

UNIVERSITE DE BORDEAUX

U.F.R DES SCIENCES MEDICALES

Année 2017

Thèse n° 3121

Thèse pour l'obtention du
DIPLOME D'ETAT de DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement le 17 octobre 2017 à Bordeaux par

Edouard HARLY, né le 16 décembre 1987 à Dijon (21)

Hémiarthroplasties de l'épaule avec implants en pyrocarbone chez les patients jeunes de 55 ans et moins : étude prospective multicentrique à deux ans de recul

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Hugues DEMEZON

Rapporteur :

Monsieur le Professeur Christophe RICHEZ

Membres du Jury :

Monsieur le Professeur Jean-Charles LE HUEC.....Président

Monsieur le Professeur Olivier HAUGERJuge

Monsieur le Professeur Christophe RICHEZJuge

Monsieur le Docteur Jérôme GARRETJuge

Remerciements :

A mon Maître et Président

Monsieur le Professeur Jean-Charles LE HUEC

Vos connaissances théoriques et votre rigueur chirurgicale sont pour moi un modèle. Vous m'avez vu grandir dans votre service, j'espère être toujours à la hauteur de votre confiance et de votre enseignement. Veuillez trouver dans ce travail, le témoignage de mon profond respect et de ma reconnaissance.

Aux membres du Jury

Monsieur le Professeur Olivier HAUGER

Je vous remercie de l'intérêt que vous portez à ce travail en acceptant de le juger. Soyez assuré de mon profond respect.

Monsieur le Docteur Jérôme GARRET

Mes six mois à tes côtés, m'ont fait grandir aussi bien sur le plan professionnel, que personnel. Tu m'as appris énormément sur la chirurgie en général et sur l'épaule plus spécifiquement. Tu m'as aussi appris qu'on pouvait skier avec des lunettes de soleil par jour blanc... Encore merci de m'avoir accueilli, j'espère pouvoir continuer à profiter de tes connaissances encore longtemps. Sois assuré de mon amitié.

A mon Rapporteur

Monsieur le Professeur Christophe RICHEZ

Vous me faites un grand honneur en acceptant de juger cette thèse. Veuillez trouver ici ma sincère reconnaissance et mon profond respect.

A mon Directeur de thèse

Monsieur le Docteur Hugues DEMEZON

Merci de m'avoir guidé dans ce travail et tout au long de mon internat. Merci pour tous ces moments, au bloc comme en dehors, c'est toujours un plaisir de se retrouver pour discuter d'épaule, de vin ou juste pour refaire le monde. Avec toi, le mot compagnonnage prend tout son sens.

A ma femme

A celle qui m'a trouvé quand j'étais perdu, à celle qui a vu en moi le meilleur quand j'étais le pire. Pour rien au monde je changerais nos TCP, nos dimanches aux capus (« vous voulez des fallafels ? »), nos vacances rétaises ou tes « ahh lala mon Jojo ». Je t'aime et merci d'être là pour nous. Jojo et moi t'embrassons, et peut-être qu'il mange un peu ta chaussure aussi...

A ma famille

Ma mère aka « La Babe » ; quand Shiva rencontre sœur Marie Thérèse ; l'abnégation et la dévotion, pour élever trois enfants à un an d'intervalle, une multitude de chiens, en gérant le cab (quelques guuronsans/café pour tenir le cap). Sans toi, aucun de nous trois n'en serait là.
Merci

A mon frère Tin, comme l'a encore souligné récemment le Dr J. Lereuil, tu es un éminent psychiatre, grand spécialiste du Deuil. Les kilomètres qui devaient nous éloigner nous ont finalement rapproché mais évite quand même de changer de continent. Hey tin ;).

Muy grande mercio Carlotta por todo des las cervezas de la chiquitas en el turon de la manana en la ciudad.

A ma sœur, Le Crin, ton caractère et ton nez font de toi une digne héritière du clan des Sebillotte. Ta simplicité et ta bonne humeur sont pour nous un modèle, reste comme tu es, on t'aime, Baisers.

A Fifi, merci d'avoir été là, et de nous avoir initié au vin.

A ma belle-famille, Christine, Caroline et Patrice, merci pour tout.

A mon fils, Georges :

Heureusement qu'on n'a jamais dit que ça serait facile.... Tu as rempli nos cœurs, et nos journées. Même après avoir mangé mes Pete je t'aime encore. Tes réveils difficiles sont pour moi la meilleure façon de débiter la journée.

A mes amis

Aux dijonnais

Les mailles, Nico et Coquin, si j'étais né roux on aurait presque pu dire qu'on était frangins, Perrinos, mon coach trail, Jmi, ohh oui putain, Marina, Toinou, 66, Eric, Cricri, Marty, Mehdi, Tito, Cadennos, Finas, Aloïs le gauche, Delphy, Le père, Les Facy, les râpes et autres cafistes (max, JB, Louis, Chaps). Ni le temps, ni la distance n'affectent les vraies amitiés.

Aux bordelais

Gigi, une rencontre basée sur Steeven Seagal est forcément indestructible.

Ma coucourage, tu m'as appris que la vie ne tenait pas à grand-chose, une casserole, des pâtes et heureusement un retour prématuré de soirée... Merci.

Maille, le meilleur d'entre nous et de loin. Un grand merci pour la relecture de cette thèse.

Yan et Aurélie, combien de kilomètres parcourus... ? Combien encore à parcourir ? A tous ces moments de joies et quelques fois de douleurs, merci pour tout. Une pensée pour le CFCP, Patricia, Vanessa et Sylvie.

Aux Cockenpot, mon wineadvisor, merci pour les soirées, les quilles, et les deux trois gueules de bois du lendemain.

Lisa et Antoine les rois de la crêpe, merci pour ces moments partagés.

Aux pédiatres, Pierre P, Thomas D, Pauline S.

A Marie M, Nico R, Benoit B, Simon M, et tous les internes/chefs que j'ai croisés pendant mon internat.

Aux orthopédistes

On n'est peut-être pas les meilleurs mais on est les moins chers : Mon pote Azzo, Jet « Pô Pô Pôôôô », Souf, Cindy, Thomas, Antony, Ralf, Titi, Wendoche, Amélie, Matthias, Clocherman, Debby, Arnaud, Rigal, Johny B, Tourniz, Blanblan, Morgane, Coudert,, Pepite, Thevenot, Beckman, TT, Ribes, Paulo, Nico, Julien, Sousou, Stephane, Marie-Laure, Simon, Hussein Nahab Yan, ou l'homme qui change de minorité selon les besoins, Campi, Marion, Jules, Bieber, Paul, Jordan, Julien, Debby, Geof, Charles, Anaïs...

A Dax

Zip tu m'as fait découvrir l'épaule, sans toi je n'en serais pas là. M. Ribeyre merci pour ces moments partagés, et ces nombreux « alors chouchou... » qui ont ponctué ma vie dacquoise. Mme Cernier une des premières femmes chirurgiennes du rachis, ça veut tout dire, merci. Aux personnels soignants (Bernie et ton « ils me cassent tous les couilles »), Fabien du Dixit et tous les autres.

A la clinique du Parc

C. Lévigne, merci pour votre rigueur (« on n'est jamais à l'abri d'un coup de chance »), Sophie, à nos fous rires (le petit avion, four six...), Valérie (si un jour tu cherches un poste à Bordeaux...) Alex et Nico, et tous les autres.

Au Pédiatrique

A M. Dobremez, JRP, Abdelfetah, Luke, Maïa, Carmen, Fred, Banane (Fitoussi m'a appelé il veut qu'on présente la TK à la SFCP), PV (pour son enseignement sur la chirurgie, l'amour, le mariage, le marathon, les hiéroglyphes...). Au bloc et aux Puer du 3B.

A Elodie et Stéphanie vous êtes les meilleures.

Aux filles du 6A3, où la visite est toujours agréable.

A toutes celles et ceux que j'ai oublié merci d'avoir été présents.

