

# Les causes du descellement aseptique des prothèses totales anatomiques de l'épaule

## Glenoid Aseptic Loosening After Anatomical Shoulder Replacement: a Systematic Review of the Radiolucent Line Significance and of the Loosening Mechanisms

TM Gregory [1,2,3], C Sukjamsri [2], U Hansen [2], AA Amis, R Emery [4,5], B Augereau [1]

1. Service de chirurgie orthopédique et traumatologique - Hôpital Européen Georges Pompidou - Université Paris Descartes - Paris.

2. Department of Mechanical Engineering - Imperial College London - London - UK.

3. Paris-Centre de Recherche Cardiovasculaire - Inserm U970 - Unité 0 - Université Paris Descartes - Paris.

4. Division of Surgery and Cancer - Imperial College London School of Medicine - London - UK.

5. Department of Orthopaedic Surgery - St Mary's Hospital - London - UK.

### Mots clés

- ◆ Prothèse totale d'épaule
- ◆ Glène
- ◆ Descellement aseptique
- ◆ Liseré

### Résumé

Le descellement aseptique de l'implant glénoïdien est la principale cause d'échec des prothèses totales anatomiques de l'épaule. Les mécanismes du descellement font l'objet de nombreux articles expérimentaux en laboratoire ou en élément fini, observationnels à partir de glènes reprises chirurgicales, et cliniques à partir de l'analyse de liserés et d'ostéolyse sur l'imagerie post-opératoire.

Cet article analyse la signification des liserés et de l'ostéolyse radiologique rapportés dans les séries cliniques et de leur lien avec le descellement, pour aboutir à une meilleure compréhension des mécanismes de descellements de l'implant glénoïdien des prothèses totales anatomiques de l'épaule.

### Keywords

- ◆ Shoulder replacement
- ◆ Glenoid
- ◆ Aseptic Loosening
- ◆ Radiolucent lines

### Abstract

Glenoid component aseptic loosening is the main complication after anatomical total shoulder replacement. The mechanisms of the glenoid loosening have been studied through laboratory testing, Finite Element analysis, retrieved component series, and *in vivo* from the analysis of lucencies on post-operative X-Rays.

The present article gives a systematic review of the significance of the lucencies around the glenoid component and of their link with effective loosening in order to provide a thorough understanding of the glenoid loosening mechanisms after Anatomical Total Shoulder Replacement.

Le descellement aseptique des prothèses anatomiques de l'épaule (PTE) en est la principale complication. Dans une méta analyse étudiant 33 publications comprenant 2 540 prothèses, Boshali et al. (3) rapporte que ce descellement aseptique compte pour 39 % des 14,7 % de complications. Dans 83 % des cas, le descellement aseptique implique la fixation de l'implant glénoïdien, un descellement de l'implant huméral ayant souvent une origine infectieuse (19). Dans ces études, le descellement glénoïdien est défini par une migration, une translation ou une bascule de l'implant, ou, le plus souvent, par la présence d'un liseré circonférentiel de plus de 1,5mm d'épaisseur autour de l'implant (3). Ces liserés (lignes radio transparentes péri prothétiques) sont observés dans plus de 80 % des cas à plus de 10 ans de recul. Il s'agit donc d'un événement fréquent et donc inquiétant lorsque l'on compare ces chiffres à ceux rapportés pour les prothèses d'autres articulations comme la hanche ou le genou. Même s'il n'est pas

certain que la fréquence de mise en place des prothèses d'épaule soit associée à une fréquence accrue des complications par rapport à d'autres prothèses, les courbes de survie des prothèses anatomiques de l'épaule sont nettement inférieures à celles des prothèses de hanche et de genou.

Pourtant, la signification des liserés et leur lien avec le descellement donnent matière à débat

Ils sont en effet observés de façon variable selon les études, entre 0 et 100 % des cas (3).

L'objectif de cet article est donc, à la lumière de la littérature, de donner un éclairage sur la signification des images radiologiques du descellement, puis, de comparer les études *in-vivo* basées sur les liserés aux études en laboratoire et aux séries d'implants repris chirurgicalement afin de caractériser les mécanismes conduisant au descellement aseptique des prothèses anatomiques de l'épaule et à leurs facteurs de risques.

### Correspondance :

Dr Thomas M. Gregory, Service de chirurgie orthopédique et traumatologique - Hôpital Européen Georges Pompidou - 20-40, rue Leblanc - 75908 Paris cedex 15.

