 patients, nous avons observé un taux de consolidation de 73%. Et la position du tubercule majeur était satisfaisante (entre 5 et 15 mm sous la prothèse) dans 61% des cas. L'implant prothétique était à la bonne hauteur dans 82,5% des cas.

Nous avons comparé les deux populations de patients présentant une consolidation du tubercule majeur par rapport aux autres.

Les facteurs significativement associés à la consolidation du tubercule majeur étaient l'âge plus élevé (68 ans en moyenne versus 60 ans chez les non-consolidés) et une ostéosuture verticale ajouté à la suture horizontale des tubercules. Cette suture verticale supplémentaire était associée également à une position satisfaisante du tubercule majeur.

L'absence de visibilité du tubercule majeur au contrôle postopératoire immédiat et la migration proximale de la prothèse au plus long recul sont associées à un risque plus élevé de non-consolidation du tubercule majeur.

L'utilisation d'un contrôle peropératoire par amplificateur de brillance (réalisé dans 4 cas parmi les patients présentant une consolidation tuberculaire, sur les 6 fois où il a été utilisé en peropératoire) permettrait d'optimiser le positionnement du tubercule et de la prothèse.

Bien que l'ajout de greffe osseuse ne soient pas significativement associé à la consolidation du tubercule majeur, lorsque le greffon était bien dense sur les clichés au plus long recul, c'était associé dans 78% des cas à une bonne consolidation osseuse des tubérosités.

La rééducation retardée et l'expérience du chirurgien ne semblent pas être des facteurs significativement associés à la consolidation du tubercule majeur dans notre série.

D'après ces résultats, si la technique d'ostéosuture des tubercules recommandée par les concepteurs est appliquée, en apportant un soin particulier au bon positionnement de la prothèse et du tubercule majeur au cours la chirurgie, la consolidation tubérositaire (c'est à dire la reconstitution de la coiffe des rotateurs) peut être attendue avec cet implant Aequalis fracture ®.

Parmi les facteurs propres au patient et non modifiables, le sexe féminin ne semble pas être significativement associé à la consolidation du tubercule majeur dans notre série.

Le score de Tingart reflétant la densité minérale osseuse était inférieur à 4 mm pour tous les patients qu'ils aient un tubercule majeur consolidé ou non. Ainsi la densité minérale osseuse ne semble pas non plus être un facteur prédictif de la consolidation tuberculaire.

Même si on aurait pu penser qu'un IMC plus élevé, avec le poids du membre plus lourd, aurait augmenté le risque de non consolidation, cette hypothèse n'est pas vérifiée dans notre étude puisque l'IMC moyen était identique (28kg/m2) entre les patients consolidés et les non consolidés. Nous avons observé moins de comorbidités chez les patients avec un tubercule majeur consolidé sans que cela soit significativement associé à un meilleur taux de consolidation.

Les circonstances traumatiques (majorité de chute de leur hauteur), le délai de prise en charge (6 jours en moyenne) et le type de fracture (44% de fractures à 4 fragments) n'étaient pas différents.

Ainsi parmi les données démographiques du patient, nous pouvons retenir qu'il faut prendre en compte les comorbidités associés et qu'elles pourraient péjorer le résultat de consolidation du tubercule majeur.

Les résultats cliniques et fonctionnels étaient améliorés en cas de consolidation tubérositaire.

Les patients avec un tubercule majeur consolidé avaient un score de Constant supérieur à 60 points. Parmi les patients avec une élévation antérieure active supérieure à 90°, on observait 77% de consolidation tubérositaire. 75% des patients avec un tubercule majeur consolidé avaient une rotation externe supérieure à 20°.

Les faiblesses de notre étude concernent le faible nombre de patients étudiés et le caractère rétrospectif.

Il y a un biais de recrutement potentiel puisque tous les patients ont été recrutés dans des centres hospitalo-universitaires.

Tous les patients n'ont pas pu être revus pour l'évaluation clinique et fonctionnelle induisant un biais des perdus de vue.

Nous avons contrôlé le biais de classement en faisant relire les radiographies par 2 observateurs et en ayant des critères de jugements binaires ou quantifiables par des mesures.

En revanche, lors de l'évaluation clinique nous ne pouvions pas supprimer le biais de suspicion de l'évaluateur qui a revu les patients.

Notre étude présente plusieurs points forts, notamment sa conception c'est-à-dire l'observation d'une population d'étude bien définie :

- Avec des patients traités par un seul et même implant Aequalis fracture ® Tornier avec la même instrumentation ;
- Présentant un type de fracture bien défini à savoir une fracture de l'extrémité proximale de l'humérus déplacées à 4 fragments ;

- Il existait 2 techniques de suture pour rattacher solidement les tubérosités à la diaphyse (horizontale seule ou horizontale et verticale);
- Les modalités de rééducation étaient binaires (précoce ou retardée) ;
- Et suivi de manière identique avec des contrôles radiographiques en post opératoire immédiat, au plus long recul et une évaluation clinique et fonctionnelle au plus long recul aussi.

Nous avons réalisé une méta-analyse présentée dans le chapitre suivant pour enrichir nos observations de données de la littérature.

MÉTA-ANALYSE

I. OBJECTIF DE LA MÉTA-ANALYSE

L'objectif de cette méta analyse est d'évaluer le taux de consolidation en bonne position du tubercule majeur après hémiarthroplastie avec implant spécifique pour des fractures à 3 ou 4 fragments de l'extrémité supérieure de l'humérus.

Les objectifs secondaires concernent l'évaluation de facteurs influençant et influencés par la consolidation tubérositaire : les données démographiques des patients, les conditions de synthèse du tubercule majeur et d'implantation de la prothèse, et le protocole postopératoire.

II. MATÉRIEL et MÉTHODES DE LA MÉTA-ANALYSE

Cette méta-analyse a été construite en utilisant la méthode PRISMA [79].

La première étape a été d'identifier toutes les études rapportant des données concernant la consolidation des tubérosités sur des hémiarthroplasties post fractures d'humérus proximal.

Nous avons utilisé la base de données bibliographique suivante : Pubmed.

Les mots clés suivants ont été utilisés :

- « Fracture »
- Localisation anatomique de la fracture : « proximal humerus, upper humerus »
- Type de traitement : « hemiarthroplasty, anatomic prosthesis »

La deuxième étape consistait à exclure les doublons, et sélectionner les références sur le titre et les résumés. Nous sélectionnions les références rapportant des données sur la consolidation des tubérosités (tuberosity healing).

Les textes ont été évalués en texte intégral pour juger leur éligibilité. Étaient exclus les textes évaluant d'autres traitement que les hémiarthroplasties, ou d'hémiarthroplastie non-réalisées en première intention, ou concernant une population de patient spécifique et non pas en population générale (figure 33).

Toutes les données issues des articles ont été colligées dans un tableur Excel.

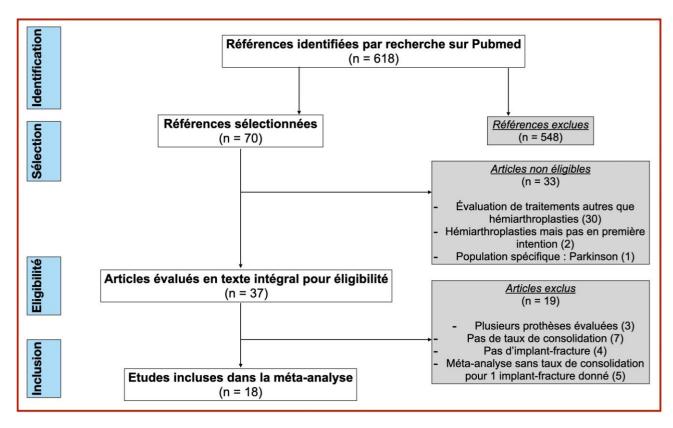


Figure 33. Diagramme de flux

III. RÉSULTATS DE LA MÉTA-ANALYSE

Sur les 70 références sélectionnées, 37 répondaient aux critères d'éligibilité.

Nous avons conservé les articles étudiant 1 seul type d'implant fracture avec des données sur la consolidation du tubercule majeur.

Finalement 18 études ont été inclues dans la méta-analyse.

Une évaluation du niveau de preuve a été faite pour chaque étude (tableau 7). Une seule étude apportait un niveau de preuve scientifique établi.

Grade des recommandations	Niveau de preuve	Nombre d'études
А	Preuve scientifique établie (1)	1
В	Présomption scientifique (2)	0
С	Bas niveau de preuve scientifique	1 (niveau 3)
	(3 et 4)	16 (niveau 4)

Tableau 7. Niveau de preuves des études

Sachant que nous évaluions un résultat lié au type d'implant et que tous les implants n'étaient pas identiques, il nous est apparu intéressant de préciser que pour 10 études, les auteurs ne

rapportaient pas de conflit d'intérêt, pour 4 un financement par le laboratoire produisant la prothèse était déclaré et dans 4 études nous n'avons pas retrouvé de précision concernant cette déclaration de conflit d'intérêt. Nous avons choisi de ne pas exclure les articles pour lesquels il y avait un conflit d'intérêt mis en avant.

711 épaules ont été incluses.

L'âge moyen de la population étudiée dans notre méta-analyse était 70 ans (63-79) avec 66% de femmes.

La durée moyenne de suivi était 28 mois (6-60).

Les fractures étaient toujours classées selon la classification de Neer, en fracture à 3 ou 4 fragments, à refend céphalique ou associée à une luxation antérieure ou postérieure.

Concernant les caractéristiques des implants utilisés, il s'agissait exclusivement d'implantsfractures.

Le design des métaphyses des implants était varié :

- pour 6 articles les implants étaient étroits, avec une fenêtre pour implanter de la greffe osseuse,
- pour 2 articles les implants étaient standards,
- 4 articles comprenaient des implants à métaphyse large,
- et 9 articles utilisaient des métaphyses standards avec un revêtement spécifique type reliefs en pointes, tantalum, hydroxyapatite ou enduit poreux.