Table des matières

ABREVIATIONS :	8
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX :	8
PRE REQUIS : LE PYROCARBONE	9
INTRODUCTION	13
MATERIEL ET METHODES	15
CRITERES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION	15
TECHNIQUE CHIRURGICALE.....	15
REEDUCATION POST OPERATOIRE	16
EVALUATION CLINIQUE ET RADIOLOGIQUE	17
ANALYSE STATISTIQUE	17
RESULTATS	18
CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION.....	18
RESULTATS CLINIQUES.....	19
SCORE DE CONSTANT	19
SSV ET SATISFACTION GLOBALE	20
AMPLITUDES ARTICULAIRES	21
DOULEUR	22
RESULTATS RADIOLOGIQUES.....	23
COMPLICATIONS.....	23
DISCUSSION	24
SCORE DE CONSTANT.....	24
SSV ET SATISFACTION GLOBALE.....	26
AMPLITUDES ARTICULAIRES.....	27
DOULEUR.....	28
COMPLICATIONS.....	28
RESULTATS RADIOLOGIQUES.....	29
ALTERNATIVES AU PYROCARBONE	30
FORCE ET FAIBLESSE DE L'ETUDE	30
CONCLUSION	32
ANNEXE 1 : SCORE DE CONSTANT	33
BIBLIOGRAPHIE	35
SERMENT D'HIPPOCRATE	40

Abréviations :

EA: Elévation Antérieure

EVA: Echelle Visuelle Analogique

HSA: Hemi Shoulder Arthroplasty - hémiarthroplastie d'épaule

PE: Polyéthylène

PR: Polyarthrite Rhumatoïde

Pyc: Pyrocarbone

DS: Déviation Standard

SSV: Subjective Shoulder Value

Ta6V: Titane

TSA: Total Shoulder Arthroplasty – prothèse totale d'épaule

Liste des figures et tableaux :

Figure 1 : Cycle de fabrication d'un implant en pyrocarbone.....10

Figure 2 : Prothèse de tête radiale.....11

Tableau 1 : Comparaison de l'élasticité des différents matériaux utilisés dans les implants (en GigaPascal)..... 12

Tableau 2 : Scores moyens de Constant en pré opératoire et à 2 ans selon l'étiologie.....20

Tableau 3 : SSV pré opératoire et post opératoire à deux ans.....21

Tableau 4 : Valeurs moyennes des mobilités selon l'étiologie en pré opératoire et à deux ans.....22

Tableau 5 : Evaluation de la douleur selon l'EVA en pré opératoire et a deux ans.....23

Tableau 6 : Usure de la glène en préopératoire et a deux ans post-opératoire.....24

Pré Requis : le pyrocarbone

Dans les années 1950-1960 la collaboration entre le centre nucléaire américain « General Atomic » (San Diego) et le « Commissariat à l’Energie Atomique » (Grenoble), a permis de développer le pyrocarbone. En effet, ils recherchaient un matériau résistant à l’oxydation à haute température, avec des propriétés d’étanchéité, et des capacités élastiques. Pour la première fois en 1969, il est utilisé à but médical dans les valves cardiaques (1).

A la fin des années 1980, il se développe en orthopédie, surtout au niveau du poignet et du coude.

Lorsqu’il est utilisé en orthopédie, il l’est sous la forme d’un revêtement isotrope de 300 à 500 μm d’épaisseur déposé sur un substrat de graphite par un procédé de type CVD thermique (Chemical Vapor Deposition) (2). Le revêtement carbone est obtenu par décomposition thermique de gaz d’hydrogène carboné dans un four spécial à 1500°C. Grâce à la température les liaisons hydrogène-carbone se rompent permettant ainsi de former des liaisons carbone-carbone à l’origine de particules de carbone de 5 μm , qui viennent se déposer sur le substrat de graphite usiné et poli (Figure 1).

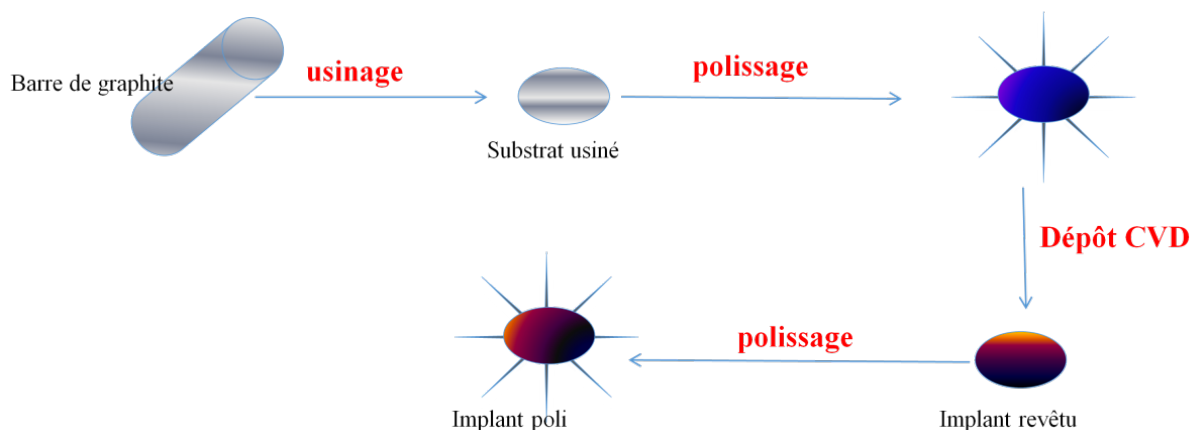


Figure 1 cycle de fabrication d'un implant en pyrocarbone

Le pyrocarbone étant radio transparent, seul le substrat de graphite est visible à la radiographie (Figure 2)



Figure 2 : prothèse de tête radiale ; la radio transparence entre la tête et le col correspond au pyrocarbone

Caractéristiques du pyrocarbone :

La biocompatibilité et la résistance à l'usure de ce matériau ont été largement démontrées grâce à son utilisation dans les valves cardiaques (3).

Les caractéristiques élastiques des implants en pyrocarbone ont aussi été démontrées. En effet, le module d'élasticité du graphite, du pyrocarbone et de l'os cortical sont proches (Tableau 1). Les implants en graphite avec revêtement pyrocarbone peuvent donc transmettre les contraintes de manière quasi physiologique (4–8) sans stress-shielding, ni résorption osseuse, ni douleur dues à la rigidité du métal ou de la céramique (9). Le substrat de graphite est à peine plus élastique (11 GPa) que l'os cortical, alors que le Pyrocarbone est plus dur et légèrement plus rigide (25-30 GPa).

Tableau 1 : Comparaison de l'élasticité des différents matériaux utilisés dans les implants en GigaPascal

	PE	Graphite	Os	Pyc	Titanium	Chrome Cobalt	Alumine (céramique)
Elasticité (GPa)	0,2 – 0,7	11	11 -17	25 - 30	110	200-240	400

Par application de la loi de Wolff, le polyéthylène, trop souple, va s'user prématurément et être responsable d'une résorption osseuse par manque de contrainte. La céramique quant à elle, trop rigide, sera responsable d'un remodelage osseux (Figure 3). Seul le revêtement pyrocarbone du graphite permet un partage égal des contraintes avec l'os (10)

