

# Caractérisation à l'usure du couple céramique-céramique utilisé dans les prothèses totales de hanche

**Marwa Ben Braham** <sup>\*,1,2,5</sup>, **Ana-Maria Trunfio-Sfarghiu** <sup>2</sup>, **Eric Renault** <sup>3</sup>,  
**Yves Berthier** <sup>2</sup>, **Jean Geringer** <sup>4</sup> et **Samir Hamza** <sup>5</sup>

\* benbraham.marwa@gmail.com

<sup>1</sup> Université de Tunis El Manar, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, 1002, Tunis, Tunisie

<sup>2</sup> INSA-Lyon, LaMCoS, F-69621, Villeurbanne Cedex – France

<sup>3</sup> Corin France SAS, 157, rue Lavoisier, 38330 Montbonnot

<sup>4</sup> Ecole Nationale Supérieure des Mines, CIS-EMSE, CNRS

École Nationale Supérieure des Mines - Saint-Étienne – France

<sup>5</sup> Université de Carthage, Institut National des sciences Appliquées et de Technologie,  
Laboratoire de Nanobiotechnologies (UR17ES22), Centre Urbain Nord BP 676 - 1080 Tunis  
Cedex - Tunisie

## Résumé :

*L'arthroplastie totale de la hanche représente une solution efficace pour les maladies osseuses et ostéo-articulaires. Plusieurs biomatériaux sont actuellement utilisés comme les aciers inoxydables, les polymères, les céramiques... Un nouveau composite est récemment introduit en orthopédie afin de réunir les avantages de l'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et de la zircone (ZrO<sub>2</sub>). Notre étude consiste à l'amélioration de la durée de vie des prothèses. Cette amélioration commence par la caractérisation des origines du dysfonctionnement, le phénomène d'usure, la résistance à la fatigue et principalement le « squeaking » dans le cas des prothèses en biocéramiques. Cette étude porte sur une expertise des Prothèses Totales de Hanche (PTH) fabriquées avec un couple céramique-céramique en particulier la composite BIOLOX delta. Cette prothèse est étudiée dans les conditions in vivo et récupérée d'un patient très actif après six mois de pose. La caractérisation des surfaces de contact est effectuée à l'aide de la Microscopie Electronique à Balayage (MEB) et la microscopie numérique VHX. Ces observations ont permis d'identifier les zones d'endommagement et/ou l'usure sous forme des stries et arrachement des particules dans le cas de la tête et dépôt de matière sur la cupule des PTH.*

## Abstract:

*Total hip arthroplasty is an effective solution for bone and joints diseases. Moreover, several biomaterials are currently used as stainless steels, polymers, ceramics ... A new composite is recently introduced in orthopedics in order to combine the advantages of alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and zirconia (ZrO<sub>2</sub>). The progressive increase of the number of total hip replacements (THR) used worldwide leads to think about improving their lifetime. This improvement begins with the characterization of the origins of the dysfunction, the phenomenon of wear, resistance to fatigue and mainly squeaking in the case of bioceramics. This study is focused on expertising a ceramic-on-ceramic PTH particularly the composite BIOLOX delta. This prosthesis was studied under in vivo conditions and recovered from a*

very active patient after six months of the surgery. The characterization of articulating surfaces was carried out using Scanning Electron Microscopy (SEM) and VHX digital microscopy. These observations made it possible to identify the rubbed zones where wear was perceptible by significant streaks and wear debris in the case of the head as well as that of the PTH cup.

**Mots clés : Prothèse de hanche, biocéramiques, usure, frottement**

## 1 Introduction

L'espérance de vie à la naissance ne cesse de s'améliorer avec les nouvelles technologies biomédicales. Néanmoins, ce n'est pas le cas pour les articulations dont la durée de vie a diminué d'une manière substantielle avec l'augmentation remarquable de pathologies. L'arthroplastie reste la solution la plus appropriée particulièrement au niveau de l'articulation de la hanche, objectif de notre travail. Donc, L'amélioration de la durée de vie de ces prothèses délimitera le recours à une reprise.

