



**HAL**  
open science

# Hémiarthoplasties d'épaule avec implants en pyrocarbone : résultats radio-cliniques à 2 ans de recul minimum

Pauline Mathon

► **To cite this version:**

Pauline Mathon. Hémiarthoplasties d'épaule avec implants en pyrocarbone : résultats radio-cliniques à 2 ans de recul minimum. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-02978618

**HAL Id: dumas-02978618**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02978618>**

Submitted on 26 Oct 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Faculté des sciences  
médicales et paramédicales  
Aix-Marseille Université

**Hémiarthroplasties d'épaule avec implants en pyrocarbone :  
résultats radio-cliniques à 2 ans de recul minimum.**

**T H E S E**

**Présentée et publiquement soutenue devant**

**LA FACULTÉ DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES  
DE MARSEILLE**

**Le 6 Octobre 2020**

**Par Madame Pauline MATHON**

**Née le 19 mars 1990 à La Seyne-Sur-Mer (83)**

**Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine**

**D.E.S. de CHIRURGIE GÉNÉRALE**

**Membres du Jury de la Thèse :**

<b>Monsieur le Professeur FLECHER Xavier</b>	<b>Président</b>
<b>Monsieur le Professeur LEGRÉ Régis</b>	<b>Assesseur</b>
<b>Monsieur le Professeur ARGENSON Jean-Noël</b>	<b>Assesseur</b>
<b>Monsieur le Docteur GRAVIER Renaud</b>	<b>Directeur</b>
<b>Monsieur le Docteur LAMI Damien</b>	<b>Assesseur</b>





Faculté des sciences  
médicales et paramédicales  
Aix-Marseille Université

**Hémiarthroplasties d'épaule avec implants en pyrocarbone :  
résultats radio-cliniques à 2 ans de recul minimum.**

**T H E S E**

**Présentée et publiquement soutenue devant**

**LA FACULTÉ DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES  
DE MARSEILLE**

**Le 6 Octobre 2020**

**Par Madame Pauline MATHON**

**Née le 19 mars 1990 à La Seyne-Sur-Mer (83)**

**Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine**

**D.E.S. de CHIRURGIE GÉNÉRALE**

**Membres du Jury de la Thèse :**

<b>Monsieur le Professeur FLECHER Xavier</b>	<b>Président</b>
<b>Monsieur le Professeur LEGRÉ Régis</b>	<b>Assesseur</b>
<b>Monsieur le Professeur ARGENSON Jean-Noël</b>	<b>Assesseur</b>
<b>Monsieur le Docteur GRAVIER Renaud</b>	<b>Directeur</b>
<b>Monsieur le Docteur LAMI Damien</b>	<b>Assesseur</b>



## FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES & PARAMÉDICALES

<b>Doyen</b>	<b>1 - Pr. Georges LEONETTI</b>
<b>Vice-Doyen aux affaires générales</b>	<b>2 - Pr. Patrick DESSI</b>
<b>Vice-Doyen aux professions paramédicales Conseiller</b>	<b>3 - Pr. Philippe BERBIS</b>
	<b>4 - Pr. Patrick VILLANI</b>

### Assesseurs :

<b>aux études à</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Kathia CHAUMOITRE</b>
<b>la recherche</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Jean-Louis MEGE</b>
<b>à l'unité mixte de formation continue en santé</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Justin MICHEL</b>
<b>pour le secteur NORD</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Stéphane BERDAH</b>
<b>Groupements Hospitaliers de territoire</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Jean-Noël ARGENSON</b>
<b>aux masters</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Pascal ADALIAN</b>

### Chargés de mission :

<b>sciences humaines et sociales</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Pierre LE COZ</b>
<b>relations internationales</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Stéphane RANQUE</b>
<b>DU/DIU</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Véronique VITTON</b>
<b>DPC, disciplines médicales &amp; biologiques</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Frédéric CASTINETTI</b>
<b>DPC, disciplines chirurgicales</b>	<b>:</b>	<b>Dr. Thomas GRAILLON</b>

## ÉCOLE DE MEDECINE

<b>Directeur</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Jean-Michel VITON</b>
------------------	----------	------------------------------

### Chargés de mission

<b>PACES – Post-PACES</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Régis GUIEU</b>
<b>DFGSM</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Anne-Laure PELISSIER</b>
<b>DFASM</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Marie-Aleth RICHARD</b>
<b>DFASM</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Marc BARTHET</b>
<b>Préparation aux ECN</b>	<b>:</b>	<b>Dr Aurélie DAUMAS</b>
<b>DES spécialités</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Pierre-Edouard FOURNIER</b>
<b>DES stages hospitaliers</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Benjamin BLONDEL</b>
<b>DES MG</b>	<b>:</b>	<b>Pr. Christophe BARTOLI</b>
<b>Démographie médicale</b>	<b>:</b>	<b>Dr. Noémie RESSEGUIER</b>
<b>Etudiant</b>	<b>:</b>	<b>Elise DOMINJON</b>

### **ÉCOLE DE DE MAIEUTIQUE**

**Directrice** : **Madame Carole ZAKARIAN**

**Chargés de mission**

**1er cycle** : **Madame Estelle**  
**2ème cycle** : **BOISSIER Madame**  
**Cécile NINA**

### **ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION**

**Directeur** : **Monsieur Philippe SAUVAGEON**

**Chargés de mission**

**Masso- kinésithérapie 1<sup>er</sup> cycle** : **Madame Béatrice CAORS**  
**Masso-kinésithérapie 2<sup>ème</sup> cycle** : **Madame Joannie HENRY**  
**Mutualisation des enseignements** : **Madame Géraldine DEPRES**

### **ÉCOLE DES SCIENCES INFIRMIERES**

**Directeur** : **Monsieur Sébastien COLSON**

**Chargés de mission**

**Chargée de mission** : **Madame Sandrine MAYEN RODRIGUES**  
**Chargé de mission** : **Monsieur Christophe ROMAN**

## PROFESSEURS HONORAIRES

MM	AGOSTINI Serge	MM	FAVRE Roger
	ALDIGHIERI René		FIECHI Marius
	ALESSANDRINI Pierre		FARNARIER Georges
	ALLIEZ Bernard		FIGARELLA Jacques
	AQUARON Robert		FONTES Michel
	ARGEME Maxime		FRANCES Yves
	ASSADOURIAN Robert		FRANCOIS Georges
	AUFFRAY Jean-Pierre		FUENTES Pierre
	AUTILLO-TOUATI Amapola		GABRIEL Bernard
	AZORIN Jean-Michel		GALINIER Louis
	BAILLE Yves		GALLAIS Hervé
	BARDOT Jacques		GAMERRE Marc
	BARDOT André		GARCIN Michel
	BERARD Pierre		GARNIER Jean-Marc
	BERGOIN Maurice		GAUTHIER André
	BERLAND Yvon		GERARD Raymond
	BERNARD Dominique		GEROLAMI-SANTANDREA André
	BERNARD Jean-Louis		GIUDICELLI Roger
	BERNARD Pierre-Marie		GIUDICELLI Sébastien
	BERTRAND Edmond		GOUDARD Alain
	BISSET Jean-Pierre		GOUIN François
	BLANC Bernard		GRILLO Jean-Marie
	BLANC Jean-Louis		GRISOLI François
	BOLLINI Gérard		GROULIER Pierre
	BONGRAND Pierre		HADIDA/SAYAG Jacqueline
	BONNEAU Henri		HASSOUN Jacques
	BONNOIT Jean		HEIM Marc
	BORY Michel		HOUEL Jean
	BOTTA Alain		HUGUET Jean-François
	BOURGEADE Augustin		JAQUET Philippe
	BOUVENOT Gilles		JAMMES Yves
	BOUYALA Jean-Marie		JOUVE Paulette
	BREMOND Georges		JUHAN Claude
	BRICOT René		JUIN Pierre
	BRUNET Christian		KAPHAN Gérard
	BUREAU Henri		KASBARIAN Michel
	CAMBOULIVES Jean		KLEISBAUER Jean-Pierre
	CANNONI Maurice		LACHARD Jean
	CARTOUZOU Guy		LAFFARGUE Pierre
	CAU Pierre		LAUGIER René
	CHABOT Jean-Michel		LE TREUT Yves
	CHAMLIAN Albert		LEVY Samuel
	CHARPIN Denis		LOUCHET Edmond
	CHARREL Michel		LOUIS René
	CHAUVEL Patrick		LUCIANI Jean-Marie
	CHOUX Maurice		MAGALON Guy
	CIANFARANI François		MAGNAN Jacques
	CLAVERIE Jean-Michel		MALLAN- MANCINI Josette
	CLEMENT Robert		MALMEJAC Claude
	COMBALBERT André		MARANINCHI Dominique
	CONTE-DEVOLX Bernard		MARTIN Claude
	CORRIOL Jacques		MATTEI Jean-François
	COULANGE Christian		MERCIER Claude
	DALMAS Henri		METGE Paul
	DE MICO Philippe		MICHOTEY Georges
	DESSEIN Alain		MILLET Yves
	DELARQUE Alain		MIRANDA François
	DEVIN Robert		MONFORT Gérard
	DEVRED Philippe		MONGES André
	DJIANE Pierre		MONGIN Maurice
	DONNET Vincent		MONTIES Jean-Raoul
	DUCASSOU Jacques		NAZARIAN Serge
	DUFOUR Michel		NICOLI René
	DUMON Henri		
	ENJALBERT Alain		

MM NOIRCLERC Michel  
OLMER Michel  
OREHEK Jean  
PAPY Jean-Jacques  
PAULIN Raymond  
PELOUX Yves  
PENAUD Antony  
PENE Pierre  
PIANA Lucien  
PICAUD Robert  
PIGNOL Fernand  
POGGI Louis  
POITOUT Dominique  
PONCET Michel  
POUGET Jean  
PRIVAT Yvan  
QUILICHINI Francis  
RANQUE Jacques  
RANQUE Philippe  
RICHAUD Christian  
RIDINGS Bernard  
ROCHAT Hervé  
ROHNER Jean-Jacques  
ROUX Hubert  
ROUX Michel  
RUFO Marcel  
SAHEL José  
SALAMON Georges  
SALDUCCI Jacques  
SAN MARCO Jean-Louis  
SANKALE Marc  
SARACCO Jacques  
SASTRE Bernard  
SCHIANO Alain  
SCOTTO Jean-Claude  
SEBAHOUN Gérard  
SERMENT Gérard  
SOULAYROL René  
STAHL André  
TAMALET Jacques  
TARANGER-CHARPIN Colette  
THOMASSIN Jean-Marc  
UNAL Daniel  
VAGUE Philippe  
VAGUE/JUHAN Irène  
VANUXEM Paul  
VERVLOET Daniel  
VIALETES Bernard  
WEILLER Pierre-Jean



**EMERITAT****2008**

M. le Professeur	LEVY Samuel	31/08/2011
Mme le Professeur	JUHAN-VAGUE Irène	31/08/2011
M. le Professeur	PONCET Michel	31/08/2011
M. le Professeur	KASBARIAN Michel	31/08/2011
M. le Professeur	ROBERTOUX Pierre	31/08/2011

**2009**

M. le Professeur	DJIANE Pierre	31/08/2011
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2012

**2010**

M. le Professeur	MAGNAN Jacques	31/12/2014
------------------	----------------	------------

**2011**

M. le Professeur	DI MARINO Vincent	31/08/2015
M. le Professeur	MARTIN Pierre	31/08/2015
M. le Professeur	METRAS Dominique	31/08/2015

**2012**

M. le Professeur	AUBANIAC Jean-Manuel	31/08/2015
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2015
M. le Professeur	CAMBOULIVES Jean	31/08/2015
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2015
M. le Professeur	MATTEI Jean-François	31/08/2015
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2015
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2015

**2013**

M. le Professeur	BRANCHEREAU Alain	31/08/2016
M. le Professeur	CARAYON Pierre	31/08/2016
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2016
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2016
M. le Professeur	HENRY Jean-François	31/08/2016
M. le Professeur	LE GUICHAOUA Marie-Roberte	31/08/2016
M. le Professeur	RUF0 Marcel	31/08/2016
M. le Professeur	SEBAHOUN Gérard	31/08/2016

**2014**

M. le Professeur	FUENTES Pierre	31/08/2017
M. le Professeur	GAMERRE Marc	31/08/2017
M. le Professeur	MAGALON Guy	31/08/2017
M. le Professeur	PERAGUT Jean-Claude	31/08/2017
M. le Professeur	WEILLER Pierre-Jean	31/08/2017

**2015**

M. le Professeur	COULANGE Christian	31/08/2018
M. le Professeur	COURAND François	31/08/2018
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2016
M. le Professeur	MATTEI Jean-François	31/08/2016
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2016
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2016

**2016**

M. le Professeur	BONGRAND Pierre	31/08/2019
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2017
M. le Professeur	BRUNET Christian	31/08/2019
M. le Professeur	CAU Pierre	31/08/2019
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2017
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2017
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2019
M. le Professeur	JAMMES Yves	31/08/2019
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2019
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2017
M. le Professeur	POITOUT Dominique	31/08/2019
M. le Professeur	SEBAHOUN Gérard	31/08/2017
M. le Professeur	VIALETES Bernard	31/08/2019

**2017**

M. le Professeur	ALESSANDRINI Pierre	31/08/2020
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2018
M. le Professeur	CHAUVEL Patrick	31/08/2020
M. le Professeur	COZZONE Pierre	31/08/2018
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2018
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2018
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2018
M. le Professeur	SEBBAHOUN Gérard	31/08/2018

**2018**

M. le Professeur	MARANINCHI Dominique	31/08/2021
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2019
M. le Professeur	COZZONE Pierre	31/08/2019
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2019
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2019
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2019

**2019**

M. le Professeur	BERLAND Yvon	31/08/2022
M. le Professeur	CHARPIN Denis	31/08/2022
M. le Professeur	CLAVERIE Jean-Michel	31/08/2022
M. le Professeur	FRANCES Yves	31/08/2022
M. le Professeur	CAU Pierre	31/08/2020
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2020
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2020
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2020
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2020
M. le Professeur	MAGALON Guy	31/08/2020
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2020
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2020
M. le Professeur	WEILLER Pierre-Jean	31/08/2020

## PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AGOSTINI FERRANDES Aubert	CHOSSEGROS Cyrille	GUEDJ Eric
ALBANESE Jacques	COLLART Frédéric	GUIEU Régis
ALIMI Yves	COSTELLO Régis	GUIS Sandrine
AMABILE Philippe	COURBIERE Blandine	GUYE Maxime
AMBROSI Pierre	COWEN Didier	GUYOT Laurent
ANDRE Nicolas	CRAVELLO Ludovic	<i>GUYS Jean-Michel Surnombre</i>
ARGENSON Jean-Noël	CUISSET Thomas	HABIB Gilbert
ASTOUL Philippe	<i>CURVALE Georges Surnombre</i>	HARDWIGSEN Jean
ATTARIAN Shahram	DA FONSECA David	HARLE Jean-Robert
AUDOUIN Bertrand	DAHAN-ALCARAZ Laetitia	<i>HOFFART Louis Disponibilité</i>
AUQUIER Pascal	DANIEL Laurent	HOUVENAEGHEL Gilles
AVIERINOS Jean-François	DARMON Patrice	JACQUIER Alexis
AZULAY Jean-Philippe	D'ERCOLE Claude	JOURDE-CHICHE Noémie
BAILLY Daniel	D'JOURNO Xavier	JOUVE Jean-Luc
BARLESI Fabrice	DEHARO Jean-Claude	KAPLANSKI Gilles
BARLIER-SETTI Anne	DELAPORTE Emmanuel	KARSENTY Gilles
BARTHET Marc	<i>DELPERO Jean-Robert Surnombre</i>	<i>KERBAUL François Détachement</i>
BARTOLI Christophe	DENIS Danièle	KRAHN Martin
BARTOLI Jean-Michel	DISDIER Patrick	LAFFORGUE Pierre
BARTOLI Michel	DODDOLI Christophe	LAGIER Jean-Christophe
BARTOLOMEI Fabrice	DRANCOURT Michel	LAMBAUDIE Eric
BASTIDE Cyrille	DUBUS Jean-Christophe	LANÇON Christophe
BENSOUSSAN Laurent	DUFFAUD Florence	LA SCOLA Bernard
BERBIS Philippe	DUFOUR Henry	LAUNAY Franck
BERDAH Stéphane	DURAND Jean-Marc	LAVIEILLE Jean-Pierre
<i>BERNARD Jean-Paul Retraite au 25/11/2019</i>	DUSSOL Bertrand	LE CORROLLER Thomas
BEROUD Christophe	EBBO Mikaël	LECHEVALLIER Eric
BERTUCCI François	EUSEBIO Alexandre	LEGRE Régis
BLAISE Didier	FAKHRY Nicolas	LEHUCHER-MICHEL Marie-Pascale
BLIN Olivier	<i>FAUGERE Gérard Surnombre</i>	LEONE Marc
BLONDEL Benjamin	FELICIAN Olivier	LEONETTI Georges
BONIN/GUILLAUME Sylvie	FENOLLAR Florence	LEPIDI Hubert
BONELLO Laurent	FIGARELLA/BRANGER Dominique	LEVY Nicolas
BONNET Jean-Louis	FLECHER Xavier	MACE Loïc
<i>BOTTA/FRIDLUND Danielle Surnombre</i>	FOURNIER Pierre-Edouard	MAGNAN Pierre-Edouard
<i>BOUBLI Léon Surnombre</i>	FRANCESCHI Frédéric	MANCINI Julien
BOUFI Mourad	FUENTES Stéphane	<i>MATONTI Frédéric Disponibilité</i>
BOYER Laurent	GABERT Jean	MEGE Jean-Louis
BREGEON Fabienne	GABORIT Bénédicte	MERROT Thierry
BRETELLE Florence	GAINNIER Marc	METZLER/GUILLEMAIN Catherine
BROUQUI Philippe	GARCIA Stéphane	MEYER/DUTOUR Anne
BRUDER Nicolas	GARIBOLDI Vlad	MICCALEF/ROLL Joëlle
BRUE Thierry	GAUDART Jean	MICHEL Fabrice
BRUNET Philippe	GAUDY-MARQUESTE Caroline	MICHEL Gérard
BURTEY Stéphane	GENTILE Stéphanie	MICHEL Justin
CARCOPINO-TUSOLI Xavier	GERBEAUX Patrick	MICHELET Pierre
CASANOVA Dominique	GEROLAMI/SANTANDREA René	MILH Mathieu
CASTINETTI Frédéric	GILBERT/ALESSI Marie-Christine	MILLION Matthieu
CECCALDI Mathieu	GIORGI Roch	MOAL Valérie
CHAGNAUD Christophe	GIOVANNI Antoine	MORANGE Pierre-Emmanuel
CHAMBOST Hervé	GIRARD Nadine	MOULIN Guy
CHAMPSAUR Pierre	GIRAUD/CHABROL Brigitte	MOUTARDIER Vincent
CHANEZ Pascal	GONCALVES Anthony	<i>MUNDLER Olivier Surnombre</i>
CHARAFFE-JAUFFRET Emmanuelle	GRANEL/REY Brigitte	NAUDIN Jean
CHARREL Rémi	GRANVAL Philippe	NICOLAS DE LAMBALLERIE Xavier
CHAUMOITRE Kathia	GREILLIER Laurent	NICOLLAS Richard
CHIARONI Jacques	GRIMAUD Jean-Charles	OLIVE Daniel
CHINOT Olivier	GROB Jean-Jacques	OUAFIK L'Houcine
		OVAERT-REGGIO Caroline

PAGANELLI Franck	ROCH Antoine	TREBUCHON-DA FONSECA Agnès
PANUEL Michel	ROCHWERGER Richard	TRIGLIA Jean-Michel
PAPAZIAN Laurent	ROLL Patrice	TROPIANO Patrick
PAROLA Philippe	ROSSI Dominique	TSIMARATOS Michel
<i>PARRATTE Sébastien Disponibilité</i>	ROSSI Pascal	TURRINI Olivier
PELISSIER-ALICOT Anne-Laure	ROUDIER Jean	VALERO René
PELLETIER Jean	SALAS Sébastien	VAROQUAUX Arthur Damien
PERRIN Jeanne	<i>SAMBUC Roland Surnombre</i>	VELLY Lionel
PETIT Philippe	SARLES Jacques	VEY Norbert
PHAM Thao	SARLES/PHILIP Nicole	VIDAL Vincent
PIERCECCHI/MARTI Marie-Dominique	SARLON-BARTOLI Gabrielle	VIENS Patrice
PIQUET Philippe	SCAVARDA Didier	VILLANI Patrick
PIRRO Nicolas	SCHLEINITZ Nicolas	VITON Jean-Michel
POINSO François	SEBAG Frédéric	VITTON Véronique
RACCAH Denis	SEITZ Jean-François	VIEHWEGER Heide Elke
RANQUE Stéphane	SIELEZNEFF Igor	VIVIER Eric
RAOULT Didier	SIMON Nicolas	XERRI Luc
REGIS Jean	STEIN Andréas	
REYNAUD/GAUBERT Martine	TAIEB David	
REYNAUD Rachel	THIRION Xavier	
RICHARD/LALLEMAND Marie-Aleth	THOMAS Pascal	
ROCHE Pierre-Hugues	THUNY Franck	