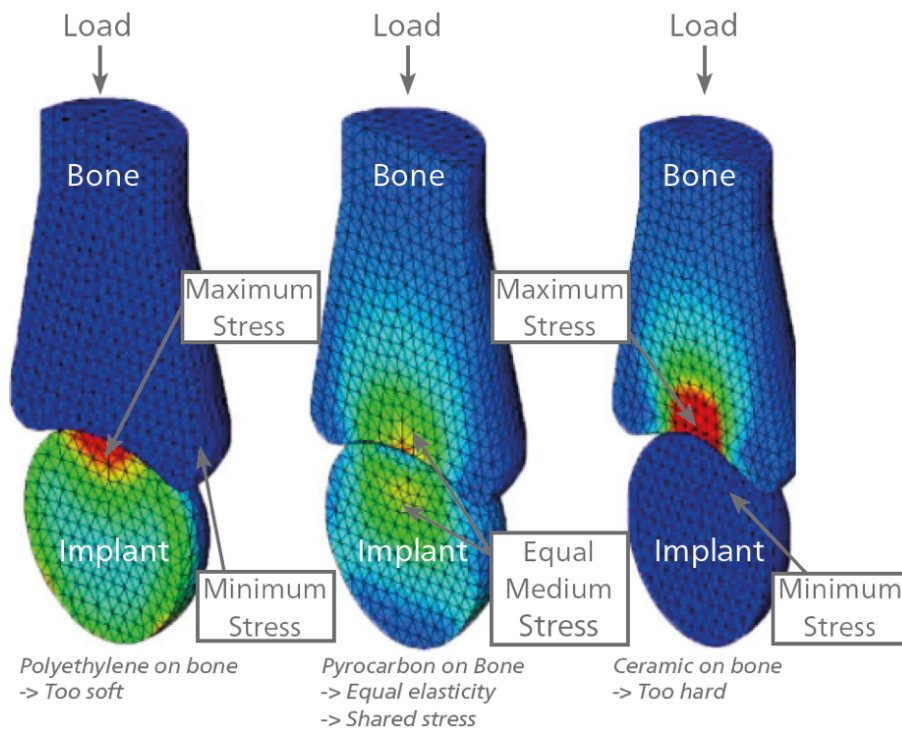


Figure 3 réaction os / implant en fonction de la rigidité

Une autre caractéristique du pyrocarbène, est son niveau extrêmement bas de rugosité ($R_a = 0.03 \mu\text{m}$) (11), ce qui lui permet de générer 10 fois moins d'usure cartilagineuse (9), et 6 fois moins de fissure microscopique (12) que le Chrome Cobalt.

Enfin, les dernières études ont montré qu'il se créait au contact du pyrocarbène un film biologique composé de protéines et de lipides qui agissent comme un lubrifiant, réduisant les frictions entre le pyrocarbène et l'articulation, préservant cette dernière de l'usure. Sur le versant osseux, les prélèvements réalisés in vivo ont permis de mettre en évidence l'adaptation de l'os au pyrocarbène, avec la présence d'un tissu d'interposition dont les caractéristiques sont proches de celles du cartilage (13).

Introduction

Depuis plusieurs années, le recours à l'arthroplastie est devenu plus fréquent chez des patients de plus en plus jeunes (14–16), avec un objectif, souvent double: recherche de l'antalgie d'une part et l'amélioration des mobilités d'autre part. La chirurgie de l'épaule semble suivre cette tendance. Dans leur étude, Schumann et al (17), ont montré un retour accru aux activités sportives chez des patients jeunes ayant bénéficié de la mise en place d'une prothèse d'épaule. Ces patients étaient, pour la plupart, des travailleurs avec une activité sportive et/ ou récréative, demandeurs donc, d'un retour à un niveau d'activité supérieur en post opératoire. McCarthy et al. (18) ont montré que 64% des patients de leur série opérés d'une prothèse d'épaule ont repris le sport. De plus, parmi ces 64%, la moitié d'entre eux ont augmenté leur activité physique. Cette forte demande post opératoire place cette population jeune à haut risque d'échec de l'arthroplastie totale et donc d'un fort taux prévisible de reprise chirurgicale sur le long terme.

Dans l'arthroplastie de l'épaule on distingue deux types de prothèses, la prothèse dite anatomique développée par Neer (19) dans les années 1950 et la prothèse dite inversée de Grammont (20) datant de la fin des années 1980.

Les deux éléments principaux à prendre en compte pour le choix du type d'implant dépendent de l'intégrité de la coiffe des rotateurs et de la qualité de la glène.

A l'heure actuelle, il est admis que les prothèses anatomiques sont préférables en cas de coiffe et de glène intactes. Ceci reste cependant très discuté dans les cas d'arthrose avec subluxation postérieure (21,22). Enfin, au sein même de ces prothèses anatomiques, il faut distinguer l'hémiarthroplastie (HSA *hemi shoulder arthroplasty*) et la prothèse totale d'épaule (TSA *Total Soulder Arthroplasty*). Quand le cartilage glénoïdien est atteint, la prothèse totale est une bonne option mais dans le cas contraire, le risque de complications et de descellement glénoïdien peut faire préférer une hémi arthroplastie, surtout chez le sujet jeune (23,24). Le risque majeur de l'hémiarthroplastie est toutefois l'usure glénoïdienne prématurée avec destruction du stock osseux. A l'heure actuelle la littérature reste toujours controversée quant au choix entre arthroplastie totale et hémiarthroplastie chez le sujet jeune.

C'est dans ce contexte que les têtes humérales en pyrocarbone ont été mises en place. Le pyrocarbone a été développé initialement dans les années 1970 pour les valves cardiaques ; il est actuellement utilisé aussi bien au niveau du poignet que du coude (25–28), avec d'excellents résultats fonctionnels et radiologiques (peu ou pas d'usure du cartilage en regard de l'implant). En effet, les caractéristiques tribologiques du pyrocarbone (9,10) et un module d'élasticité proche de l'os, lui permettent une bonne intégration au niveau de ces différentes articulations.

L'utilisation du pyrocarbone au niveau de l'épaule s'est développée depuis moins de dix ans sous la forme d'une sphère d'interposition (29), et a démontré de bons résultats dans les cas d'ostéonécroses post traumatiques sans cal vicieux.

Objectif :

Cette première étude, multicentrique, internationale et prospective, a pour but d'évaluer les hémiarthroplasties d'épaule en pyrocarbone à deux ans de recul, chez le sujet jeune (≤ 55 ans), chez qui la demande fonctionnelle en fait un enjeu socio-économique important.

L'hypothèse est que les implants en pyrocarbone ont des résultats similaires aux prothèses anatomiques d'épaule tout en préservant le stock osseux de la glène.

Matériel et méthodes

Entre juillet 2013 et avril 2015, les cinq centres participants (trois français, un allemand et un italien) ont réalisé des hémi arthroplasties d'épaule en utilisant des calottes humérales en pyrocarbone (Tornier[®]). Cette étude a été validée par le comité d'éthique de chaque centre. Les patients ont également été informés du caractère novateur de l'implant et leur consentement signé a été obtenu.

Critères d'inclusion et d'exclusion

Les critères d'inclusion étaient : les patients ayant bénéficié d'une hémiarthroplastie en pyrocarbone et âgé de 55 ans ou moins. Les critères d'exclusion étaient : l'absence de consentement du patient, les patients mineurs et les femmes enceintes.

Technique chirurgicale

Tous les patients ont été opérés sous anesthésie générale en position demi assise. Une voie delto pectorale avec ténotomie du sous scapulaire a été réalisée dans tous les cas. Une réinsertion transosseuse du sous scapulaire et une ténotomie/ ténodèse du tendon du long biceps a été systématiquement réalisée. Le labrum et la capsule ont été préservés pour maintenir la stabilité de l'implant et la proprioception. Des gestes complémentaires à type de résection du ligament coraco-huméral et/ou capsulotomie juxta glénoïdienne, alésage de la glène et des microfractures ou ablation du matériel ont pu être réalisés selon les besoins opératoires. Dans cinq cas, une résection du ligament coraco-huméral et/ou capsulotomie juxta glénoïdienne ont été réalisées, pour augmenter la rotation externe. Dans trois cas, des vis de butée coracoïdienne ont été retirées. Un léger alésage de la glène a été réalisé sur deux cas, et des microfractures (priedies) dans trois cas. La taille de la tête était calculée à partir de la tête native (de 39x14 à 50x17 mm). Aucune tige humérale n'a été cimentée. Pour restaurer l'offset postérieur, deux excentrations étaient possibles pour la tête humérale, 34 low offset

et 26 high offset. Les têtes étaient fixées sur une tige humérale Aequalis™ Ascend™ Flex convertible en prothèse inversée (Tornier SAS, Montbonnot, France).

Rééducation post opératoire

Tous les patients ont été immobilisés par une écharpe contre écharpe pour une durée de trois à six semaines. Six patients ont bénéficié d'une prise en charge post opératoire dans un centre de rééducation.

La prise en charge par auto-rééducation et/ou kinésithérapie consistait en une élévation passive antérieure, sans rotation externe pour préserver la suture sous scapulaire pour une durée de six semaines.