L'une des problèmes principaux responsables à la dégradation des implants est le phénomène d'usure dû au contact des surfaces d'articulation. La compréhension de ce phénomène nécessite l'étude du concept du triplet tribologique introduit par Godet [1] et Berthier [2] qui se base sur trois notions essentielles : le mécanisme, les premiers corps et le troisième corps. Le mécanisme représente les sollicitations de contact sous forme d'une force, un déplacement et un environnement de frottement. Les premiers corps sont les matériaux en contact soumis directement aux sollicitations du mécanisme. Concernant le troisième corps qui est l'intermédiaire entre les deux premiers corps permet l'accommodation de la différence de vitesses des premiers corps (Fig. 1).

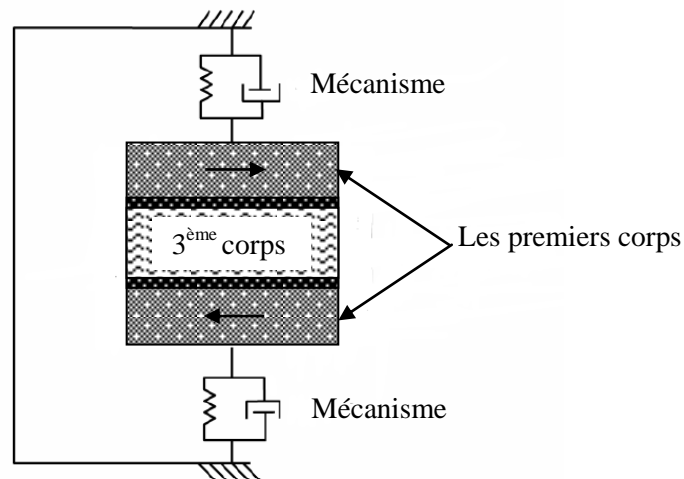


Fig. 1 : Schéma représentatif du principe du triplet tribologique

L'identification de l'emplacement et du type du mouvement est essentielle pour l'étude de l'usure et du frottement entre les deux corps en contact. Ces notions représentent le mécanisme d'accommodation des vitesses noté « SiMj » qui se compose du site Si indiquant le lieu où se génère l'accommodation et du mode Mj représentant le mode c'est dire le « comment » (Fig. 2) [3-4]