Six études ont utilisé l'implant Aequalis-fracture ® (Tornier).

L'ostéosuture tubérositaire était uniquement dans le plan horizontal pour 7 études (sutures et/ou cerclages horizontaux) et horizontal et vertical pour les 11 autres.

Les sutures utilisées étaient toujours non résorbables (par exemple : Éthibond® n°5 ou câble métallique).

L'immobilisation était réalisée par gilet coude au corps dans 2/3 des cas, ou par écharpe. La durée d'immobilisation était le plus souvent de 6 semaines (9 études).

La rééducation était initiée dans la majorité des cas dès J1 post-opératoire par des exercices de type pendulaire et mobilisation passive. Dans 3 études le protocole de rééducation débutait à 3 semaines. Pour 5 études, aucune rééducation n'était réalisée avant le premier mois.

Le taux moyen de consolidation du tubercule majeur pour les hémiarthroplasties d'épaule est de 68% (22-95).

Ils sont présentés dans le tableau 8.

Article	Nombre de patients	Moyenne d'âge (ans)	Taux de consolidation du tubercule majeur (%)
Agarwal [61]	24	63	79
Brandao [62]	67	65	49
Cuff [63]	23	74	57
Dietz [64]	49	72	57
Doursounian [65]	22	68	91
Fucentese [66]	25	63	92
Kralinger [41]	12	70	42
Krishnan [57]	112	72	79
Li [67]	42	65	93
Loew [68]	18	70	50
Nijs [69]	44	73	84
Pape [70]	38	72	58
Pijls [71]	30	72	77
Pijls [72]	41	68	95
Reineck [73]	65	NA	92
Sebastiá-Forcada [74]	30	73	57
Valenti [75]	51	71	22
White [76]	26	79	50
Total	719	70	68

Tableau 8. Présentation du taux de consolidation du tubercule majeur des 18 articles de la méta-analyse.

L'évaluation de la consolidation des tubérosités était toujours réalisée sur des radiographies, avec des clichés standards de face et de profil à plus de 6 mois postopératoire. Fucentese complétait son analyse avec un examen scannographique [66]. Il a ainsi fait le constat suivant : conclure sur une radiographie que la tubérosité était résorbée était parfois faux quand sur le scanner, on voyait finalement une fine pellicule osseuse. Néanmoins il ne tient pas compte des artéfacts liés à la prothèse métallique sur la lecture des images.

Les critères d'évaluation de la bonne consolidation des tubérosités étaient les suivants :

- Subjectifs ou en tout cas non détaillés dans 14 articles ;
- Cal osseux ou ponts osseux visibles dans 3 articles;
- Une évaluation scannographique en complément de l'analyse radiographique pour 1 article.

Les critères d'évaluation du bon positionnement du tubercule majeur étaient les suivants (tableau 9) :

- Subjectif ou en tout cas non détaillé ;
- La distance entre les droites passant par le sommet du tubercule majeur et le sommet de la tête prothétique avec une norme à 5-10mm selon Boileau [36], correspondant à la position verticale ;
- L'offset latéral, à savoir la présence ou non du tubercule latéralement à l'aileron sur une radiographie de face, correspondant à la position horizontale du tubercule majeur ;
- Le déplacement entre la radiographie post opératoire immédiate et le contrôle au plus long recul avec en cas de déplacement de plus de 5 mm, une position jugée incorrecte.

Critère de position du tubercule majeur	Nombre d'articles étudiant ce critère
Subjectif ou non détaillé	8
Position verticale	8
Position horizontale	2
Déplacement post opératoire	2

Tableau 9. Nombres d'articles étudiant les critères de position subjectif ou objectif du tubercule majeur.

Boileau [36] précise que les facteurs qui affectent la consolidation de la tubérosité sont le positionnement de la prothèse, la stabilité de la fixation de la tubérosité et la qualité de l'os (le taux de pseudarthrose est plus élevé chez les personnes âgées et dans les os porotiques).

Ainsi pour nous, les facteurs influençant la consolidation du tubercule majeur semblent être de 2 types : mécanique et technique d'une part et tissulaire d'autre part.

1. Mécanique et technique

◆ Type de prothèse

Krishnan [57] montre qu'un implant-fracture augmente significativement le taux de consolidation tubérositaire par rapport à une tige conventionnelle.

La prothèse à métaphyse large (Global Depuy®) est associée à un moins bon taux de consolidation des tubérosités dans l'étude de Kralinger [41]. L'impression de White est qu'un désépaississent est nécessaire pour obtenir un positionnement satisfaisant des tubérosités avec ces implants à métaphyse large [76]. Selon lui, ce désépaississement serait responsable en plus d'un faible taux de consolidation (13/26 cas), d'un taux de résorption important (18/26 cas).

L'intérêt d'un revêtement hautement poreux en tantale a été montré par Li [67] avec un taux de consolidation à 93%. Ce type de matériau augmente la résistance biomécanique en augmentant le potentiel de croissance osseuse.

Concernant le scellement, 14 articles sur les 18 rapportaient des implants cimentés.

Pijls [71] défend l'avantage du sans-ciment en précisant que l'apport sanguin de la métaphyse n'est pas compromis par la chaleur dégagée par le ciment et que cela entrainerait une meilleure consolidation des tubérosités.

Type d'ostéosuture des tubérosités

Dans notre méta-analyse, 16 articles rapportent des ostéosutures aux fils non résorbable. Dans 7 articles, les sutures ne sont que dans le plan horizontal et dans les 11 autres, elles sont horizontales et verticales.

L'intérêt d'une synthèse solide est d'assurer une stabilité primaire des tubérosités.

Pour Doursounian [65], il est indispensable d'avoir un hauban vertical en plus des sutures horizontales pour favoriser la consolidation des tubérosités.

Dietz utilise un cerclage au câble en acier autour des tubérosités [64]. La vascularisation pourrait être compromise avec ce système. Néanmoins, en utilisant la même prothèse et en n'ajoutant que ce cerclage, Dietz a augmenté significativement la consolidation des tubérosités de 40 à 75 % [64].

Pijls [72] décrit une nouvelle technique de suture des tubérosités avec un système de lasso autour de la diaphyse de l'humérus plutôt qu'un passage des fils dans l'os. En effet, il craignait que les fils se rompent dans les orifices corticaux et que l'os ostéoporotique soit plus fragile que la traction exercée sur les fils et se fracture. Ces ruptures de sutures pourraient expliquer des déplacements secondaires des tubérosités.

Hauteur de la prothèse

Reineck [73] considère que l'hémiarthroplastie d'épaule post fracture devrait être considérée comme une ostéosynthèse augmentée, avec une implantation prothétique précise et une reconstruction anatomique des tubérosités. Pour lui le facteur déterminant la consolidation en bonne position des tubérosités est la hauteur prothétique. Il l'évalue avec le rétablissement de l'arche gothique entre la face médiale de l'extrémité proximale de l'humerus et le col de la scapula et son pilier.

◆ Expérience du chirurgien

Selon Loew [68], l'expérience du chirurgien et la durée de chirurgie semblent influencer le taux de consolidation des tubérosités.

Dans l'étude de Kralinger [41], l'expérience du chirurgien influe significativement sur les résultats: dans les centres où il était fait moins de 15 prothèses par an, le taux de consolidation était de 38%, tandis que les centres qui en opéraient plus de 15/an obtenaient un taux de consolidation de 68,2%.

◆ Protocole post opératoire

Ce paramètre d'immobilisation post opératoire et de rééducation post opératoire n'a pas été évoqué dans les articles de notre méta-analyse comme influençant le taux de consolidation des tubérosités.

2. Tissulaire

◆ Données démographiques

Agarwal [61] a montré que l'âge de plus de 55 ans versus moins de 55 ans avait significativement affecté la consolidation des tubérosités.

Pour Fucentese [66] les facteurs améliorant la consolidation du tubercule majeur sont le jeune âge (63 ans) et le sexe masculin.

Dans l'étude de Kralinger [41] l'influence de l'âge sur la consolidation de la tubérosité était significative.

Valenti [75] a constaté que la population dont les tubérosités ont consolidé était plus jeune (moins de 70 ans) que celle avec ostéolyse ou pseudarthrose (plus de 75 ans). De même, les patients qui avaient un positionnement anatomique des tubérosités étaient plus jeunes que les patients présentant un déplacement tubérositaire.

Ostéoporose

Brandao [62] fait le même constat que Boileau [36] à savoir que le résultat fonctionnel chez les femmes était inférieur au résultat chez les hommes, probablement en raison de l'ostéopénie et de la fragilité des tubercules.

Les problèmes de qualité osseuse chez de nombreux patients âgés, peuvent être responsables des taux de consolidation et des résultats fonctionnels les moins bons [63].

A contrario, pour Doursounian [65] l'ostéoporose n'est pas un facteur de risque de développement de pseudarthrose; tout réside dans la technique de fixation des tubérosités.

◆ Type de fracture

Agarwal [61] a montré que la comminution de la fracture avait significativement affecté la consolidation des tubérosités.

Greffe osseuse

6 articles rapportent un ajout de greffe osseuse dans leur technique opératoire. Sur 245 hémiarthroplasties réalisées avec ajout de greffe osseuse, 187 tubercules majeurs ont consolidé, soit un taux moyen de consolidation de 76,3% (tableau 10).

Auteur	Nombre d'épaules	Position greffe osseuse	Nombre de tubercules majeurs consolidés	Taux de consolidation (%)
Cuff [63]	23	Fenêtre métaphysaire	13	57
Kralinger [41]	12	Fenêtre métaphysaire	5	42
Krishnan [57]	112	Fenêtre métaphysaire	89	79
Li [67]	42	Sous tubercule majeur	39	93
Loew [68]	18	Fenêtre métaphysaire	9	50
Pape [70]	38	Fenêtre métaphysaire	32	58
Total pondéré	245		187	76,3

<u>Tableau 10. Taux de consolidation du tubercule majeur lorsqu'il y avait un ajout de greffe osseuse autologue</u> peropératoire.