Evaluation clinique et radiologique

L'évaluation clinique en pré et post opératoire a consisté en la mesure des amplitudes articulaires (élévation antérieure et rotation externe coude au corps) et la réalisation d'un score de Constant (30) (Annexe 1). Une différence était jugée cliniquement significative si supérieure à 10,4 , comme l'ont démontré Kukonnen et al (31). Le degré de satisfaction de l'épaule était mesuré grâce au questionnaire d'auto-évaluation SSV (Subjective Shoulder Value), coté entre 0 (épaule non fonctionnelle) et 100 (épaule normale) (32). De plus, il était demandé au patient de classer sur une échelle déclarative ordinale simple leur satisfaction globale en très satisfait / satisfait / mécontent / très mécontent de son épaule.

La douleur était évaluée grâce à l'échelle d'auto-évaluation visuelle analogique de la douleur (EVA= échelle visuelle analogique) avec 0 pour « pas de douleur » et 10 pour « une douleur insupportable ».

L'évaluation radiologique comprenait un scanner pré opératoire permettant de classer l'aspect de la glène selon Walch (33). A deux ans, une radiographie de face « trois rotations » et un profil de Lamy permettaient de classer l'atteinte glénoïdienne en : absence d'atteinte, atteinte légère (érosion de l'os sous chondral) modérée (début de médialisation de la glène) ou sévère (déformation importante de la glène avec perte osseuse à la base de la coracoïde).

Analyse statistique

Les statistiques descriptives ont été utilisées pour présenter les caractéristiques des patients. Les variables continues ont été exprimées sous forme de moyennes plus ou moins d'écart-types et les données catégorielles en termes de fréquences absolues et de pourcentages. Le T-test apparié ou le Wilcoxon parrainé ont été utilisés, selon la distribution paramétrique ou non des variables pour analyser les différences entre les mesures pré- et postopératoires. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel IBM SPSS 18. Le seuil de significativité a été posé à 0,05. L'analyse des scores en sous-groupes a été comparée par une ANOVA.

Résultats

Caractéristiques de la population

Sur les 65 patients ayant bénéficié d'une hémiarthroplastie en pyrocarbone, nous avons inclus dans cette étude seulement les patients de 55 ans ou moins.

25 patients pour 26 épaules opérées ont été inclus. A deux ans post opératoire, une analyse a été possible pour 24 patients (25 épaules).

L'âge moyen lors de la chirurgie était de 45,44 ans \pm 9,5. 21 hommes et 4 femmes ont été inclus. Pour les patients analysés, dans 9 cas il s'agissait du côté dominant (36%).

On retrouvait 10 cas d'arthrose primitive (quatre glènes de type A1, trois B1 et trois B2 (33)), sept cas d'arthrose secondaire (cinq post instabilité et deux cas post fracture), sept cas d'ostéonécrose (quatre cas post traumatique et trois cas atraumatique) et un cas de polyarthrite rhumatoïde (PR).

On ne rapporte aucune complication péri-opératoire (pas de fracture, ni descellement ou d'infection).

Tous les autres ont pu être revus à au moins deux ans de la chirurgie. Le taux de survie à deux ans était de 96,15%.

Il n'existait pas de différence significative entre les sous-groupes (arthrose primaire, arthrose secondaire, ostéonécrose et PR) pour les différents éléments mesurés (score de Constant, amplitudes ou douleur).

Dans notre série, un seul sujet a été réopéré pour persistance des douleurs et limitations des amplitudes. Il a été réopéré par un autre chirurgien à 18 mois, pour changement de la calotte humérale et mise en place d'une tête humérale en métal. A six mois de sa reprise, les douleurs étaient identiques et les amplitudes articulaires avaient diminuées. Le bilan étiologique réalisé ne retrouvait pas d'élément en faveur d'une glénoïdite, d'une infection ou d'un descellement.

Résultats cliniques

Score de Constant

La moyenne des scores de Constant (30) est passée de $33,86 \pm 19,50$ à $72,56 \pm 22,77$ ce qui correspond à une amélioration moyenne cliniquement significative de +37,66 points. L'analyse en sous-groupes des résultats selon l'indication opératoire (polyarthrite rhumatoïde exclue), montrait des résultats globalement similaires avec une amélioration moyenne du score de Constant aux alentours de 40% (Tableau 2).

L'augmentation moyenne du score de Constant était significative entre la visite pré opératoire et à deux ans post-opératoire et ce, quel que soit l'étiologie.

Tableau 2 : Scores moyens de Constant en pré opératoire et à 2 ans selon l'étiologie.

Indications	N	Initial	Visite 2 ans	Augmentation	P-value pré et Post-opératoire
1. Arthrose primaire	10	54,53	83,79	41,23	<0,001
2. Arthrose secondaire	7	24,11	62,25	38,14	0,014
3. Ostéonécrose	7	32,77	66,5	38,41	0,004
4. RA	1	24	74,8	50,8	-
p-value selon l'étiologie		0,282	0,229		
Total	25	33,86	72,56	40,05	<0,001

SSV et satisfaction globale

Le SSV (32) est passé de manière significative de 30,95% \pm 15,05% en pré opératoire à 71,25% \pm 27,59% à deux ans post opératoire . L'amélioration était globalement la même dans le groupe des arthroses (primaire et secondaire) avec un gain d'environ 50%. En revanche dans les cas d'ostéonécrose les résultats à deux ans étaient globalement moins bons et l'amélioration moins importante (35,55%) (Tableau 3). Cependant, la différence était significative dans les cas d'ostéonécrose contrairement aux cas d'arthrose secondaire. En pré opératoire, 8 patients (32%) étaient mécontents et 17 (68%) très mécontents de leur épaule. En post opératoire 16 patients (64%) étaient très satisfaits, 6 (24%) étaient satisfaits, un (4%) mécontent, et deux (8%) très mécontents. Dans les deux cas de patients très mécontents on retrouvait un cas d'ostéonécrose post traumatique et un cas d'arthrose post traumatique. Le patient mécontent était dans le groupe ostéonécrose post traumatique.

Tableau 3 : SSV préopératoire et post opératoire à deux ans.

Indications	Visite pré opératoire N=25		Visite deux ans N=25		p-value pré et post-opératoire
	Moyenne (%)	SD	Moyenne (%)	SD	
1. Arthrose primaire	34,44	14,24	83,33	14,14	<0,001
2. Arthrose secondaire	32,14	14,68	84,16	33,52	0,05
3. Ostéonécrose	18,75	14,32	54,29	31,15	0,013
4. PR	40		75		-
p-value selon l'étiologie	0,336		0,226		
Total	30,95	15,05	71,25	27,59	<0,001

Amplitudes articulaires

En pré opératoire l'élévation moyenne était de $102^{\circ} \pm 41^{\circ}$, la RE1 de $10^{\circ} \pm 12,1^{\circ}$ (rotation externe coude au corps) (Tableau 4) et la partie mobilité du score de Constant était de 17,18/40. En post opératoire on retrouvait une élévation antérieure globale à $144^{\circ} \pm 34^{\circ}$, une RE1 $32^{\circ} \pm 16^{\circ}$ et un Constant à 30/40. On retrouvait une augmentation de l'élévation antérieure un peu moins importante dans les arthroses primitives et une augmentation de la rotation externe un peu plus limitée dans les arthroses secondaires. L'augmentation du score de Constant était globalement similaire avec une augmentation de 12 ± 2 points, hors PR. L'augmentation globale de l'élévation antérieure et de la RE1 était significative ($p < 0,05$). Dans l'analyse en sous-groupes cette significativité n'était pas retrouvée pour les cas d'arthrose secondaire.

Tableau 4 : Valeurs moyennes des mobilités selon l'étiologie en préopératoire et à deux ans.

Indications	Élévation antérieure (N=25)			Rotation externe 1 (N=25)		
	AE pré (en degré)	AE post (en degrés)	p-value	RE1 pré (en degré)	RE1 post (en degrés)	p-value
1. Arthrose primitive	121,25	155,56	0,002	12,5	35	0,001
2. Arthrose secondaire	93,33	138,33	0,12	13,33	26,67	0,06
3. Ostéonécrose	92,85	133,75	0,037	5,71	31,86	0,038
4. PR	70	160	-	10	30	-
P-value selon l'étiologie	0,451	0,377		0,660	0,841	
Total	102,27	144,17	< 0,001	10,46	31,67	< 0,001

Douleur

Pour l'évaluation de la douleur selon le score de Constant, on retrouvait une douleur moyenne à $3,41 \pm 2,3$, et selon l'Echelle Visuelle Analogique une douleur moyenne à $6,28 \pm 2,37$ en pré opératoire (Tableau 5).