---

### **PROFESSEUR DES UNIVERSITES**

ADALIAN Pascal  
 AGHABABIAN Valérie  
 BELIN Pascal  
 CHABANNON Christian  
 CHABRIERE Eric  
 FERON François  
 LE COZ Pierre  
 LEVASSEUR Anthony  
 RANJEVA Jean-Philippe  
 SOBOL Hagay

### **PROFESSEUR CERTIFIE**

BRANDENBURGER Chantal

### **PRAG**

TANTI-HARDOUIN Nicolas

### **PROFESSEUR DES UNIVERSITES MEDECINE GENERALE**

GENTILE Gaëtan

### **PROFESSEUR ASSOCIE DE MEDECINE GENERALE A MI-TEMPS**

ADNOT Sébastien  
 FILIPPI Simon

### **PROFESSEUR ASSOCIE DES UNIVERSITES (disciplines médicales)**

LOUIS-BORRIONE Claude

## MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIEN HOSPITALIER

AHERFI Sarah	DEVILLIER Raynier	LOOSVELD Marie
ANGELAKIS Emmanouïl (disponibilité)	DUBOURG Grégory	MAAROUF Adil
ATLAN Catherine (disponibilité)	DUCONSEIL Pauline	MACAGNO Nicolas
BARTHELEMY Pierre	DUFOUR Jean-Charles	MAUES DE PAULA André
BEGE Thierry	ELDIN Carole	MOTTOLA GHIGO Giovanna
BELIARD Sophie	FABRE Alexandre	NGUYEN PHONG Karine
BENYAMINE Audrey	FAURE Alice	NINOVE Laetitia
BERGE-LEFRANC Jean-Louis	FOLETTI Jean-Marc	NOUGAIREDE Antoine
BERTRAND Baptiste	FOUILLOUX Virginie	OLLIVIER Matthieu
BEYER-BERJOT Laura	FRANKEL Diane	PAULMYER/LACROIX Odile
BIRNBAUM David	FROMNOT Julien	PESENTI Sébastien
BONINI Francesca	GASTALDI Marguerite	RADULESCO Thomas
BOUCRAUT Joseph	GELSI/BOYER Véronique	RESSEGUIER Noémie
BOULAMERY Audrey	GIUSIANO Bernard	ROBERT Philippe
BOULLU/CIOCCA Sandrine	GIUSIANO COURCAMBECK Sophie	ROMANET Pauline
BOUSSEN Salah Michel	GONZALEZ Jean-Michel	SABATIER Renaud
BUFFAT Christophe	GOURIET Frédérique	SARI-MINODIER Irène
CAMILLERI Serge	GRAILLON Thomas	SAVEANU Alexandru
CARRON Romain	GUERIN Carole	SECQ Véronique (disponibilité)
CASSAGNE Carole	GUENOUN MEYSSIGNAC Daphné	STELLMANN Jan-Patrick
CERMOLACCE Michel	GUIDON Catherine	SUCHON Pierre
CHAUDET Hervé	GUIVARCH Jokthan	TABOURET Emeline
CHRETIEN Anne-Sophie	HAUTIER/KRAHN Aurélie	TOGA Caroline
COZE Carole	HRAIECH Sami	TOGA Isabelle
CUNY Thomas	KASPI-PEZZOLI Elise	TOMASINI Pascale
DADOUN Frédéric (disponibilité)	L'OLLIVIER Coralie	TOSELLO Barthélémy
DALES Jean-Philippe	LABIT-BOUVIER Corinne	TROUSSE Delphine
DAUMAS Aurélie	LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina	TUCHTAN-TORRENTS Lucile
DEGEORGES/VITTE Joëlle	LAGIER Aude (disponibilité)	VELY Frédéric
DELLIAUX Stéphane	LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude	VION-DURY Jean
DESPLAT/JEGO Sophie	LEVY/MOZZICONACCI Annie	ZATTARA/CANNONI Hélène

## MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

ABU ZAINEH Mohammad	DEGIOANNI/SALLE Anna	POUGET Benoît
BARBACARU/PERLES T. A.	DESNUES Benoît	RUEL Jérôme
BERLAND/BENHAIM Caroline	MARANINCHI Marie	THOLLON Lionel
BOUCAULT/GARROUSTE Françoise	MERHEJ/CHAUVEAU Vicky	THIRION Sylvie
BOYER Sylvie	MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte	VERNA Emeline
COLSON Sébastien	POGGI Marjorie	

## MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

CASANOVA Ludovic

## MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE à MI-TEMPS

BARGIER Jacques
BONNET Pierre-André CALVET-MONTREDON Céline
JANCZEWSKI Aurélie
NUSSILI Nicolas
ROUSSEAU-DURAND Raphaëlle
THIERY Didier (nomination au 01/10/2019)

## MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE à MI-TEMPS

BOURRIQUEN Maryline
EVANS-VIALLAT Catherine
LUCAS Guillaume
MATHIEU Marion
MAYENS-RODRIGUES Sandrine
MELLINAS Marie
REVIS Joana
ROMAN Christophe
TRINQUET Laure

**ANATOMIE 4201**

CHAMPSAUR Pierre (PU-PH)  
LE CORROLLER Thomas (PU-PH)  
PIRRO Nicolas (PU-PH)

GUENOUN-MEYSSIGNAC Daphné (MCU-PH)  
*LAGIER Aude (MCU-PH) disponibilité*

THOLLON Lionel (MCF) (60ème section)

**ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES 4203**

CHARAFE/JAUFFRET Emmanuelle (PU-PH)  
DANIEL Laurent (PU-PH)  
FIGARELLA/BRANGER Dominique (PU-PH)  
GARCIA Stéphane (PU-PH)  
XERRI Luc (PU-PH)

DALES Jean-Philippe (MCU-PH)  
GIUSIANO COURCAMBECK Sophie (MCU PH)  
LABIT/BOUVIER Corinne (MCU-PH)  
MAUES DE PAULA André (MCU-PH)  
SECQ Véronique (MCU-PH)

**ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION CHIRURGICALE ;  
MEDECINE URGENCE 4801**

ALBANESE Jacques (PU-PH)  
BRUDER Nicolas (PU-PH)  
LEONE Marc (PU-PH)  
MICHEL Fabrice (PU-PH)  
VELLY Lionel (PU-PH)

BOUSSEN Salah Michel (MCU-PH)  
GUIDON Catherine (MCU-PH)

**ANGLAIS 11**

BRANDENBURGER Chantal (PRCE)

**BIOLOGIE ET MEDECINE DU DEVELOPPEMENT  
ET DE LA REPRODUCTION ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5405**

METZLER/GUILLEMAIN Catherine (PU-PH)  
PERRIN Jeanne (PU-PH)

**BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE 4301**

GUEDJ Eric (PU-PH)  
GUYE Maxime (PU-PH)  
*MUNDLER Olivier (PU-PH) Surnombre*  
TAIEB David (PU-PH)

BELIN Pascal (PR) (69ème section)  
RANJEVA Jean-Philippe (PR) (69ème section)

CAMMILLERI Serge (MCU-PH)  
VION-DURY Jean (MCU-PH)

BARBACARU/PERLES Téodora Adriana (MCF) (69ème section)

**BIostatISTIQUES, INFORMATIQUE MEDICALE  
ET TECHNOLOGIES DE COMMUNICATION 4604**

GAUDART Jean (PU-PH)  
GIORGI Roch (PU-PH)  
MANCINI Julien (PU-PH)

CHAUDET Hervé (MCU-PH)  
DUFOR Jean-Charles (MCU-PH)  
GIUSIANO Bernard (MCU-PH)

ABU ZAINEH Mohammad (MCF) (5ème section)  
BOYER Sylvie (MCF) (5ème section)

**ANTHROPOLOGIE 20**

ADALIAN Pascal (PR)

DEGIOANNI/SALLE Anna (MCF)  
POUGET Benoît (MCF)  
VERNA Emeline (MCF)

**BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE ; HYGIENE HOSPITALIERE 4501**

CHARREL Rémi (PU PH)  
DRANCOURT Michel (PU-PH)  
FENOLLAR Florence (PU-PH)  
FOURNIER Pierre-Edouard (PU-PH)  
NICOLAS DE LAMBALLERIE Xavier (PU-PH)  
LA SCOLA Bernard (PU-PH)  
RAOULT Didier (PU-PH)

AHERFI Sarah (MCU-PH)  
*ANGELAKIS Emmanouil (MCU-PH) disponibilité*  
DUBOURG Grégory (MCU-PH)  
GOURIET Frédérique (MCU-PH)  
NOUGAIREDE Antoine (MCU-PH)  
NINOVE Laetitia (MCU-PH)

CHABRIERE Eric (PR) (64ème section)

LEVASSEUR Anthony (PR) (64ème section)  
DESNUES Benoit (MCF) ( 65ème section )  
MERHEJ/CHAUVEAU Vicky (MCF) (87ème section)

**BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE 4401**

BARLIER/SETTI Anne (PU-PH)  
GABERT Jean (PU-PH)  
GUIEU Régis (PU-PH)  
OUAFIK L'Houcine (PU-PH)

BUFFAT Christophe (MCU-PH)  
FROMNOT Julien (MCU-PH)  
MOTTOLA GHIGO Giovanna (MCU-PH)  
ROMANET Pauline (MCU-PH)  
SAVEANU Alexandru (MCU-PH)

**BIOLOGIE CELLULAIRE 4403**

ROLL Patrice (PU-PH)

FRANKEL Diane (MCU-PH)  
GASTALDI Marguerite (MCU-PH)  
KASPI-PEZZOLI Elise (MCU-PH)  
LEVY-MOZZICONNACCI Annie (MCU-PH)

**CARDIOLOGIE 5102**

AVIERINOS Jean-François (PU-PH)  
BONELLO Laurent (PU PH)  
BONNET Jean-Louis (PU-PH)  
CUISSET Thomas (PU-PH)  
DEHARO Jean-Claude (PU-PH)  
FRANCESCHI Frédéric (PU-PH)  
HABIB Gilbert (PU-PH)  
PAGANELLI Franck (PU-PH)  
THUNY Franck (PU-PH)

**CHIRURGIE VISCERALE ET DIGESTIVE 5202**

BERDAH Stéphane (PU-PH)  
*DELPERO Jean-Robert (PU-PH) Surnombre*  
HARDWIGSEN Jean (PU-PH)  
MOUTARDIER Vincent (PU-PH)  
SEBAG Frédéric (PU-PH)  
SIELEZNEFF Igor (PU-PH)  
TURRINI Olivier (PU-PH)

BEGE Thierry (MCU-PH)  
BEYER-BERJOT Laura (MCU-PH)  
BIRNBAUM David (MCU-PH)  
DUCONSEIL Pauline (MCU-PH)  
GUERIN Carole (MCU-PH)

**CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE 5002**

ARGENSON Jean-Noël (PU-PH)  
 BLONDEL Benjamin (PU-PH)  
 CURVALE Georges (PU-PH) *Surnombre*  
 FLECHER Xavier (PU PH)  
 PARRATTE Sébastien (PU-PH) *Disponibilité*  
 ROCHWERGER Richard (PU-PH)  
 TROPIANO Patrick (PU-PH)

OLLIVIER Matthieu (MCU-PH)

**CHIRURGIE INFANTILE 5402**

*GUYS Jean-Michel (PU-PH) Surnombre*  
 JOUVE Jean-Luc (PU-PH)  
 LAUNAY Franck (PU-PH)  
 MERROT Thierry (PU-PH)  
 VIEHWEGER Heide Elke (PU-PH)  
 FAURE Alice (MCU PH)  
 PESENTI Sébastien (MCU-PH)

LOUIS-BORRIONE Claude (PR associé des Universités)

**CANCEROLOGIE ; RADIOTHERAPIE 4702**

BERTUCCI François (PU-PH)  
 CHINOT Olivier (PU-PH)  
 COWEN Didier (PU-PH)  
 DUFFAUD Florence (PU-PH)  
 GONCALVES Anthony (PU-PH)  
 HOUVENAEGHEL Gilles (PU-PH)  
 LAMBAUDIE Eric (PU-PH)  
 SALAS Sébastien (PU-PH)  
 VIENS Patrice (PU-PH)

SABATIER Renaud (MCU-PH)  
 TABOURET Emeline (MCU-PH)

**CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE ET STOMATOLOGIE 5503**

CHOSSEGROS Cyrille (PU-PH)  
 GUYOT Laurent (PU-PH)

FOLETTI Jean-Marc (MCU-PH)

**CHIRURGIE PLASTIQUE,  
RECONSTRUCTRICE ET ESTHETIQUE ; BRÛLOGIE 5004**

CASANOVA Dominique (PU-PH)  
 LEGRE Régis (PU-PH)

BERTRAND Baptiste (MCU-PH)  
 HAUTIER/KRAHN Aurélie (MCU-PH)

**CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIOVASCULAIRE 5103**

COLLART Frédéric (PU-PH)  
 D'JOURNO Xavier (PU-PH)  
 DODDOLI Christophe (PU-PH)  
 GARIBOLDI Vlad (PU-PH)  
 MACE Loïc (PU-PH)  
 THOMAS Pascal (PU-PH)

FOUILLOUX Virginie (MCU-PH)  
 TROUSSE Delphine (MCU-PH)

**EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE ET PREVENTION 4601**

AUQUIER Pascal (PU-PH)  
 BERBIS Julie (PU-PH)  
 BOYER Laurent (PU-PH)  
 GENTILE Stéphanie (PU-PH)  
*SAMBUC Roland (PU-PH) Surnombre*  
 THIRION Xavier (PU-PH)

**CHIRURGIE VASCULAIRE ; MEDECINE VASCULAIRE 5104**

ALIMI Yves (PU-PH)  
 AMABILE Philippe (PU-PH)  
 BARTOLI Michel (PU-PH)  
 BOUFI Mourad (PU-PH)  
 MAGNAN Pierre-Edouard (PU-PH)  
 PIQUET Philippe (PU-PH)  
 SARLON-BARTOLI Gabrielle (PU PH)

LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude (MCU-PH)  
 RESSEGUIER Noémie (MCU-PH)

MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte (MCF)(06ème section)  
 TANTI-HARDOUIN Nicolas (PRAG)

**HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE 4202**

LEPIDI Hubert (PU-PH)  
 PAULMYER/LACROIX Odile (MCU-PH)

**GASTROENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE ; ADDICTOLOGIE 5201**

BARTHET Marc (PU-PH)  
*BERNARD Jean-Paul (PU-PH) Retraite au 25/11/2019*  
*BOTTA-FRIDLUND Danielle (PU-PH) Surnombre*  
 DAHAN-ALCARAZ Laetitia (PU-PH)  
 GEROLAMI-SANTANDREA René (PU-PH)  
 GRANDVAL Philippe (PU-PH)  
 GRIMAUD Jean-Charles (PU-PH)  
 SEITZ Jean-François (PU-PH)  
 VITTON Véronique (PU-PH)

GONZALEZ Jean-Michel (MCU-PH)

**DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE 5003**

BERBIS Philippe (PU-PH)  
 DELAPORTE Emmanuel (PU-PH)  
 GAUDY/MARQUESTE Caroline (PU-PH)  
 GROB Jean-Jacques (PU-PH)  
 RICHARD/LALLEMAND Marie-Aleth (PU-PH)

**DUSI**

COLSON Sébastien (MCF)  
 BOURRIQUEN Maryline (MAST)  
 EVANS-VIALLAT Catherine (MAST)  
 LUCAS Guillaume (MAST)  
 MAYEN-RODRIGUES Sandrine (MAST)  
 MELLINAS Marie (MAST)  
 ROMAN Christophe (MAST)  
 TRINQUET Laure (MAST)

**GENETIQUE 4704**

BEROUD Christophe (PU-PH)  
 KRAHN Martin (PU-PH)  
 LEVY Nicolas (PU-PH)  
 SARLES/PHILIP Nicole (PU-PH)

NGYUEN Karine (MCU-PH)  
 TOGA Caroline (MCU-PH)  
 ZATTARA/CANNONI Héliène (MCU-PH)

**ENDOCRINOLOGIE, DIABETE ET MALADIES METABOLIQUES ;  
GYNECOLOGIE MEDICALE 5404**

BRUE Thierry (PU-PH)  
 CASTINETTI Frédéric (PU-PH)  
 CUNY Thomas (MCU PH)

**GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5403**

AGOSTINI Aubert (PU-PH)  
*BOUBLI Léon (PU-PH) Surnombre*  
 BRETELLE Florence (PU-PH)  
 CARCOPINO-TUSOLI Xavier (PU-PH)  
 COURBIERE Blandine (PU-PH)  
 CRAVELLO Ludovic (PU-PH)  
 D'ERCOLE Claude (PU-PH)

**IMMUNOLOGIE 4703**

KAPLANSKI Gilles (PU-PH)  
 MEGE Jean-Louis (PU-PH)  
 OLIVE Daniel (PU-PH)  
 VIVIER Eric (PU-PH)

FERON François (PR) (69ème section)

BOUCRAUT Joseph (MCU-PH)  
 CHRETIEN Anne-Sophie (MCU PH)  
 DEGEORGES/VITTE Joëlle (MCU-PH)  
 DESPLAT/JEGO Sophie (MCU-PH)  
 ROBERT Philippe (MCU-PH)  
 VELY Frédéric (MCU-PH)

BOUCAULT/GARROUSTE Françoise (MCF) 65ème section)

**HEMATOLOGIE ; TRANSFUSION 4701**

BLAISE Didier (PU-PH)  
 COSTELLO Régis (PU-PH)  
 CHIARONI Jacques (PU-PH)  
 GILBERT/ALESSI Marie-Christine (PU-PH)  
 MORANGE Pierre-Emmanuel (PU-PH)  
 VEY Norbert (PU-PH)

DEVILLIER Raynier (MCU PH)  
 GELSI/BOYER Véronique (MCU-PH)  
 LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina (MCU-PH)  
 LOOSVELD Marie (MCU-PH)  
 SUCHON Pierre (MCU-PH)

POGGI Marjorie (MCF) (64ème section)

**MEDECINE LEGALE ET DROIT DE LA SANTE 4603**

BARTOLI Christophe (PU-PH)  
 LEONETTI Georges (PU-PH)  
 PELISSIER-ALICOT Anne-Laure (PU-PH)  
 PIERCECCHI-MARTI Marie-Dominique (PU-PH)

TUCHTAN-TORRENTS Lucile (MCU-PH)

BERLAND/BENHAIM Caroline (MCF) (1ère section)

**MALADIES INFECTIEUSES ; MALADIES TROPICALES 4503**

BROUQUI Philippe (PU-PH)  
 LAGIER Jean-Christophe (PU-PH)  
 MILLION Matthieu (PU-PH)  
 PAROLA Philippe (PU-PH)  
 STEIN Andréas (PU-PH)  
 ELDIN Carole (MCU-PH)

**MEDECINE INTERNE ; GERIATRIE ET BIOLOGIE DU VIEILLISSEMENT ; ADDICTOLOGIE 5301**

BONIN/GUILLAUME Sylvie (PU-PH)  
 DISDIER Patrick (PU-PH)  
 DURAND Jean-Marc (PU-PH)  
 EBBO Mikael (PU-PH)  
 GRANEL/REY Brigitte (PU-PH)  
 HARLE Jean-Robert (PU-PH)  
 ROSSI Pascal (PU-PH)  
 SCHLEINITZ Nicolas (PU-PH)

BENYAMINE Audrey (MCU-PH)

**MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION 4905**

BENSOUSSAN Laurent (PU-PH)  
 VITON Jean-Michel (PU-PH)

**MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL 4602**

LEHUCHER/MICHEL Marie-Pascale (PU-PH)

BERGE-LEFRANC Jean-Louis (MCU-PH)  
 SARI/MINODIER Irène (MCU-PH)

**MEDECINE GENERALE 5303**

GENTILE Gaëtan (PR Méd. Gén. Temps plein)

CASANOVA Ludovic (MCF Méd. Gén. Temps plein)

ADNOT Sébastien (PR associé Méd. Gén. à mi-temps)

FILIPPI Simon (PR associé Méd. Gén. à mi-temps)

BARGIER Jacques (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)  
 BONNET Pierre-André (MCF associé Méd. Gén à mi-temps)  
 CALVET-MONTREDON Céline (MCF associé Méd. Gén. à temps plein)  
 JANCZEWSKI Aurélie (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)  
 NUSSLI Nicolas (MCF associé Méd. Gén. à mi-temps)  
 ROUSSEAU-DURAND Raphaëlle (MCF associé Méd. Gén. à mi-temps)  
 THERY Didier (MCF associé Méd. Gén. à mi-temps) (nomination au 01/10/2019)

**MEDECINE D'URGENCE 4805**

*KERBAUL François (PU-PH) détachement*  
 MICHELET Pierre (PU-PH)

**NEPHROLOGIE 5203**

BRUNET Philippe (PU-PH)  
 BURTEY Stéphanne (PU-PH)  
 DUSSOL Bertrand (PU-PH)  
 JOURDE CHICHE Noémie (PU PH)  
 MOAL Valérie (PU-PH)