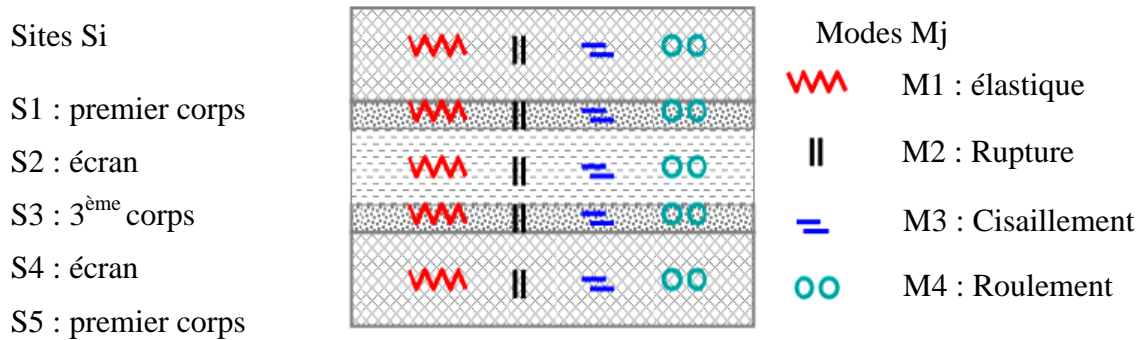


Fig. 2 : Représentation des mécanismes d'accommodation de vitesse

## 2 Matériels et méthodes

Notre étude a été effectuée sur un explant en couple céramique-céramique (la biocéramique utilisée est la nano-composite BIOLOX delta). Il s'agit d'une Prothèse Totale de Hanche PTH Meije T5 avec une tête de 36 mm de diamètre 12/14 S et une cotyle Dynacup 58AT. L'implantation de la prothèse a été réalisée sur un patient de sexe masculin très actif. Le suivi a donné de très bons résultats immédiats. Cependant, au 6<sup>ème</sup> mois, il y a eu une apparition simultanée de douleurs antérieures, de « squeaking » (dit aussi grincement et il s'agit des bruits qui ont lieu au niveau des surfaces articulaires lors du mouvement) en flexion et d'instabilité, malgré les résultats normaux de la radio et de scanner, ce qui a entraîné une intervention de reprise. Les deux corps en contact (la tête en céramique et la cupule) ont été récupéré et nettoyé par rinçage à l'eau pure et 10 minute de lavage en éthanol dans une cuve d'ultrasons. Le repérage des zones usées a été effectué de manière macroscopique en fonction de la brillance de la surface (surfaces mates = surfaces frottées). Les zones ainsi repérés ont été ensuite marqué avec un feutre comme dans la figure (Fig. 3).

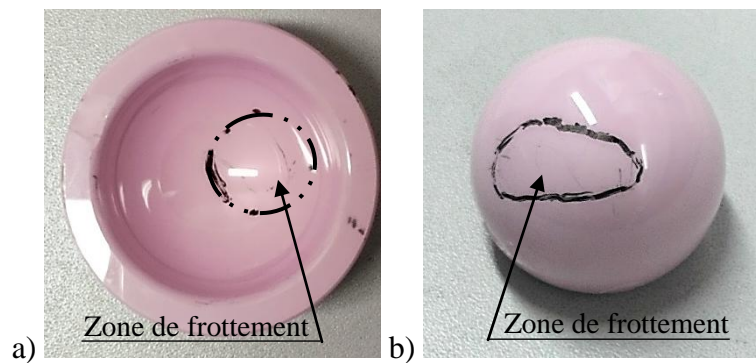


Fig. 3 : Localisation des zones d'usures sur la prothèse analysée : (a) Cupule et (b) Tête

La caractérisation des surfaces articulaires de l'explant a été réalisée à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB) permettant d'effectuer les observations microscopiques à différentes échelles d'agrandissement ainsi qu'un microscope numérique VHX afin de reproduire en 3D l'état de surface dans le cas de la tête et de la cupule de la PTH.

## 3 Résultats et discussion

### 3.1 Caractérisation de la céramique BioloX delta

Avant de commencer l'expertise de l'explant, une observation microscopique a été effectuée sur un implant « neuf » fabriquée en Biolox delta. L'objectif de cette observation est la caractérisation du matériau utilisé ainsi que de l'état initiale des surfaces articulaire des prothèses.

Nous nous sommes amenés à une représentation microscopique décrivant la composition de la composite utilisée (Tableau. 1). (1) les particules d'alumine représentent en 81% du volume et constituent la matrice de la composite et assurent la dureté du matériau. (2) les particules de zircone représentent un mécanisme de renforcement pour absorber les pics de contraintes. (3) les cristaux sous forme de plaquettes de strontium bloquent la propagation des fissures et augmentent ainsi la force du mécanisme de renforcement (fig. 4).

Tableau. 1 : Composition et caractéristiques mécaniques de Biolox delta

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Vol.-%)	81.6
ZrO <sub>2</sub> (Vol.-%)	17
Autres oxydes (Vol.-%)	1.4
Densité (g.cm <sup>-3</sup> )	4.37
Taille de grains (µm)	0.56
Module d'élasticité (GPa)	358
Ténacité K <sub>IC</sub> (MPa.m <sup>1/2</sup> )	6.5
Dureté HV (GPa)	19