En post opératoire le score de Constant pour la douleur était de 12,64 et l'EVA à 0,92. Cette différence était significative ($p < 0,05$) pour l'ensemble des patients ainsi que pour chaque sous-groupe PR exclue.

On retient un seul « mauvais » résultat à deux ans avec une douleur cotée à 2/15 selon le score de Constant, sinon ils étaient tous supérieurs à 10. L'EVA de ce patient était à 8/10 (cas d'arthrose post traumatique).

Tableau 5 : Evaluation de la douleur selon l'EVA en pré opératoire et à deux ans.

Indications	Pré opératoire N=25		Visite 2 ans N=25		p-value pré et post-opératoire
	Moyenne (%)	Min-max	Moyenne (%)	Min-max	
1. Arthrose primitive	5,87	2-8	0,77	0-3	0,001
2. Arthrose secondaire	8.17	7-9	2	0-8	0,006
3. Ostéonécrose	5.4	1-9	0,375	0-2	0,033
4. PR	6		1		-
p-value selon l'étiologie	0,142		0,570		
Total	6,29	1-9	1,75	0-8	<0,001

Résultats radiologiques

Avant la chirurgie, sur les 25 glènes, on retrouvait, 10 sans érosion, 7 avec une érosion légère, deux avec une érosion modérée et 6 avec une érosion sévère. Au contrôle à deux ans de la chirurgie, il y a eu cinq progressions (20%), dont deux ont augmenté de plus d'un stade, passant d'une atteinte légère à une atteinte sévère pour l'une et de l'absence d'atteinte à une atteinte modérée pour l'autre. Dans un cas il s'agissait d'une arthrose primitive sur une glène A1 et dans l'autre cas d'une ostéonécrose post-traumatique. (Tableau 6)

Tableau 6 : Usure de la glène en préopératoire et a deux ans postopératoire

Usure de la Glène	Visite pré opératoire (N= 25)	Visite à 2 ans (N=25)
Pas d'atteinte	10	7
Légère	7	7
Modérée	2	4
Sévère	6	7

Complications

On ne rapporte aucune complication péri-opératoire (pas de fracture, ni de descellement ou d'infection).

Discussion

Notre étude rapporte les résultats précoces des hémiarthroplasties d'épaule chez le sujet jeune avec l'emploi d'un implant en pyrocarbone à un recul minimum de 24 mois. Le suivi des patients opérés montre une amélioration significative en termes de score fonctionnel, d'indice de satisfaction, d'amplitudes articulaires et de soulagement des douleurs avec un faible taux de complications et une stabilisation de la maladie arthrosique au niveau de la glène en plus.

Compte tenu d'un seul cas de polyarthrite rhumatoïde dans notre série, nous avons préféré ne pas tirer de conclusion quant à cette population.

Score de Constant

Dans sa série sur le suivi à deux ans chez les patients avec de l'arthrose primaire, Lo et al. (34) retrouvaient un score de Constant pré opératoire à $22,7 \pm 15,3$ avec une amélioration à $67,1 \pm 19,6$ dans le groupe HSA, et à $70,8 \pm 17,2$ dans le groupe TSA. L'augmentation pré- opératoire versus postopératoire était alors significative, mais sans différence entre les groupes HSA versus TSA

Les résultats de la série rémoise de Ohl et al. (35) à plus de deux ans de suivi concernant des patients présentant à la fois des cas d'ostéonécrose et d'arthrose, montraient également une amélioration du score fonctionnel. En effet le score de Constant pré opératoire passait de $37,4 \pm 12$ à $64,3 \pm 12$ à un an et $64,4 \pm 19$ à plus de deux ans.

Gadéa et al. (36), comparaient les résultats des hémiarthroplasties selon l'étiologie avec un suivi moyen minimum de 8 ans et retrouvaient une amélioration significative du score de Constant pré et postopératoire dans le groupe des ostéonécroses. De plus, les auteurs retrouvaient une amélioration significativement supérieure en postopératoire du score de Constant par rapport aux groupes polyarthrite rhumatoïde, arthrose post fracture et arthrose post rupture de coiffe.

Dans notre série, le score Constant préopératoire moyen était de 34,42 pour atteindre 72,08 à deux ans. Il était à 92,33 pour les arthroses primaires, 69,15 pour les secondaires, 58,86 pour les ostéonécroses et 74,8 dans la PR.

Il est possible que nos bons résultats résultent d'une moyenne d'âge plus basse dans notre série par rapport aux autres séries publiées (41,3 ans dans notre série contre 55 et 70 ans dans les autres) et d'un suivi plus court (deux ans pour notre et série et celle de Lo et al. et jusqu'à onze ans pour celle de Gadéa et al.).

SSV et satisfaction globale

Dans la série de Ohi et al. (35) sur les HSA, les résultats du SSV des patients au dernier recul (45.8 mois) étaient de $74,6 \pm 19,9$, et la satisfaction globale était cotée excellente dans 11/19 cas (58%) et bonne dans 6/19 (31,6%), soit un taux de satisfaction de 89%. Ces résultats étaient similaires à ceux de Burroughs et al. dans les cas d'arthroplastie chez le patient jeune (<50ans), avec 86% de patients satisfaits. L'analyse de la littérature retrouvait entre 80% et 95% (37) de patients satisfaits post arthroplastie. Ce taux de satisfaction bien que supérieur pour les TSA par rapport aux HSA dans l'étude de Gartsman et al. (38), n'était pas significatif.

Dans notre étude le taux de satisfaction (patients satisfaits ou très satisfaits) était bon à 88%. Sur les trois cas de patients mécontents ou très mécontents nous retrouvions deux ostéonécroses et une arthrose secondaire. Dans les trois cas, l'origine était post traumatique (comme pour Sowa et al. (39)) et les patients très jeunes (35 ans de moyenne d'âge).

Chez ces trois patients, les scores de Constant moyen préopératoire (16,5/100) et postopératoire (29,4/100), restaient faibles. Dans deux cas, on remarquait une diminution importante de la douleur avec le passage d'une EVA de 9 et 6 en préopératoire à 0 et 1 en postopératoire. De plus, la partie douleur du score de Constant passait de 1 et 5 en pré opératoire à 11 en post opératoire. En revanche, l'augmentation des mobilités était faible avec un passage d'une EA/RE1 de $70^{\circ}/0^{\circ}$ et $20^{\circ}/0^{\circ}$ à $80^{\circ}/20^{\circ}$ et $50^{\circ}/0^{\circ}$. Pour la partie mobilité du score de Constant on passait de 8 à 14/40 et de 0 à 10/40.

Pour le dernier sujet dont le résultat subjectif n'était pas bon (arthrose post fracture), le score de Constant se maintenait en pré et postopératoire sans réelle évolution aussi bien sur la partie douleur que mobilité.

Chez les deux premiers patients, le mauvais résultat subjectif pourrait être en lien avec une trop grande espérance dans les résultats de cette « nouvelle » prothèse. Dans les cas d'arthrose post traumatique hyperalgique, la sédation de la douleur est l'objectif principal ; le gain des amplitudes est secondaire.

Amplitudes articulaires

Sperling et al. (40), avec un recul de 15 ans minimum chez des patients de moins de 55 ans ayant bénéficié d'une arthroplastie de l'épaule (hémi ou totale), ne retrouvaient pas de différence significative entre le groupe HSA versus TSA, que ce soit en préopératoire ou en postopératoire ou dans les différentes amplitudes. En revanche, les auteurs mettaient en évidence une diminution significative de la rotation externe préopératoire et post-opératoire en cas d'antécédent chirurgical pour les hémiarthroplasties.