Tel: +33-1-5609-3260 - E-mail : tms.gregory@gmail.com

Disponible en ligne sur [www.academie-chirurgie.fr](http://www.academie-chirurgie.fr)

1634-0647 - © 2015 Académie nationale de chirurgie. Tous droits réservés.

DOI : 10.14607/emem.2015.2.007

	1	2	3
Chirurgien 1	A	C	B
Chirurgien 2	A	B	C
Chirurgien 3	C	A	B
Chirurgien 4	C	B	A
Radiologue 1	A	B	C
Radiologue 2	C	A	B
Radiologue 3	C=A	A=C	B
Radiologue 4	C	B	A
Réponse correcte	B=C	C=B	A

Tableau I : Résultat du classement chronologique (1,2 et 3) des trois radiographies de face de l'épaule (A,B et C), illustrées Figure 1, par quatre chirurgiens de l'épaule et quatre radiologues ostéo-articulaires. « = » signifie que l'observateur juge deux radiographies ont été réalisées le même jour. Aucun des huit observateurs n'a pu classer chronologiquement correctement ces trois radiographies en se basant sur les liserés radiologiques. Pour les radiographies B et C, le recul est identique, seule l'incidence du rayon lors de la réalisation du cliché diffère légèrement.

## Du liseré au descellement

### Le liseré sur les radiographies standard n'est pas un signe fiable de descellement

Il est couramment admis que seul le caractère progressif du liseré est associé au descellement mais ce critère d'évolutivité est discutable puisque l'observation d'un liseré est variable d'un observateur à l'autre (10,28) et est évalué différemment pour peu que l'incidence radiologique diffère légèrement (Fig 1 et Tableau I). De plus, les radiographies standards sous estiment ces liserés. Yian et al. (28) ont étudiés une série de 47 PTE 40 % des liserés visualisés au scanner ne l'était pas à la radiographie. Plus récemment, Gregory et al. (10) ont montré que la fiabilité inter-observatrice des liserés était trois fois plus faible sur les radiographies standards que sur les scanners, et que 74 % des ostéolyses visualisées au scanner ne l'étaient pas sur les radiographies.

Ainsi, les résultats des études prenant l'analyse des liserés radiologiques comme critère de descellement sont hautement discutables.

### Les liserés et l'ostéolyse visualisés au scanner sont liés au descellement

L'analyse des liserés au scanner est plus reproductible que sur des radiographies standards (12,28) et permet une analyse de l'ostéolyse périprothétique. Cette ostéolyse est définie par une zone dépourvue de travées osseuses de plus de 2mm d'épaisseur et peut être classée en cinq stades au niveau de l'implant glénoïdien (12) : absence d'ostéolyse, ostéolyse débutante (localisée à un endroit de la fixation), ostéolyse majeure entourant l'ensemble de la fixation sans atteinte de la corticale, ostéolyse majeure associée à une ou plusieurs perméations de la corticale, ostéolyse majeure associée à une lyse de la corticale (Fig 2-a,b,c,d). Dans une série de 68 PTE suivies et évaluées au scanner à un recul variant de six à 88 mois (moyenne 35 mois, SD 26), Gregory et al. (12) ont observé une augmentation des liserés, évalués avec le score de Molé, et de l'ostéolyse avec le recul. Ces résultats cliniques sont compatibles avec une altération de la fixation de l'implant glénoïdien avec le temps.

Par ailleurs, le lien entre liseré au scanner et descellement de l'implant a été vérifié en laboratoire (11). Dans cette étude, les contraintes appliquées à la glène par la tête humérale ont été reproduites sur une série de six glènes implantées sur os cadavérique. La progression du descellement était suivie par la réalisation de scanners successifs. En fin d'étude, les implants ont été sacrifiés et les images radiologiques comparées à une analyse de la fixation des implants au microscope électronique. Cette comparaison a permis de vérifier que les



Figure 1 : Clichés post-opératoires de face d'une même prothèse d'épaule à des reculs similaires ou différents. Il a été demandé à 4 chirurgiens de l'épaule et 4 radiologues ostéo-articulaires de classer chronologiquement ces radiographies en se basant sur l'évolutivité du liseré. Les réponses sont répertoriées tableau a.