**NUTRITION 4404**

DARMON Patrice (PU-PH)  
 RACCAH Denis (PU-PH)  
 VALERO René (PU-PH)

*ATLAN Catherine (MCU-PH) disponibilité*  
 BELIARD Sophie (MCU-PH)

MARANINCHI Marie (MCF) (66ème section)

**NEUROCHIRURGIE 4902**

DUFOUR Henry (PU-PH)  
 FUENTES Stéphane (PU-PH)  
 REGIS Jean (PU-PH)  
 ROCHE Pierre-Hugues (PU-PH)  
 SCAVARDA Didier (PU-PH)

CARRON Romain (MCU PH)  
 GRAILLON Thomas (MCU PH)

**ONCOLOGIE 65 (BIOLOGIE CELLULAIRE)**

CHABANNON Christian (PR) (66ème section)  
 SOBOL Hagay (PR) (65ème section)

**NEUROLOGIE 4901**

ATTARIAN Sharham (PU PH)  
 AUDOIN Bertrand (PU-PH)  
 AZULAY Jean-Philippe (PU-PH)  
 CECCALDI Mathieu (PU-PH)  
 EUSEBIO Alexandre (PU-PH)  
 FELICIAN Olivier (PU-PH)  
 PELLETIER Jean (PU-PH)

MAAROUF Adil (MCU-PH)



**OPHTALMOLOGIE 5502**

DENIS Danièle (PU-PH)  
 HOFFART Louis (PU-PH) *Disponibilité*  
 MATONTI Frédéric (PU-PH) *Disponibilité*

**PEDEPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE 4904**

DA FONSECA David (PU-PH)  
 POINSO François (PU-PH)  
 GUIVARCH Jokthan (MCU-PH)

**OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE 5501**

DESSI Patrick (PU-PH)  
 FAKHRY Nicolas (PU-PH)  
 GIOVANNI Antoine (PU-PH)  
 LAVIEILLE Jean-Pierre (PU-PH)  
 MICHEL Justin (PU-PH)  
 NICOLLAS Richard (PU-PH)  
 TRIGLIA Jean-Michel (PU-PH)

**PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE -  
PHARMACOLOGIE CLINIQUE; ADDICTOLOGIE 4803**

BLIN Olivier (PU-PH)  
 FAUGERE Gérard (PU-PH) *Surnombre*  
 MICALLEF/ROLL Joëlle (PU-PH)  
 SIMON Nicolas (PU-PH)

RADULESCO Thomas (MCU-PH)

BOULAMERY Audrey (MCU-PH)

REVIS Joana (MAST) (Orthophonie) (7ème Section)

**PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE 4502**

RANQUE Stéphane (PU-PH)  
 CASSAGNE Carole (MCU-PH)  
 L'OLLIVIER Coralie (MCU-PH)  
 TOGA Isabelle (MCU-PH)

**PHILOSOPHIE 17**

LE COZ Pierre (PR) (17ème section)  
 MATHIEU Marion (MAST)

**PEDIATRIE 5401**

ANDRE Nicolas (PU-PH)  
 CHAMBOST Hervé (PU-PH)  
 DUBUS Jean-Christophe (PU-PH)  
 GIRAUD/CHABROL Brigitte (PU-PH)  
 MICHEL Gérard (PU-PH)  
 MILH Mathieu (PU-PH)  
 OVAERT Caroline (PU-PH)  
 REYNAUD Rachel (PU-PH)  
 SARLES Jacques (PU-PH)  
 TSIMARATOS Michel (PU-PH)

**PHYSIOLOGIE 4402**

BARTOLOMEI Fabrice (PU-PH)  
 BREGEON Fabienne (PU-PH)  
 GABORIT Bénédicte (PU-PH)  
 MEYER/DUTOUR Anne (PU-PH)  
 TREBUCHON/DA FONSECA Agnès (PU-PH)

COZE Carole (MCU-PH)  
 FABRE Alexandre (MCU-PH)  
 TOSELLO Barthélémy (MCU-PH)

BARTHELEMY Pierre (MCU-PH)  
 BONINI Francesca (MCU-PH)  
 BOULLU/CIOCCA Sandrine (MCU-PH)  
 DADOUN Frédéric (MCU-PH) (*disponibilité*)  
 DELLIAUX Stéphane (MCU-PH)

**PSYCHIATRIE D'ADULTES ; ADDICTOLOGIE 4903**

BAILLY Daniel (PU-PH)  
 LANÇON Christophe (PU-PH)  
 NAUDIN Jean (PU-PH)

RUEL Jérôme (MCF) (69ème section)  
 THIRION Sylvie (MCF) (66ème section)

CERMOLACCE Michel (MCU-PH)

**PSYCHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE, PCYCHOLOGIE SOCIALE 16**

AGHABABIAN Valérie (PR)

**PNEUMOLOGIE; ADDICTOLOGIE 5101****RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE 4302**

BARTOLI Jean-Michel (PU-PH)  
 CHAGNAUD Christophe (PU-PH)  
 CHAUMOITRE Kathia (PU-PH)  
 GIRARD Nadine (PU-PH)  
 JACQUIER Alexis (PU-PH)  
 MOULIN Guy (PU-PH)  
 PANUEL Michel (PU-PH)  
 PETIT Philippe (PU-PH)  
 VAROQUAUX Arthur Damien (PU-PH)  
 VIDAL Vincent (PU-PH)

ASTOUL Philippe (PU-PH)  
 BARLESI Fabrice (PU-PH)  
 CHANEZ Pascal (PU-PH)  
 GREILLIER Laurent (PU PH)  
 REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

TOMASINI Pascale (MCU-PH)

STELLMANN Jan-Patrick (MCU-PH)

**REANIMATION MEDICALE ; MEDECINE URGENCE 4802****THERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE; ADDICTOLOGIE 4804**

GAINNIER Marc (PU-PH)  
 GERBEAUX Patrick (PU-PH)  
 PAPAIZIAN Laurent (PU-PH)  
 ROCH Antoine (PU-PH)

AMBROSI Pierre (PU-PH)  
 VILLANI Patrick (PU-PH)

HRAIECH Sami (MCU-PH)

DAUMAS Aurélie (MCU-PH)

**RHUMATOLOGIE 5001****UROLOGIE 5204**

GUIS Sandrine (PU-PH)  
 LAFFORGUE Pierre (PU-PH)  
 PHAM Thao (PU-PH)  
 ROUDIER Jean (PU-PH)

BASTIDE Cyrille (PU-PH)  
 KARSENTY Gilles (PU-PH)  
 LECHEVALLIER Eric (PU-PH)  
 ROSSI Dominique (PU-PH)

## Remerciements

### **A notre maître et président de thèse, Monsieur le Professeur X. FLECHER,**

Votre technique chirurgicale et votre facilité déconcertante à simplifier les problèmes les plus complexes forcent mon admiration. Vous avez toujours été accessible et à l'écoute. Je vous remercie pour les enseignements et les précieux conseils que vous m'avez donné.

Je suis honorée que vous ayez accepté de présider ce jury de thèse. Faire partie de vos élèves est, pour moi, un privilège et une fierté.

### **A notre maître, Monsieur le Professeur J-N. ARGENSON,**

Votre recherche constante de l'excellence et votre rigueur sont un exemple pour nous tous. Nous vous sommes reconnaissants pour tout ce que vous faites afin d'élever l'orthopédie marseillaise. Je vous remercie pour votre constante disponibilité et pour la considération dont vous faites preuve envers tous vos internes.

Je vous suis très reconnaissante de l'honneur que vous me faites en acceptant de siéger dans ce jury.

### **A notre maître, Monsieur le Professeur R. LEGRE,**

Vous partagez avec plaisir et passion vos considérables connaissances et votre savoir faire chirurgical. Vos qualités humaines font que toutes les personnes de votre équipe parlent de vous avec respect et admiration.

Je vous remercie pour les enseignements que vous m'avez prodigués lors de mon passage dans votre service. Vous compter dans ce jury est un grand honneur.

### **A notre maître et directeur de thèse, Monsieur le Docteur R. GRAVIER,**

L'année passée à tes côtés m'a beaucoup apporté. Tes qualités chirurgicales mais aussi ton humanité sont un exemple pour moi.

Je te remercie pour la confiance que tu m'as accordée en me confiant ce travail. J'espère qu'il te donnera satisfaction.

### **A notre maître, Monsieur le Docteur D. LAMI,**

On dit que ce sont les rencontres qui orientent notre parcours. Ce fut le cas pour moi, puisque c'est après la notre que j'ai choisi mon chemin. Je te remercie pour tout ce que tu m'apprends et j'espère pouvoir encore profiter de ton enseignement. T'avoir dans ce jury est un honneur et une grande joie.

**A mes maîtres des hôpitaux,**

Monsieur le Professeur TROPIANO  
Monsieur le Professeur BLONDEL  
Monsieur le Professeur JOUVE  
Monsieur le Professeur LAUNAY  
Monsieur le Professeur CURVALE  
Monsieur le Professeur ROCHEWERGER  
Monsieur le Professeur BOILEAU  
Monsieur le Professeur TROJANI  
Monsieur le Professeur GONZALEZ

**A mes aînés de la profession,**

Pascal MAMAN  
Richard VOLPI  
Marie LE BARON  
Clément DENUX  
Marc DUPONT  
Jean-Charles GRILLO  
Erick MEYER  
Caroline CURVALE  
Elie CHOUFANI  
Pierre-Olivier PINELLI  
Marc-Olivier GAUCI

## **Je dédie cette thèse...**

*A ma maman.*

Ton amour inconditionnel et ta bienveillance m'ont portée tout au long de mon parcours. Tu m'as enveloppée de ta tendresse pour faire disparaître tout ce que le monde avait d'effrayant et d'angoissant. C'est grâce à toi, à tes sacrifices, que j'ai grandi sereinement : à l'abri de tout, alors que dehors c'était la tempête. J'admire la femme que tu es : incroyablement courageuse, forte, mais aussi généreuse et douce à la fois. Tu es le plus bel exemple qu'une petite fille puisse avoir pour grandir et se construire. Tu es mes racines, ma force. Je n'y serais jamais arrivée sans toi. Ta fierté est, à mes yeux, la plus belle des récompenses. J'espère réussir, un jour, à te rendre un peu de ce que tu m'as donné.

*A ma sœur adorée, à qui je ne dis pas assez combien elle compte.*

*A mon père, qui m'a aidée à croire en moi.*

*A mes grands-parents.*

Tous ces doux moments passés avec vous sont gravés dans ma mémoire pour toujours.

*A Jean-Luc et Florian, qui sont entrés dans la famille pour ma plus grande joie.*

*A mon pote, mon bro, mon meilleur ami, mon chéri : Morgan.*

Tu as déboulé dans ma vie sans crier gare et tu as tout chamboulé de la plus belle des manières. Je te remercie d'avoir joué les rôles de statisticien, dépanneur informatique, psychologue et parfois d'intendant alors que tu avais ta propre thèse à gérer. Je suis heureuse qu'il y ait un peu de toi dans ce travail. J'ai hâte que l'on commence la vie tous les deux.

*A David : merci pour ton aide, et surtout pour tes blagues de beauf.*

*A Christine, Pierrot, Anaïs (et tout le reste de la famille).*

Vous m'avez accueillie à bras ouverts. Je me suis tout de suite sentie à ma place grâce à vous.

*A Nas, aux deux héros Lulu et Louis et à tous les autres copains du Crossfit qui me supportent et me font rigoler : Damdam, Dickey, Delph, Kent, Mimi, Juju, Ben, Marion, Sandrine, Jenäi, Auré, Gwen <3*

...

*A Morgane, tu étais là il y a 11 ans, j'espère que tu y seras encore dans 11 ans de plus.*

*A ma maman de l'orthopédie, le Docteur Marie BRIERE.*

Dès le premier jour, tu m'as guidée sans jamais perdre patience. C'est grâce à toi que j'ai commencé à prendre confiance en moi au bloc. Apprendre avec toi a été un réel plaisir. Je te remercie et j'espère que nos chemins se retrouveront.

*A mes anciens assistants,*

la Mugne, Max Fabre, Falgui, la Chive, Aymeric, Jean-Ca, (Professeur) Matt, Paulo Bizzo, Emilie, Seb, Jaf, Stef, Alice, Charlotte, Najib, mention spéciale à Cermo la golden star.

*Aux co-internes,*

Solène, Val, Leo, Jaubi, Rafiki, Peras, Henri, Flo, JB, Nico, Seb, Paulo, Jean-Charles, Adri, Kenny, Gui, Guy, Jacquet, Coco, Phiphi, Samir, Matthieu V. et tous les autres ...

*A Monsieur le Professeur P. CHABRAND,*

Me replonger dans les mathématiques au cours de mon année de master a été un réel plaisir. Je vous remercie pour votre gentillesse, votre disponibilité et votre expertise qui m'ont aidée dans ce travail.

*A Gaëtan pour son aide, et à toute l'équipe du GIBOC (mention spéciale à Sophie) pour leur accueil.*

*A Michel HASSLER pour ses précieuses explications.*

*A toute l'équipe de Nord que j'ai adorée dès le premier jour.*

*A l'équipe du bloc de Monticelli.*

*A Joëlle, celle qui répare de l'extérieur : je n'oublie pas ma promesse.*

*A Monsieur le Professeur P. BOILEAU, pour m'avoir accueillie au sein de son service. Apprendre à vos côtés a été un réel privilège. Je vous remercie pour ce que vous m'avez enseigné au cours de mon dernier semestre.*

*Aux niçois, assistants et internes (au trio de choc : Claudie, Adil et Antoine).*

*A toutes les équipes médicales et paramédicales : vous êtes bien trop nombreux pour que je me lance dans des remerciements nominatifs. Je vous remercie d'avoir eu la patience de m'apprendre, à tous les niveaux.*

## Table des matières

<u>I - Enjeux de l'arthroplastie d'épaule</u>	2
A - Histoire de l'arthroplastie d'épaule	2
B - Problématiques actuelles	3
<u>II - Le pyrocarbone</u>	9
A - Production du pyrocarbone	9
B - Propriétés	10
1. Biocompatibilité	10
2. Elasticité	10
3. Résistance mécanique	12
4. Tribologie	12
C - Applications en orthopédie	13
<u>III - Etude des résultats radio-cliniques des hémiarthroplasties en pyrocarbone à deux ans de recul minimum</u>	17
A - Matériels et méthodes	17
1. Type d'étude	17
2. Protocole opératoire	17
3. Rééducation	18
4. Evaluation clinique et radiologique	18
5. Analyse scanographique en deux dimensions	18
6. Analyse scanographique tridimensionnelle	20
7. Analyses statistiques	21
B - Résultats	22
1. Caractéristiques démographiques	22
2. Résultats cliniques	23
3. Complications	24
4. Etude radiologique	25
C - Discussion	32
1. Résultats cliniques	32
2. Complications	33
3. Mesure de la modification de la surface glénoïdienne	34
4. Résultats radiologiques	35
5. Forces et faiblesses de l'étude	37
D - Conclusion	38
Abréviations	41
Annexe	42

## I - Enjeux de l'arthroplastie d'épaule

### A - Histoire de l'arthroplastie d'épaule

La première arthroplastie d'épaule fut réalisée en 1893 par Jules Péan qui, en s'inspirant des travaux de Glück [1], implanta une prothèse faite d'une tige en platine et d'une tête en caoutchouc pour traiter un patient atteint d'arthrite tuberculeuse destructrice [2, 3]. La prothèse sera retirée au bout de deux ans pour infection.

C'est au XX<sup>ème</sup> siècle que l'histoire de l'arthroplastie d'épaule prend un tournant avec l'apport de Charles Neer qui développa les prothèses de première génération. Celui-ci dessine une prothèse dans le but de traiter certaines fractures complexes de l'humérus proximal en reconstruisant les tubérosités tout en limitant l'exérèse osseuse. La prothèse Neer I, en chrome-cobalt, né en 1951 (figure 1) [4].



Figure 1 : implant huméral en Cr -Co monobloc (de première génération) [4]

Secondairement, les indications ont été étendues aux omarthroses, mais les résultats furent décevants. La persistance de douleurs chez des patients présentant une usure glénoïdienne ont conduit Neer à ajouter à son dessin initial un composant glénoïdien. Le système Neer II voit le jour en 1973. Il est formé d'un composant huméral en vitallium et d'un composant glénoïdien cimenté à quille, entièrement en polyéthylène [5]. Au cours des années suivantes, plusieurs modèles de composants glénoïdiens furent testés : c'est le modèle en polyéthylène à quille qui donnera les meilleurs résultats [6].

Après les prothèses monobloc de Neer, les prothèses humérales modulaires, dites de deuxième génération, permettront de mieux s'adapter à l'anatomie du patient en choisissant de manière indépendante une pièce céphalique et une tige humérale. Au-delà de la modularité, c'est le concept d'adaptabilité qui verra le jour avec les prothèses de troisième génération. Ce concept, développé par Boileau et Walch, s'appuie sur une étude anatomique ayant mis en évidence une grande variation interindividuelle des paramètres anatomiques de l'humérus proximal, tels que l'inclinaison du col anatomique ou encore la rétroversion de la tête humérale [7]. Ces prothèses de troisième génération, dites « anatomiques », permettent de rétablir le centre de rotation de l'humérus et les bras de levier musculaires en adaptant la coupe cervicale, et suppriment les conflits avec la coiffe grâce à un déport médial et postérieur de la tête [8, 9].

Le dessin des prothèses anatomiques est celui qui est encore utilisé aujourd'hui. Cependant, il n'est adapté qu'en cas de coiffe des rotateurs compétente. En effet, quelques années après le lancement des arthroplasties totales anatomiques, l'ensemble de la communauté scientifique s'accorde à dire que ces prothèses donnent de mauvais résultats fonctionnels dans les cas d'omarthroses excentrées. De ce constat est née la prothèse d'épaule inversée, développée par Grammont, qui s'appuie sur le concept d'abaissement huméral et de médialisation du centre de rotation, permettant ainsi d'augmenter le bras de levier du deltoïde et de pallier le déficit de fonction du sus-épineux [10, 11].

## B - Problématiques actuelles

Le nombre d'arthroplasties totales anatomiques a rapidement évolué, augmentant de 319% de 1993 à 2007 à raison de 10.6% par an [12]. En France, environ 4000 arthroplasties d'épaule non contraintes sont réalisées par an [13].

Les deux buts principaux de l'arthroplastie d'épaule sont l'indolence et la restauration de la fonction. Les implants actuels permettent de remplir ces deux objectifs. Les prothèses totales anatomiques (PTA) possèdent une très bonne longévité avec 93 à 97% de survie à 10 ans, 87% à 15 ans et 84% à 20 ans [14, 15]. La complication à long terme la plus fréquente de la PTA est le descellement glénoïdien qui survient dans 14.3% des cas [16]. Il est précédé de l'apparition de lignes radiotransparentes autour de l'implant, qui se forment fréquemment mais ne sont pas synonymes de descellement. Cela explique qu'au final, 28.5% des suspicions de descellement nécessitent une révision [16, 17].



La malposition de l'implant glénoïdien, en particulier sa rétroversion, est un facteur de risque de descellement précoce [18, 19, 20]. Les omarthroses centrées à glènes B (subluxation postérieure de la tête humérale et usure postérieure de la glène) et C (rétroversion glénoïdienne > 25°, glène dysplasique) [21] ont donc une prise en charge chirurgicale délicate. Plusieurs options sont possibles pour corriger la rétroversion glénoïdienne. Le fraisage asymétrique n'est adapté que dans les cas où la rétroversion et le défaut osseux postérieur sont modérés (16° de rétroversion et 8 mm de défaut). Les déformations plus importantes peuvent être prises en charge par une greffe osseuse mais avec un taux important de complications et d'échecs [22]. La PTA présente des résultats décevants en termes de sédation de la douleur et de restauration de la fonction chez ces patients [18]. Les complications sont également plus fréquentes dans ces cas d'omarthroses, où les taux de révision pour descellement glénoïdien sont généralement élevés [23, 24]. Walch et al. ont montré que le risque de descellement glénoïdien ou d'instabilité postérieure était de 44% lorsque la néoglène était rétroversée de plus de 27° [25]. Le risque de complications est donc corrélé à l'importance de la rétroversion.

Le descellement de l'implant glénoïdien peut entraîner un défaut osseux important, rendant délicate la reprise chirurgicale [26, 27]. C'est la raison pour laquelle l'hémiarthroplastie (HA), est souvent préférée, dans l'arthrose à coiffe fonctionnelle du sujet jeune (<60 ans) lorsque le versant glénoïdien ne présente qu'une usure modérée. En effet, les sujets jeunes sont plus actifs, ont une demande fonctionnelle plus élevée et une espérance de vie supérieure [28, 29]. Les sollicitations importantes de leurs prothèses peuvent conduire à un descellement prématuré de l'implant glénoïdien [30, 31]. C'est donc dans le but de préserver le stock osseux glénoïdien que l'HA peut être préférée chez ces patients. De plus, l'HA permet une reprise du travail équivalent à la TSA, avec l'avantage d'être plus adaptée aux travailleurs de force [32]. L'équipe de Gadea montre une survie de la prothèse à 10 ans de 94,2%, un score de Constant-Murley à 8 ans de 60,7 points, et un taux de complication de 8,9% chez des sujets atteints d'omarthrose primitive traités par HA [33]. Cependant, le reste des résultats de la littérature montre une supériorité de la PTA en terme de douleur, fonction et survie [15, 34-36]. La complication principale de l'HA est l'érosion glénoïdienne, due au frottement entre la tête humérale métallique et la glène. Ce phénomène, aussi appelé glénoïdite, est aussi fréquent que le descellement glénoïdien dans la PTA, à la différence qu'il est systématiquement douloureux et entraîne, ainsi, une altération de la fonction avec deux tiers de mauvais résultats à long terme [37]. Cette complication nécessite une totalisation prothétique inversée (coiffe non continente, nécessité de greffe osseuse) ou anatomique (coiffe intacte).