Cependant dans leur méta-analyse de l'ensemble des populations, Bryant et al. (41) retrouvaient une augmentation moyenne de l'élévation antérieure de 43° dans le groupe TSA versus 31° dans le groupe HSA. Ceci était aussi confirmé par la méta-analyse de Sayegh et al. (42), qui ont montré que pour l'élévation antérieure, les hémiarthroplasties donnaient de manière significative, de moins bons résultats que les prothèses totales. Dans notre série, le gain moyen d'élévation antérieure était de 48,4°. Une étude TSA versus pyrocarbone avec un plus grand recul, permettrait de confirmer que le pyrocarbone donne des résultats identiques voire meilleurs dans le gain d'amplitudes articulaires que les prothèses totales.

Gadéa et al. (36) retrouvaient une différence significative de l'amélioration post opératoire du score de Constant sur les mobilités dans le groupe ostéonécrose par rapport aux autres groupes que ne retrouvaient pas Ohl et al. (35). Comme dans notre série, Gadéa et al. ont montré une augmentation significative aussi bien des amplitudes que de la partie mobilité du score de Constant en préopératoire versus postopératoire.

Dans leur série Ohl et al. (35), ont montré une diminution de 17° de l'élévation antérieure et un gain de 11° de la rotation externe entre le résultat à un an et celui au dernier recul (45,8 mois) avec un score de Constant global qui restait identique

Douleur

Diverses études ont montré que l'arthroplastie permettait une diminution significative de la douleur en postopératoire (43) et que cette diminution était plus importante après une prothèse totale qu'une hémiarthroplastie (42).

Dans leur série d'hémiarthroplastie, Ohl et al. (35) ont montré une amélioration de la partie douleur du score de Constant passant de 3.2 en préopératoire à 9.7 à un an et 9.5 au dernier recul. Dans les séries rapportant les résultats des TSA chez des patients jeunes (≤ 55 ans) pour de l'arthrose primitive (44,45), les résultats étaient meilleurs avec un score moyen supérieur à 10/15 de la partie douleur du score de Constant à plus de cinq ans de suivi. Dans leur série Gadéa et al. (36) ont montré que les meilleurs résultats sur la douleur du score de Constant étaient retrouvés dans le groupe des arthroses primitives. Dans notre série, le score moyen à deux ans était de $12,64 \pm 2,87$, avec un seul cas inférieur à 10 (4%).

Complications

Dans notre étude, on retrouve une seule reprise chirurgicale à 16 mois sans explication claire sur la persistance des douleurs et la limitation des amplitudes articulaires.

Nos résultats étaient similaires aux données de la littérature. Dans leur étude Gartsman et al. (39) retrouvaient un taux de survie à deux ans de 96% dans son groupe HSA. Lo et al. (34) retrouvaient quant à eux 90% de survie à deux ans. Dans leur revue de la littérature sur la prise en charge chirurgicale de l'arthrose chez les patients jeunes, Sayegh et al. (42), retrouvaient de manière significative, moins de complications après HSA que dans le groupe TSA, alors que le taux de reprise n'était significativement pas différent, ce qui est aussi confirmé par Singh et al. (46).

Quelques études comparent les résultats à long terme HSA versus TSA dans les ostéonécroses mais elles montraient des résultats discordants (47,48). L'étude de Hatstrup et al. (48), avec un suivi moyen de 8.9 ans, ne montraient pas de différence significative entre les deux procédures, mais le taux de survie était meilleur dans le groupe TSA (48). Celle de Feeley et al. (47), avec un suivi moyen moins important (4.8 ans), retrouvait quant à elle un taux de complications de 22% dans le groupe TSA versus 8% dans les HSA, pour des résultats similaires.

Résultats radiologiques

Il existe peu d'études analysant de manière quantitative le cartilage de la surface glénoïdienne. La plupart d'entre elles utilisent une analyse subjective de l'érosion de la glène. Lorsque celle-ci était étudiée de manière quantitative, elle l'était soit grâce à un stylo de modélisation 3D sur une radiographie de l'épaule de face et de profil, soit grâce à une simple radiographie de face. Dans ces études, l'épaisseur moyenne de cartilage était comprise entre 2,69 et 1,92 mm et l'usure d'environ 1mm par an (35,49). De plus, pour Parsons et al. (49), une épaisseur de cartilage inférieure à 1mm, est significativement associée à un score de Constant inférieur à 60%.

Dans notre série, les deux cas où l'usure de la glène avait augmenté de manière importante, les résultats cliniques étaient restés excellents aussi bien d'un point de vue subjectif que fonctionnel. Ces patients qualifiaient leur résultat de très bon avec un SSV à 90% et 80% Vs 40% en préopératoire, et une élévation antérieure à 130° pour l'un et 160° pour l'autre. Compte tenu de ces résultats, le temps permettra de savoir s'il ne s'agit pas d'une adaptation de la glène plus que d'une réelle usure.

Alternatives au pyrocarbone

Pour préserver la glène d'un geste d'arthroplastie et de ses complications, certains auteurs ont proposé différents types de resurfaçage biologique de la glène. Plusieurs techniques chirurgicales ont été décrites, utilisant soit la capsule antérieure, soit des autogreffes de fascia lata ou des allogreffes (tendon d'Achille ou de ménisque latéral). Malheureusement la plupart des études ont montré des résultats aléatoires (50–54). Strauss et al.(54), dans leur série de 45 patients jeunes, ont montré un taux d'échec de plus de 50% et ne retenaient pas d'indication au resurfaçage. Dans sa série de treize patients de moins de 50 ans, Elhassan et al. (50) retrouvait un taux de reprise chirurgicale avec mise en place d'une prothèse totale d'épaule de plus de 75%.

La prise en charge des arthroses post traumatiques est complexe et les prothèses sont connues pour donner de mauvais résultats. Une solution basée sur des implants d'interpositions en pyrocarbone (Inspyre, Tornier®) semble donner de bons résultats en l'absence de cal vicieux (29).

Forces et faiblesses de l'étude

L'une des faiblesses de notre étude est l'absence d'analyse quantitative radiologique de l'usure de la glène. A l'heure actuelle, une analyse permettant de calculer le volume de la glène usée est très difficilement réalisable en pratique clinique. De plus, les deux patients de notre série avec une évolution importante de l'usure de la glène gardent d'excellents résultats. Il est évident qu'il est, à l'heure actuelle, trop tôt pour parler d'adaptation plus que d'usure de la glène mais une tendance similaire semble se dégager dans la série globale des prothèses en pyrocarbone dont est tirée notre série. En effet, chez les patients avec une glène de type B, il semble exister un recentrage de la tête au niveau de la glène. Compte tenu du caractère prospectif de cette étude, cette tendance pourra être confirmée par une analyse radio-clinique plus détaillée à 5 ans de notre population. Un TDM de contrôle, selon un

protocole défini, permettra une analyse plus précise voire quantitative, de l'état de la glène, en étant le moins artéfacté possible par le matériel prothétique.

Le manque de recul est aussi un facteur limitant. Une évaluation au long cours est nécessaire pour confirmer ces bons résultats préliminaires. En effet toutes les études montrent que le taux de reprise des prothèses augmente avec le temps (43). Même si ce taux est souvent moins important dans les groupes TSA que dans les HSA, les méta-analyses ne retrouvent pas de différences significatives (42). L'analyse à cinq ans permettra donc d'évaluer notre taux de survie par rapport aux prothèses totales et aux hémiprothèses.

Enfin une population plus importante permettra d'augmenter la puissance de notre étude et de permettre une meilleure analyse notamment des sous-groupes.

Les forces de notre étude sont le caractère prospectif, multicentrique et international. De plus, c'est la première analyse de ce type d'implant dans cette population spécifique. Notre étude est basée sur des scores objectifs et subjectifs, des analyses cliniques et radiologiques chez une population à haut risque d'échec d'arthroplastie. Enfin, même si le délai est court, un délai de 24 mois est suffisant pour évaluer la sécurité de l'implant.

Conclusion

La dégénérescence de l'articulation gléno-humérale chez le sujet jeune, indépendamment de l'étiologie, est une situation difficile à prendre en charge car elle pose le problème de la stabilisation des lésions dans le temps chez des patients à forte sollicitation de leur arthroplastie. L'impact socio-économique de ces patients est majeur du fait du coût de telles procédures et de la durée de vie longue prévisible chez cette population.