Néanmoins, Kralinger ne retrouve pas d'amélioration significative du taux de consolidation des tubérosités lorsqu'il y avait ajout de greffe osseuse [41].

Concernant des astuces techniques des auteurs, pour le bon positionnement du tubercule majeur, Kralinger [41] et Brandao [62] préconisent la réalisation de clichés radiographiques per opératoires. En effet, la fixation primaire de la tubérosité en position non anatomique donne de mauvais résultats sur la consolidation [41]. Et en per opératoire, la coiffe rend difficile la visualisation directe de la bonne réduction du la tubérosité [62].

Brandao rappellent également que cette population a de l'os fragile et que la manipulation des tubercules doit être effectuée avec précaution, en évitant les manipulations brutales ou excessives susceptibles d'augmenter leur fragmentation [62].

Pour éviter de créer un conflit avec le tubercule majeur, l'implant ne doit pas être trop haut et Agarwal demande qu'il y ait un espace d'au moins 1 cm ou un doigt entre l'implant et l'acromion.

Nous avons également relevé les résultats fonctionnels des patients au plus long recul. Le score de Constant était fait dans 11 études et étaient en moyenne de 53 points (34-58). L'élévation antérieure moyenne était de 104° (60-140) et la rotation externe 1 de 24° (3-40).

7 articles mettent en avant l'influence de la consolidation des tubérosités sur l'amélioration du résultat fonctionnel [41, 62-64, 68, 70, 74].

Cuff [63] obtient une meilleure rotation externe quand le tubercule majeur est consolidé de manière significative : 28° versus 5°.

Il ne faut pas se méprendre sur la demande fonctionnelle des sujets âgés précise Kralinger [41]. Une tubérosité qui restait déplacée entraînait des douleurs et une diminution de l'amplitude des mouvements à cause du conflit. Les patients plus âgés n'étaient subjectivement pas plus satisfaits de leur épaule après hémiarthroplastie que les plus jeunes. Chez les sujets âgés, mêmes s'ils ont moins de demande fonctionnelle, la douleur et la perte de fonction ne sont pas mieux acceptées [41].

Pour Pape, la résorption du tubercule majeur est associée à un résultat fonctionnel significativement moins bon à 5 ans [70]. Cela peut s'expliquer par la perte fonctionnelle de la coiffe des rotateurs avec à l'origine d'une instabilité et d'un décentrement ultérieurs de la prothèse.

Cuff [63] et Krishnan [57] soulignent qu'une maladie dégénérative de la coiffe des rotateurs, présente avant la chirurgie chez de nombreux patients âgés, peut être responsable des mauvais résultats fonctionnels.

Pour Krishnan [57], la récupération fonctionnelle dépend également de l'état postopératoire de la coiffe des rotateurs. Le déplacement secondaire du tubercule majeur entraîne une infiltration graisseuse de la coiffe postéro supérieure [76].

Dans les paramètres mesurés, la douleur était indépendante de la consolidation des tubérosités mais est plutôt liée à la raideur suite à l'absence de mobilisation post opératoire précoce [41, 61].

IV. DISCUSSION DE LA MÉTA-ANALYSE

L'objectif de cette méta analyse était d'évaluer le taux de consolidation des tubérosités après hémiarthroplastie d'épaule par implant-fracture. Ainsi nous avons retrouvé un taux de consolidation du tubercule majeur de 68%.

Les limites de notre méta analyse concernent le bas niveau de preuve des études sélectionnées (seulement 1 étude avec un niveau de preuve scientifique établi). Comme ces études étaient souvent rétrospectives, il existe des biais liés à ce type d'études : le biais de sélection et la non prise en compte des facteurs de confusion.

Par ailleurs, le taux de consolidation des tubérosités est parasité par des critères d'évaluation de consolidation souvent subjectifs et donc pas toujours reproductibles (14 articles), et des critères de position souvent imprécis (non détaillés dans 8 articles).

Le temps de suivi était relativement court des patients 28 mois (6 à 60 mois) par rapport à la survie espérée de ces implants.

Le biais de publication existe dans notre travail puisque les articles montrant un très bon ou un très mauvais taux de consolidation seront potentiellement ceux qui seront publiés, alors qu'un article avec des résultats médiocres aura moins de chance d'avoir été publié.

Nous avons contrôlé le biais de langue puisque les articles non-écrits en anglais ont pu aussi être inclus.

La force de notre méta analyse est d'analyser le taux de consolidation du tubercule majeur seulement chez les patients ayant bénéficié d'une prothèse type implant-fracture.

V. CONCLUSION DE LA MÉTA-ANALYSE

Ce travail nous montre que le taux de consolidation des tubérosités n'est pas aisé à obtenir. Il existe des facteurs mécaniques et techniques et tissulaires qui influencent la consolidation du tubercule majeur.

Certains paramètres sont ajustables par l'opérateur :

- un implant-fracture comprenant une métaphyse étroite et avec un revêtement spécifique ;
- une suture des tubérosités dans le plan vertical et horizontal ;
- l'ajout de greffe osseuse autologue ;
- le contrôle de la hauteur prothétique ;
- et l'expérience du chirurgien.

La consolidation du tubercule majeur conditionne le résultat fonctionnel et clinique puisque la fonction de la coiffe des rotateurs en dépend. La rotation externe semble améliorée par la consolidation tubérositaire. Une non consolidation est à risque de migration proximale, de créer un conflit sub-acromial et d'être responsable de douleurs.

CONCLUSION

La prothèse Aequalis-fracture® est un implant permettant d'obtenir un résultat sur la consolidation du tubercule majeur satisfaisant.

Dans notre étude, le taux de consolidation était de 73%. Il est meilleur que le taux de consolidation avec un implant-fracture quel qu'il soit (68% dans notre méta-analyse).

De nos observations sur notre série, nous retenons qu'une rigueur chirurgicale est indispensable pour la synthèse périprothétique des tubercules.

Il faut les ostéosuturer avec un hauban vertical en plus de la suture horizontale, afin de lutter contre les forces de traction supérieure et postérieure des muscles de la coiffe des rotateurs.

Une suture bien faite garantit une position correcte du tubercule majeur et augmente les chances de consolidation.

Un contrôle par amplificateur de brillance en peropératoire nous paraît indispensable pour contrôler la réduction du tubercule majeur et la hauteur de l'implant.

Un implant prothétique correctement positionné, pas trop ascensionné, tirera moins sur les sutures et favorisera la consolidation osseuse du tubercule majeur.

Selon notre méta-analyse, il existe des facteurs mécaniques et techniques et tissulaires qui influencent la consolidation du tubercule majeur.

Certains paramètres autres que l'ostéosuture du tubercule majeur et le contrôle de la hauteur de la prothèse peuvent être améliorés par l'opérateur :

- Choisir un implant-fracture comprenant une métaphyse étroite et avec un revêtement spécifique ;
- Ajouter de la greffe osseuse autologue sous le tubercule majeur ;
- Acquérir de l'expérience concernant ce geste chirurgical.

Il est important de tenir compte du terrain du patient.

Les comorbidités du patient (diabète, maladie de Parkinson, éthylisme chronique, maladie chronique, épilepsie etc.) pourraient péjorer la consolidation du tubercule majeur.

L'épaisseur du tubercule majeur évalué lors du bilan préopératoire peut également orienter le potentiel de consolidation ultérieure du tubercule. Les tubercules majeurs uniquement constitués d'os cortical, fins et fragmentés n'ont pas beaucoup de potentiel de consolidation. Les tubercules majeurs épais, corticaux et spongieux, semblent plus observés dans les cas de consolidations et de consolidations en position anatomique.

Les résultats cliniques et fonctionnels étaient améliorés en cas de consolidation tuberculaire. L'élévation antérieure active était supérieure à 90° et la rotation externe coude au corps supérieure à 20° chez plus de 75% des patients avec un tubercule majeur consolidé.

La consolidation du tubercule majeur, en restaurant la coiffe des rotateurs, conditionne la fonction de l'épaule. Et notamment l'élévation antérieure et la rotation externe, indispensables à la réalisation des gestes de la vie quotidienne.

Pour ouvrir les perspectives et compléter les données concernant la consolidation du tubercule majeur autour d'un implant anatomique, nous avons également étudié une population de patients traités par prothèse totale inversée pour le même type de fracture.

OUVERTURE

I. PLACE DE LA PROTHÈSE INVERSÉE DANS LES FRACTURES

Les résultats des hémiarthroplasties sont jugés peu fiables pour le traitement des fractures chez les patients âgés [84].

En effet ces mauvais résultats ont été attribués à une mauvaise consolidation des tubercules, aux comorbidités associées et à l'incapacité du patient de se conformer à la rééducation précise [84]. En parallèle, l'essor de la prothèse d'épaule inversée dans les arthropathies d'épaule à coiffe détruite a incité des tentatives de traitement des fractures d'épaule chez les sujets âgés par prothèse d'épaule inversée.

Grammont avait déjà proposé son utilisation dans les années 1990 [90].

En cas de présence de facteurs pronostiques de mauvais résultat d'une hémiarthroplastie post fracture, il est logique de proposer la réalisation d'une prothèse inversée.

L'avantage de la prothèse d'épaule inversée est que la récupération de la mobilité en élévation est possible même si la consolidation des tubercules est incomplète, grâce au muscle deltoïde.

Les risques des prothèses inversées sont les luxations, les encoches sur le pilier de la scapula et les descellements de l'implant glénoïdien.

Nous avons évalué le taux de consolidation du tubercule majeur chez des patients opérés d'une prothèse d'épaule inversée et les paramètres associés à la consolidation. La population provenait du centre hospitalo-universitaire de Lille et avait été opérée par un même type de prothèse inversée entre janvier 2017 et juin 2021.