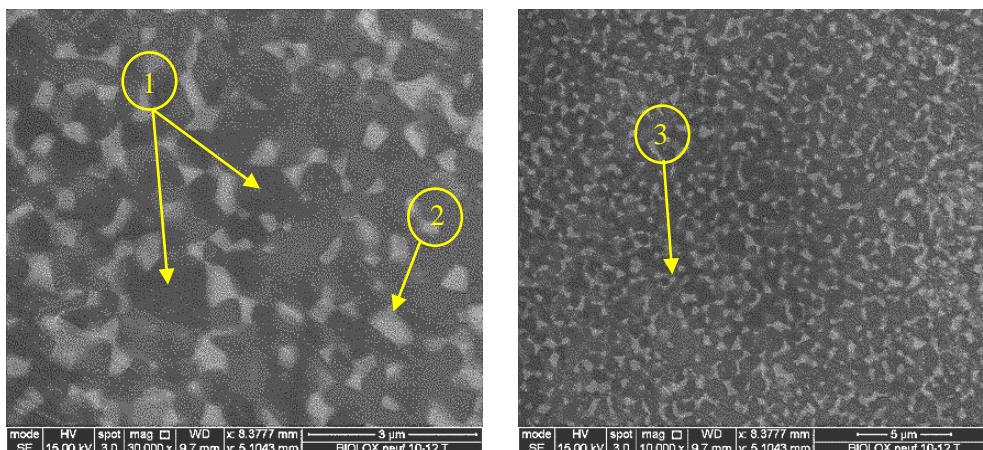


Fig. 4 : Représentation microscopique de la composition de Biolox delta

### 3.2 Expertise de l'explant

L'observation de la surface de contact tête/cupule a permis de constater l'existence des zones de frottement sur :

- la tête d'environ 23 mm en longueur et 7.5 mm en largeur (délimité avec feutre noir dans la figure 3B)
- la cupule d'environ 25 mm en diamètre (délimité avec feutre noir dans la figure 3A)

La position de ces zones correspond aux accumulations des contraintes mécaniques lors du fonctionnement normal d'une prothèse de hanche. Dans ces zones, on remarque un aspect de rugosité plus grand (figure 5b et 5c) par rapport à une surface non usée (figure 5a). En effet, les mesures RMS sur ces zones montrent une rugosité RMS de 22 nm pour une prothèse non usée par rapport à RMS de 40 nm pour les régions usées de la tête et de 50 nm pour les régions usées de la cupule.

Les observations en microscopie électronique de la zone usée au niveau de la tête de l'explant (figure 7) montrent une usure par abrasion sous forme des stries de frottement à l'échelle plus grande (figure 7A) et une autre usure par arrachement des grains si on regarde à l'échelle micrométrique entre les stries d'abrasion (figure 7B). Si on regarde plus attentivement l'aspect des grains à l'échelle micrométrique, on remarque la disparition des plaquettes de renforcement avec des zones où on trouve une fragmentation des grains (figure 7D) et d'autres où on trouve plutôt un étalement des grains (figure 7C). Donc, nous enregistrons l'existence de deux mécanismes d'accommodation de vitesse au niveau de la tête de la PTH : le premier est un mécanisme par frottement S1M2 où S1 représente la tête et M2 est le mode de fissuration alors que le second mécanisme S3M3 est constitué du troisième corps S3 représentant les particules de matière arrachées et piégées entre les deux premiers corps en contact et le mode M3 de cisaillement.

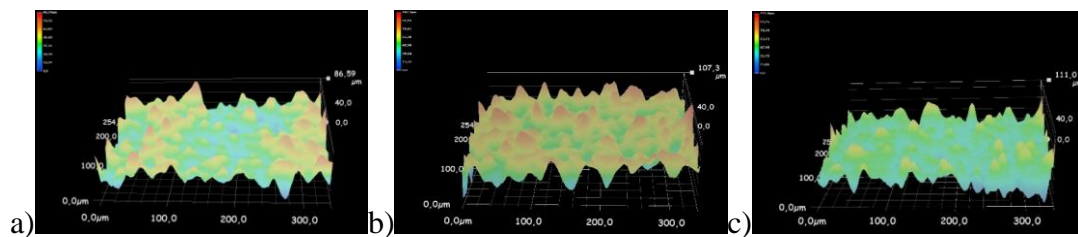


Fig. 5 : Microscopie optique 3D de a) la surface de l'implant non utilisé, b) la surface de la tête et de c) la cupule de l'explant