Le traitement doit donc à la fois porter sur l'antalgie et les mobilités tout en gardant à l'esprit la minimisation de l'usure des implants et du stock cartilagineux restant. A l'heure actuelle, il n'existe ni consensus, ni « gold standard » permettant de prendre en charge toutes ces problématiques à la fois : l'hémiarthroplastie entraîne une destruction progressive de la glène quand les contraintes au niveau glénoïdien de la prothèse totale entraînent des descellements.

Les résultats précoces rapportés dans cette étude concernant les hémiarthroplasties en pyrocarbone sont aussi bons qu'avec une hémiarthroplastie dite classique ou qu'une prothèse totale que ce soit en termes de mobilités ou de douleur. De plus, cette capacité d'adaptation de la glène face au pyrocarbone, si elle est confirmée à cinq ans, permettra d'offrir une solution à cette population jeune et demandeuse.

Grâce au pyrocarbone et à une prothèse humérale convertible, il semblerait qu'on se retrouve, chez ces patients, dans la situation optimale d'une hémi arthroplastie convertible avec une glène vierge en cas de nécessité de reprise chirurgicale pour une totalisation. Ceci permettrait donc, la mise en place d'une prothèse totale d'épaule, anatomique ou inversée, avec un stock osseux glénoïdien de bonne qualité, garant de bons résultats sur le long cours. Un suivi plus important et une analyse TDM fine permettraient de confirmer ces premiers bons résultats.

Annexe 1 : score de Constant

Mobilité Active (sur 40 pts)			
		Flexion	Abduction
0°-30°	0 pts		
31°- 60°	2 pts		
61° - 90°	4 pts		
91° -	6 pts		
121° -	8 pts		
151° -	10		
TOTAL (sur 10			
Rotation externe			
Mains derrière la tête, coudes en	2pts		
Mains derrière la tête, coudes en	2pts		
Mains sur la tête, coudes en avant	2pts		
Mains sur la tête, coudes en	2pts		
Mains au-dessus de la tête	2pts		
TOTAL (sur 10 points)			
Rotation interne			
Dos de la main homolatérale	Cuisse	0 pts	
	Fesse	2 pts	
	Lombo-	4 pts	
	Taille	6 pts	
	T12	8 pts	
	T7	10 pts	
TOTAL (sur 10 points)			
TOTAL Mobilité active (sur 40 points)			

Douleurs		
Aucune	15 pts	
Légère	10 pts	
Médiocre	5 pts	
Sévère	0 pts	
TOTAL Douleur (sur 15 pts)		

Mobilité courante/activités quotidiennes		
Niveau d'activité		
Travail à plein temps	4 pts	
Sport sans limitation	4 pts	
Sommeil normal	2 pts	
Amplitude de mouvements indolores		
Taille	2 pts	
Xyphoïde	4 pts	
Cou	6 pts	
Sommet de la tête	8 pts	
Au-dessus de la tête	10 pts	
TOTAL mobilité courante/activités		

Puissance	
Avec 2,27 points par Kg tenu et un maximum de 12 kg	
TOTAL Puissance	

TOTAL	_____ /100
--------------	------------

Bibliographie :

1. Cao H. Mechanical performance of pyrolytic carbon in prosthetic heart valve applications. *J Heart Valve Dis.* juin 1996;5 Suppl 1:S32-49.
2. Garret J, Hassler M, Saffarini, Mo. Does pyrocarbon offer equivalent advantages in shoulder hemiarthroplasty as it does for smaller joint implants? 2017;White Paper Tornier.
3. Haubold AD. On the durability of pyrolytic carbon in vivo. *Med Prog Technol.* 1994;20(3-4):201-8.
4. Bellemère P, Ardouin L. Pi2 spacer pyrocarbon arthroplasty technique for thumb basal joint osteoarthritis. *Tech Hand Up Extrem Surg.* déc 2011;15(4):247-52.
5. Bellemère P, Bouju Y, Chaise F, Friol J, Gaisne E, Genestet M, et al. Pseudarthrose du scaphoïde : résection proximale et interposition d'un implant en pyrocarbure, à propos de 20 cas. */data/revues/12973203/v30i6/S1297320311001703/* [Internet]. 30 nov 2011; Disponible sur: <http://www.em-consulte.com/en/article/676028>
6. Bellemère P, Gaisne E, Loubersac T, Ardouin L, Collon S, Maes C. Pyrocardan implant: free pyrocarbon interposition for resurfacing trapeziometacarpal joint. */data/revues/12973203/003000S1/28/* [Internet]. 23 janv 2012; Disponible sur: <http://www.em-consulte.com/en/article/686692>
7. Bellemère P, Maes-Clavier C, Loubersac T, Gaisne E, Kerjean Y. Amandys® implant: Novel pyrocarbon arthroplasty for the wrist. */data/revues/12973203/v31i4/S1297320312000911/* [Internet]. 2 oct 2012; Disponible sur: <http://www.em-consulte.com/en/article/757898>
8. Bellemère P, Maes-Clavier C, Loubersac T, Gaisne E, Kerjean Y, Collon S. Pyrocarbon Interposition Wrist Arthroplasty in the Treatment of Failed Wrist Procedures. *J Wrist Surg.* août 2012;1(1):31-8.
9. Cook SD, Thomas KA, Kester MA. Wear characteristics of the canine acetabulum against different femoral prostheses. *Bone Jt J.* 1 mars 1989;71-B(2):189-97.
10. Hassler M. Other commonly used biomaterials coatings: pyrolytic carbon coatings. In: *Coatings for Biomedical Applications.* Woodhead Publishing; 2012. p. 75-105.
11. More R, Haubold AD. Surface chemistry and surface roughness of clinical pyrocarbons.
12. Kawalec JS, Hetherington VJ, Melillo TC, Corbin N. Evaluation of fibrocartilage regeneration and bone response at full-thickness cartilage defects in articulation with pyrolytic carbon or cobalt-chromium alloy hemiarthroplasties. *J Biomed Mater Res.* 15 sept

1998;41(4):534-40.

13. Ouenzerfi G. Does tribological behavior of pyrolytic carbon against bone promote cartilage regeneration. 2015.
14. Kim SH, Wise BL, Zhang Y, Szabo RM. Increasing incidence of shoulder arthroplasty in the United States. *J Bone Joint Surg Am.* 21 déc 2011;93(24):2249-54.
15. Madhok R, Lewallen DG, Wallrichs SL, Ilstrup DM, Kurland RL, Melton LJ. Trends in the utilization of primary total hip arthroplasty, 1969 through 1990: a population-based study in Olmsted County, Minnesota. *Mayo Clin Proc.* janv 1993;68(1):11-8.
16. Neuprez A, Neuprez AH, Kurth W, Gillet P, Bruyère O, Reginster J-Y. Profile of osteoarthritic patients undergoing hip or knee arthroplasty, a step toward a definition of the « need for surgery ». *Aging Clin Exp Res.* 30 mai 2017;
17. Schumann K, Flury MP, Schwyzer H-K, Simmen BR, Drerup S, Goldhahn J. Sports activity after anatomical total shoulder arthroplasty. *Am J Sports Med.* oct 2010;38(10):2097-105.
18. McCarty EC, Marx RG, Maerz D, Altchek D, Warren RF. Sports participation after shoulder replacement surgery. *Am J Sports Med.* août 2008;36(8):1577-81.
19. Neer CS. Articular replacement for the humeral head. *J Bone Joint Surg Am.* avr 1955;37-A(2):215-28.
20. Baulot E, Sirveaux F, Boileau P. Grammont's idea: The story of Paul Grammont's functional surgery concept and the development of the reverse principle. *Clin Orthop.* sept 2011;469(9):2425-31.
21. Hendel MD, Werner BC, Camp CL, Gulotta LV, Walch G, Dines DM, et al. Management of the Biconcave (B2) Glenoid in Shoulder Arthroplasty: Technical Considerations. *Am J Orthop Belle Mead NJ.* juin 2016;45(4):220-7.
22. Mizuno N, Denard PJ, Raiss P, Walch G. Reverse total shoulder arthroplasty for primary glenohumeral osteoarthritis in patients with a biconcave glenoid. *J Bone Joint Surg Am.* 17 juill 2013;95(14):1297-304.
23. Schoch B, Schleck C, Cofield RH, Sperling JW. Shoulder arthroplasty in patients younger than 50 years: minimum 20-year follow-up. *J Shoulder Elbow Surg.* mai 2015;24(5):705-10.
24. Johnson MH, Paxton ES, Green A. Shoulder arthroplasty options in young (<50 years old) patients: review of current concepts. *J Shoulder Elbow Surg.* 1 févr 2015;24(2):317-25.
25. Russo S, Bernasconi A, Busco G, Sadile F. Treatment of the trapeziometacarpal osteoarthritis by arthroplasty with a pyrocarbon implant. *Int Orthop.* juill

2016;40(7):1465-71.