II. EXPÉRIENCE LILLOISE

Nous avons revu 35 de patients de 75 ans d'âge moyen (49-91), 28 femmes et 7 hommes. Ils avaient présenté des fractures de l'extrémité proximale de l'humérus, classées selon Neer (tableau 11).

Classification		Nombre de patients concernés
Neer	3 fragments	1
	4 fragments	23
	4 fragments et luxation antérieure associée	9
	Avec refend céphalique	1

Tableau 11. Classification des fracture dans la série des prothèses inversées.

L'IMC moyen était 27,5kg/m2.

La population était exclusivement retraitée.

Les circonstances traumatiques étaient dans 94% des cas une chute de leur hauteur, et on a observé 2 agressions.

Les comorbidités des patients étaient les suivantes :

- 6 patients diabétiques ;
- 0 patient éthylique chronique ;
- 4 patient présentant des troubles neuro cognitifs ;
- 13 patients avec un antécédent d'ostéoporose suivi par un rhumatologue ou de fracture ostéoporotique.

Un patient a présenté un déficit dans le territoire du nerf médian post traumatique.

Tous les patients ont été opérés par une même prothèse d'épaule inversée. Il s'agissait de la prothèse inversée UNIC®, Société Veodis, utilisée dans les cas d'arthrose glénohumérale associée ou non à une lésion irréparable de la coiffe des rotateurs (figure 34).

Ce n'est pas un implant spécifique aux fractures.



Figure 34. Prothèse UNIC® inversée (Société Veodis)

Le dessin de cette prothèse inversée possède une métaphyse relativement large puisqu'elle comprend deux ailerons latéraux pour la réinsertion des tubérosités. Elle est recouverte d'hydroxyapatite et la partie distale de la tige humérale est cimentée. Il existe la possibilité d'un réglage multi-position de la cupule permettant de gérer la latéralisation et la tension du deltoïde. La fixation glénoïdienne par lame hélicoïdale est atraumatique et favorablement résistante aux contraintes en cisaillement.

La voie d'abord utilisée était supérolatérale dans 30 cas et deltopectorale chez les 5 autres patients.

Il n'y avait jamais de greffe osseuse placée sous le tubercule majeur.

Les tubercules étaient systématiquement réinsérées, et dans 14% des cas l'ostéosuture était horizontale et verticale. 30 cas sur les 35 ont eu qu'une suture horizontale des tubérosités.

La ténotomie du biceps était systématique.

Le protocole postopératoire était le même pour tous les patients : une immobilisation par un gilet coude au corps en rotation interne 6 semaines et une rééducation retardée à 3 semaines-1 mois avec en moyenne 58 séances avec le kinésithérapeute (10 à 100).

Le recul moyen était de 22 mois (4 à 56 mois).

Il a été réalisé un contrôle radiographique au plus long recul pour évaluer la consolidation radiographique du tubercule majeur.

Le critère de consolidation était positif si des ponts osseux ou du cal osseux était visible.

La position du tubercule majeur était jugée correcte s'il était visible et latéral par rapport à l'implant sur un cliché de face.

Au plus long recul, nous avons également noté les amplitudes articulaires mesurées au goniomètre et évalué le score fonctionnel de Constant.

III. RÉSULTATS CONCERNANT LA SÉRIE DES PROTHÈSES INVERSÉES

1. Paramètres radiographiques

◆ Consolidation du tubercule majeur

Le taux de consolidation du tubercule majeur était de 49% (17/35) (figure 35).

18 patients sur les 35 ne présentaient pas de signe de consolidation du tubercule majeur au plus long recul.

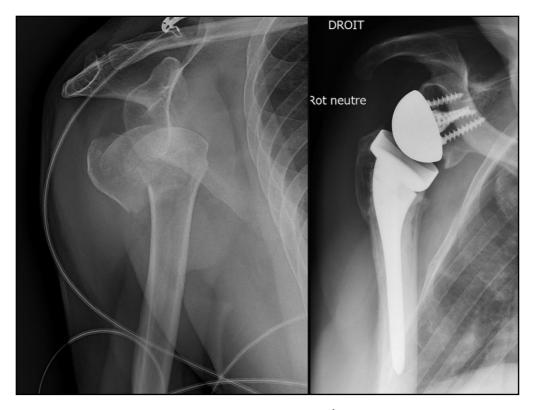


Figure 35. Radiographies de face de l'épaule droite. À gauche, le cliché pré opératoire montrant une fracture à 4 fragments déplacée et luxée. À droite, le contrôle au plus long recul, avec une consolidation osseuse correcte du tubercule majeur.

◆ Position du tubercule majeur

La position du tubercule majeur a été jugée correcte dans 17 cas sur 35 (49%) (figure 36).

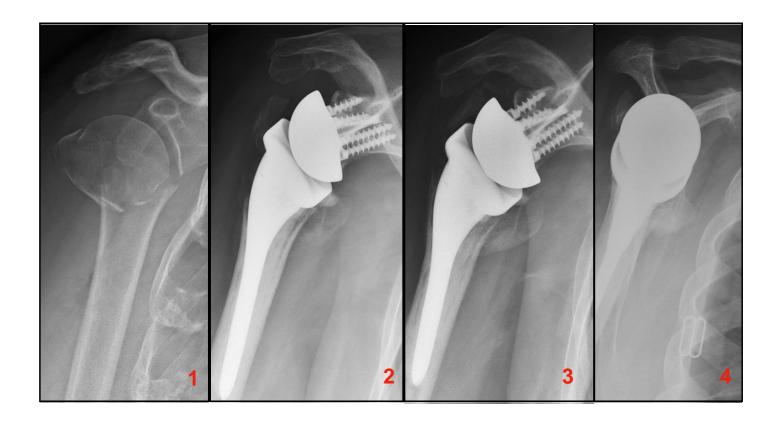


Figure 36 . Radiographies d'épaule droite.

- 1) En pré opératoire, ce cliché montre une fracture à 4 fragments, déplacée en valgus.
- 2) Sur le contrôle à 1 mois, on observe un déplacement proximal du tubercule majeur.
- 3) Au plus long recul, le tubercule majeur est partiellement résorbé, non consolidé, et déplacé en médial.
- 4) Au plus long recul sur le profil, le tubercule majeur est déplacé en postérieur.

◆ Tubercule majeur consolidé et en position anatomique

Chez 13 patients nous avons observé un tubercule majeur consolidé et en position anatomique.

Autres paramètres évalués

Nous n'avons pas relevé de descellement d'implant glénoidien ni d'encoche scapulaire majeure.

Nous avons observé 3 cas de quasi synostoses gléno-humérales.

La mobilité de l'épaule ne pouvait que faire qu'au prix d'une mobilité de l'articulation scapulo thoracique. Chez ces patients, l'élévation antérieure chez ces patients ne dépassaient pas 70° et la rotation externe était impossible.

Nous les présentons dans la figure 37.



Figure 37. 3 cas d'ossifications hétérotopiques péri articulaires correspondant à des quasi synostoses glénohumérales.

On n'observe pas de cas de descellements d'implants ni d'encoche scapulaire.

2. Résultats cliniques et fonctionnels

L'élévation antérieure moyenne était de 112° (30 à 160°). La rotation externe coude au corps moyenne était de 6° (allant de -10° à 50°). Le score de Constant moyen était de 54 points (11 à 86).

IV. <u>COMPARAISON DE LA SÉRIE DES PROTHÈSES INVERSÉES À LA SÉRIE DES PROTHÈSES ANATOMIQUES AVEC IMPLANT FRACTURE</u>

Nous avons comparé les caractéristiques des patients des deux séries (tableau 12).

La répartition des patients de la population avec prothèse inversée comportait plus de femmes et des patients plus âgés.

En revanche il n'y avait pas de différence significative concernant les types de fractures entre les deux séries.

	Dans la série hémiarthroplastie (Rouen-Strasbourg)	Dans la série prothèse inversée (Lille)	p-value
Sexe féminin	25	28	n=0.03
Sexe masculin	20	7	p=0,03
Age moyen	66	75	p=0,0001
Type de fracture 4 fragments	17	23	p=0,06
Autres	22	11	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •

<u>Tableau 12. Comparaison des populations des deux séries : hémiarthroplasties par implant-fracture et prothèses inversées.</u>

Test de Chi 2 si n > 5 ; Test de Fisher si n<5 ; différence significative si p<0,05.

1. Données radiographiques de consolidation

Nous avons évalué 2 paramètres:

- Le taux de consolidation du tubercule majeur en fonction du type de prothèse implanté, soit une hémiarthroplastie par implant fracture soit une prothèse inversée non spécifique aux fractures ;
- Si pour un âge ou un sexe donné, il valait mieux proposer une hémiarthroplastie ou une prothèse inversée pour obtenir une bonne consolidation tubérositaire.

Le taux de consolidation en fonction de la prothèse

Le taux de consolidation était significativement meilleur dans la série des hémiarthroplasties par implant-fracture par rapport aux patients ayant eu une prothèse inversée (tableau 13). Cela est peut-être expliqué par la prédominance de femmes et de patients plus âgés dans la

population des prothèses inversées.

	Dans la série hémiarthroplastie par implant fracture (Rouen-Strasbourg)	Dans la série <u>prothèse</u> <u>inversée non spécifique</u> (Lille)	p-value
Consolidation	32	17	p=0.02
Non consolidation	12	18	

<u>Tableau 13. Evaluation du taux de consolidation en fonction du type de prothèse implanté.</u>

Test de Chi 2 ; différence significative si p<0,05.

◆ Les caractéristiques démographiques et la consolidation en fonction de la prothèse

Nous avons comparé statistiquement les taux de consolidation des deux populations en fonction du sexe et de l'âge (tableau 14).