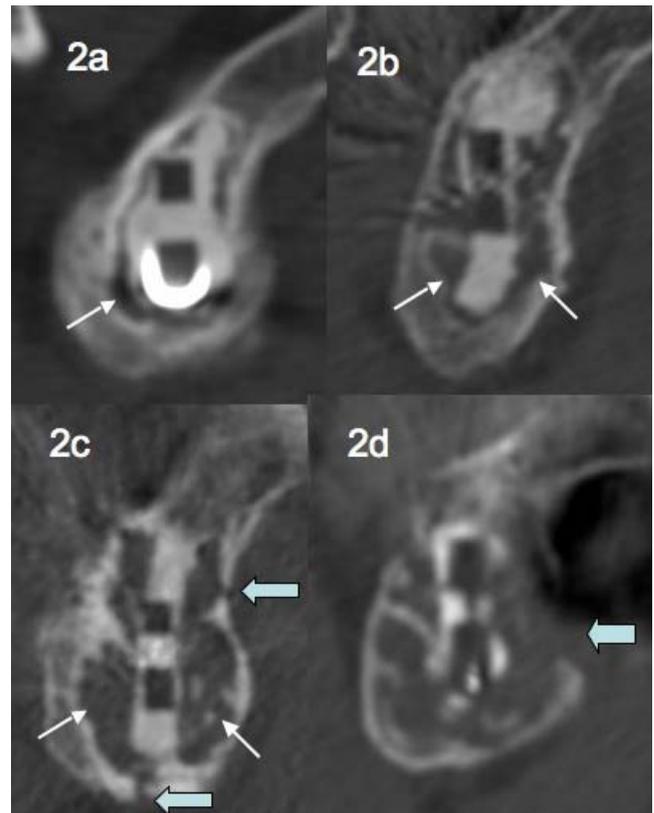


Figure 2 : Différents stades d'ostéolyse visualisée au scanner (coupes sagittales) autour de l'implant glénoïdien (flèches simples : ostéolyse touchant os spongieux ; flèches doubles : ostéolyse touchant la corticale). Figure 2a : ostéolyse débutante (localisée à un endroit de la fixation). Figure 2b : ostéolyse majeure entourant l'ensemble de la fixation sans atteinte de la corticale. Figure 2c : ostéolyse majeure associée à une ou plusieurs perméations de la corticale. Figure 2d : ostéolyse majeure associée à une lyse de la corticale.

images de liseré au scanner correspondent à un descellement de l'implant. Sous l'effet de contraintes excentriques, le descellement progresse de la périphérie de l'implant jusqu'à la partie centrale de la fixation, à la fois sous l'influence de forces en compression et en distraction. L'interface impliquée est, dans un premier temps, l'interface ciment-implant puis, dans un deuxième temps, l'interface ciment-os ; ce deuxième interface étant responsable à terme du descellement complet de l'implant (18).

Si la visualisation d'un liseré sur les radiographies standard est peu informative (10) et son caractère évolutif difficile à définir, la visualisation de liserés au scanner est associée au descellement de l'implant, partiel s'il se limite à un endroit de la fixation de l'implant, et total lorsqu'il s'agit d'un liseré complet autour de l'implant (11).



Figure 3 : Tissu de granulation de type granulome à polyéthylène retrouvé autour d'un implant repris pour descellement aseptique.



Figure 4 : Photo de 3 glènes reprises chirurgicalement pour descellement aseptique montrant l'usure asymétrique de celle-ci.

### Liseré, ostéolyse et retentissement clinique

Si donc ces images de liserés et d'ostéolyse radiologiques correspondent effectivement au descellement de l'implant, elles ne correspondent pas toujours à une perte de fonction de l'épaule. Pour Torchia et al (21), la présence de liseré complet > 1.5mm ou d'une zone d'ostéolyse est lié à l'apparition de douleur. Pour de nombreux autres auteurs, la perte de fonction est mineure malgré la présence de signe de descellement important (16,22). Une explication à la discordance des résultats observés est que, dans la majorité des séries publiées, l'étude du descellement était basée sur l'analyse de radiographies standards, et non sur l'analyse des scanners. Or, comme nous l'avons précédemment souligné, ces liserés radiologiques ne sont pas fiables pour l'étude du descellement (10,28). En 2006, étudiant au scanner une série de PTE à plus de 10 ans de recul, Zilber et al. (29) introduisaient le concept de « glène flottante ». Il s'agit de glènes entourées d'une volumineuse zone d'ostéolyse mais sans perte de fonction majeure (Fig 2b et 2c).