26. Othman Y, Hassini L, Koubaa M, Saidi A, Allagui M, Bellaaj Z, et al. Prothèse de la tête radiale en pyrocarbone. Résultats à moyen terme. *Rev Chir Orthopédique Traumatol.* 1 nov 2014;100(7):S311.
27. Gras M, Wahegaonkar AL, Mathoulin C. Treatment of Avascular Necrosis of the Proximal Pole of the Scaphoid by Arthroscopic Resection and Prosthetic Semireplacement Arthroplasty Using the Pyrocarbon Adaptive Proximal Scaphoid Implant (APSI): Long-Term Functional Outcomes. *J Wrist Surg.* nov 2012;1(2):159-64.
28. Cook SD, Beckenbaugh RD, Redondo J, Popich LS, Klawitter JJ, Linscheid RL. Long-term follow-up of pyrolytic carbon metacarpophalangeal implants. *J Bone Joint Surg Am.* mai 1999;81(5):635-48.
29. Garret J, Godeneche A, Boileau P, Molé D, Etzner M, Favard L, et al. Pyrocarbon interposition shoulder arthroplasty: preliminary results from a prospective multicenter study at 2 years of follow-up. *J Shoulder Elbow Surg.* juill 2017;26(7):1143-51.
30. Constant CR, Murley AH. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop.* janv 1987;(214):160-4.
31. Kukkonen J, Kauko T, Vahlberg T, Joukainen A, Aärimaa V. Investigating minimal clinically important difference for Constant score in patients undergoing rotator cuff surgery. *J Shoulder Elbow Surg.* déc 2013;22(12):1650-5.
32. Gilbert MK, Gerber C. Comparison of the subjective shoulder value and the Constant score. *J Shoulder Elbow Surg.* déc 2007;16(6):717-21.
33. Walch G, Badet R, Boulahia A, Khoury A. Morphologic study of the glenoid in primary glenohumeral osteoarthritis. *J Arthroplasty.* sept 1999;14(6):756-60.
34. Lo IKY, Litchfield RB, Griffin S, Faber K, Patterson SD, Kirkley A. Quality-of-life outcome following hemiarthroplasty or total shoulder arthroplasty in patients with osteoarthritis. A prospective, randomized trial. *J Bone Joint Surg Am.* oct 2005;87(10):2178-85.
35. Ohl X, Nérot C, Saddiki R, Dehoux E. Shoulder hemi arthroplasty radiological and clinical outcomes at more than two years follow-up. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR.* mai 2010;96(3):208-15.
36. Gadea F, Alami G, Pape G, Boileau P, Favard L. Shoulder hemiarthroplasty: outcomes and long-term survival analysis according to etiology. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR.* oct 2012;98(6):659-65.
37. Burroughs PL, Gearen PF, Petty WR, Wright TW. Shoulder arthroplasty in the young

- patient. *J Arthroplasty*. sept 2003;18(6):792-8.
38. Wirth MA, Rockwood CA. Complications of total shoulder-replacement arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. avr 1996;78(4):603-16.
39. Gartsman GM, Roddey TS, Hammerman SM. Shoulder arthroplasty with or without resurfacing of the glenoid in patients who have osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am*. janv 2000;82(1):26-34.
40. Sowa B, Thierjung H, Bühlhoff M, Loew M, Zeifang F, Bruckner T, et al. Functional results of hemi- and total shoulder arthroplasty according to diagnosis and patient age at surgery. *Acta Orthop*. juin 2017;88(3):310-4.
41. Sperling JW, Cofield RH, Rowland CM. Minimum fifteen-year follow-up of Neer hemiarthroplasty and total shoulder arthroplasty in patients aged fifty years or younger. *J Shoulder Elbow Surg*. déc 2004;13(6):604-13.
42. Bryant D, Litchfield R, Sandow M, Gartsman GM, Guyatt G, Kirkley A. A comparison of pain, strength, range of motion, and functional outcomes after hemiarthroplasty and total shoulder arthroplasty in patients with osteoarthritis of the shoulder. A systematic review and meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am*. sept 2005;87(9):1947-56.
43. Sayegh ET, Mascarenhas R, Chalmers PN, Cole BJ, Romeo AA, Verma NN. Surgical Treatment Options for Glenohumeral Arthritis in Young Patients: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. juin 2015;31(6):1156-1166.e8.
44. Bartelt R, Sperling JW, Schleck CD, Cofield RH. Shoulder arthroplasty in patients aged fifty-five years or younger with osteoarthritis. *J Shoulder Elbow Surg*. janv 2011;20(1):123-30.
45. Denard PJ, Raiss P, Sowa B, Walch G. Mid- to long-term follow-up of total shoulder arthroplasty using a keeled glenoid in young adults with primary glenohumeral arthritis. *J Shoulder Elbow Surg*. juill 2013;22(7):894-900.
46. Raiss P, Aldinger PR, Kasten P, Rickert M, Loew M. Total shoulder replacement in young and middle-aged patients with glenohumeral osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Br*. juin 2008;90(6):764-9.
47. Singh JA, Sperling J, Buchbinder R, McMaken K. Surgery for shoulder osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev*. 6 oct 2010;(10):CD008089.
48. Feeley BT, Fealy S, Dines DM, Warren RF, Craig EV. Hemiarthroplasty and total shoulder arthroplasty for avascular necrosis of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg*. oct 2008;17(5):689-94.

49. Hattrup SJ, Cofield RH. Osteonecrosis of the humeral head: results of replacement. *J Shoulder Elbow Surg.* juin 2000;9(3):177-82.
50. Parsons IM, Millett PJ, Warner JJP. Glenoid wear after shoulder hemiarthroplasty: quantitative radiographic analysis. *Clin Orthop.* avr 2004;(421):120-5.
51. Elhassan B, Ozbaydar M, Diller D, Higgins LD, Warner JJP. Soft-tissue resurfacing of the glenoid in the treatment of glenohumeral arthritis in active patients less than fifty years old. *J Bone Joint Surg Am.* févr 2009;91(2):419-24.
52. Krishnan SG, Nowinski RJ, Harrison D, Burkhead WZ. Humeral hemiarthroplasty with biologic resurfacing of the glenoid for glenohumeral arthritis. Two to fifteen-year outcomes. *J Bone Joint Surg Am.* avr 2007;89(4):727-34.
53. Nicholson GP, Goldstein JL, Romeo AA, Cole BJ, Hayden JK, Twigg SL, et al. Lateral meniscus allograft biologic glenoid arthroplasty in total shoulder arthroplasty for young shoulders with degenerative joint disease. *J Shoulder Elbow Surg.* oct 2007;16(5 Suppl):S261-266.
54. Wirth MA. Humeral head arthroplasty and meniscal allograft resurfacing of the glenoid. *J Bone Joint Surg Am.* mai 2009;91(5):1109-19.
55. Strauss EJ, Verma NN, Salata MJ, McGill KC, Klifto C, Nicholson GP, et al. The high failure rate of biologic resurfacing of the glenoid in young patients with glenohumeral arthritis. *J Shoulder Elbow Surg.* mars 2014;23(3):409-19.

Serment D'Hippocrate

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous les éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me le demandera. Je ne laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apportera mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je déshonoré et méprisé si j'y manque.