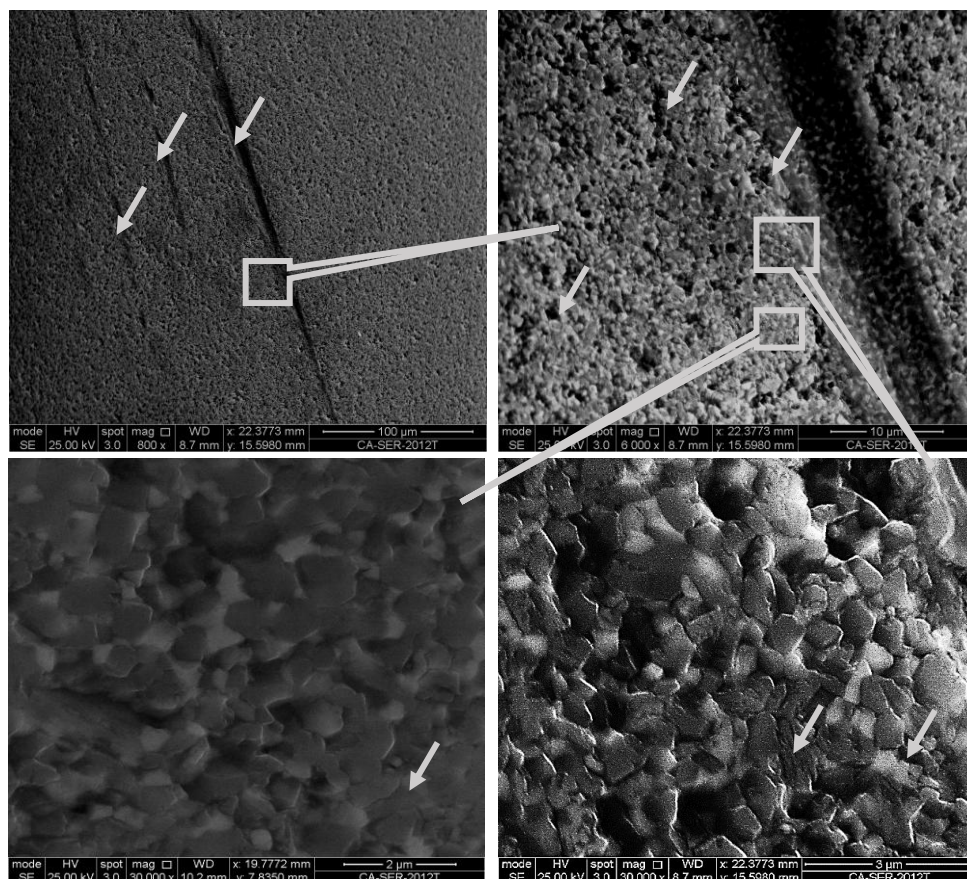


Fig. 6 : Microscopie électronique (MEB) de la zone frottée de la tête de l'implant en céramique : Stries de frottement sont marquées par les flèches blanches sur l'image A, les trous résultant par l'arrachement des grains au cours de frottement marqué par les flèches blanches sur l'image B, l'étalement des

grains dans la direction de frottement est marqué par les flèches blanches sur l'image C, la fragmentation des grains au cours de frottement marqué par les flèches blanches sur l'image D.

Concernant la cupule de l'explant, la surface de la cupule en contact avec la tête de la prothèse a subi également des frottements qui ont mené à des traces d'usure. Ces traces sont sous forme de matière tartinées sur la surface de la cupule (fig. 8). Il s'agit aussi d'un mécanisme d'accommodation de vitesse par frottement S2M3 avec la cupule comme le site S2 et le mode M3 de cisaillement.