Pour Gregory et al. (12), la perte de fonction (hors rupture tendineuse de la coiffe des rotateurs et/ou descellement traumatique) serait associée à une ostéolyse s'étendant à la corticale avec lyse de cette dernière, provoquant une déstabilisation de l'implant responsable des douleurs (Fig 2d).

### Usure du PE-vitesse de l'usure et granulome à polyéthylène

Dans l'analyse au scanner d'une série de 68 PTE (12), une ostéolyse au scanner était visualisée de façon presque systématique lorsque le recul dépassait les 40 mois (24 cas sur 27) (12). Mais que signifient ces images et à quoi sont-elles associées ? Wirth et al. (27) ont pratiqué une analyse histologique de la membrane entourant trois PTE reprises pour descellement aseptique et accompagnées de signes radiologiques d'ostéolyse. Ils ont retrouvé, dans chaque cas, un processus de granulome à polyéthylène identique à celui responsable du descellement aseptique des prothèses de hanche (Fig 3), avec néanmoins une forme des particules d'usure différente de celle retrouvée pour la hanche (mois ronde, plus fibrillaire). D'autres auteurs ont réalisé un PET-CT afin d'évaluer l'activité biologique de ces images radiologiques d'ostéolyse. Ils ont observé une réaction intense autour de l'implant, à l'endroit de l'ostéolyse visualisée au scanner, pouvant correspondre à une activité inflammatoire de type granulome à polyéthylène (8).

Par ailleurs, la mesure de la vitesse d'usure du polyéthylène a été réalisée *in-vivo* par méthode scannographique (4). Dans cette étude impliquant des prothèses totales de type Neer 2 (Smith and Nephew), la vitesse d'usure du polyéthylène était évaluée à 0,38mm par an (pour une épaisseur totale de l'implant de 4mm). Bien que l'épaule ne soit pas une articulation portante, ces valeurs sont comparables aux valeurs de l'usure du polyéthylène des prothèses totales de hanche (en moyenne de 0,1 à 0,4 mm par an (15,23)) et expliquent que la survie de ces implants ne dépasse que peu les dix ans.

Les mécanismes responsables de l'usure du polyéthylène sont donc particulièrement importants à l'épaule.

### Les mécanismes du descellement

Nho et al en 2009 (17) ont publiés, à notre connaissance, la plus grande série de glènes reprises chirurgicalement comportant 78 cas. L'analyse des types d'usure sur ces glènes était la suivante. La totalité des implants avaient des lésions d'usure dues aux particules, à titre de rayure ou des piquetés, voir des particules métalliques pour toutes les prothèses métal-back.

Trente-cinq glènes avaient des déformations compatibles avec l'application de contraintes excentriques : déformation de la périphérie, apparition d'une cavité d'usure excentrée ou aspect délaminé du PE (Fig 4).

Une abrasion périphérique était observée pour 29 glènes, traduisant un conflit de la périphérie de l'implant avec la métaphyse humérale. Sept implants étaient fracturés, dont trois glènes Hylamer (implants stérilisés par gamma irradiation).

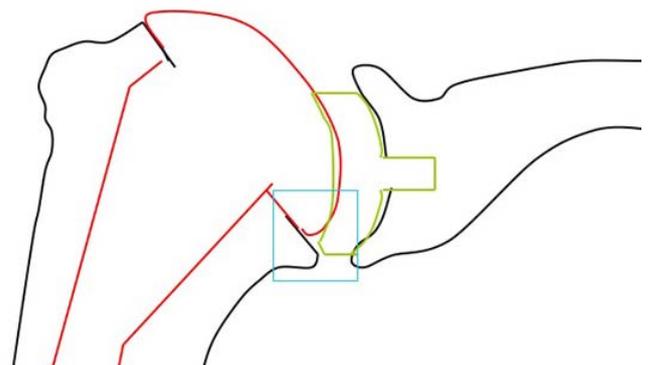


Figure 5 : Schéma illustrant l'usure du polyéthylène de la glène par conflit des berges de la glène avec la métaphyse humérale.