Cependant, en cas de reprise, les résultats restent inférieurs aux arthroplasties totales de première intention même si la douleur et les amplitudes articulaires sont améliorées [38-40]. La survie des HA est donc inférieure à celle des PTA avec un taux de reprise chirurgicale à long terme avoisinant les 30% (82% de survie à 10 ans, 75% à 20 ans) [15, 37]. Levine et Dillon ont montré que l'âge jeune était un facteur de risque de reprise chirurgicale [35, 37]. Les cas d'omarthroses primaires à glènes B et C présentent également des résultats inférieurs dans cette indication, en terme de fonction et de survie [37, 41].

Le resurfaçage biologique glénoïdien (ménisque latéral, matrice dermique acellulaire, tendon d'Achille, capsule articulaire, fascia lata), associé à une HA, a été développé dans le but de prévenir l'érosion. Cette technique donne des résultats décevants avec un échec thérapeutique dans plus de 43% des cas (score fonctionnel insatisfaisant ou nécessité de reprise chirurgicale) [42, 43]. Le fraisage concentrique de la glène (« ream and run » procedure) [44, 45] et la glénoplastie arthroscopique [46] n'ont pas fait, non plus, la preuve de leur efficacité dans le temps.

L'omarthrose primaire à glène B ou C et l'omarthrose du sujet jeune sont donc sujets à controverse de par l'absence de prise en charge assurant l'indolence et la restauration de la fonction de manière durable dans le temps tout en préservant le stock osseux glénoïdien. Une des voies de recherche développées est celle du pyrocarbone : un biomatériau aux propriétés mécaniques particulièrement intéressantes dans le domaine de la chirurgie prothétique.

## REFERENCES

- [1] Glück T. Die Invagination methode der octeo und arthroplastik. *Berl Klin Wschr* 1890; 33 : 732-52.
- [2] Péan JE. The classic : on prosthetic methods intended to repair bone fragments. *Clin Orthop*. 1973; 93 : 4-7.
- [3] Bankes MJ, Emery RJ. Pioneers of shoulder replacement : Themistocles Gluck and Jules Emile Pean. *J Shoulder Elbow Surg*. 1995;4:259-62.
- [4] Neer CS, Brown TH, McLaughlin HL. Fracture of the neck of the humerus with dislocation of the head fragment. *Am J Surg*. 1953;85:252-8.
- [5] Neer CS II: Replacement Arthroplasty for Glenohumeral Osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am*. 1974;56(1):1-13
- [6] Neer CS II, Watson KC, Stanton FJ: Recent experience in total shoulder replacement. *J Bone Joint Surg Am*. 1982; 64(3) : 319-37.
- [7] Boileau P, The three-dimensional geometry of the proximal humerus. Implications for surgical technique and prosthetic design. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. British Volume 79 no 5 1997.
- [8] Boileau P, Walch G. Prosthetic adaptability : a new concept in shoulder arthroplasty. In : Boileau P, Walch G, éd. *Shoulder arthroplasty*. Berlin : Springer; 1999. p. 83-93.
- [9] Boileau P, Walch G. Adaptability and modularity in shoulder arthroplasty. *Acta Orthop Belgica*. 1995; 61 SI : 49-61.
- [10] Grammont PM, Trouilloud P, Laffay JP, Deries X. Etude et réalisation d'une nouvelle prothèse d'épaule. *Rhumatologie*. 1987;39:407-18.
- [11] Boileau P, Walch G. *Prothèses d'épaule, Etat actuel*. Elsevier Masson ; 2008. p. 3-10.
- [12] Day JS, Lau E, Ong KL, Williams GR, Ramsey ML, Kurtz SM: Prevalence and projections of total shoulder and elbow arthroplasty in the United States to 2015. *J Shoulder Elbow Surg*. 2010;19(8):1115-1120.
- [13] Walch G, Boileau P, Noël E. Shoulder arthroplasty: evolving techniques and indications. *Joint Bone Spine*. 2010;77(6):501–505. doi:10.1016/j.jbspin.2010.09.004.
- [14] Torchia ME, Cofield RH, Settergren CR: Total shoulder arthroplasty with the Neer prosthesis: Long-term results. *J Shoulder Elbow Surg*. 1997;6(6):495-505.
- [15] 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*. 2004;13:604–13.
- [16] Gonzalez JF, Alami GB, Baque F, Walch G, Boileau P: Complications of unconstrained shoulder prostheses. *J Shoulder Elbow Surg*. 2011;20(4):666-682.
- [17] Papadonikolakis A, Neradilek MB, Matsen FA III: Failure of the glenoid component in anatomic total shoulder arthroplasty: A systematic review of the English-language literature between 2006 and 2012. *J Bone Joint Surg Am*. 2013;95 (24):2205-2212.

- [18] Iannotti JP, Norris TR. Influence of preoperative factors on outcome of shoulder arthroplasty for glenohumeral osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85:251–8. 9.
- [19] Iannotti JP, Greeson C, Downing D, Sabesan V, Bryan JA. Effect of glenoid deformity on glenoid component placement in primary shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. 2012;21:48–55. 8.
- [20] Ho JC, Sabesan VJ, Iannotti JP. Glenoid component retroversion is associated with osteolysis. *J Bone Joint Surg Am*. 2013;95:e82(1–8).
- [21] Walch G, Badet R, Boulahia A, Khoury A. Morphologic study of the glenoid in primary glenohumeral osteoarthritis. *J Arthroplasty*. 1999; 14:756-60.
- [22] Donohue, Kenneth & Ricchetti, Eric & Iannotti, Joseph. (2016). Surgical management of the biconcave (B2) glenoid. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. 9. 10.1007/s12178-016-9315-1.
- [23] Walch, Gilles & Young, Allan & Pascal, Boileau & Loew, Markus & Gazielly, Dominique & Molé, Daniel. (2012). 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. *The Journal of bone and joint surgery*. American volume. 94. 145-50. 10.2106/JBJS.J.00699.
- [24] Luedke, Colten & Kissenberth, Michael & Tolan, Stefan & Hawkins, Richard & Tokish, John. (2018). Outcomes of Anatomic Total Shoulder Arthroplasty with B2 Glenoids: A Systematic Review. *JBJS Reviews*. 6. 1. 10.2106/JBJS.RVW.17.00112.
- [25] Walch G, Moraga C, Young A, Castellanos-Rosas J. Results of anatomic nonconstrained prosthesis in primary osteoarthritis with biconcave glenoid. *J Shoulder Elbow Surg* 2012;21(11):1526-33.
- [26] Öztürk M, Cunningham G, Holzer N, Arthroplastie de l'épaule : le point en 2014. *Rev Med Suisse.*, 2014; 10 :2398-2402.
- [27] Pinkas D., Wiater B., Wiater J.M. The glenoid component in anatomic shoulder arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg*. 2015; 23:317-326.
- [28] Rodosky MW, Bigliani LU. Indications for glenoid resurfacing in shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. 1996;5:231–248.
- [29] Essilfie AA, Gamradt SC. The Role for Shoulder Hemiarthroplasty in the Young, Active Patient. *Clin Sports Med*. 2018;37(4):527–535. doi:10.1016/j.csm.2018.05.004.
- [30] Denard PJ, Raiss P, Sowa B, Walch G. Mid- to long-term followup of total shoulder arthroplasty using a keeled glenoid in young adults with primary glenohumeral arthritis. *J Shoulder Elbow Surg*. 2013;22:894–900.
- [31] Gauci M.O., Bonneville N., Moineau G., et al., Anatomical total shoulder arthroplasty in young patients with osteoarthritis. *Bone Joint J*. 2018; 100-B:485-492.
- [32] Gowd AK et al. Comparative analysis of work-related outcomes in hemiarthroplasty with concentric glenoid reaming and total shoulder arthroplasty, *J Shoulder Elbow Surg*, Volume 28, Issue 2, 244 - 251.
- [33] Gadea F, Alami G, Pape G, et al, Shoulder hemiarthroplasty: outcomes and long-term survival analysis according to etiology. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2012; 98:659-65.

- [34] Bartelt R, Sperling JW, Schleck CD, Cofield RH. Shoulder arthroplasty in patients aged fifty-five years or younger with osteoarthritis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2011;20:123–130.
- [35] Dillon MT, Inacio MC, Burke MF, Navarro RA, Yian EH: Shoulder arthroplasty in patients 59 years of age and younger. *J Shoulder Elbow Surg.* 2013;22 (10):1338-1344.
- [36] Edwards TB, Kadakia NR, Boulahia A, Kempf JF, Boileau P, Ne moz C, Walch G. A comparison of hemiarthroplasty and total shoulder arthroplasty in the treatment of primary glenohumeral osteoarthritis: results of a multicenter study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2003 May-Jun;12(3):207-13.
- [37] Levine WN, Fischer CR, Nguyen D, Flatow EL, Ahmad CS, Bigliani LU. Long-term follow-up of shoulder hemiarthroplasty for glenohumeral osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(22):e164. doi:10.2106/JBJS.K.00603.
- [38] Sperling JW, Cofield RH. Revision total shoulder arthroplasty for the treatment of glenoid arthrosis. *J Bone Joint Surg Am.* 1998 Jun;80(6):860-7.
- [39] Carroll RM, Izquierdo R, Vazquez M, et al. Conversion of painful hemiarthroplasty to total shoulder arthroplasty: long-term results. *J Shoulder Elbow Surg.* 2004;13:599– 603.
- [40] Merolla G, Wagner E, Sperling JW, Paladini P, Fabbri E, Porcellini G. Revision of failed shoulder hemiarthroplasty to reverse total arthroplasty: analysis of 157 revision implants. *J Shoulder Elbow Surg.* 2018;27(1):75–81. doi:10.1016/j.jse.2017.06.038
- [41] Levine WN, Djurasovic M, Glasson JM, Pollock RG, Flatow EL, Bigliani LU. Hemiarthroplasty for glenohumeral osteoarthritis: results correlated to degree of glenoid wear. *J Shoulder Elbow Surg* 1997;6(5):449-54.
- [42] Hammond LC, Lin EC, Harwood DP, et al. Clinical outcomes of hemiarthroplasty and biological resurfacing in patients aged younger than 50 years. *J Shoulder Elbow Surg.* 2013;22(10):1345–1351. doi:10.1016/j.jse.2013.04.015.
- [43] Meaike JJ, Patterson DC, Anthony SG, Parsons BO, Cagle PJ. Soft tissue resurfacing for glenohumeral arthritis: a systematic review. *Shoulder Elbow.* 2020;12(1):3–11. doi:10.1177/1758573219849606.
- [44] Clinton J, Franta AK, Lenters TR, Mounce D, Matsen FA 3rd. Nonprosthetic glenoid arthroplasty with humeral hemiarthroplasty and total shoulder arthroplasty yield similar self-assessed outcomes in the management of comparable patients with glenohumeral arthritis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2007;16(5):534–538. doi:10.1016/j.jse.2006.11.003.
- [45] Saltzman MD, Chamberlain AM, Mercer DM, Warme WJ, Bertelsen AL, Matsen FA 3rd. Shoulder hemiarthroplasty with concentric glenoid reaming in patients 55 years old or less. *J Shoulder Elbow Surg.* 2011;20(4):609–615. doi:10.1016/j.jse.2010.08.027.
- [46] O’Driscoll SW. Arthroscopic glenoidplasty and osteocapsular arthroplasty for advanced glenohumeral osteoarthritis. Read at the 67<sup>th</sup> Annual Meeting of the American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2000 Mar 18; Orlando, FL.

## II - Le pyrocarbone

### A - Production du pyrocarbone

Les pyrocarbones sont une des formes de carbone solide non cristallines (en opposition aux diamants). Ils ont été développés dans le cadre de l'industrie nucléaire, au cours des années 1950 à 1960. Ils sont nés d'une collaboration franco-américaine entre la General Atomics (San Diego) et le Commissariat à l'Énergie Atomique (Grenoble). Le pyrocarbone (PyC) est produit par pyrolyse (décomposition thermique) de gaz carboné. Il s'agit d'une réaction de CVD (Chemical Vapor Decomposition) dans laquelle les conditions de température (environ 1500°C) et de pression vont porter le gaz à un état de déséquilibre pour rompre ses liaisons H-C (c'est la réaction cracking) et former des liaisons C-C en se déposant sur les surfaces disponibles et donner le PyC. Le nombre et la taille d'implants pouvant être en même temps revêtu de PyC sont limités par le diamètre du tube dans lequel a lieu la réaction de CVD, afin que les différents paramètres de volume et de température puissent être contrôlés [1, 2].

Le PyC est utilisé en tant que revêtement d'environ 1 mm d'épaisseur déposé sur un substrat choisi en fonction de sa nature chimique, sa forme, sa résistance à la chaleur, sa topographie de surface et son coefficient de dilatation thermique. Le graphite est le substrat de choix du PyC, puisqu'il possède un coefficient de dilatation thermique proche de ce dernier (figure 1). Le PyC étant radio-transparent, de la poudre de tungsten est mélangée à la poudre de graphite pour la rendre radio-opaque. Après ce mélange, le graphite est usiné et poli à la dimension voulue de l'implant en y soustrayant l'épaisseur de PyC qui y sera déposée. Ensuite, la réaction de CVD thermique a lieu afin de déposer la couche de PyC (figure 2). Sur des radiographies standard, l'implant en PyC apparaît donc plus petit que sa taille réelle puisque seul le substrat de graphite est rendu radio-opaque.



Figure 1 : vue en coupe d'un substrat de granite (gris) entouré de son revêtement de pyrocarbone (noir) [2]

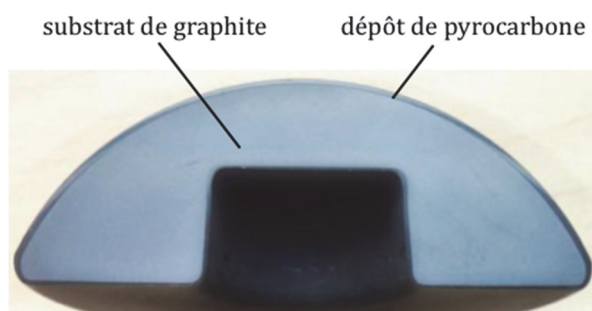


Figure 2 : calotte humérale en graphite recouverte de pyrocarbone

L'implant obtenu est poli puis assemblé à un cône morse en chrome-cobalt. Ce cône morse a la particularité de posséder une embase métallique qui joue un rôle de butée en bloquant la translation de la tête lorsqu'une force  $y$  est appliquée. Ainsi, les charges sont réparties entre l'embase métallique et la tête en PyC. Le graphite et le PyC étant peu résistants aux déformations en flexion, cela permet d'éviter tout phénomène de fracture de l'implant lors de sa mise en charge (figure 3). Après cet assemblage, la phase de stérilisation peut enfin avoir lieu.

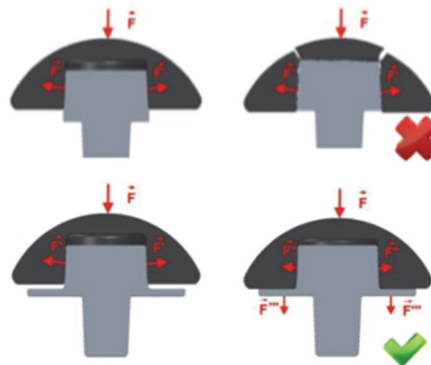


Figure 3 : cône classique provoquant une fracture de l'implant à la mise en charge (haut), cône à embase métallique permettant une répartition des charges (bas) (courtoisie de Michel Hassler, Wright, France)

## B - Propriétés du pyrocarbone

### 1. Biocompatibilité

La stabilité chimique du carbone fait du PyC un matériau particulièrement inerte et biocompatible. Sa nature hydrophobe permet l'adsorption de protéines circulantes rendant sa surface inactive, en terme de réactivité chimique et biologique [3]. Il a été également montré que le PyC n'active pas la voie du complément, expliquant en partie ses propriétés antithrombotiques [4]. C'est grâce à ces caractéristiques que le PyC a pu être utilisé pour la première fois dans le domaine médical en 1969 dans des valves cardiaques mécaniques.

### 2. Elasticité

Comme représenté sur le tableau 1, le graphite et le PyC ont un module d'élasticité similaire à celui de l'os cortical. La combinaison du graphite, plus élastique que l'os, et du PyC très résistant, permet d'obtenir un ensemble élastique avec une surface très résistante. Cela assure une transmission optimale des contraintes à l'os, limitant les douleurs et l'érosion, contrairement au métal ou à la céramique (trop rigide) [2].

	Silicone	Polyéthylène	Graphite	Os cortical	Pyrocarbone	Titane	Inox	Alumine
Module de Young (GPa)	0.004	1	<b>10</b>	<b>15-20</b>	<b>20-25</b>	110	200-240	407

Tableau 1 : module d'élasticité en GigaPascal de différents matériaux

Une étude en éléments finis mettant en contact un os long et des implants sphériques de différents matériaux a étudié la répartition des contraintes mécaniques (figure 4). Le polyéthylène absorbe la majorité des contraintes, entraînant à terme, son usure et la résorption osseuse par manque de sollicitation (loi de Wolff). Avec une céramique beaucoup plus rigide, c'est l'inverse qui se produit : l'os absorbe la majorité du stress, cela menant à son érosion. Avec une sphère en PyC, les contraintes sont réparties de manière homogène entre les deux surfaces de contact qui ont un module d'élasticité similaire [5].

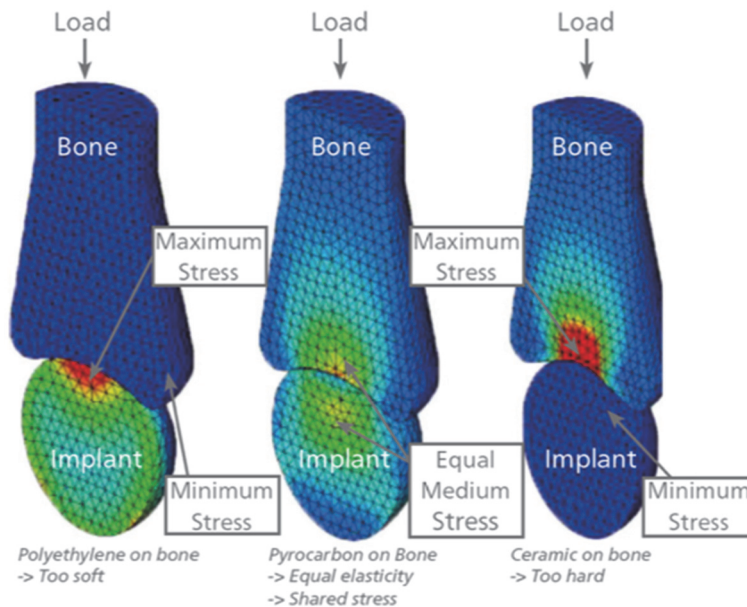


Figure 4: étude en éléments finis de la réaction à l'interface os / implant (implant en polyéthylène, pyrocarbure, céramique) [2]



### 3. Résistance mécanique

Le PyC possède une grande résistance en compression. En revanche, il partage avec les céramiques son caractère friable et sa faible résistance en flexion [5] ce qui limite les formes réalisables lors de son usinage.

Le PyC possède une excellente résistance en fatigue. Il a été montré que le phénomène d'initiation d'une fissure et sa propagation sont possibles mais seraient négligeables en condition in vivo [6, 7]. Par ailleurs, il n'a été reporté aucun exemple de rupture en fatigue en 40 ans d'utilisation dans les valves cardiaques mécaniques [8].

### 4. Tribologie

La résistance à l'usure du PyC est également remarquable. Ce biomatériau est usiné de sorte que sa rugosité soit extrêmement faible [9]. La rugosité de la surface ( $R_a$ ) est de l'ordre de  $0.03 \mu\text{m}$ . Ceci explique en partie que le PyC soit considéré comme un matériau inusable. A titre d'exemple, des études dans le cadre de remplacements valvulaires cardiaques ont montré que le couple PyC/PyC s'use à la vitesse de  $1 \mu\text{m}$  par an pour 40 millions de cycles par an [10]. Ceci a été confirmé in vivo par la survie des valves cardiaques mécaniques atteignant plus de 40 ans [11]. En orthopédie, une prothèse interphalangienne avec couple de frottement PyC/PyC a montré in vitro une usure de  $1 \mu\text{m}$  après 60 millions de cycles (soit 11 fois plus que les sollicitations rencontrées in vivo) [12, 13]. En plus de son polissage très fin, le PyC possède des propriétés chimiques qui participent à la préservation des tissus du vivant à son contact. Ce matériau adsorbe, à sa surface, des phospholipides similaires à ceux retrouvés dans le liquide synovial qui imiteraient le cartilage et favoriseraient ainsi le glissement lors de la mise en contact avec une autre surface [14-16].