Les femmes semblent obtenir de meilleurs taux de consolidation avec une hémiarthroplastie par implant-fracture qu'avec une prothèse inversée.

Concernant l'âge, nous avons choisi de tester 70 ans comme limite d'âge puisque l'âge médian de la série des hémiarthroplasties était 65 ans et celui de la série des prothèses inversées était 76 ans.

Il apparait que chez les plus de 70 ans, on obtient de meilleurs taux de consolidation avec une hémiarthroplastie par implant-fracture qu'avec une prothèse inversée.

Cependant, comme les populations étaient statistiquement différents sur l'âge et le sexe, il faut rester prudent sur ces conclusions.

	Dans la série hémiarthroplastie (Rouen-Strasbourg)	Dans la série prothèse inversée (Lille)	p-value
Sexe féminin consolidé	21	13	p=0,008
Sexe féminin non consolidé	4	15	μ-0,000
Sexe masculin consolidé	11	4	n=1
Sexe masculin non consolidé	8	3	p=1
Age < 70 consolidé	18	6	n=0.49
Age < 70 non consolidé	9	5	p=0,48
Age > 70 consolidé	14	11	n=0.02
Age > 70 non consolidé	3	13	p=0,02

<u>Tableau 14. Comparaison des taux de consolidation entre les deux séries, selon les caractéristiques de sexe et d'âge</u>

Test de Chi 2 si n > 5 ; Test de Fisher si n<5 ; différence significative si p<0,05.

2. Données fonctionnelles et cliniques

Nous avons testé la comparabilité des deux séries à nouveau, sachant que tous les patients évalués par radiographies n'avaient pas tous été revus cliniquement dans les deux séries. On obtient les mêmes différences concernant l'âge et le sexe et une absence de différence significative à propos du type de fracture (tableau 15).

	Dans la série <u>hémiarthroplastie</u> <u>par implant fracture</u> n(23) (Rouen-Strasbourg)	Dans la série <u>prothèse inversée</u> non <u>spécifique</u> n(31) (Lille)	p-value
Age (écart type)	65 (11)	76 (9)	p=0,001
Sexe féminin	12	25	0.02
Sexe masculin	11	6	p=0,03
Types de fracture : 4 fragments	11	22	n=0.00
Autres	12	9	p=0,08

<u>Tableau 15. Comparaison des populations pour lesquelles nous avons des données cliniques : les deux séries, hémiarthroplasties par implant-fracture et prothèses inversées.</u>

Test de Chi 2 si n > 5; Test de Fisher si n < 5; différence significative si p < 0.05.

La rotation externe coude au corps est significativement meilleure avec une hémiarthroplastie par implant-fracture plutôt qu'avec une prothèse inversée (34° versus 6° en moyenne) (tableau 16).

Cela est peut-être expliqué par la prédominance de femmes et de patients plus âgés dans la population des prothèses inversées.

L'élévation antérieure moyenne était de 112° avec la prothèse inversée et de 93° avec l'hémiarthroplastie par implant fracture.

Le score de Constant moyen était de 63 points dans la série d'hémiarthroplasties versus 54 points dans celle des prothèses inversées.

L'élévation antérieure et le score de Constant ne sont pas significativement différents quel que soit le type d'implant choisi.

	Dans la série <u>hémiarthroplastie</u> <u>par implant fracture</u> (Rouen-Strasbourg)	Dans la série <u>prothèse inversée</u> <u>non spécifique</u> (Lille)	p-value
Élévation > 90	14	21	p=0,6
Elevation < 90	9	10	
RE1 > 20	16	2	p=0,001
RE1 < 20	6	29	
Constant > 60	12	13	p=0,36
Constant < 60	10	18	

<u>Tableau 16. Comparaison des paramètres cliniques et fonctionnels entre les deux séries: hémiarthroplasties</u> par implant-fracture et prothèses inversées.

Test de Chi 2 si n > 5 ; Test de Fisher si n<5 ; différence significative si p<0,05.

Nous n'avons pas pu mettre en évidence de différence significative entre les 2 séries concernant la rotation externe selon la consolidation du tubercule majeur (tableau 17).

	Dans la série <u>hémiarthroplastie</u> <u>par implant fracture</u> (Rouen-Strasbourg)	Dans la série <u>prothèse inversée</u> <u>non spécifique</u> (Lille)	p-value
RE1 > 20 consolidé	12	2	p=1
RE1 > 20 non consolidé	4	0	
RE1 < 20 consolidé	2	14	p=0,66
RE1 < 20 non consolidé	4	15	

<u>Tableau 17. Comparaison des rotations externes coude au corps en fonction de la consolidation du tubercule</u> <u>majeur entre les deux séries: hémiarthroplasties par implant-fracture et prothèses inversées.</u>

Test de Fisher si n<5; différence significative si p<0,05.

V. REVUE DE LA LITTÉRATURE

D'après Bufquin [85], le principal avantage des prothèses inversées par rapport aux hémiarthroplasties dans un contexte post-fracture, est que même en l'absence de consolidation des tubercules, le patient reste capable d'élever le bras.

Cazeneuve montre que [82] sur 30 prothèse inversée post fracture sans réinsertion des tubérosités, il y a des complications à type d'instabilité (2 patients), de descellement de l'implant prothétique huméral (2 patients), et 7 cas de lyse osseuse périprothétique humérale proximale.

Dans une série du même auteur [81], sur 16 patients de 75 ans en moyenne ayant bénéficié d'une prothèse inversée d'épaule dans un contexte traumatique, 87,5% parvenaient à une élévation antérieure active supérieure à 120°. Il a montré que la récupération de la rotation externe active était meilleure lorsque les tubercules avaient été fixées et qu'elles avaient consolidées.

En comparant les résultats cliniques des patients ayant eu une prothèse inversée par rapport à ceux ayant eu une hémiarthroplastie d'épaule, il n'apparaissait pas de différence significative [48]. Cependant Sirveaux a remarqué qu'avec la prothèse inversée, l'élévation antérieure active n'excédait jamais 150° mais aucun patient avait moins de 90° élévation antérieure active. Tandis qu'avec l'hémiarthroplastie, certains patients parvenaient à atteindre plus que 150° d'élévation antérieure active (11%) mais 50% des patients avait moins de 90° élévation antérieure active. Il souligne également le fait qu'une réparation rigoureuse des tubérosités favorisaient leur consolidation et permettait d'obtenir une récupération de la rotation externe active.

Boileau [83] a étudié le taux de consolidation du tubercule majeur chez 38 patients de plus de 70 ans traitée pour une fracture de l'épaule par une prothèse Aequalis Reverse-Fracture® (Tornier, Edina, MN, USA), avec l'ajout de greffe osseuse autologue et une ostéosuture des tubérosités horizontale et verticale.

Il observe un taux de consolidation de 84% (32/38).

Il montre ainsi que la consolidation des tubérosités peut être obtenue de manière reproductible même chez les patients âgés. <u>La reconstruction et la consolidation des tubérosités améliorent</u> <u>l'élévation active antérieure et la rotation externe ainsi que la satisfaction du patient.</u>

En moyenne, l'élévation antérieure active était de 135° et la rotation externe de 24°.

Néanmoins, parmi les complications, il note 18 cas sur 38 de notching scapulaire inférieur, a priori sans conséquence sur la mobilité et la fonction de l'épaule.

En réponse aux chirurgiens qui réalisaient l'excision systématique des tubérosités il répond en soulevant 3 points :

- 1) Le risque <u>d'instabilité</u> est potentiellement réduit du fait de la reconstruction des parois antérieure et postérieure et de la restauration de la longueur humérale ;
- 2) Le risque <u>d'infection</u> est réduit car l'espace mort périprothétique est minimisé et l'os et les tissus mous environnants sont mieux vascularisés ;
- 3) La probabilité de <u>descellement</u> de l'implant huméral est réduite car la tige ne dépend pas uniquement de la fixation distale ; l'enveloppe osseuse reconstruite autour de la métaphyse recouverte d'hydroxy-apatite de calcium, offre une fixation proximale supplémentaire pour la prothèse semi-contrainte.

VI. <u>CONCLUSION SUR LA PROTHÈSE INVERSÉE POUR LES</u> FRACTURES

La prothèse inversée est une alternative à l'hémiarthroplastie.

Dans cette série de prothèse inversée sur fracture, le taux de consolidation était de 49% avec un positionnement correct du tubercule majeur dans la moitié de cas (49%).

Sur le plan technique, il n'y avait jamais d'ajout de greffe osseuse autologue sous les tubercules, et rarement (5 cas sur 35) un hauban vertical en plus de la suture horizontale pour lutter contre la migration du tubercule majeur.

Nous avons comparé ces résultats à la série des hémiarthroplasties par implant-fracture, et le taux de consolidation était significativement meilleur dans la série des hémiarthroplasties par implant-fracture.

Les femmes et les sujets de plus de 70 ans semblent avoir de meilleurs taux de consolidation avec une hémiarthroplastie par implant-fracture (p=0,008 et p=0,02).

À propos des résultats cliniques, l'élévation antérieure moyenne est meilleure pour la série des prothèses inversées, sans que cela soit significatif.

La rotation externe coude au corps est significativement meilleure avec une hémiarthroplastie par implant fracture (34° versus 6° en moyenne).

Dans notre étude, nous n'avons pas pu montrer de lien significatif entre les résultats cliniques et la consolidation du tubercule majeur.

Le score fonctionnel de Constant est meilleur dans la série des hémiarthroplasties par implant-fracture sans qu'une différence significative soit mise en évidence.

Ainsi, les résultats cliniques et fonctionnels dans la série des prothèses inversées ne sont pas unanimement en faveur de la prothèse inversée.

Cela peut être expliqué par trois catégories de biais présents dans cette série des prothèses inversées.