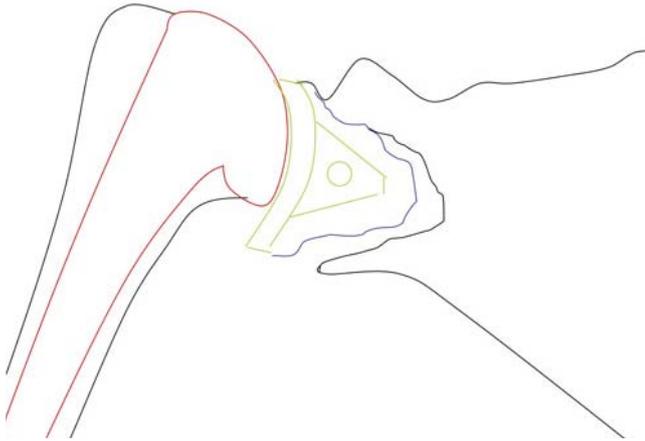


Figure 6 : Schéma illustrant le mécanisme de descellement par effet cheval à bascule.

tion en air ambiant, augmentant l'effet de dégradation oxydative des implants). Les autres glènes fracturées l'étaient à cause de l'usure majeure. Ainsi, les causes d'usure du polyéthylène conduisant au descellement de l'implant semblent être de deux types : l'application de contraintes excentriques par la tête humérale, aussi appelé « effet cheval à bascule » et les conflits périphériques de la glène.

### Conflit périphérique de la glène

Ainsi pour Nho et al (17), dans 37 % des cas, des lésions d'abrasion du PE à sa périphérie étaient visualisées. Ces lésions avaient été décrites par Hertel et al. (13) en 2003. Elles peuvent résulter d'un conflit entre la périphérie de l'implant et la métaphyse humérale proximale, lorsque celle-ci est imparfaitement couverte par la tête humérale prothétique. Ce conflit survient en adduction rotation interne, lorsque la partie inférieure et antérieure de l'implant entre en conflit avec la zone inférieure et antérieure de la métaphyse humérale (Fig 5).

Les autres facteurs favorisant d'un tel conflit sont, la présence d'une tête humérale sous dimensionnée qui offre une zone de découverte métaphysaire humérale ; un déséquilibre ligamentaire, responsable d'un jeu articulaire favorisant le conflit ; un défaut de positionnement en hyper rétroversion ou inclinaison de la tête, positions renforçant la saillie des bords antérieurs et inférieurs de la glène ; une congruence élevées et un dessin de l'implant glénoïdien à bord non émoussés.

### Effet cheval à bascule

Dans la série de Nho et al. (17) ; 45 % des glènes présentaient des signes d'usure excentrique: délamination, déformation des berges, facette d'usure excentrée. Ce mécanisme de descellement, appelé cheval à bascule, a été décrit par Franklin et al en 1988 (6). L'effet cheval à bascule est responsable du descellement par deux biais : d'une part, les contraintes excentriques appliquées à la glène augmentent l'usure du polyéthylène (par l'augmentation des contraintes à la périphérie de l'implant conduisant à la création avec le temps d'une glène à double concavité : concavité native associée à une fossette d'usure). D'autres part, ces contraintes excentriques sont responsables, au niveau de l'interface ciment-os de la prothèse, de contraintes en compression et cisaillement d'un côté et de contraintes en distraction de l'autre, favorisant le descellement mécanique de l'implant à l'interface ciment os (Fig 5).

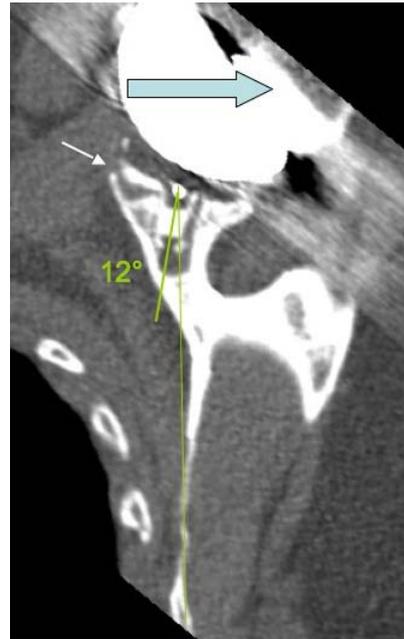


Figure 7 : Coupe axiale au scanner illustrant l'effet « cheval à bascule » avec subluxation postérieure de la tête humérale (flèche double) et soulèvement de la partie antérieure de la glène.