Grâce à sa faible rugosité et à l'adsorption de phospholipides synoviaux à sa surface, le PyC préserve les tissus avec lesquels il est mis en contact. In vitro, le PyC endommage moins l'os que le Cr-Co [17] et induit la production de collagène de type II, composant essentiel d'une matrice cartilagineuse [18]. Chez l'animal, le cartilage articulaire mis au contact d'implants en PyC est significativement préservé [19, 20] voir, régénéré, [21] par rapport à des implants métalliques en Cr-Co. Ce constat a été confirmé chez l'Homme avec des implants scaphoïdiens posés dans le cadre de pseudarthroses [22].

### C- Applications en orthopédie

La première utilisation du PyC en orthopédie date de 1979 en tant qu'implant prothétique métacarpophalangien avec couple de frottement PyC/PyC (figure 5). Il s'agissait d'un implant bipolaire à tiges non cimentées. Même si le PyC ne permettait pas d'ostéointégration de par sa rugosité extrêmement fine, aucun patient ne présentait d'usure de la prothèse ni de descellement à long terme [23].



Figure 5 : prothèse métacarpophalangienne en pyrocarbone [23]

Le premier essai de frottement entre le PyC et l'os a été réalisé par Pequignot en 1994 [24] pour le traitement d'arthroses post-traumatiques secondaires à des pseudarthroses du scaphoïde (SNAC) ou à des entorses scapho-lunaires (SLAC) : c'est le premier implant d'interposition totalement libre. A 12 ans de recul en moyenne, il n'a été mis en évidence aucune usure de l'implant ou des os avoisinants, ni aucune luxation de l'implant. Les résultats cliniques étaient durables en terme de soulagement de la douleur et de restauration de la mobilité [19]. Ceux-ci sont maintenus à un recul de 20 ans malgré une poursuite de la déstabilisation du carpe dans les stades les plus avancés [25]. Au niveau du coude, une prothèse monopolaire faite d'une tête de PyC et d'une tige en titane permettant l'ostéointégration de l'implant, donne également de très bons résultats en terme de douleur et de mobilité [26-28].

Il a fallu attendre que des progrès dans la technique de fabrication soient réalisés pour que des implants plus gros voient le jour. L'épaule est donc l'articulation où le PyC a été introduit le plus récemment. C'est en 2009 que la première arthroplastie d'interposition en PyC est réalisée (figure 6). A un recul moyen de  $47 \pm 15$  mois, la douleur était significativement soulagée et les amplitudes articulaires significativement augmentées. Cependant, on note que 10% des patients avaient été repris chirurgicalement : 4 pour fracture du trochiter (traités par prothèse inversée), 2 pour glénoïdite (prothèse inversée), 2 pour raideur (arthrolyse). Parmi les patients avec l'implant d'interposition en place, on notait dans 78% des cas une érosion du trochiter et de la glène qui était associée à une médialisation humérale [30].

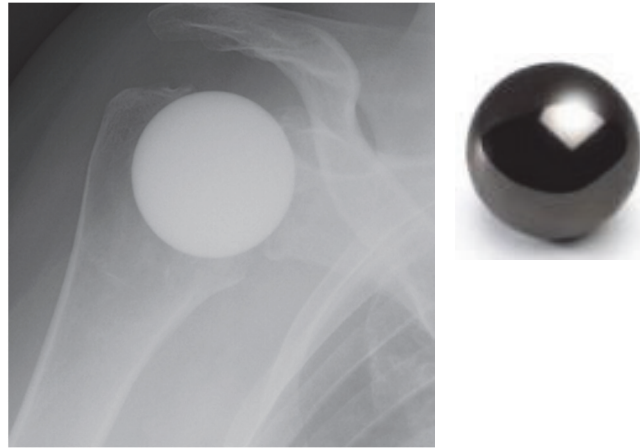


Figure 6 : arthroplastie d'interposition d'épaule en pyrocarbone et implant (Inspyre, Tornier-Wright, Blummington USA). Radiographie (gauche), implant (droite)

Ces résultats sont expliqués par le design sphérique de l'implant. La sphère de PyC va remplacer toute une partie d'os spongieux de l'extrémité proximale de l'humérus. A la place de cet os spongieux va donc se trouver un matériau ayant les caractéristiques mécaniques de l'os cortical. Ce matériau va absorber les contraintes mécaniques. Il y aura donc moins de contraintes transmises aux grosses tubérosités qui, selon la loi de Wolff, vont se résorber. De plus, le rayon de l'implant d'interposition est, par défaut, plus petit que celui d'un implant d'arthroplastie anatomique classique. La surface de frottement contre la glène est donc réduite ce qui, selon la loi de Hertz, augmente la pression par unité de surface et peut donc expliquer l'érosion constatée sur le versant glénoïdien. C'est pourquoi, un implant d'HA classique avec une tête en PyC a été développé. L'hypothèse de départ était que ce design permettrait de tirer profit des propriétés biomécaniques du PyC et ainsi d'obtenir des résultats cliniques similaires aux PTA tout en préservant le stock osseux glénoïdien.

## REFERENCES

- [1] Xavier Bourrat, Jean-Marie Vallerot, Francis Langlais, Gérard L. Vignoles. La croissance des pyrocarbones. *L'Actualité Chimique*, Société chimique de France, 2006, 295-296, pp.1-5. hal-00092033.
- [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] Feng L, Andrade JD. Protein adsorption on low temperature isotropic carbon: V. How is it related to its blood compatibility? *Journal of biomaterials science Polymer edition*. 1995;7(5):439-52. Epub 1995/01/01.
- [4] Zinner G, Haubold AD, Behrend D, Schmitz KP. Complement activation by pyrolytic carbons. *Trans ASAIO*. 1999;45:482.
- [5] Hassler M. Other commonly used biomedical coatings : pyrolytic carbon coatings. In: M. ID, editor. *Coatings for biomedical applications*: Woodhead Publishing Limited; 2012. p. 75-105.
- [6] Ma L, Sines G. Fatigue of isotropic pyrolytic carbon used in mechanical heart valves. *The Journal of heart valve disease*. 1996 Jun;5 Suppl 1:S59-64.
- [7] Ritchie RO, Dauskardt RH, Yu WK, Brendzel AM. Cyclic fatigue- crack propagation, stress-corrosion, and fracture-toughness behavior in pyrolytic carbon-coated graphite for prosthetic heart valve applications. *J Biomed Mater Res*. 1990 Feb;24(2):189-206.
- [8] Cao H. Mechanical performance of pyrolytic carbon in prosthetic heart valve applications. *The Journal of heart valve disease*. 1996 Jun;5 Suppl 1:S32-49.
- [9] More RB, Haubold AD. Surface chemistry and surface roughness of clinical pyrocarbons. *Cells and Materials*. 1996;6:273-9.
- [10] Shim HS and Schoen FJ (1974), 'The wear resistance of pure and silicon alloyed isotropic carbons', *Biomat. Med. Dev. Art. Org.*, 2, 103–118. Shim HS (1977), 'The wear of titanium, titanium alloy, and UHMW polyethylene caused by LTI carbon and satellite 21', *J. Bioeng.*, 1, 223–229.
- [11] More RB and Silver MD (1990), 'Pyrolytic carbon prosthetic heart valve occluder wear: in vivo vs. in vitro results for the Bjork-Shiley prosthesis', *J. Appl. Biomat.*, 1, 267–278.
- [12] Hassler M, Ranc R, Carle S, Moutet F (1996), 'Intérêt du pyrocarbone dans la réalisation d'implants articulaires'. *Actualités en Biomatériaux*, Romillat Ed, Vol III, 105.
- [13] Moutet F, Guinard D, Gerard P, De Soras X, Ranc R, Moreau C (1994), *Ann. Chir. Main*, 13, No. 5, 345–353.
- [14] Vitale MA, Taylor F, Ross M, Moran SL. Trapezium prosthetic arthroplasty (silicone, Artelon, metal, and pyrocarbon). *Hand Clin*. 2013;29(1):37–55. doi:10.1016/j.hcl.2012.08.020.
- [15] Gale LR, Coller R, Hargreaves DJ, Hills BA, Crawford R (2007), 'The role of SALP as a boundary lubricant in prosthetic joints', *Tribology International*, 40:601–606.
- [16] Pawlak Z, Urbaniak W, Kałdoński T, Oloyed A. Importance of bearing porosity in engineering and natural lubrication. *Biomaterials and medical tribology: Research and development*. 2013. doi:10.1533/9780857092205.311.

- [17] Klawitter, Jerome & Patton, Jason & More, Robert & Peter, Noel & Podnos, Evgeny & Ross, Mark. (2018). In vitro comparison of wear characteristics of PyroCarbon and metal on bone: Shoulder hemiarthroplasty. *Shoulder & Elbow*. 175857321879683. 10.1177/1758573218796837.
- [18] Hannoun A, Ouenzerfi G, Brizuela L, et al. Pyrocarbon versus cobalt-chromium in the context of spherical interposition implants: an in vitro study on cultured chondrocytes. *Eur Cell Mater*. 2019;37:1–15. Published 2019 Jan 7. doi:10.22203/eCM.v037a01.
- [19] Cook SD, Thomas KA, Kester MA. Wear characteristics of the canine acetabulum against different femoral prostheses. *J Bone Joint Surg Br*. 1989;71(2):189–197.
- [20] Salkeld SL, Patron LP, Lien JC, Cook SD, Jones DG. Biological and functional evaluation of a novel pyrolytic carbon implant for the treatment of focal osteochondral defects in the medial femoral condyle: assessment in a canine model. *J Orthop Surg Res*. 2016;11(1):155. Published 2016 Dec 1. doi:10.1186/s13018-016-0488-5.
- [21] 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*. 1998;41(4):534–540.
- [22] Pequignot JP, Allieu Y (2010), 'Pyrocarbon proximal scaphoid implant allowing adaptative mobility (APSI) in proximal scaphoid pseudarthrosis'. In press, 'The Scaphoid D. Slutsky and JF slade (Eds) 298–306.
- [23] 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*. 1999;81(5):635–648. doi:10.2106/00004623-199905000-00005.
- [24] Pequignot JP, Lussiez B, Allieu Y. Implant adaptatif du scaphoïde proximal [A adaptive proximal scaphoid implant]. *Chir Main*. 2000;19(5):276–285. doi:10.1016/s1297-3203(00)73492-5.
- [25] Poumellec MA, Camuzard O, Pequignot JP, Dreant N. Adaptive Proximal Scaphoid Implant: Indications and Long-Term Results. *J Wrist Surg*. 2019;8(4):344–350. doi:10.1055/s-0039-1681034.
- [26] Lamas C, Castellanos J, Proubasta I, Dominguez E. Comminuted radial head fractures treated with pyrocarbon prosthetic replacement. *Hand (N Y)*. 2011;6(1):27–33. doi:10.1007/s11552-010-9282-8.
- [27] Ricón FJ, Sánchez P, Lajara F, Galán A, Lozano JA, Guerado E. Result of a pyrocarbon prosthesis after comminuted and unreconstructable radial head fractures. *J Shoulder Elbow Surg*. 2012;21(1):82–91. doi:10.1016/j.jse.2011.01.032.
- [28] Sarris IK, Kyrkos MJ, Galanis NN, Papavasiliou KA, Sayegh FE, Kapetanos GA. Radial head replacement with the MoPyC pyrocarbon prosthesis. *J Shoulder Elbow Surg*. 2012;21(9):1222–1228. doi:10.1016/j.jse.2011.12.004.
- [30] Barret H, Gauci MO, Langlais T, van der Meijden O, Tran L, Boileau P. Pyrocarbon interposition shoulder arthroplasty in young arthritic patients: a prospective observational study. *J Shoulder Elbow Surg*. 2020;29(1):e1–e10. doi:10.1016/j.jse.2019.05.044.

### III - Etude des résultats radio-cliniques des hémiarthroplasties d'épaule avec implants en pyrocarbone

#### A - Matériels et méthodes

##### 1. Type d'étude

Nous avons conduit une étude monocentrique, observationnelle, rétrospective d'une cohorte de patients ayant bénéficié d'une hémiarthroplastie (HA) d'épaule avec calotte humérale en pyrocarbone (PyC) (Tornier SAS, Montbonnot, France) de janvier 2014 à décembre 2017. Les patients étaient informés en préopératoire du caractère innovateur de cet implant et ont donné leur consentement pour le recueil et l'exploitation de leurs données. Nous avons inclus les patients traités pour omarthrose primaire et secondaire à l'exception des séquelles de fracture. Les arthroses séquellaires de traumatisme (avec ou sans ostéonécrose de la tête humérale), les reprises chirurgicales, les patients non disponibles pour le suivi, ceux ayant des données préopératoires incomplètes et ceux n'ayant pas donné leur consentement n'étaient pas inclus.

##### 2. Protocole opératoire

Chaque intervention était planifiée en 3D grâce au logiciel Blueprint™ (Tornier SAS, Montbonnot, France). La planification permettait de prévoir le niveau de coupe, la taille de la calotte humérale, la taille de la tige à ne pas dépasser et la nécessité, ou non, d'excentrer la tête. L'intervention était réalisée en position demi-assise, sous anesthésie générale et locorégionale. Une voie delto-pectorale avec ténotomie du sous-scapulaire était réalisée. Celui-ci était suturé au fil non résorbable de gros calibre en fin d'intervention. Chez les patients jeunes, le tendon de la longue portion du biceps était ténodésé. Dans les autres cas, une ténotomie était réalisée. Après exposition, la coupe humérale était réalisée à la scie oscillante puis le fût huméral était préparé et la taille de la tige adéquate choisie. Un complément de fraisage était réalisé. La taille de la tête était décidée à l'aide de la tête originelle. Aucun fraisage de la glène n'a été réalisé. Des microperforations de Pridie étaient réalisées de façon systématique, à l'exception des premiers cas. Un release péri-glénoïdien était réalisé systématiquement. Aucune tige humérale n'a été cimentée. Il s'agissait de tiges convertibles Aequalis Ascend™ Flex courtes (Tornier SAS, Montbonnot, France) disponibles en trois angles anatomiques (127.5°, 132.5° et 137.5°). Les tailles de calotte humérale Aequalis™ allaient de 39-14mm à 54-23mm avec différentes excentrations possibles (1.5, 3.5, 4 mm). On note que dans 2 cas, une ablation de vis de butée coracoïdienne a été nécessaire. Un drain était mis en place à la fermeture.

### 3. Rééducation

Une attelle de repos était prescrite de manière non stricte pendant un mois. La rééducation était débutée immédiatement avec comme restriction une rotation externe coude au corps limitée à 30° et une rotation interne active interdite le temps de la cicatrisation du tendon du sous-scapulaire.

### 4. Evaluation clinique et radiologique

Tous les patients inclus ont été revus en consultation pour un examen clinique au dernier recul. Un score de Constant était réalisé en pré et post-opératoire [1] (annexe 1). Le score de Constant pondéré était calculé. Au dernier recul, une échelle verbale simple permettait de classer le degré satisfaction globale en très satisfait, satisfait, insatisfait, très insatisfait.

L'évaluation radiologique initiale comprenait des radiographies de face 3 rotations et de profil, ainsi qu'un scanner permettant de classer la morphologie de la glène selon la classification de Walch [2] et de réaliser la planification. Au dernier recul, le même bilan radiologique était réalisé.

### 5. Analyse scanographique en deux dimensions (2D)

L'index de subluxation (ISL) de la tête humérale était mesuré en pré et postopératoire, selon la méthode utilisant la ligne passant par l'axe de la scapula [3]. La version de la glène préopératoire était également mesurée et le type de glène était classé selon la classification de Walch [2, 4]. Pour les glènes biconcaves, la glène intermédiaire était utilisée pour la mesure de la version [5]. Le plan anatomique décrit par Know et al. (centre de la glène, trigonum, point le plus inférieur de la scapula) [6] servait de référence. Les coupes axiales natives du scanner sont perpendiculaires au thorax mais non nécessairement à l'axe de la scapula. Le plan anatomique de la scapula était donc systématiquement déterminé avant de réaliser ces mesures afin que le plan des coupes axiales y soit orthogonal.

La qualité de la reconstruction humérale était évaluée sur les coupes frontales du scanner. Il a été montré que l'humérus proximal possède 3 repères osseux extra-articulaires invariants : la corticale latérale en dessous du relief du trochiter, le footprint de la coiffe des rotateurs sur le trochiter et le calcar médial au niveau du col anatomique [7]. A partir de ces 3 repères, un cercle peut être tracé afin de prédire le rayon et le centre de rotation de la tête humérale originelle. Cette méthode est utile en cas de collapsus de la tête humérale, ou bien, pour déterminer si une reconstruction prothétique restaure correctement l'anatomie du patient. Sur les scanners postopératoires, les plans de coupes étaient réorientés de façon à ce que le plan frontal passe par le grand axe médio-latéral de l'humérus proximal et que le plan sagittal passe par le grand axe cranio-caudal de la

diaphyse. Sur le scanner postopératoire, la coupe frontale médiane était sélectionnée afin de tracer 2 cercles : le premier cercle était tracé à partir des 3 repères invariants (cercle anatomique), et le deuxième correspondait à la courbure de l'implant en PyC (méthode du circle-fit). Un repère orthonormé en 2D était alors créé avec l'axe y correspondant à l'axe intramédullaire de la diaphyse humérale et l'axe x perpendiculaire à l'axe y. L'origine du repère était le centre du cercle anatomique (figure 1). Le rayon de chaque cercle et le déplacement du centre du cercle correspondant à la prothèse par rapport à celui du cercle anatomique étaient mesurés en millimètres. Les déviations médiales et supérieures étaient notées positives. Une déviation de plus de 3 mm du centre de rotation était considérée comme cliniquement significative. Cette déviation pouvait être attribuée à une taille de tête non appropriée (plus de 2 mm de différence de rayon entre les deux cercles), une position suspendue de la tige humérale ou une coupe inadaptée [8].



Figure 1 : cercle anatomique en rouge dont le centre constitue l'origine d'un repère orthonormé. Cercle correspondant à la surface de la calotte humérale en bleu



## 6. Analyse scanographique tridimensionnelle

Les scanners étaient réalisés en coupe inframillimétriques (625  $\mu\text{m}$  d'épaisseur). La résolution dans le plan axial était de 390  $\mu\text{m}$ . Une segmentation des scapulae pré et postopératoires était réalisée à partir des fichiers DICOM des scanners grâce au logiciel Mimics (v. 22.0, Materialize, Leuven, Belgium). Bryce et al. avaient validé cet outil afin de reconstruire en trois dimensions (3D) des scapulae [9]. Après avoir sélectionné un seuil d'unité Hounsfield correspondant à la densité de l'os, des outils de segmentation automatiques et manuels étaient utilisés afin de reconstruire la scapula. Au niveau de la glène, la segmentation était effectuée manuellement, pixel par pixel, afin d'obtenir une reconstruction la plus fine possible. Les scapulae étaient exportées sous forme de fichier STL vers le logiciel de conception assistée par ordinateur 3-matic (v. 14.0, Materialize, Leuven, Belgium). Pour chaque patient, les scapulae pré et postopératoire étaient rapprochées dans l'espace manuellement, puis recalées automatiquement grâce à un algorithme ICP (Iterative Closest Points) [10]. L'algorithme ICP attribuait, de manière itérative, des correspondances entre les points de la source (reconstruction préopératoire) et les points de la cible (reconstruction postopératoire), et minimisait la distance entre les points de chaque paire créée à chaque itération. La précision de recalage des deux objets était comprise entre 200 et 300  $\mu\text{m}$ . Les distances entre la surface de la scapula préopératoire, qui était définie comme la référence, et la surface de la scapula postopératoire, étaient ensuite calculées. Une première analyse était réalisée sur l'omoplate entière afin de vérifier que la répartition des distances suivait une loi normale centrée sur zéro. Une seconde analyse était réalisée sur la région d'intérêt uniquement. La surface articulaire glénoïdienne était sélectionnée manuellement sur une scapula, puis le bord de la zone d'intérêt était déterminé et exporté sur la deuxième scapula (figure 2). Les deux surfaces glénoïdiennes ainsi délimitées étaient ensuite isolées afin de réaliser l'analyse de distance. La glène postopératoire était comparée à la glène préopératoire qui constituait la référence. Les résultats étaient donnés en millimètres. Une distance positive indique donc une création de matière et une distance négative indique une perte de matière. Pour illustrer la distribution des déformations au niveau de la glène, la scapula était segmentée selon une échelle de couleurs centrée sur la médiane des distances. Les zones vertes correspondaient aux distances proches de la médiane. Les valeurs inférieures au premier décile étaient représentées en bleu. Les valeurs supérieures au neuvième décile étaient représentées en rouge. En résumé, les zones vertes correspondent aux zones de moindre déformation, les zones rouges aux zones de création de matière et les zones bleues aux zones de perte de matière.