- 1) Les biais techniques et mécaniques
- Le type de prothèse inversée était non spécifique aux fractures avec notamment une métaphyse large et sans orifices pour passer les fils d'ostéosuture des tubérosités.
- La technique d'ostéosuture des tubérosités comprenait peu de haubans verticaux en plus des sutures horizontales.

2) Les biais tissulaires

- Les patients étaient en moyenne plus âgés et comprenaient plus de femmes.
- Il n'y avait pas d'ajout de greffe osseuse en per opératoire.
- 3) Les biais inhérents aux recueils de données
- Le recueil des données était rétrospectif.
- Le biais de recrutement lié au fait que les patients ont été recrutés dans un centre hospitalouniversitaire.
- Le biais de mesure concernant les données radiographiques était contrôlé puisque les données étaient relues par 2 observateurs indépendants et les mêmes pour les deux séries. Néanmoins les données cliniques et fonctionnelles ont été recueillies par 2 observateurs différents entre les deux séries.

En accord avec Boileau [83] et Cazeneuve [81], il nous semble à nouveau qu'une reconstruction rigoureuse des tubérosités avec un implant adapté aux fractures, et en per opératoire, un ajout de greffe osseuse et la réalisation d'un hauban vertical supplémentaire permettrait d'obtenir de meilleurs résultats fonctionnels et cliniques avec une prothèse inversée.

Finalement, que ce soit une hémiarthroplastie par prothèse type implant-fracture ou une prothèse inversée, après une fracture complexe de l'épaule, il faut suturer les tubercules avec un hauban vertical pour obtenir le meilleur taux de consolidation et ainsi restaurer la fonction de l'épaule.

BIBLIOGRAPHIE

- 1. Angibaud L, Zuckerman JD, Flurin PH, Roche C, Wright T. Reconstructing proximal humeral fractures using the bicipital groove as a landmark. Clin Orthop Relat Res. mai 2007;458:168-74.
- 2. Kontakis GM, Damilakis J, Christoforakis J, Papadakis A, Katonis P, Prassopoulos P. The bicipital groove as a landmark for orientation of the humeral prosthesis in cases of fracture. J Shoulder Elbow Surg. avr 2001;10(2):136-9.
- 3. Gray H: Anatomy of the Human Body, 28th ed (CM Goss, ed). Philadelphia: Lea & Febiger, 1966, pp 324-326.
- 4. Mochizuki T, Sugaya H, Uomizu M, Maeda K, Matsuki K, Sekiya I, et al. Humeral insertion of the supraspinatus and infraspinatus. New anatomical findings regarding the footprint of the rotator cuff. Surgical technique. J Bone Joint Surg Am. 1 mars 2009;91 Suppl 2 Pt 1:1-7.
- 5. Boileau P, Pennington SD, Alami G. Proximal humeral fractures in younger patients: fixation techniques and arthroplasty. Journal of Shoulder and Elbow Surgery. 1 mars 2011;20(2):S47-60.
- 6. Duparc F, Muller JM, Fréger P. Arterial blood supply of the proximal humeral epiphysis. Surg Radiol Anat. juin 2001;23(3):185-90.
- 7. Neer CS. Displaced proximal humeral fractures. II. Prosthetic replacement of the humeral head: indications and operative technique. Surg Clin North Am. dec 1963;43:1581-97.
- 8. Le Gars L, Gagey O, Saidani N, et al. Three dimensional reconstruction of the fibrous frame of the rotator cuff. Surg Radiol Anat. 1997;19:265–268.
- 9. Gagey O, Hue E. Mechanics of the deltoid muscle. A new approach. Clin Orthop Relat Res. juin 2000;(375):250-7.
- 10. Dufour M, Langlois K, Pillu Michel, Del Valle Acedo S. Biomécanique fonctionnelle : Membres-Tête-Tronc. Paris: Elsevier Masson; 2017.
- 11. Court-Brown CM, Garg A, McQueen MM. The epidemiology of proximal humeral fractures. Acta Orthop Scand. août 2001;72(4):365-71.
- 12. Palvanen M, Kannus P, Niemi S, Parkkari J. Update in the epidemiology of proximal humeral fractures. Clin Orthop Relat Res. janv 2006;442:87-92.
- 13. Kannus P, Palvanen M, Niemi S, Parkkari J, Järvinen M, Vuori I. Increasing number and incidence of osteoporotic fractures of the proximal humerus in elderly people. BMJ. 26 oct 1996;313(7064):1051-2.
- 14. Olsson C, Nordqvist A, Petersson CJ. Increased fragility in patients with fracture of the proximal humerus: a case control study. Bone. juin 2004;34(6):1072-7.
- 15. Codman EA. Fractures in relation to the subacromial bursa. In:The Shoulder Rupture of the Supraspinatus Tendon and Other Lesions in or About the Subacromial Bursa. Boston: Thomas Todd; 1934:313-331.

- 16. Neer CS, Brown TH, Mclaughlin HL. Fracture of the neck of the humerus with dislocation of the head fragment. Am J Surg. mars 1953;85(3):252-8.
- 17. Neer CS. Displaced proximal humeral fractures. I. Classification and evaluation. J Bone Joint Surg Am. sept 1970;52(6):1077-89.
- 18. Favard L, Berhouet J, Bacle G. Fractures récentes de l'extrémité supérieure de l'humérus de l'adulte. EMC Appareil locomoteur. juill 2012;7(3):1-16.
- 19. Duparc J. [Classification of articular fractures of the upper extremity of the humerus]. Acta Orthop Belg. 1995;61 Suppl 1:65-70.
- 20. Hertel R, Hempfing A, Stiehler M, Leunig M. Predictors of humeral head ischemia after intracapsular fracture of the proximal humerus. J Shoulder Elbow Surg. août 2004;13(4):427-33.
- 21. Muller ME, Nazarian S, Kocx P. Classification AO des fractures. In: Classification AO des fractures. Paris: Springer Verlag; 1987. p. 54–63.
- 22. Sidor ML, Zuckerman JD, Lyon T, Koval K, Cuomo F, Schoenberg N. The Neer classification system for proximal humeral fractures. An assessment of interobserver reliability and intraobserver reproducibility. J Bone Joint Surg Am. déc 1993;75(12):1745-50.
- 23. Kristiansen B, Andersen UL, Olsen CA, Varmarken JE. The Neer classification of fractures of the proximal humerus. An assessment of interobserver variation. Skeletal Radiol. 1988;17(6):420-2.
- 24. Bahrs C, Schmal H, Lingenfelter E, Rolauffs B, Weise K, Dietz K, et al. Inter- and intraobserver reliability of the MTM-classification for proximal humeral fractures: a prospective study. BMC Musculoskelet Disord. 17 févr 2008;9:21.
- 25. Stoddart M, Pearce O, Smith J, McCann P, Sheridan B, Al-Hourani K. Proximal Humerus Fractures: Reliability of Neer Versus AO Classification on Plain Radiographs and Computed Tomography. Cureus. 9 juin 2020;12(6):e8520.
- 26. Brunner A, Honigmann P, Treumann T, Babst R. The impact of stereo-visualisation of three-dimensional CT datasets on the inter- and intraobserver reliability of the AO/OTA and Neer classifications in the assessment of fractures of the proximal humerus. J Bone Joint Surg Br. juin 2009;91(6):766-71.
- 27. Huten D, Duparc F. Le traitement conservateur des fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus. Rev Chir Orthop 1998;84(suppl1):121–89.
- 28. Zyto K, Ahrengart L, Sperber A, Törnkvist H. Treatment of displaced proximal humeral fractures in elderly patients. J Bone Joint Surg Br. mai 1997;79(3):412-7.
- 29. Olerud P, Ahrengart L, Ponzer S, Saving J, Tidermark J. Internal fixation versus nonoperative treatment of displaced 3-part proximal humeral fractures in elderly patients: a randomized controlled trial. J Shoulder Elbow Surg. juill 2011;20(5):747-55.
- 30. Olerud P, Ahrengart L, Ponzer S, Saving J, Tidermark J. Hemiarthroplasty versus nonoperative treatment of displaced 4-part proximal humeral fractures in elderly patients: a randomized controlled trial. J Shoulder Elbow Surg. oct 2011;20(7):1025-33.