### Dysfonction de la coiffe des rotateurs

Lors de la description princeps par Franklin et al. (6), ce mécanisme de faillite des glènes prothétiques était associé à une rupture de la coiffe des rotateurs, la tête humérale appliquant des contraintes excentriques sur les berges de la glène (Fig 6). Il faut noter que ce mécanisme peut survenir dans le plan supéro-inférieur par exemple en cas de rupture mais aussi d'insuffisance du sus et sous-épineux (une rupture isolée du sus épineux n'étant pas une contre-indication à la PTE (2)) ET dans le plan antéro-postérieur, par exemple en cas de rupture secondaire du sous scapulaire ou en cas de rétroversion excessive de l'implant glénoïdien (Fig 7). Ainsi, une rupture de coiffe n'est pas toujours nécessaire à la survenue de ces contraintes excentriques et de l'effet cheval à bascule, les défauts de positionnement des implants pouvant également en être la cause.

### Le positionnement de la tête humérale

Les ruptures de coiffe ne sont pas les seules responsables du descellement. Il existe également des facteurs positionnels spécifiques aux implants. Au niveau de la tête humérale, le positionnement de l'implant est primordial (9). Un défaut de hauteur, de version ou d'inclinaison de l'implant pouvant entraîner l'application de contraintes excentriques, un conflit et une rupture secondaire de coiffe ou une zone de découverte métaphysaire entraînant une abrasion périphérique de la glène par conflit. Un mauvais choix de l'excentration de la tête par rapport à la diaphyse entraîne également une découverte métaphysaire et un conflit potentiel de la tête avec la coiffe. Enfin, une épaisseur de tête inadaptée peut entraîner soit l'apparition de contraintes excessives sur l'ensemble de l'implant en cas de tête trop épaisse (par tension excessive capsulo-ligamentaire), soit, dans le cas opposé de tête trop peu épaisse, une subluxation favorisant l'apparition de contraintes excentriques et d'un effet cheval à bascule.

### Positionnement de l'implant glénoïdien

Le positionnement de la glène s'avère également être fondamental, ce d'autant que ces glènes sont positionnées, même dans des mains expertes, de façon très variable, avec un

écart type de 12 degré dans chaque direction de l'espace (version, inclinaison ou rotation) (7). Ces erreurs de positionnement conduisent à ne placer la fixation de la glène dans l'axe du stock osseux maximal du col de l'omoplate que dans un cas sur 47. Pour les glènes à quille, dans presque trois cas sur cinq, l'extrémité de la fixation vient buter sur la cortical antérieure du col, nécessitant souvent l'utilisation d'une fixation tronquée (plus courte) (7). Dans un cas sur cinq, une brèche de la corticale se produit (7,28). Ainsi, le mauvais positionnement de la glène se traduit par une fixation primaire des implants non optimale. Plusieurs auteurs ont étudié l'effet d'une erreur de positionnement des implants sur le descellement, notamment par des études en Élément Fini. Farron et al. (5) ont montré que la rétroversion de la glène entraînait une subluxation postérieure de la tête humérale engendrant des contraintes augmentées sur la fixation de l'implant. Ils concluaient qu'une rétroversion supérieure à 10° devait être corrigée. Plus récemment, Ho et al. (14) ont mis en évidence cliniquement le lien entre rétroversion de l'implant et l'apparition d'une ostéolyse autour de la fixation de l'implant. Le mauvais positionnement des implants est dû à la déformation tridimensionnelle des glènes arthrosiques. Les glènes arthrosiques à usure postérieure, type B (25), entraînent un positionnement en rétroversion des implants glénoïdiens (7).

## Le Mismatch

Le mismatch correspond à la différence de rayon de courbure entre le diamètre de la tête humérale et le diamètre de la glène. Junaid et al. (18) ont montré par une étude en laboratoire qu'une concordance de rayon entre la tête humérale et la glène entraînait la transmission de l'ensemble des contraintes, lors de la reproduction de l'effet cheval à bascule, sur la fixation de l'implant et donc au descellement précoce de celui-ci. À l'inverse, lorsque le mismatch augmente, la surface de contact diminue, augmentant la translation et le risque d'usure du PE. L'usure du PE et le creusement d'une fossette d'usure conduisent à diminuer le mismatch (et donc à augmenter la surface de contact). Walch et al. (25) ont étudié les résultats cliniques et les liserés d'une série de 319 prothèses, en les divisant en quatre groupes d'implants : <4mm ; 4,5 à 5,5 ; 6 à 7 ; 7 à 10. Il concluait qu'un mismatch compris entre 6 et 7 mm donnait les meilleurs résultats cliniques et le moins de liserés.