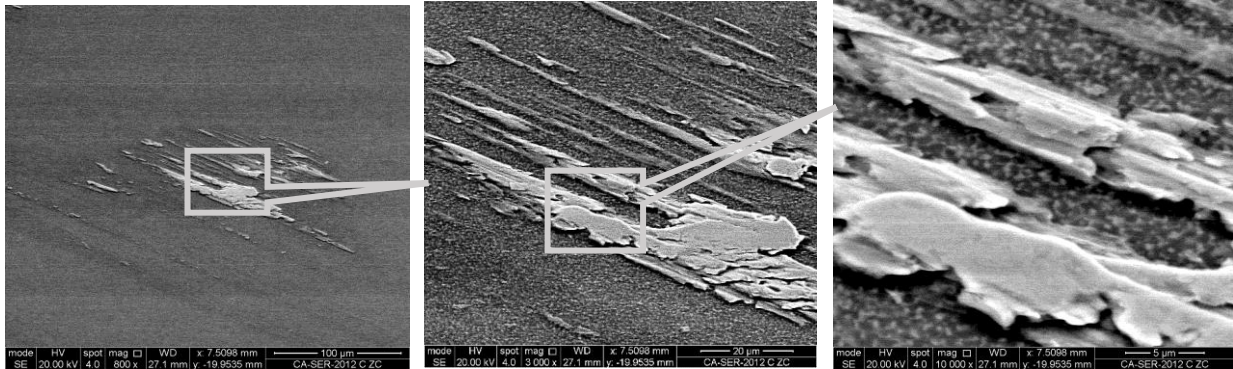


Fig. 7 : Collage de la matière sur la surface de la cupule

Cette étude s'articule sur une expertise de la surface articulaire dans le cadre d'une caractérisation bio-tribologique des particules d'usure en céramique. Ces observations ont permis d'expliquer les complications qui ont eu lieu après l'implantation de la PTH. En effet, les mécanismes d'usure identifiés au niveau de la surface d'articulation sont l'origine des particules d'usure qui ont engendré le bruit lors du mouvement (« grincement ») ainsi que les douleurs.

## 4 Conclusion

L'expertise de la surface de contact tête/cupule de la prothèse totale de la hanche ex vivo permet de mettre en évidence l'existence des traces d'usure significatives dues au frottement en service des surfaces. Cette usure est très faible puisqu'elle est invisible par les techniques d'imagerie in vivo. Toutefois, il est possible de noter l'existence d'un mécanisme de frottement responsable de la génération d'un troisième corps solide frottant lors du contact tête/cupule. Ce corps représente les particules de céramique arrachées de la tête pour circuler ensuite dans le contact générant ainsi des stries de frottement et se collant sur la surface de la cupule. Ce troisième corps pourra être à l'origine du « squeaking ».

De plus, ces particules de céramiques peuvent également circuler dans l'articulation et s'injecter dans le contact frottant provoquant la réaction d'ostéolyse et l'instabilité d'implant. Pour cela, il est nécessaire d'identifier la nature des particules issues de frottement céramique-céramique puis les isoler afin de tester leur effet sur le remodelage osseux.

## Références

- [1] M.Godet, The third body approach: a mechanical view of wear, *Wear*, volume 100, (1984), pp.437-452.

- [2] Y.Berthier, Mécanismes et tribologie, Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliqués de Lyon et de l'Université Claude Bernard de Lyon, (1988).
- [3] N.Wang, Greffage de polymères biomimétiques sur implants articulaires en polyéthylène : contrôle du comportement tribologique, Thèse de doctorat de l'Ecole Doctorale Matériaux de Lyon à l'Université Claude Bernard Lyon 1, N° d'ordre : 59 -2013 (2013)
- [4] B.D.Leonard, A.Ghosh, F.Sadeghi, S.Shindeb, M.Mittelbach, Third body modeling in fretting using the combined finite-discrete element method, International Journal of Solids and Structures, Volume 51, Issue 6, (2014), pp 1375–1389