- 31. Foruria AM, de Gracia MM, Larson DR, Munuera L, Sanchez-Sotelo J. The pattern of the fracture and displacement of the fragments predict the outcome in proximal humeral fractures. J Bone Joint Surg Br. mars 2011;93(3):378-86.
- 32. Thanasas C, Kontakis G, Angoules A, Limb D, Giannoudis P. Treatment of proximal humerus fractures with locking plates: a systematic review. J Shoulder Elbow Surg. déc 2009;18(6):837-44.
- 33. Riemer BL, Foglesong ME, Burke CJ, Butterfield SL. Complications of Seidel intramedullary nailing of narrow diameter humeral diaphyseal fractures. Orthopedics. janv 1994;17(1):19-29.
- 34. Sirveaux F. Place des prothèses dans le traitement des fractures récentes de l'extrémité proximal de l'humérus. In: Huten D, directeur. 21 Mises au point en chirurgie de l'épaule. Paris: Elsevier Masson; 2016. p. 235-52.
- 35. Neer CS. Displaced proximal humeral fractures. II. Treatment of three-part and four-part displacement. J Bone Joint Surg Am. sept 1970;52(6):1090-103.
- 36. Boileau P, Krishnan SG, Tinsi L, Walch G, Coste JS, Molé D. Tuberosity malposition and migration: reasons for poor outcomes after hemiarthroplasty for displaced fractures of the proximal humerus. J Shoulder Elbow Surg. oct 2002;11(5):401-12.
- 37. Nho SJ, Brophy RH, Barker JU, Cornell CN, MacGillivray JD. Management of proximal humeral fractures based on current literature. J Bone Joint Surg Am. oct 2007;89 Suppl 3:44-58.
- 38. Robinson CM, Page RS, Hill RMF, Sanders DL, Court-Brown CM, Wakefield AE. Primary hemiarthroplasty for treatment of proximal humeral fractures. J Bone Joint Surg Am. juill 2003;85(7):1215-23.
- 39. Iannotti JP, Ramsey ML, Williams GR, Warner JJ. Nonprosthetic management of proximal humeral fractures. Instr Course Lect. 2004;53:403-16.
- 40. Tingart MJ, Apreleva M, von Stechow D, Zurakowski D, Warner JJ. The cortical thickness of the proximal humeral diaphysis predicts bone mineral density of the proximal humerus. J Bone Joint Surg Br. mai 2003;85(4):611-7.
- 41. Kralinger F, Schwaiger R, Wambacher M, Farrell E, Menth-Chiari W, Lajtai G, et al. Outcome after primary hemiarthroplasty for fracture of the head of the humerus. A retrospective multicentre study of 167 patients. J Bone Joint Surg Br. mars 2004;86(2):217-9.
- 42. Boileau P, Coste JS, Ahrens P, et al. Prosthetic shoulder replacement for fracture: results of the multicenter study. In: Walch G, Boileau P, Mole D, editors. 2000 Shoulder Protheses... two to ten year follow-up. Montpellier: Sauramps Médical; 2001. p. 561-73.
- 43. Plausinis D, Kwon YW, Zuckerman JD. Complications of humeral head replacement for proximal humeral fractures. Instr Course Lect. 2005;54:371-80.
- 44. De Wilde LF, Plasschaert FS, Audenaert EA, Verdonk RC. Functional recovery after a reverse prosthesis for reconstruction of the proximal humerus in tumor surgery. Clin Orthop Relat Res. janv 2005;(430):156-62.
- 45. Sirveaux F, Favard L, Oudet D, Huquet D, Walch G, Molé D. Grammont inverted total shoulder arthroplasty in the treatment of glenohumeral osteoarthritis with massive rupture of the cuff. Results of a multicentre study of 80 shoulders. J Bone Joint Surg Br. avr 2004;86(3):388-95.

- 46. De Wilde L, Mombert M, Van Petegem P, Verdonk R. Revision of shoulder replacement with a reversed shoulder prosthesis (Delta III): report of five cases. Acta Orthop Belg. oct 2001;67(4):348-53.
- 47. Parsch D, Wittner B. [Prevalence of rotator cuff defects in dislocated fractures of the humerus head in elderly patients]. Unfallchirurg. nov 2000;103(11):945-8.
- 48. Sirveaux F, Navez G, Favard L, et al. Reverse prosthesis for acute proximal humerus fracture, the multi centric study. In: Walch G, Boileau P, Mole D, editors. Reverse shoulder arthroplasty: clinical results, complications, revision. Montpellier: Sauramps Médical; 2006.
- 49. Gerber A, Warner JJ. Hemiarthroplasty for management of complex proximal humerus fractures: preoperative planning and surgical solution. In: Warner JJ, lannotti JP, Flatow E, editors. Complex and revision problems in shoulder surgery. 2e éd Philadelphie: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p. 311-29.
- 50. Krishnan SG, Bennion PW, Reineck JR, Burkhead WZ. Hemiarthroplasty for proximal humeral fracture: restoration of the Gothic arch. Orthop Clin North Am. oct 2008;39(4):441-50, vi.
- 51. Boileau P, Walch G. The three-dimensional geometry of the proximal humerus. Implications for surgical technique and prosthetic design. J Bone Joint Surg Br. sept 1997;79(5):857-65.
- 52. Pearl ML, Volk AG. Coronal plane geometry of the proximal humerus relevant to prosthetic arthroplasty. J Shoulder Elbow Surg. août 1996;5(4):320-6.
- 53. Iannotti JP, Gabriel JP, Schneck SL, Evans BG, Misra S. The normal glenohumeral relationships. An anatomical study of one hundred and forty shoulders. J Bone Joint Surg Am. avr 1992;74(4):491-500.
- 54. Doursounian L, Grimberg J, Cazeau C, Jos E, Touzard RC. A new internal fixation technique for fractures of the proximal humerus--the Bilboquet device: a report on 26 cases. J Shoulder Elbow Surg. août 2000;9(4):279-88.
- 55. Kapandji A. [Osteosynthesis using the « palm-tree » nail technic in fractures of the surgical neck of the humerus]. Ann Chir Main. 1989;8(1):39-52.
- 56. Zanetti M, Gerber C, Hodler J. Quantitative assessment of the muscles of the rotator cuff with magnetic resonance imaging. Invest Radiol. mars 1998;33(3):163-70.
- 57. Krishnan SG, Reineck JR, Bennion PD, Feher L, Burkhead WZ. Shoulder arthroplasty for fracture: does a fracture-specific stem make a difference? Clin Orthop Relat Res. déc 2011;469(12):3317-23.
- 58. Sirveaux F, Roche O, Molé D. Shoulder arthroplasty for acute proximal humerus fracture. Orthop Traumatol Surg Res. oct 2010;96(6):683-94.
- 59. Boileau P, Trojani C, Walch G, Krishnan SG, Romeo A, Sinnerton R. Shoulder arthroplasty for the treatment of the sequelae of fractures of the proximal humerus. J Shoulder Elbow Surg. août 2001;10(4):299-308.
- 60. Rietveld AB, Daanen HA, Rozing PM, Obermann WR. The lever arm in glenohumeral abduction after hemiarthroplasty. J Bone Joint Surg Br. août 1988;70(4):561-5.
- 61. Agarwal S, Rana A, Sharma RK. Functional outcome after primary hemiarthroplasty in three or four part proximal humerus fracture: A short term followup. Indian J Orthop. déc 2016;50(6):590-4.

- 62. Brandão BL, Amaral MVG, Cohen M, Correia RG de M, Abdenur CHG, Monteiro MT, et al. Treatment of complex acute proximal humerus fractures using hemiarthroplasty. Rev Bras Ortop. févr 2013;48(1):29-35.
- 63. Cuff DJ, Pupello DR. Comparison of Hemiarthroplasty and Reverse Shoulder Arthroplasty for the Treatment of Proximal Humeral Fractures in Elderly Patients. JBJS. 20 nov 2013;95(22):2050-5.
- 64. Dietz SO, Broos P, Nijs S. Suture fixation versus cable cerclage of the tuberosities in shoulder arthroplasty- clinical and radiologic results. Arch Orthop Trauma Surg. juin 2012;132(6):793-800.
- 65. Doursounian L, Gaillard J, Cambon-Binder A, Zbili D, Sautet A. Hemiarthroplasty for proximal humerus fractures with conservation of the whole humeral head as autograft: does it improve greater tuberosity healing? Int Orthop. mai 2019;43(5):1155-64.
- 66. Fucentese SF, Sutter R, Wolfensperger F, Jost B, Gerber C. Large metaphyseal volume hemiprostheses for complex fractures of the proximal humerus. J Shoulder Elbow Surg. mars 2014;23(3):427-33.
- 67. Li F, Jiang C. Trabecular metalTM shoulder prosthesis in the treatment of complex proximal humeral fractures. Int Orthop. nov 2013;37(11):2259-64.
- 68. Loew M, Heitkemper S, Parsch D, Schneider S, Rickert M. Influence of the design of the prosthesis on the outcome after hemiarthroplasty of the shoulder in displaced fractures of the head of the humerus. The Journal of Bone and Joint Surgery British volume. mars 2006;88-B(3):345-50.
- 69. Nijs S, Reuther F, Broos P. Primary fracture arthroplasty of the proximal humerus using a new and freely adjustable modular prosthesis combined with compression osteosynthesis of the tuberosities. Oper Orthop Traumatol. févr 2011;23(1):21-8.
- 70. Pape G, Tonne L, Raiss P, Loew M, Zeifang F. [Prostheses for fractures of the proximal humerus: presentation of current results of anatomical fracture shoulder prosthesis under consideration of alternative concepts]. Orthopade. mars 2013;42(3):164-9.
- 71. Pijls BG, Werner PH, Eggen PJ. Primary uncemented hemiarthroplasty for severe fractures of the proximal humerus. J Orthop Trauma. mai 2011;25(5):279-85.
- 72. Pijls BG, Werner PH, Eggen PJ. Alternative humeral tubercle fixation in shoulder hemiarthroplasty for fractures of the proximal humerus. J Shoulder Elbow Surg. mars 2010;19(2):282-9.
- 73. Reineck JR, Krishnan SG, Burkhead WZ. Four-part proximal humerus fractures: evaluation and treatment. Hand Clin. nov 2007;23(4):415-24, v.
- 74. Sebastiá-Forcada E, Cebrián-Gómez R, Lizaur-Utrilla A, Gil-Guillén V. Reverse shoulder arthroplasty versus hemiarthroplasty for acute proximal humeral fractures. A blinded, randomized, controlled, prospective study. Journal of Shoulder and Elbow Surgery. 1 oct 2014;23(10):1419-26.
- 75. Valenti P, Aliani D, Maroun C, Werthel JD, Elkolti K. Shoulder hemiarthroplasty for proximal humeral fractures: analysis of clinical and radiographic outcomes at midterm follow-up: a series of 51 patients. Eur J Orthop Surg Traumatol. avr 2017;27(3):309-15.