## Fixation primaire : Ciment-os sous-jacent-rugosité de l'implant

La qualité de la fixation est un facteur important. Le liseré apparaît dans un premier temps à l'interface ciment-implant (11). Mais cette interface ne conduit que très rarement au descellement de l'implant. Dans un deuxième temps, le liseré apparaît à l'interface ciment-os. Celui-ci peut apparaître en post-opératoire immédiat en cas de mauvais cimentage (cimentage sans pression, absence de lavage et séchage de l'os avant cimentage). Ce liseré à l'interface ciment-os va progresser plus ou moins vite pour aboutir au descellement (11). Lors de tests en laboratoire, Anglin et al. (1) ont montré qu'une épaisseur de ciment de 2mm était nécessaire afin d'assurer une fixation optimale. De même, le descellement apparaît moins précocement avec des implants lorsque la face attenante au ciment est rugueuse et présente des aspérités (1,11,18). La qualité de l'os joue enfin un rôle primordial, le descellement apparaissant plus précocement en cas de polyarthrite rhumatoïde que sur os arthrosique (20). Enfin, l'os sous-chondral doit être préservé afin d'obtenir une assise de qualité de l'implant (26).

## Conclusion

En conclusion, le descellement aseptique apparaît dans la grande majorité des cas au niveau de l'implant glénoïdien. Les mécanismes de descellements de la glène sont : l'effet cheval à bascule et l'usure par contact périphérique de la glène par la métaphyse humérale. Ces deux mécanismes produisent des forces conduisant au descellement mécanique de l'implant et sont également responsables d'une usure accrue du PE conduisant à la formation d'un granulome à PE engendrant lui-même le descellement. Les facteurs favorisant ces mécanismes sont nombreux au premier rang desquels la qualité de la fixation primaire de la glène et le positionnement de celle-ci, le positionnement de la tête humérale, le mismatch entre les implants, la qualité de l'os sous-jacent, la rugosité des implants et la technique de cimentage.

Le positionnement de l'implant glénoïdien de la prothèse est un élément critique pour les résultats cliniques et l'amélioration de la survie à long terme des prothèses totales anatomiques de l'épaule.

Une assistance opératoire au positionnement des implants glénoïdien paraît indispensable lors de la mise en place d'une prothèse totale anatomique de l'épaule. Il peut s'agir d'ancillaires dédiés, d'ancillaire patient spécifique à partir des scanners ou IRM préopératoires ou de systèmes de navigation. Notre préférence, pour des raisons de simplicité d'utilisation, de fiabilité et d'absence de comorbidité, se porte sur l'utilisation d'un ancillaire se positionnant sur des zones du col de l'omoplate non modifiées par l'usure.

## Références

1. Anglin C, Wyss UP, Nyffeler RW, Gerber C. Loosening performance of cemented glenoid prosthesis design pairs. *Clin Biomech.* 2001;16:144-50.
2. Augereau B, Gregory T. Total Shoulder Arthroplasty-Rotator cuff tendon and muscles: does it matter? In Paris International Shoulder Course. Edited, 2013.
3. Bohsali KI, Wirth MA, Rockwood CA Jr. Complications of total shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2006 ;88:2279-92.
4. Emery R, Gregory T. Glenoid Failure: Instrument or Surgical Failure? In Nice Shoulder Course. Edited, Nice, France, 2010.
5. Farron A, Terrier A, Buchler P. Risks of loosening of a prosthetic glenoid implanted in retroversion. *J Shoulder Elbow Surg* 2006;15:521-6.
6. Franklin JL, Barrett WP, Jackins SE, Matsen FA 3rd. Glenoid loosening in total shoulder arthroplasty. Association with rotator cuff deficiency. *J Arthroplasty* 1988 ;3:39-46.
7. Gregory T, Hansen U, Emery R, Amis AA, Mutchler C et al. Total shoulder arthroplasty does not correct the orientation of the eroded glenoid. *Acta Orthop* 2012 ;83:529-35.
8. Gregory T, Hansen U, Emery R, Dhawan R. Comment on Yian et al. original article: Radiographic and computed tomography analysis of cemented pegged polyethylene glenoid components in total shoulder replacement. *J Bone Joint Surg Am* 2005 ;87:1928-36. Spect-CT: A useful tool in the decision-making for glenoid implant revision after Total Shoulder Arthroplasty. In *J Bone Joint Surg Am*. Edited 2011 Jan. [Epub].
9. Gregory T, Hansen U, Emery RJ, Augereau B, Amis AA. Developments in shoulder arthroplasty. *Proc Inst Mech Eng H* 2007 ;221:87-96.
10. Gregory T, Hansen U, Khanna M, Mutchler C, Urien S et al. A CT scan protocol for the detection of radiographic loosening of the glenoid component after total shoulder arthroplasty. *Acta Orthop* 2014 ;85:91-6.
11. Gregory T, Hansen U, Taillieu F, Baring T, Brassart N et al. Glenoid loosening after total shoulder arthroplasty: an in vitro CT-scan study. *J Orthop Res* 2009 ;27:1589-95.
12. Gregory TM, Sankey A, Augereau B, Vandenbussche E, Amis A et al. Accuracy of glenoid component placement in total shoulder arthroplasty and its effect on clinical and radiological outcome in a retrospective, longitudinal, monocentric open study. *PLoS One* 2013 ;8:e75791.
13. Hertel R, Ballmer FT. Observations on retrieved glenoid components. *J Arthroplasty* 2003 ;18:361-6.