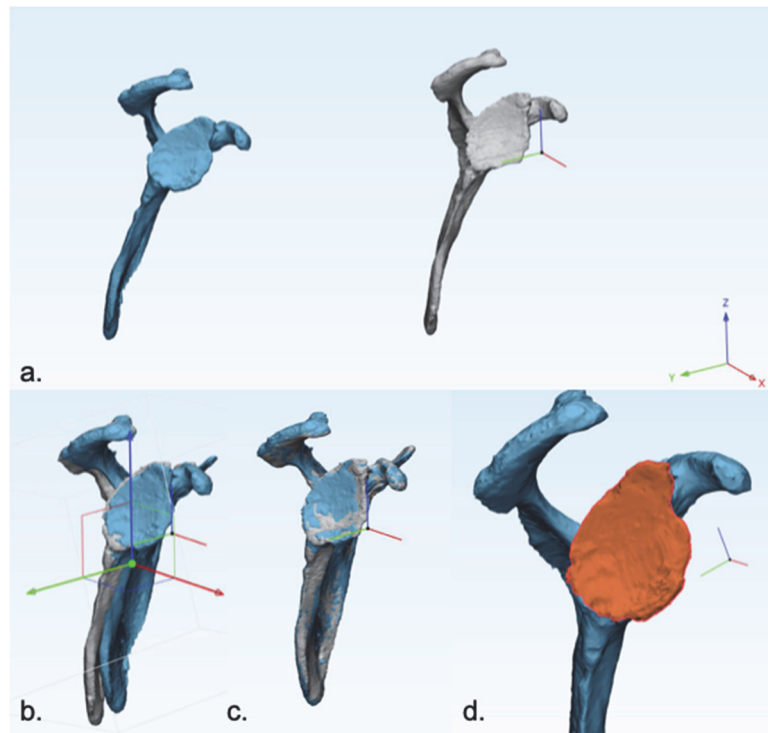


Figure 2 : a. importation des 2 fichiers STL correspondant à la scapula préopératoire et à la scapula postopératoire b. rapprochement manuel des 2 scapulae c. recalage par ICP d. sélection de la surface glénoïdienne.

## 7. Analyses statistiques

Des statistiques descriptives ont été utilisées pour présenter les caractéristiques des patients. Les variables continues ont été décrites selon leur moyenne, leur écart-type ainsi que leurs extremums. Afin de faciliter la représentation de ces résultats, dans certains cas le choix a été fait de les exprimer sous formes de box-plots. Les variables catégorielles, quant à elles, ont été exprimées en terme de fréquences absolues et / ou de pourcentages.

Des tests des rangs signés de Wilcoxon ont été effectués sur les variables appariées non paramétriques. Si celles-ci étaient non appariées, des tests de Mann-Whitney étaient choisis. Dans le cas de variables paramétriques, des tests de Student ont été préférés. L'ensemble des analyses statistiques ont été effectuées grâce au langage R. Le seuil de significativité de l'ensemble des tests a été posé à 0.05.

## B - Résultats

### 1. Caractéristiques démographiques

De janvier 2014 à décembre 2017, 67 patients ont bénéficié d'une HA avec calotte humérale en PyC pour le traitement d'omarthroses primaires ou secondaires, à l'exception des séquelles de fractures. Parmi eux, 41 étaient disponibles pour le suivi et ont été inclus dans notre étude : soit un total de 43 HA. La série était composée de 21 femmes et 20 hommes d'âge moyen à la chirurgie  $63.8 \pm 8.3$  ans (min 40 ans, max 79 ans). Les patients ont été évalués à  $36.3 \pm 11.6$  mois en moyenne (min 24 mois, max 60 mois). Les caractéristiques démographiques des patients sont résumées dans le tableau 1. Les indications d'HA comprenaient 37 omarthroses primitives, 4 omarthroses secondaires à une instabilité et 2 ostéonécroses. Selon la classification de Walch [3], on retrouvait parmi les omarthroses primitives : 12 types A1, 4 types A2, 7 types B1, 11 types B2 et 3 types C.

	Nombre (%)
Age (ans)	63.8
≤ 60 ans	13 (31)
Sexe, femme/homme	21/20
Côté dominant	23 (53)
Score ASA	
ASA 1	11 (27)
ASA 2	27 (66)
ASA 3	3 (7)
Diabète	2 (5)
Tabac	4 (10)
Chirurgie antérieure	13 (30)
Ténotomie LPB isolée	4
Ténodèse LPB	1
Acromioplastie + ténotomie	3
Bankart	2
Butée Latarjet	3
Activité professionnelle	11 (27)
Travail non manuel	6
Travail manuel	2
Travail manuel lourd	3
Sport avant symptômes	24 (56)
Diagnostic	
Omarthrose primaire	37 (86)
Omarthrose post-instabilité	4 (9)
ON aseptique	2 (5)
Pridie	36 (84%)

Tableau 1 : Caractéristiques démographiques des 41 patients inclus dans notre étude (LPB = longue portion du biceps, ON = ostéonécrose)

## 2. Résultats cliniques

Le score de Constant a augmenté de  $46 \pm 10$  points en moyenne, passant d'une moyenne de  $34 \pm 7$  points (min 23, max 47) à  $80 \pm 10$  points (min 49.5, max 98). L'amélioration du score de Constant brut, pondéré, ainsi que de chacune de ses subdivisions était statistiquement significative (tableau 2). L'élévation antérieure active (EAA) préopératoire était de  $94 \pm 24^\circ$  (min  $40^\circ$ , max  $140^\circ$ ). L'abduction active (ABD) préopératoire était de  $60 \pm 21^\circ$  (min  $0^\circ$ , max  $90^\circ$ ). En postopératoire l'EAA moyenne s'élevait à  $162 \pm 19^\circ$  (min  $100^\circ$ , max  $180^\circ$ ) et l'ABD postopératoire moyenne à  $151 \pm 26^\circ$  (min  $100^\circ$ , max  $180^\circ$ ). Le gain d'amplitude moyen était de  $66 \pm 29^\circ$  en EAA et  $91 \pm 33^\circ$  en ABD. Les amplitudes articulaires ont significativement augmenté dans toutes les directions (tableau 3).

	Préopératoire (moyenne $\pm$ ET)	Postopératoire (moyenne $\pm$ ET)	Gain (moyenne $\pm$ ET)	p
Douleur (points/15)	$7.5 \pm 2$	$13.5 \pm 2$	$6 \pm 3$	$1.8 \times 10^{-8}$
Activité (points/20)	$9 \pm 2$	$19 \pm 1$	$11 \pm 2$	$1.5 \times 10^{-8}$
Mobilité (points/40)	$15 \pm 5$	$35 \pm 4$	$20 \pm 5$	$1.6 \times 10^{-8}$
Force (points/25)	$2 \pm 3$	$12 \pm 7$	$10 \pm 6$	$2.5 \times 10^{-8}$
Constant brut (points/100)	$34 \pm 7$	$80 \pm 10$	$46 \pm 10$	$1.7 \times 10^{-8}$
Constant pondéré (%)	$43 \pm 9$	$107 \pm 15$	$64 \pm 15$	$1.7 \times 10^{-8}$

Tableau 2 : Scores de Constant préopératoire, postopératoires et gain (moyenne  $\pm$  écart-type)

	Préopératoire (moyenne $\pm$ ET)	Postopératoire (moyenne $\pm$ ET)	Gain (moyenne $\pm$ ET)	p
EAA ( $^\circ$ )	$94 \pm 24$	$162 \pm 19$	$66 \pm 29$	$3 \times 10^{-7}$
ABD ( $^\circ$ )	$60 \pm 21$	$151 \pm 26$	$91 \pm 33$	$2.5 \times 10^{-7}$
RE (points/10)	$4 \pm 2.5$	$9.5 \pm 1$	$5 \pm 2.5$	$3.4 \times 10^{-7}$
RI (points/10)	$3 \pm 1.5$	$7.5 \pm 2$	$4 \pm 2$	$4.1 \times 10^{-7}$

Tableau 3 : Amplitudes articulaires préopératoire, postopératoire et gain en degrés ou points selon le score de Constant (moyenne  $\pm$  écart-type). EEA = élévation antérieure active, ABD = abduction, RE = rotation externe, RI = rotation interne

Neuf patients (22%) avaient oublié leur épaule et étaient très satisfaits, 27 (66%) étaient très satisfait de la chirurgie mais n'avaient pas une épaule oubliée et 4 (10%) étaient satisfaits. Une patiente (2%) n'était pas satisfaite de la chirurgie.

La moyenne du score de Constant postopératoire était significativement supérieure ( $p=0.006$ ) dans le groupe des moins de 60 ans (87.1 points) comparé aux plus de 60 ans (77 points). Cette différence disparaissait avec le score de Constant pondéré ( $p=0.78$ ). Le score de Constant postopératoire moyen dans le groupe glène B/C était de  $78.9\pm 10.3$  points contre  $81.1\pm 10.6$  points pour les autres étiologies. Nous n'avons pas retrouvé de différence statistiquement significative du Constant brut et pondéré chez les patients à glène B et C comparés aux autres ( $p=0.46$  et  $p=0.96$ ).

Tous les patients qui avaient une activité professionnelle avant l'intervention avaient repris le travail au dernier recul. Parmi les patients qui pratiquaient une activité sportive avant l'intervention, 23 (96%) avaient repris leur activité physique initiale.

### 3. Complications

Au total, 7 HA (16%) ont présenté des complications. Il n'y a eu aucune complication peropératoire ou postopératoire précoce. Une patiente a présenté une capsulite rétractile qui a été traitée avec succès par kinésithérapie. Au dernier recul, l'épaule était souple et ne présentait aucune séquelle. Cette patiente a bénéficié d'une HA en PyC sur l'épaule controlatérale quelques années après la première intervention. Six épaules (14%) présentaient au dernier recul un examen évoquant une tendinopathie du sus-épineux. Il n'y avait pas de signe clinique de rupture du sous-scapulaire (rotation externe passive augmentée, diminution élective de la force en rotation interne, instabilité). Deux cas ont été objectivés par une échographie retrouvant une tendinopathie rompue et une non rompue. Il s'agissait de femmes d'âge moyen de 66 ans (56 à 77ans). Le score de Constant moyen était de  $65\pm 11$  points (min 49.5 points, max 78 points) avec un score de douleur moyen à  $11\pm 3$  points. Les scores de mobilité étaient globalement conservés ( $31\pm 5$  points). Le score de Constant et ses différents paramètres, à l'exception de la mobilité, étaient significativement inférieurs à celui des patients ne présentant pas de tendinopathie (tableau 4). Les douleurs étaient, la plupart du temps, épisodiques et bien tolérées par les patientes puisque 5 d'entre elles restaient satisfaites (4) ou très satisfaites (1) du résultat. En revanche, la patiente présentant le score de Constant le plus bas (49.5 points, 72% pondéré) n'était pas satisfaite de l'intervention. Une échographie avait confirmé une tendinopathie non rompue du sus-épineux. Son score de douleur a diminué d'un point par rapport à l'état préopératoire. Les amplitudes articulaires étaient satisfaisantes (EEA 130°, ABD 140°, RE 6 points, RI 6 points).

Il n'y a eu aucune reprise chirurgicale. Tous les implants étaient en place au dernier recul. Les patients n'ayant pu participer à l'étude ont été contactés par téléphone : aucun ne s'était fait réopérer.

	Valeurs (moyenne ± ET)	p
Score de Constant (/100)	66 ± 11	<b>&lt;0.001</b>
- douleur (/15)	11 ± 3	<b>&lt;0.01</b>
- activité (/20)	8 ± 2	<b>0.002</b>
- mobilité (/40)	31 ± 5	0.06
- force (/25)	6 ± 4	<b>0.009</b>
Score de Constant pondéré (%)	93 ± 15	<b>0.02</b>

Tableau 4 : résultats cliniques postopératoires des patients présentant une tendinopathie du sus-épineux (test de Wilcoxon)

#### 4. Etude radiologique

Au total, 24 patients avaient un bilan radiologique complet. Une étude statistique a été réalisée afin de comparer ces patients et ceux n'ayant pas été inclus dans l'étude radiologique. Aucune différence significative n'a été retrouvée du point de vue de l'âge, du sexe, du type de glène, de la durée de suivi et des scores de Constant pré et postopératoire (tableau 5).

	Patients inclus dans l'étude radiologique (n=24)	Patients non inclus dans l'étude radiologique (n=17)	p
Sexe masculin	10	10	
Age (ans, moyenne ± ET)	62.9 ± 9.7	65.3 ± 6	0.68
Durée de suivi (mois, moyenne ± ET)	35.8 ± 10.6	36.4 ± 12.7	0.66
Constant préopératoire (points)	35 ± 7	33 ± 7	0.63
Constant postopératoire (points)	80 ± 12	80 ± 9	0.7
Diagnostic	OA primaire - A1 = 6 - A2 = 2 - B1 = 6 - B2 = 6 - C = 1 OA secondaire - ON = 1 - post-instabilité = 2	OA primaire - A1 = 6 - A2 = 2 - B1 = 1 - B2 = 5 - C = 2 OA secondaire - ON = 1 - post-instabilité = 2	0.42

Tableau 5 : Caractéristiques des patients entrant dans l'évaluation radiologique et de ceux étant exclus (OA = omarthrose), test statistique de Mann-Whitney (sexe, âge, durée de suivi, Constant) et test du  $\chi^2$  d'indépendance (diagnostic)

### Analyse 2D

La rétroversion glénoïdienne moyenne était de  $13.2 \pm 9.1^\circ$  (min  $0^\circ$ , max  $33^\circ$ ). L'ISL moyen préopératoire était  $0.63 \pm 0.09$  (min 0.45, max 0.74). En postopératoire, l'ISL moyen avait significativement diminué à  $0.52 \pm 0.05$  (min 0.45, max 0.63) ( $p=2 \times 10^{-4}$ ). Quinze patients avaient une subluxation postérieure de la tête humérale en préopératoire (ISL > 0.55). En postopératoire, 11 de ces patients (73%) avaient normalisé leur ISL et recentré leur tête (figure 3).

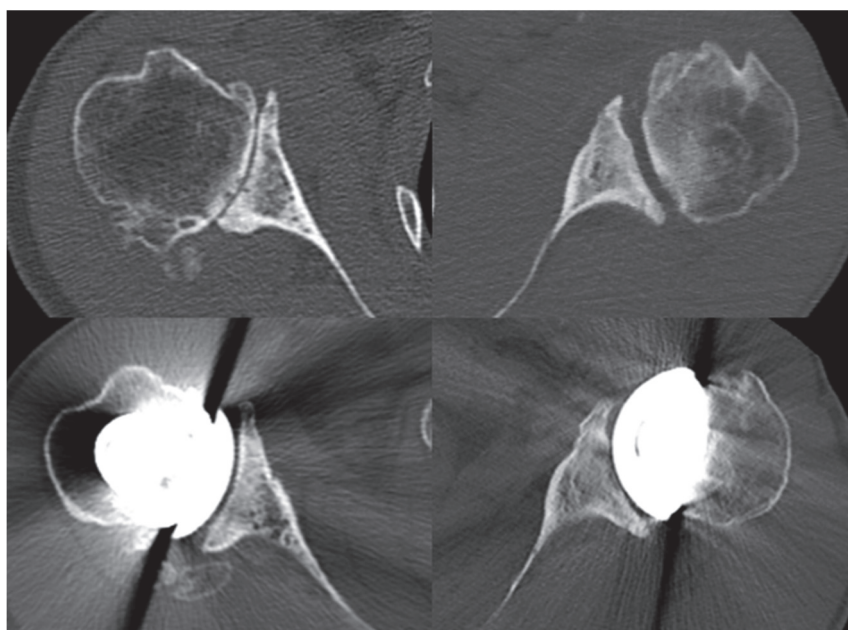


Figure 3 : Individu de gauche : ISL préopératoire = 0.63, ISL postopératoire = 0.50. Individu de droite : ISL préopératoire = 0.61, ISL postopératoire = 0.45.

Concernant l'analyse de la reconstruction humérale, la déviation moyenne de centre de rotation de la tête humérale était de  $2.8 \pm 1.1$  mm (min 1.1 mm, max 5.1 mm) (figure 4). Huit patients avaient une déviation du centre de rotation excessive (> 3mm) dans le sens supéro-médial. Les raisons de ces reconstructions non anatomiques étaient : un implant sur-taillé pour l'un d'entre eux, et une coupe inadéquate (insuffisante ou trop verticale) pour les 7 autres. Par ailleurs, 3 autres patients présentaient un implant de taille excessive sans que cela n'ait de conséquence sur le centre de rotation (figure 5). Ces 8 patients ne présentaient pas de complication au dernier recul.

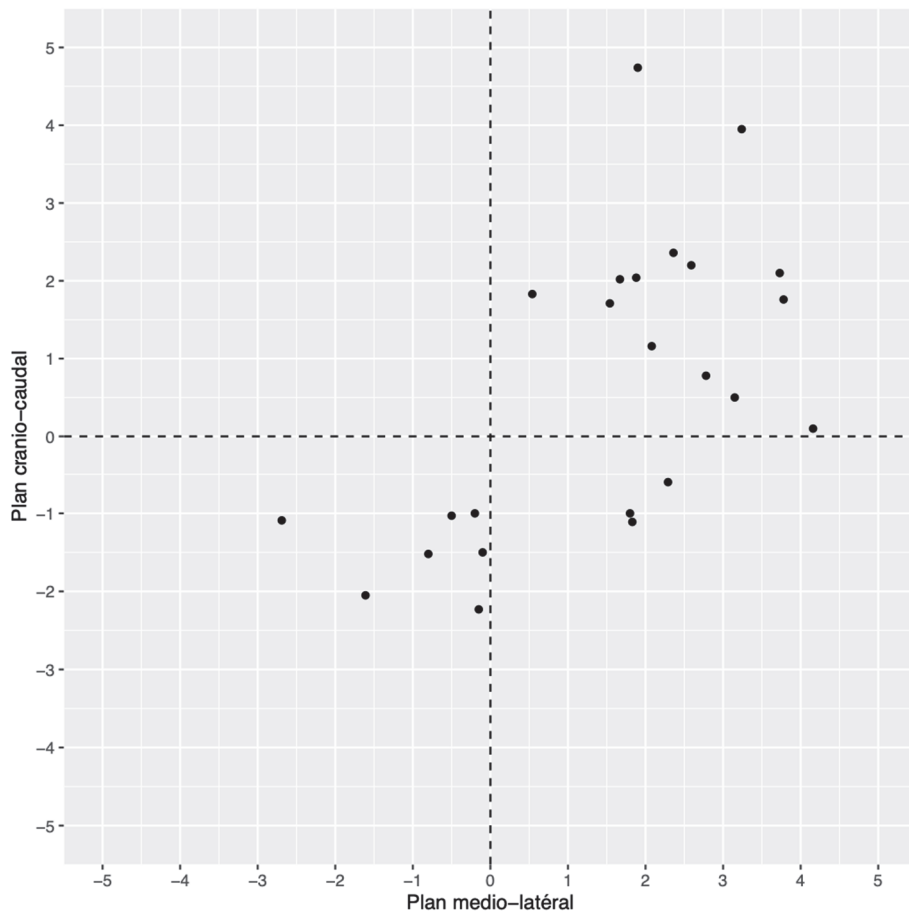


Figure 4 : déplacement du centre de rotation prothétique par rapport au centre de rotation anatomique (0, 0). x, plan médio-latéral. y, plan crânio-caudal. Echelle en millimètres.

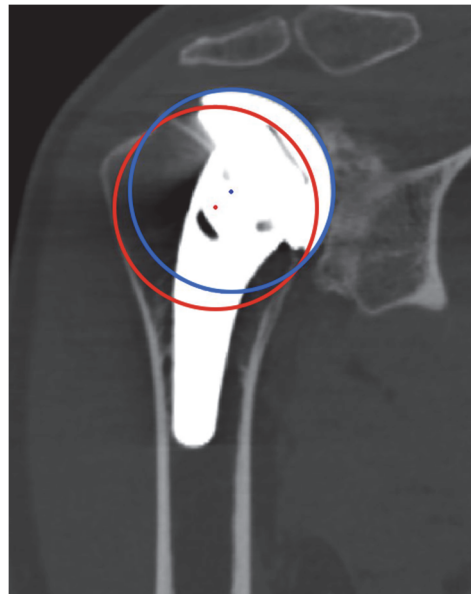


Figure 5 : exemple de reconstruction non anatomique avec une coupe humérale trop haute entraînant une médialisation et une ascension du centre de rotation (cercle anatomique en rouge, cercle correspondant à la prothèse en bleu)



### Analyse 3D

Les 24 individus sont notés de A à X sur les figures 6 et 7. L'individu C avait une moyenne des distances de  $1.48 \pm 1.39$  mm. Ces valeurs étaient significativement supérieures à celles des autres individus ( $p=2 \times 10^{-16}$ , test unilatéral de supériorité). L'individu C a donc été exclu des calculs statistiques afin de ne pas minimiser une éventuelle érosion osseuse. Ceci est expliqué par la mauvaise qualité du scanner préopératoire (arthroscanner) et par la présence d'une ossification aberrante antérieure à la glène ayant gêné la segmentation manuelle.