- 76. White JJE, Soothill JR, Morgan M, Clark DI, Espag MP, Tambe AA. Outcomes for a large metaphyseal volume hemiarthroplasty in complex fractures of the proximal humerus. J Shoulder Elbow Surg. mars 2017;26(3):478-83.
- 77. Kontakis G, Koutras C, Tosounidis T, Giannoudis P. Early management of proximal humeral fractures with hemiarthroplasty: a systematic review. J Bone Joint Surg Br. nov 2008;90(11):1407-13.
- 78. Sperling JW, Cuomo F, Hill JD, Hertel R, Chuinard C, Boileau P. The difficult proximal humerus fracture: tips and techniques to avoid complications and improve results. Instr Course Lect. 2007;56:45-57.
- 79. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JPA, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. Ann Intern Med. 18 août 2009;151(4):W65-94.
- 80. Molé D, Favard L. Excentered scapulohumeral osteoarthritis. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. oct 2007;93(6 Suppl):37-94.
- 81. Cazeneuve JF, Cristofari DJ. Grammont reversed prosthesis for acute complex fracture of the proximal humerus in an elderly population with 5 to 12 years follow-up. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. oct 2006;92(6):543-8.
- 82. Cazeneuve JF, Cristofari DJ. The reverse shoulder prosthesis in the treatment of fractures of the proximal humerus in the elderly. J Bone Joint Surg Br. avr 2010;92(4):535-9.
- 83. Boileau P, Alta TD, Decroocq L, Sirveaux F, Clavert P, Favard L, et al. Reverse shoulder arthroplasty for acute fractures in the elderly: is it worth reattaching the tuberosities? Journal of Shoulder and Elbow Surgery. 1 mars 2019;28(3):437-44.
- 84. Levy JC, Badman B. Reverse shoulder prosthesis for acute four-part fracture: tuberosity fixation using a horseshoe graft. J Orthop Trauma. mai 2011;25(5):318-24.
- 85. Bufquin T, Hersan A, Hubert L, Massin P. Reverse shoulder arthroplasty for the treatment of three- and four-part fractures of the proximal humerus in the elderly: a prospective review of 43 cases with a short-term follow-up. J Bone Joint Surg Br. avr 2007;89(4):516-20.
- 86. F Duparc. La fixation tubérositaire dans les prothèses pour fracture humérale. Rev Chir Orthop, 2005, 91, 575-580.

ANNEXE

Tableau 5. Caractéristiques des patients présentant une consolidation en position anatomique du tubercule majeur.

ABSTRACT

	S e x e	g e (a n s)	Tin gar t (m m)	Antécéde nt d'éthylis me chronique (O : Oui N : Non)	Circ ons tan ces	D él ai (j o ur s)	Expéri ence du chirur gien (A: PUPH ou PH B: CCA)	Type de fracture selon Neer (4F : 4 fragmen ts L : luxation associé e NA : pas de données)	Ostéo suture (H+V : horizo ntale et vertic ale H : horizo ntale seule)	G re ff e (O : O ui ;N : N o n)	Réédu cation	Réd ucti on post opér atoir e	Hau teur prot hès e corr ecte (O: Oui ;N: Non)
Ca s 7	F	59	1,6	N	Chute de sa hauteur	13	Α	4 F	H+V	0	Retardée	Parfait e	0
Ca s 8	Н	52	2,5	N	Crise épilepsie	4	А	4 F + L	H+V	0	Retardée	Parfait e	0
Ca s 11	F	70	2,1	N	Chute de sa hauteur	3	Α	4 F	H+V	0	Retardée	Parfait e	0
Ca s 16	F	81	1,8	N	Chute de sa hauteur	7	Α	4 F	H+V	0	Retardée	Parfait e	0
Ca s 18	F	87	2	N	Chute de sa hauteur	2	Α	4 F	H+V	N	Retardée	Parfait e	0
Ca s 22	F	60	1,7	N	AVP	12	В	4 F + L	H+V	0	Retardée	Parfait e	0
Ca s 24	F	59	1,9	N	Défénestra- tion	10	A	Refend céphalique	Н	0	Retardée	Parfait e	0
Ca s 27	F	65	2,7	N	AVP	3	Α	NA	Н	0	Retardée	Parfait e	0
Ca s 30		68	1,7	N	Crise épilepsie	5	A	Refend céphalique	H+V	0	Retardée	Parfait e	0
Ca s 31	F	68	1,4	N	Chute de sa hauteur	2	В	4 F + L	Н	0	Retardée	Parfait e	O
To tal	8 F/ 1 0	67	<4	N	6/10 pas chute de sa hauteur	<1 3j	8/10 PUPH		7/10 H+V	0	Retardée	Parfait e	Ο

INTRODUCTION Development and use of specific anatomic prothesis for shoulder's fracture aimed to reach the best rate of tuberosity healing, which means a cuff restitution to obtain the best functional records. This characteristic of specific implant leads us to an assessment of the rate of tuberosity healing.

MATERIALS AND METHODS Between January 2001 and December 2020, fifty-one patients had an anatomic prothesis Aequalis fracture® Tornier for shoulder's fracture in the university hospitals of Rouen and Strasbourg (France). 45 patients were included, mean-aged 66 years, 56% of women, with 4-parts fracture of Neer. Radiographics control just after the surgery were made to check the position of the greater tubercle. A second one was done at the longest follow-up to evaluate the healing and how were the positions of greater tubercle and of the prosthesis. Clinical and functional outcomes were noted. A meta-analysis (PRISMA) has been performed for re-enforcing our comparison to the data of the literature.

RESULTS The rate of greater tubercle healing was 73%. Better healing was obtained after both vertical and horizontal sutures of the major tubercles and lack of prothesis proximal movement. The rate of correct position of the greater tubercle was 34%. If the suture of tuberosity was made with vertical suture, there was 68% of good position of the tuberosity observed at the longer follow-up. Average active forward flexion was 93° (20-180°) and average external rotation was 34° (0-70°). Mean Constant score was 63.1 points (37-75).

DISCUSSION Our meta-analysis gathered 18 studies together after PRISMA method. The rate of tuberosity healing with anatomic-fracture-prosthesis was 68% (ranks 22-95). Two kind of factors had an influence on the greater tubercle healing: mechanistic and tissue's quality. A dedicated prosthesis for fracture, suture of tuberosity in a vertical plane, addition of bone graft, and careful choice of the high of the humeral implant improved the rate of tuberosity healing. Tissues factors cannot be changed by the surgeon but may influence the choice of prosthesis: an elderly woman with cuff tear is not likely to undergo tuberosity healing.

CONCLUSION Aequalis fracture® Tornier is an adapted prothesis for achieving the greater tubercle healing. Beware of gentle handling of tuberosity and radiographics control during surgery are required. We suggest a decision tree for fracture of upper extremity of humerus.

DOORWAY 35 patients with inverted prothesis UNIC® Véodis were reviewed with evaluation of tuberosity healing and functional results. Results were compared to those of the anatomic prosthesis. Tuberosity healing and external rotation were significantly better with anatomic prothesis Aequalis fracture®.

RÉSUMÉ

INTRODUCTION Le développement et l'utilisation des prothèses d'épaule anatomiques spécifiques des fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus ont été justifiés par la recherche d'une meilleure consolidation des tubercules, c'est-à-dire à terme l'espoir d'une reconstitution de la coiffe des rotateurs capable d'aboutir à une meilleure récupération fonctionnelle. Cet aspect spécifique des implants dits « implants-fractures » conduit à une évaluation de la consolidation des tubercules de l'humérus.

MATÉRIEL ET MÉTHODE Entre janvier 2001 et décembre 2020, 51 patients ont été opérés d'une hémiarthroplastie Aequalis fracture® Tornier pour fracture d'épaule aux centres hospitalo-universitaires de Rouen et Strasbourg. 45 patients ont été inclus, présentant des fractures à 4 fragments d'après la classification de Neer, avec âge moyen de 66 ans. Un contrôle radiographique était réalisé en post opératoire immédiat pour évaluer la position du tubercule majeur. Un deuxième contrôle radiographique était réalisé au plus long recul pour évaluer la consolidation et la position du tubercule majeur ainsi que la position de l'implant. Les paramètres cliniques d'amplitudes articulaires active et fonctionnels ont été évalués.

RÉSULTATS Le taux de consolidation était de 73%. Les facteur associés à une meilleure consolidation étaient une ostéosuture verticale et horizontale et l'absence de migration proximale de l'implant. Le tubercule majeur était en position anatomique dans 34% des cas. Le hauban vertical en plus d'une suture horizontale était associé à une position satisfaisante du tubercule majeur au plus grand recul dans 68% des cas. Sur 22 patients revu, l'élévation antérieure active moyenne était de 93° (20-180°) et la rotation externe coude au corps de 34° (0-70°). Le score de Constant moyen était de 63,1 points (37-75).

DISCUSSION Nous avons réalisé une méta-analyse selon PRISMA incluant 18 études parmi 618 identifiées dans PubMed. Le taux moyen de consolidation du tubercule majeur pour les hémiarthroplasties d'épaule était de 68% (22-95). Les facteurs influençant la consolidation du tubercule majeur étaient de 2 types : mécanique et tissulaire. Un implant prothétique spécifique aux fractures, une ostéosuture des tubercules avec un hauban vertical, l'ajout de greffe osseuse, et un contrôle de la hauteur de la prothèse influencent favorablement le taux de consolidation tuberculaire. Les facteurs tissulaires sont intrinsèques mais doivent être pris en compte pour le choix du type de prothèse : un patient âgé de sexe féminin avec une dégénérescence préexistante de la coiffe des rotateurs a plus de risque de non consolidation des tubercules.

CONCLUSION La prothèse Aequalis fracture® Tornier est un implant répondant au cahier des charges pour obtenir une consolidation tubérositaire satisfaisante. Reste qu'une rigueur chirurgicale est indispensable avec une manipulation prudente des tubérosités et un contrôle par amplificateur de brillance peropératoire de la position du tubercule majeur. Nous proposons un arbre décisionnel devant une fracture de l'extrémité supérieure de l'humérus.

OUVERTURE Nous avons revu 35 patients opérés avec la prothèse inversée UNIC® Véodis et évalué le taux de consolidation du tubercule majeur et les résultats fonctionnels. Les résultats ont été comparés à ceux de la série des hémiarthroplasties par implant-fracture. Le taux de consolidation des tubercules et la rotation externe étaient significativement meilleur dans la série de prothèses Aequalis fracture®.