14. Ho J, Sabesan V, Iannotti J. Glenoid component retroversion is associated with osteolysis. *J Bone Joint Surg Am*. 2013 ;19:e821-8.
15. McCalden RW, Naudie DD, Yuan X, Bourne RB. Radiographic methods for the assessment of polyethylene wear after total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2005 ;87:2323-34.
16. Nagels J, Valstar ER, Stokdijk M, Rozing PM. Patterns of loosening of the glenoid component. *J Bone Joint Surg Br* 2002 ;84:83-7.
17. Nho SJ, Nam D, Ala OL, Craig EV, Warren RF, Wright TM. Observations on retrieved glenoid components from total shoulder arthroplasties. *J Shoulder Elbow Surg* 2009 ;18:371-8.
18. Sarah J, Sanjay G, Sanjay S, Carolyn A, Emery R et al. Failure mechanism of the all-polyethylene glenoid implant. *J Biomech* 2010 ;43:714-9.
19. Sperling JW, Kozak TK, Hanssen AD, Cofield RH. Infection after shoulder arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 2001;(382):206-16.
20. Strauss EJ, Roche C, Flurin PH, Wright T, Zuckerman JD. The glenoid in shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 2009 ;18:819-33.
21. Torchia ME, Cofield RH, Settergren CR. Total shoulder arthroplasty with the Neer prosthesis: long-term results. *J Shoulder Elbow Surg* 1997 ;6:495-505.
22. Trail IA, Nuttall D. The results of shoulder arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis. *J Bone Joint Surg Br* 2002 ;84:1121-5.
23. Vandenbussche E, Saffarini M, Hansen U, Taillieu F, Mutschler C et al. Measurement of femoral head penetration in polyethylene using a 3-dimensional CT-scan technique. *Acta Orthop* 2010 ;81:563-9.
24. Walch G, Boulahia A, Boileau P, Kempf JF. Primary glenohumeral osteoarthritis: clinical and radiographic classification. The Aequalis Group. *Acta Orthop Belg*. 1998 ;64(Suppl 2):46-52.
25. Walch G, Edwards TB, Boulahia A, Boileau P, Mole D, Adeleine P. The influence of glenohumeral prosthetic mismatch on glenoid radiolucent lines: results of a multicenter study. *J Bone Joint Surg Am* 2002 ;84-A:2186-91.
26. Walch G, Young AA, Boileau P, Loew M, Gazielly D, Mole D. Patterns of loosening of polyethylene keeled glenoid components after shoulder arthroplasty for primary osteoarthritis: results of a multicenter study with more than five years of follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 2012 ;94:145-50.
27. Wirth MA, Agrawal CM, Mabrey JD, Dean DD, Blanchard CR et al. Isolation and characterization of polyethylene wear debris associated with osteolysis following total shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 1999 ;81:29-37.
28. Yian EH, Werner CM, Nyffeler RW, Pfirrmann CW, Ramappa A et al. Radiographic and computed tomography analysis of cemented pegged polyethylene glenoid components in total shoulder replacement. *J Bone Joint Surg Am* 2005 ;87:1928-36.
29. Zilber S, Radier C, Goutallier D. Long term results (15 to 21 years) after total anatomic shoulder arthroplasty: the "floating glenoid" threat. In 20th congress of the European Society for Surgery of the Shoulder and the Elbow. Edited, Athens, 2006.