La moyenne globale des distances entre les scanners préopératoires et postopératoires était de  $-0.58 \pm 0.83$  mm (min  $-2.86$  mm, max  $0.75$  mm). La moyenne des valeurs minimales était de  $-3.16 \pm 1.83$  mm (min  $-8.75$  mm, max  $-1.2$  mm) ; celle des valeurs maximales de  $1.93 \pm 0.73$  mm (min  $1.13$  mm, max  $4.5$  mm). Les statistiques descriptives de ces valeurs sont représentées sur la figure 6.

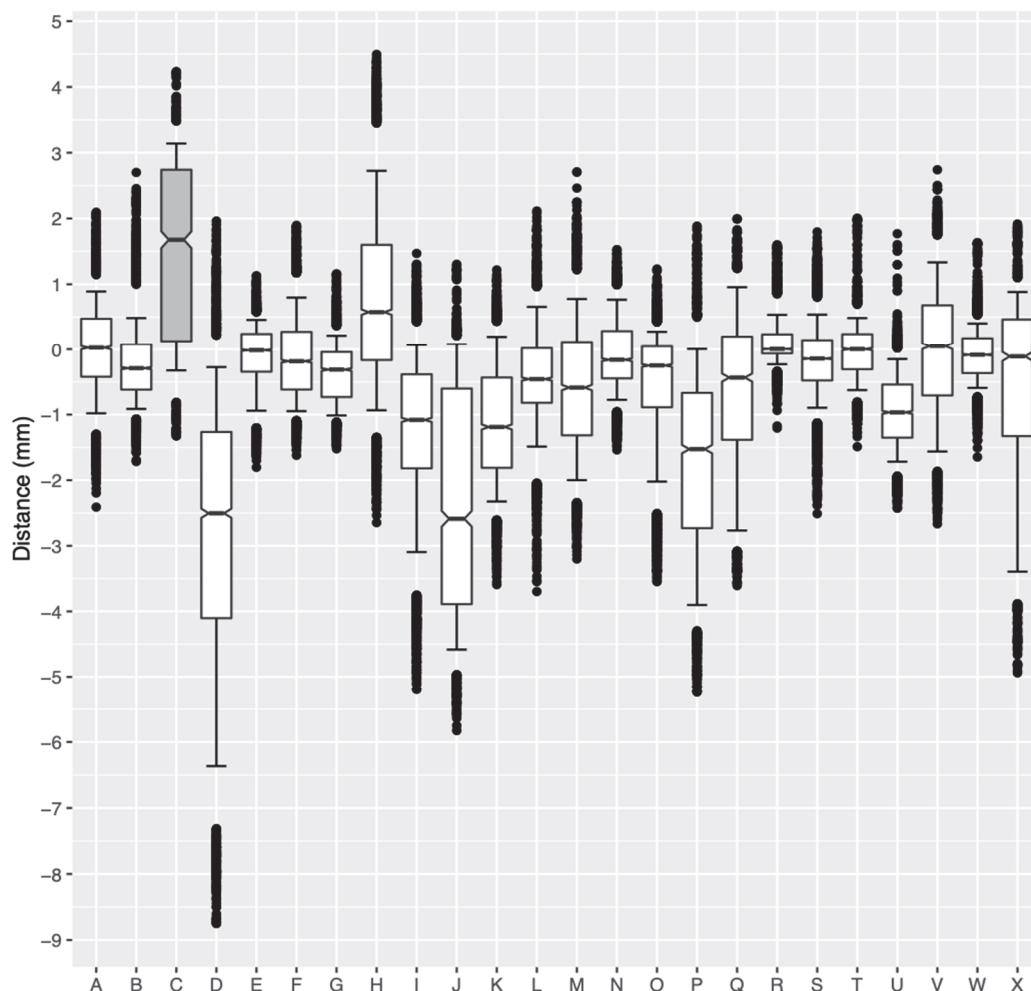


Figure 6 : box-plots représentant les distances entre la surface des glènes pré et postopératoire de chaque individu. Limite des boîtes = 1er et 3ème quartiles. Limites des segments à l'extérieur des boîtes = valeurs minimales et maximales. Points = outliers.

Les glènes postopératoires de chaque individu ont été représentées selon une échelle de couleurs (figure 7) avec les zones rouges correspondant aux valeurs supérieures au 9<sup>ème</sup> décile et les zones bleues aux valeurs inférieures au 1<sup>er</sup> décile. Les zones où les distances étaient les plus positives (en rouge) étaient situées à la périphérie de la surface de contact avec la calotte en PyC. Les zones où les distances étaient les plus négatives (en bleu) étaient situées en regard de la calotte humérale. La moyenne des distances était de  $-0.29 \pm 0.68$  mm pour les moins de 60 ans et de  $-0.71 \pm 0.87$  mm pour les plus de 60 ans. Cette différence n'était pas significative ( $p=0.22$ ). Les patients ayant corrigé leur subluxation postérieure de la tête humérale n'avaient pas une déformation significativement supérieure aux autres (respectivement  $-0.32 \pm 0.59$  mm et  $-0.73 \pm 0.91$  mm,  $p=0.53$ ). Il n'y avait pas non plus de différence en fonction du type de glène ( $p=0.75$ ) ou de l'ISL ( $p=0.6$ ). La différence entre les individus n'ayant pas une reconstruction prothétique anatomique et les autres était également non significative ( $p=0.92$ ).

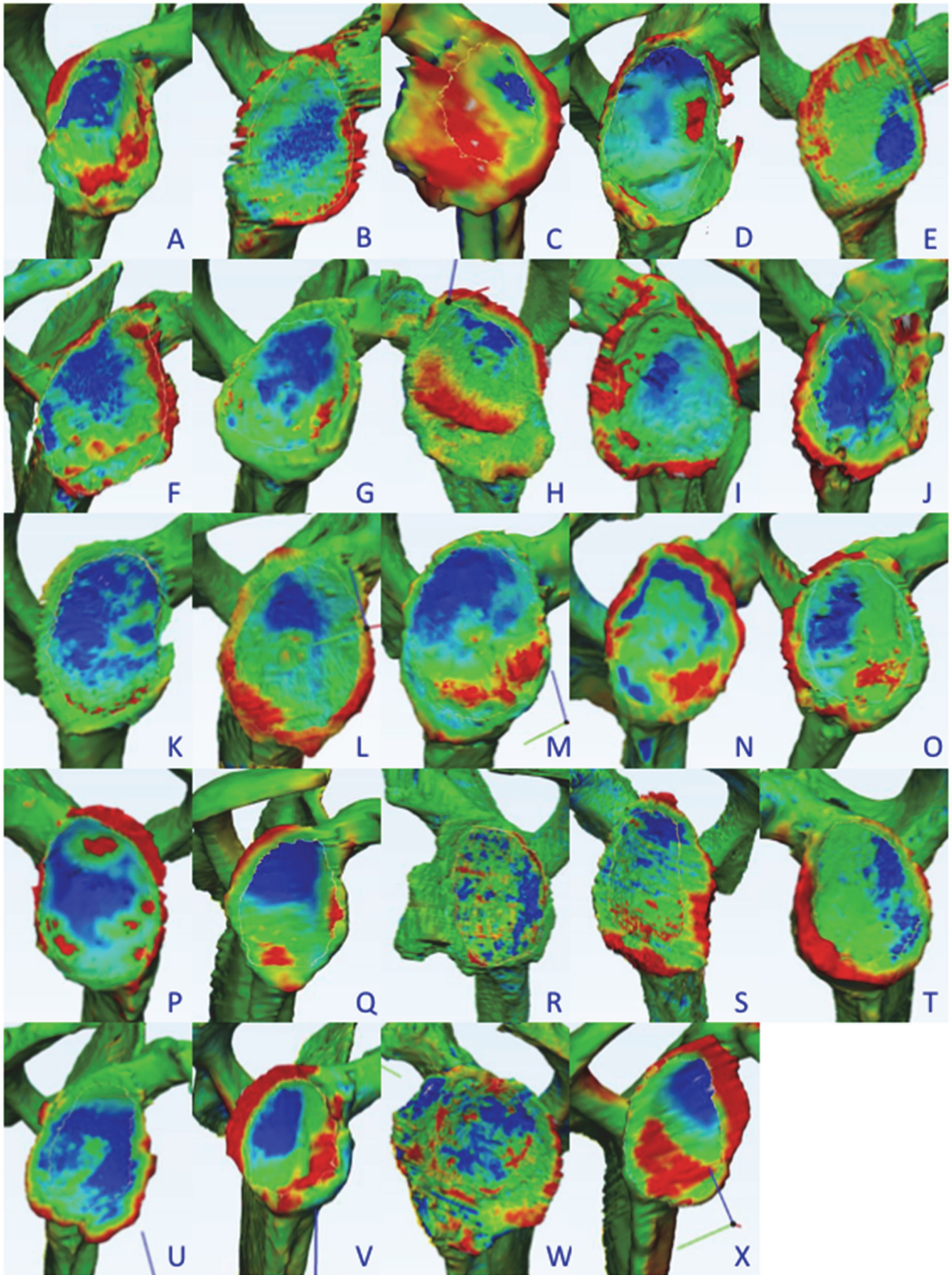


Figure 7 : Reconstructions 3D des glènes postopératoires des 24 individus. Représentation spatiale des distances entre la surface de la glène postopératoire comparée à la glène préopératoire. La couleur bleue correspond aux valeurs inférieures au premier quartile (distances les plus négatives = perte de substance). La couleur rouge correspond aux valeurs supérieures au troisième quartile (distances les plus positives = gain de substance).

L'individu avec la moyenne des distances la plus basse était l'individu D. La moyenne était de  $-2.86 \pm 2.19$  mm (min  $-8.75$  mm, max  $1.96$  mm). Il s'agissait d'une patiente de 77 ans au terrain ostéoporotique. L'indication de l'arthroplastie était une omarthrose primaire. En préopératoire, la glène était le siège de nombreuses géodes liées à l'arthrose (figure 8). L'importance de la déformation négative peut être expliquée par l'effondrement de ces géodes préexistantes au contact du PyC, plus résistant qu'un os porotique.

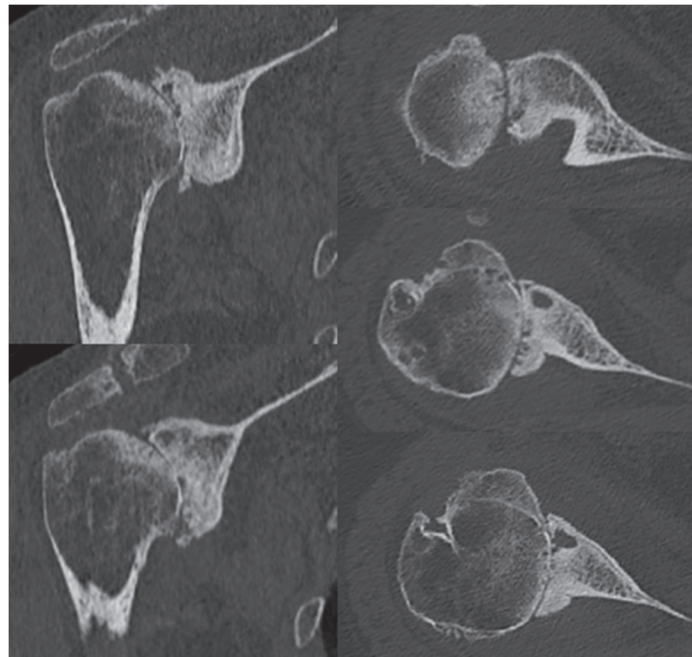


Figure 8 : coupes frontales (gauche) et axiales (droite) du scanner de l'individu D montrant une arthrose bipolaire avancée avec des géodes importantes sur le versant glénoïdien.



## C - Discussion

Notre étude rapporte les résultats radio-cliniques précoces des HA d'épaule avec implants en PyC à un recul moyen de 3 ans. Les arthroses post-traumatiques n'étaient pas incluses. Nos résultats mettent en évidence un soulagement de la douleur, une amélioration significative de la fonction et une satisfaction globale excellente des patients. La surface de la glène est le siège de modifications pouvant correspondre à un remodelage osseux ou à une progression de l'arthrose.

### 1. Résultats cliniques

Nous avons décidé de ne pas inclure dans notre étude les omarthroses post-traumatiques afin d'avoir une série homogène. En effet, les arthroplasties anatomiques réalisées dans le cadre de séquelles de fracture, qu'il s'agisse d'HA ou de prothèse totale (PTA), présentent des résultats inférieurs aux autres étiologies [11-13].

Le suivi a montré une amélioration significative de la douleur, des amplitudes articulaires et des scores fonctionnels. Les résultats à 2 ans de recul minimum présentés par Ohl et al. [14] pour des HA en métal dans le cadre d'ostéonécrose primitive ou d'omarthrose primaire montraient un score de Constant à  $64.4 \pm 19$  points. Dans un essai randomisé comparant HA et PTA, Lo et al. [15] retrouvaient à 2 ans de recul, un score de Constant à  $67.1 \pm 19.6$  points dans le groupe HA et  $70.8 \pm 17.2$  points dans le groupe PTA. La différence entre les deux n'était pas significative. Ces résultats se rapprochent de ceux retrouvés dans les PTA. Une méta-analyse publiée par Carter et al. [16] en 2012 a rassemblé les résultats de plus de 1500 PTA. Elle regroupait quasi exclusivement des omarthroses primaires à un recul moyen de 3.7 ans, soit légèrement supérieur à celui de notre série. Le score de Constant moyen était de 70 points en postopératoire. A court terme, les résultats fonctionnels de notre série semblent être équivalents voir meilleurs que ceux des PTA, avec un score de Constant moyen de  $80 \pm 10$  points. Ce résultat est bien sûr à mettre en perspective avec le recul de notre étude car, à court terme, les résultats des HA en métal et des PTA sont similaires [15]. La série de Garret et al. [17] est à ce jour la seule série publiée évaluant le même implant en PyC. Ils retrouvent un score de Constant moyen postopératoire légèrement inférieur au notre ( $75 \pm 17$  points) à un recul moyen plus court ( $26 \pm 3$  mois).

Cela est expliqué par l'hétérogénéité des diagnostics initiaux, avec notamment des omarthroses séquellaires de fractures. Le groupe d'omarthrose post-traumatique présentait des résultats inférieurs aux autres groupes. Leurs résultats cliniques sont comparables aux nôtres si l'on s'intéresse uniquement aux arthroses primitives.

De plus, de la même manière que dans notre série, les glènes de type B n'avaient pas de résultats inférieurs aux autres. Nous avons retrouvé un score de Constant postopératoire moyen de  $78.9 \pm 10.3$  points dans le groupe de glènes de type B et C. Ces bons résultats cliniques sont surprenants au vu de la littérature [18, 19] et sont encourageants pour la prise en charge de ce type de glène.

Les amplitudes articulaires obtenues en postopératoire étaient excellentes : EAA  $162 \pm 19^\circ$  et ABD  $151 \pm 26^\circ$  (gain de  $66 \pm 29^\circ$  et  $91 \pm 33^\circ$  respectivement). La méta-analyse d'essais randomisés comparant les résultats des HA versus PTA publiée par Bryant et al. [20] retrouvait un gain d'EAA de  $43^\circ$  pour les PTA et  $31^\circ$  pour les HA à 2 ans. Les études entrant dans cette méta-analyse avaient des séries plus hétérogènes que la nôtre ce qui peut, en partie, expliquer cette différence. Un suivi de nos patients à moyen et long terme ainsi qu'une étude comparative seraient nécessaires pour prouver que les HA en PyC permettent une meilleure récupération fonctionnelle que les PTA.

Subjectivement, les patients étaient très satisfaits (88%) ou satisfaits (10%) de la chirurgie. La littérature retrouve des taux de satisfaction à court terme similaires pour les PTA et les HA [14, 21]. Les scores de satisfaction des HA et des PTA sont similaires à court terme [15]. Dans notre série, une seule patiente n'était pas satisfaite. Le score de Constant avait été amélioré, passant de 25/100 en préopératoire à 49.5/100 points en postopératoire. L'EAA et l'ABD étaient passées de  $60^\circ$  et  $30^\circ$  à  $130^\circ$  et  $140^\circ$  respectivement. Malgré cela, le résultat subjectif demeurait mauvais car, à cause d'une tendinopathie du sus-épineux, le deuxième objectif principal de l'arthroplastie n'avait pas été rempli : la douleur de la patiente n'avait pas été soulagée par l'intervention avec un score inférieur en postopératoire (8/15 points) par rapport à l'état initial (9/15 points).

Enfin, le taux de reprise du travail et de retour au sport était excellent dans notre étude, ce qui laisse à penser que cet implant serait adapté à une population jeune et active.

## 2. Complications

Les complications retrouvées n'étaient pas celles attendues. En effet, 6 patients ont présenté une tendinopathie du sus-épineux étant responsable d'une diminution significative du score fonctionnel. Ces patients présentaient une reconstruction anatomique de l'humérus proximal. Une surtension de la coiffe des rotateurs ne semble donc pas être en cause (overstuffing). Nous supposons que cette complication est liée à une usure préopératoire des tendons de la coiffe des rotateurs, de par le terrain des patients concernés (âge, sursollicitation). Cette complication des HA est connue, mais le taux retrouvé dans notre série est supérieur aux valeurs de la littérature. Dans la série de Garret et al. [17], 1 patient sur 61 a dû être repris chirurgicalement pour des douleurs de

coiffe. Dans la littérature, le taux de tendinopathie de la coiffe des rotateurs compliquant les HA en métal va de 1% à 14% [15, 22-24]. Les tendinopathies de la coiffe des rotateurs sont également une complication connue des PTA avec une prévalence de 2% [25].

Les HA en PyC de Garret et al. [17] avaient une survie de 95.3% à 2 ans. Une HA en PyC avait été reprise pour rupture de la coiffe des rotateurs et deux autres pour douleurs de glène persistante. Dans notre série, tous les implants étaient en place au dernier recul. Le taux de survie du groupe HA en métal à deux ans était de 96% pour Gartsman et al. [26]. Lo et al. avaient un taux de survie à 90 % au même recul pour le même type d'implant [15]. Le PyC peut être responsable des résultats supérieurs de notre série. Cependant, nous savons que le taux des reprises des arthroplasties augmente avec le temps [27]. Nous ne pouvons donc pas tirer de conclusion définitive.

### 3. Mesure de la modification de la surface glénoïdienne

Jusqu'à présent, la plupart des publications étudiant l'érosion glénoïdienne dans les HA utilisait une échelle subjective allant du grade 1 à 4 (pas d'érosion, érosion légère, modérée, sévère) [28], lue sur des radiographies standard. La méthode présentée par Parsons et al. [29] est une mesure objective utilisant un stylo de modélisation 3D sur des radiographies de face. Cependant, même si les clichés radiographiques sont réalisés avec des critères de qualité stricte, leur utilisation reste moins précise qu'un scanner. Merolla et al. [30] ont publié une méthode de mesure scanographique d'érosion glénoïdienne en deux dimensions qui s'attache à mesurer l'interligne articulaire sur une coupe au milieu de la glène. Cette méthode ne permet pas d'avoir une analyse globale de la surface glénoïdienne. De plus, l'interligne préopératoire n'était pas mesuré afin de mettre en évidence un éventuel rétrécissement. Toutes ces méthodes ne permettent qu'une interprétation, à partir d'une évaluation qualitative, de la structure 3D complexe de la glène. La méthode utilisée dans notre étude est, au contraire, une mesure directe, objective et précise. C'est une méthode originale qui n'a, à notre connaissance, jamais été utilisée dans le domaine de l'orthopédie. Elle permet de mettre en évidence des modifications de la surface glénoïdienne de manière bien plus fine qu'une analyse radiographique. La précision des valeurs est à mettre en perspective avec la précision du scanner (résolution verticale 650  $\mu\text{m}$ , résolution horizontale 390  $\mu\text{m}$ ) et celle du recalage des objets (200 à 300  $\mu\text{m}$ ). La segmentation crée également un bruit qui n'est, quant à lui, pas quantifiable.

La sélection de la surface glénoïdienne à analyser été faite manuellement pour deux raisons. Premièrement, il n'existe pas de méthode standardisée pour sélectionner la glène car les variabilités interindividuelles morphologiques de la scapula rendent difficile l'utilisation d'une technique

reproductible d'un individu à un autre. Ainsi, lorsque Knowles et al. [31] avaient étudié le profil d'usure des glènes B2, les glènes avaient été coupées manuellement. La deuxième raison est que la sélection manuelle permet de ne pas inclure dans l'analyse les zones périphériques de la glène lorsqu'elles étaient le siège d'un artéfact métallique important lié à la présence de la prothèse. Dans le but de ne pas minimiser une éventuelle perte de matière en prenant en compte des zones aux distances très positives, les régions très artéfactées n'étaient pas sélectionnées pour l'analyse de la déformation de la surface glénoïdienne. Afin d'identifier et de quantifier l'impact des calottes en PyC sur la glène de nos individus, il aurait été possible d'utiliser des comparaisons volumiques. Cependant, dans notre étude, l'exploitation de telles comparaisons est limitée par plusieurs facteurs. Premièrement, certaines glènes présentent des trous dans leur reconstruction 3D (géodes) limitant et modifiant fortement le calcul des volumes de nos objets. Deuxièmement, les erreurs induites afin d'obtenir nos glènes en 3D brisent nos reconstructions (résolution du scanner, segmentation, recalage). Ces bruits, bien qu'infimes à petite échelle, se cumulent sur l'ensemble de nos objets et tendent à multiplier de manière infinie le volume de ces objets. Nos glènes reconstruites s'approchent donc d'objets fractals dont l'irrégularité rend caduque l'utilisation de termes géométriques traditionnels tel que le volume (e.g. courbe de Von Koch). De plus, l'absence de méthode standardisée pour découper les glènes rend impossible la comparaison interindividuelle de volume. Enfin, l'association d'une création et d'une destruction de matière apparaîtrait comme nulle si l'on s'intéresse au volume. Les distances ont l'avantage d'être vectorisées (positives ou négatives) et de pouvoir être rattachées à une information spatiale.

#### 4. Résultats radiologiques

Nous avons trouvé que, parmi les individus ayant eu une analyse radiologique, 33.3% n'avaient pas une restauration optimale de l'anatomie de l'humérus proximal. Lorsqu'il était dévié, le centre de rotation était médialisé dans tous les cas. Cette médialisation peut conduire à un « overstuffing » de l'articulation, source de complications telles que l'érosion glénoïdienne ou les ruptures de la coiffe des rotateurs. Cependant, la majorité de ces déviations était modérée et aucune n'a eu de conséquence clinique. Alolabi et al. [8], qui avaient également comparé la qualité des reconstructions humérales d'arthroplasties anatomiques, avaient retrouvé un taux similaire de déviation du centre de rotation (31,2%).

Le constat le plus intéressant de l'analyse en 2D est le recentrage antéro-postérieur de la tête humérale. En effet, sur les 15 individus qui présentaient initialement une subluxation postérieure



de la tête humérale, 11 ont corrigé leur ISL au dernier recul. Nous rappelons qu'aucun fraisage de la glène n'a été réalisé. Cette constatation avait déjà été faite par Garret et al. [17]. Deux hypothèses avaient alors été émises. La première hypothèse était que la calotte humérale en PyC permet la restauration d'un mouvement de translation antéro-postérieur grâce, notamment, à ses propriétés chimiques de surface avec l'adsorption de phospholipides formant une couche lubrifiante [32-34]. La seconde hypothèse était que l'implant de PyC entraînait un remodelage osseux de la paléo-glène : celle-ci ayant une densité moindre par rapport à celle de la néo-glène [35]. Si la deuxième hypothèse est vraie, alors le recentrage de la tête devrait être associé à une perte de substance plus importante qui se traduirait sur notre analyse par des distances négatives plus importantes lorsqu'on compare la glène postopératoire à la glène préopératoire. Cette hypothèse n'a pas pu être vérifiée par l'analyse de la déformation de la surface glénoïdienne. En effet, nous n'avons pas retrouvé de distances significativement différentes entre les individus ayant corrigé leur subluxation postérieure et les autres. La moyenne des distances des individus ayant recentré leur tête humérale était de  $-0.32 \pm 0.59$  mm. Celle des autres individus était de  $-0.73 \pm 0.91$  (p=0.53). Le recentrage de la tête humérale ne semble donc pas associé à un endommagement majoré de la glène, ce qui favorise l'hypothèse selon laquelle ce phénomène serait lié aux propriétés tribologiques du PyC. Globalement, la moyenne des distances était négative ( $-0.58 \pm 0.83$  mm), c'est à dire qu'il y avait moins de substance osseuse en postopératoire, ce qui peut correspondre à une usure de la glène par la prothèse. A un recul moyen de 3 ans, ce chiffre ne paraît pas excessif ; il est inférieur aux études en deux dimensions qui étaient en faveur d'un endommagement de la glène de 1mm par an avec des HA en métal [14, 29].

La moyenne des distances des plus de 60 ans était plus négative que celle des patients plus jeunes, sans pour autant être significative (p=0.22). Il est possible que cela dénote une tendance à l'érosion supérieure chez les personnes âgées qui n'a pas pu être démontrée par manque de recul ou de puissance.

La patiente présentant les pertes de substance les plus importantes (moyenne  $-2.86 \pm 2.29$  mm, max 1.96 mm, min -8.75 mm) était la patiente la plus âgée de l'étude (77 ans). En préopératoire, sa glène était le siège de géodes importantes, en rapport avec une arthrose avancée. Nous pensons que ces géodes se sont effondrées au contact du PyC qui possède vraisemblablement une résistance supérieure à un os porotique et fragilisé par la maladie arthrosique. Ce constat nous encourage à rester prudents quant aux indications d'HA en PyC chez les patients âgés, ostéoporotiques ou avec une glène endommagée. Cependant, il est intéressant de noter que chez les deux individus (D et J)

avec la perte de substance la plus importante, les résultats cliniques restaient excellents. Ce constat est en faveur d'un remodelage de la glène plus qu'une érosion telle qu'on l'observe dans les glénoïdites. Un suivi de ces patients dans le temps permettra de tester cette hypothèse. Une reconstruction humérale non anatomique n'était pas associée à une usure excessive de la glène. Nous supposons que les déviations du centre de rotation de l'humérus étaient trop petites pour avoir une influence sur l'usure de la glène, du moins à court terme.

L'analyse spatiale de la déformation de la surface glénoïdienne sous forme d'échelle de couleur permet de mettre en évidence des zones de perte de substance en regard de la prothèse et des zones de gain de substance à sa périphérie. On remarque que ces zones de création de substance ne correspondent pas toujours aux bords de la glène native mais viennent constituer un nouveau rebord, autour de là où la prothèse semble avoir trouvé sa place définitive. Cette constatation, est également en faveur d'un phénomène de remodelage osseux. Une fois implanté, le PyC est responsable d'une modification de la répartition des charges de part et d'autre de l'articulation. Il est supposé qu'un remodelage osseux se fait, jusqu'à un état d'équilibre. Cette hypothèse ne peut être affirmée par notre étude car le recul n'est pas suffisant. Il serait nécessaire de répéter les mesures sur les mêmes patients à moyen et long terme afin d'attribuer ce phénomène à un simple remodelage et non à une progression de l'arthrose.

##### 5. Forces et faiblesses de l'étude

La principale faiblesse de notre étude est son caractère observationnel. En effet, l'absence de groupe contrôle ne nous a pas permis de faire de comparaison directe avec des patients traités par PTA ou HA en métal. De plus, il s'agit d'une étude monocentrique, rétrospective et les mesures 2D ont été effectuées par un seul observateur.

Tous les patients n'avaient pas un dossier radiologique complet. Pour cette raison, seulement 59% des patients ont été inclus dans l'étude radiologique. Cependant, une étude de leurs caractéristiques cliniques n'a pas mis en évidence de différence entre les deux groupes.

Cette étude présente les résultats préliminaires d'HA avec calotte humérale en PyC. Si les résultats sont encourageants, aucune conclusion sur l'efficacité à long terme de ces implants ne peut être tirée car nous savons que les résultats cliniques et radiologiques des HA se dégradent avec le temps [20]. Le suivi des patients devra être poursuivi afin de confirmer nos résultats.

La complication principale recherchée était une érosion glénoïdienne et non une tendinopathie de la coiffe des rotateurs. Ainsi, nous n'avions pas prévu dans le protocole de l'étude d'étudier l'ascension de la tête.

Les forces de notre étude sont l'homogénéité de notre groupe de patients (les omarthroses séquellaires de fractures ayant été exclues) et l'intervention d'un seul opérateur. De plus, nos résultats radiologiques sont basés sur des méthodes objectives. Kwon et al. [6] avaient déjà montré une excellente précision de l'imagerie 3D pour mesurer les différentes caractéristiques de la glène. D'autre part, la figure 7 complète les statistiques descriptives en apportant une information spatiale qui permet de localiser les zones de plus grandes déformations. Enfin, même s'il s'agit d'une étude préliminaire avec un recul court, nos résultats participent à l'évaluation de la sécurité de cet implant.

#### D - Conclusion

Les HA avec calotte humérale en PyC permettent, à un recul moyen de 3 ans, un soulagement de la douleur, une récupération de la fonction de l'épaule et un retour aux activités professionnelles et physiques quels que soient l'âge et le type de glène. Ces résultats fonctionnels sont comparables à ceux des PTA dans la littérature.

Le développement d'une méthode de mesure précise et objective a permis de mettre en évidence que la surface glénoïdienne est le siège de modifications qui ne correspondent pas à une simple érosion mais peuvent entrer dans le cadre d'un remodelage osseux ou d'une progression de la maladie arthrosique. Par ailleurs, on ne retrouve pas d'usure majorée chez les sujets aux reculs les plus importants.

Enfin, nous avons retrouvé une tendance au recentrage de la tête dans le plan antéro-postérieur, sans érosion majorée de la glène, et associée à de très bons résultats cliniques.

Les implants d'HA en PyC donnent donc d'excellents résultats cliniques à court terme, sans érosion majeure de la glène. Ils pourraient être une solution dans les cas actuellement sujets à controverse (jeunes, glènes rétroversées, subluxation postérieure de la tête). Un suivi à moyen et long terme est nécessaire pour confirmer ces résultats.

## REFERENCES

- [1] Constant CR, Murley AH. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop*. 1987;(214):160-164.
- [2] Walch G, Badet R, Boulahia A, Khoury A. Morphologic study of the glenoid in primary glenohumeral osteoarthritis. *J Arthroplasty*. 1999;14(6):756–760. doi:10.1016/s0883-5403(99)90232-2.
- [3] Kidder JF, Rouleau DM, Pons-Villanueva J, Dynamidis S, DeFranco MJ, Walch G. Humeral head posterior subluxation on CT scan: validation and comparison of 2 methods of measurement. *Tech Should Surg* 2010;11:72-6. doi:10.1097/BTE.0b013e3181e5d742.
- [4] Bercik MJ, Kruse K 2nd, Yalozis M, Gauci MO, Chaoui J, Walch G. A modification to the Walch classification of the glenoid in primary glenohumeral osteoarthritis using three-dimensional imaging. *J Shoulder Elbow Surg*. 2016;25(10):1601–1606.
- [5] Rouleau DM, Kidder JF, Pons-Villanueva J, Dynamidis S, Defranco M, Walch G. Glenoid version: how to measure it? Validity of different methods in two-dimensional computed tomography scans. *J Shoulder Elbow Surg* 2010;19:1230-7. doi:10.1016/j.jse. 2010.01.027.
- [6] Kwon YW, Powell KA, Yum JK, Brems JJ, Iannotti JP. Use of three-dimensional computed tomography for the analysis of the glenoid anatomy. *J Shoulder Elbow Surg*. 2005;14(1):85-90. doi:10.1016/j.jse.2004.04.011.
- [7] Youderian AR, Ricchetti ET, Drews M, Iannotti JP. Determination of humeral head size in anatomic shoulder replacement for glenohumeral osteoarthritis. *J Shoulder Elbow Surg*. 2014;23(7):955–963. doi:10.1016/j.jse.2013.09.005.
- [8] Alolabi B, Youderian AR, Napolitano L, et al. Radiographic assessment of prosthetic humeral head size after anatomic shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. 2014;23(11):1740–1746. doi:10.1016/j.jse.2014.02.013.
- [9] Bryce CD, Pennypacker JL, Kulkarni N, et al. Validation of three-dimensional models of in situ scapulae. *J Shoulder Elbow Surg*. 2008;17(5):825–832. doi:10.1016/j.jse.2008.01.141.
- [10] P. J. Besl and N. D. McKay, "A method for registration of 3-D shapes," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, no. 2, pp. 239-256, Feb. 1992.
- [11] Boileau P, Trojani C, Walch G, Krishnan SG, Romeo A, Sinnerton R. Shoulder arthroplasty for the treatment of the sequelae of fractures of the proximal humerus. *J Shoulder Elbow Surg*. 2001;10(4):299–308. doi:10.1067/mse.2001.115985.
- [12] Mansat P, Guity MR, Bellumore Y, Mansat M. Shoulder arthroplasty for late sequelae of proximal humeral fractures. *J Shoulder Elbow Surg*. 2004;13(3):305–312. doi:10.1016/j.jse .2004.01.020.
- [13] Schoch BS, Barlow JD, Schleck C, Cofield RH, Sperling JW. Shoulder arthroplasty for post-traumatic osteonecrosis of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg*. 2016;25(3):406–412. doi:10.1016/j.jse.2015.08.041.
- [14] 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*. 2010;96(3):208–215. doi:10.1016/j.otsr.2010.01.001.

- [15] Lo IK, 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.* 2005;87(10):2178–2185.
- [16] Carter MJ, Mikuls TR, Nayak S, Fehringer EV, Michaud K. Impact of total shoulder arthroplasty on generic and shoulder-specific health-related quality-of-life measures: a systematic literature review and meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(17):e127.
- [17] Garret J, Harly E, Le Huec JC, Brunner U, Rotini R, Godenèche A. Pyrolytic carbon humeral head in hemi-shoulder arthroplasty: preliminary results at 2-year follow-up. *JSES Open Access.* 2018;3(1):37–42. Published 2018 Dec 24. doi:10.1016/j.jses.2018.09.002.
- [18] Levine WN, Fischer CR, Nguyen D, Flatow EL, Ahmad CS, Bigliani LU. Long-term follow-up of shoulder hemiarthroplasty for glenohumeral osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(22):e164. doi:10.2106/JBJS.K.00603.
- [19] Levine WN, Djurasovic M, Glasson JM, Pollock RG, Flatow EL, Bigliani LU. Hemiarthroplasty for glenohumeral osteoarthritis: results correlated to degree of glenoid wear. *J Shoulder Elbow Surg* 1997;6(5):449-54.
- [20] 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.* 2005;87(9):1947–1956. doi:10.2106/JBJS.D.02854.
- [21] Burroughs PL, Gearen PF, Petty WR, Wright TW. Shoulder arthroplasty in the young patient. *J Arthroplasty.* 2003;18(6):792–798. doi:10.1016/s0883-5403(03)00253-5.
- [22] Edwards TB, Kadakia NR, Boulahia A, Kempf JF, Boileau P, Nemoz C, Walch G. A comparison of hemiarthroplasty and total shoulder arthroplasty in the treatment of primary glenohumeral osteoarthritis: results of a multicenter study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2003 May-Jun;12(3):207-13.
- [23] Gonzalez JF, Alami GB, Baque F, Walch G, Boileau P: Complications of unconstrained shoulder prostheses. *J Shoulder Elbow Surg* 2011;20(4):666-682.
- [24] Aldinger, Peter & Raiss, Patric & Rickert, Markus & Loew, Markus. (2009). Complications in shoulder arthroplasty: An analysis of 485 cases. *International orthopaedics.* 34. 517-24. 10.1007/s00264-009-0780-7.
- [25] Wirth MA, Rockwood CA Jr. Complications of total shoulder-replacement arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78(4):603–616. doi:10.2106/00004623-199604000-00018.
- [26] 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.* 2000;82(1):26–34. doi:10.2106/00004623-200001000-00004.
- [27] 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. *Arthroscopy.* 2015;31(6):1156–1166.e8. doi:10.1016/j.arthro.2014.11.012
- [28] Sperling JW, Cofield RH, Schleck CD, Harmsen WS. Total shoulder arthroplasty versus hemiarthroplasty for rheumatoid arthritis of the shoulder: results of 303 consecutive cases. *J Shoulder Elbow Surg.* 2007;16(6):683–690. doi:10.1016/j.jse.2007.02.135

- [29] Parsons IM 4th, Millett PJ, Warner JJ. Glenoid wear after shoulder hemiarthroplasty: quantitative radiographic analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;(421):120–125. doi:10.1097/01.blo.0000119249.61696.f1.
- [30] Merolla G, Campi F, Paladini P, Cavagna E, Porcellini G. Multichannel computed tomography (MCCT) analysis of glenoid erosion in shoulder hemiarthroplasty: preliminary clinical applications. *Musculoskelet Surg.* 2010;94 Suppl 1:S71–S77. doi:10.1007/s12306-010-0059-6.
- [31] Knowles NK, Keener JD, Ferreira LM, Athwal GS. Quantification of the position, orientation, and surface area of bone loss in type B2 glenoids. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(4):503–510. doi:10.1016/j.jse.2014.08.021.
- [32] Vitale MA, Taylor F, Ross M, Moran SL. Trapezium prosthetic arthroplasty (silicone, Artelon, metal, and pyrocarbon). *Hand Clin.* 2013;29(1):37–55. doi:10.1016/j.hcl.2012.08.020.
- [33] Gale LR , Coller R , Hargreaves DJ , Hills BA, Crawford R (2007), ‘ The role of SALP as a boundary lubricant in prosthetic joints ’, *Tribology International*, 40:601–606.
- [34] Pawlak Z, Urbaniak W, Kałdoński T, Oloyed A. (2013). Importance of bearing porosity in engineering and natural lubrication. *Biomaterials and medical tribology: Research and development.* doi:10.1533/9780857092205.311.
- [35] Knowles NK, Athwal GS, Keener JD, Ferreira LM. Regional bone density variations in osteoarthritic glenoids: a comparison of symmetric to asymmetric (type B2) erosion patterns. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(3):425–432. doi:10.1016/j.jse.2014.07.004.

## ABREVIATIONS

PyC : pyrocarbone

HA : hémiarthroplastie

PTA : prothèse totale anatomique

2D : deux dimensions

3D : trois dimensions

# ANNEXE

## Score de Constant

D'après Constant CR, Murley AHG. *A clinical method of functional assessment of the shoulder.* Clin Orthop Relat Res 1987;(214):160-4. Traduction de M. Dougados, avec son aimable autorisation.

### ► Fiche de recueil des résultats

Nom :		Date :					
Prénom :		Médecin traitant :					
Date de naissance :		Médecin prescripteur :					
Date					Début	Milieu	Fin
<b>Douleur</b> (total sur 15 points)	A. Échelle verbale 0 = intolérable 5 = moyenne 10 = modérée 15 = aucune						
	B. Échelle algométrique Soustraire le chiffre obtenu du nombre 15						
	0 _____ 15 Absence de douleur _____ douleur sévère						
<b>Total</b>		<b>A + B / 2 (/15)</b>					
<b>Niveau d'activités quotidiennes</b> (total sur 10 points)	Activités professionnelles/ occupationnelles	travail impossible ou non repris gêne importante gêne moyenne gêne modérée aucune gêne	0 point 1 point 2 points 3 points 4 points				
	Activités de loisirs	impossible gêne importante gêne moyenne	0 point ; 1 point ; 2 points	gêne modérée aucune gêne	3 points 4 points		
	Gêne dans le sommeil exemple : aux changements de position	douleurs insomniantes gêne modérée aucune gêne	0 point 1 point 2 points				
<b>Niveau de travail avec la main</b> (total sur 10 points)	À quelle hauteur le patient peut-il utiliser sa main sans douleur et avec une force suffisante ?	taille xiphoïde	2 points ; 4 points ;	cou tête au dessus de la tête	6 points 8 points 10 points		
<b>Mobilité</b> (total sur 40 points)	Antéflexion (total / 10)	0°-30° 31°-60° 61°-90°	0 point 2 points 4 points	91°-120° 121°-150° >150°	6 points 8 points 10 points		
	Abduction (total / 10)	0°-30° 31°-60° 61°-90°	0 point 2 points 4 points	91°-120° 121°-150° < 150°	6 points 8 points 10 points		
	Rotation latérale (total / 10)	main derrière la tête, coude en avant main derrière la tête, coude en arrière main sur la tête, coude en avant main sur la tête, coude en arrière élévation complète depuis le sommet de la tête	2 points 4 points 6 points 8 points 10 points				
	Rotation médiale (total / 10)	dos de la main niveau fesse dos de la main niveau sacrum dos de la main niveau L3 dos de la main niveau T12 dos de la main niveau T7-T8	2 points 4 points 6 points 8 points 10 points				
<b>Force musculaire</b> (total sur 25 points)	Abduction isométrique (élévation antéro-latérale de 90° dans le plan de l'omoplate)	si 90° n'est pas atteint en actif si maintien de 5 s, par 500g	0 point 1 point				
<b>Total</b> (total sur 100 points)	Valeur absolue (en points/100)						
	Valeur pondérée (%)						

**Tableau 1 :** Valeur fonctionnelle normale de l'épaule selon l'indice de Constant en fonction de l'âge et du sexe.

Âge	Hommes			Femmes		
	Droit	Gauche	Moyenne	Droit	Gauche	Moyenne
21/30	97	99	98	98	96	97
31/40	97	90	93	90	91	90
41/50	86	96	92	85	78	80
51/60	94	87	90	75	71	73
61/70	83	83	83	70	61	70
71/80	76	73	75	71	64	69
81/90	70	61	66	65	64	64
91/100	60	54	56	58	50	52

## SERMENT D'HIPPOCRATE

« Au moment d'être admise 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 ses 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 les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçue 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'apporterai 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 sois déshonorée et méprisée si j'y manque. »





## Résumé

### Hémiarthroplasties d'épaule avec implants en pyrocarbone : résultats radio-cliniques à deux ans de recul minimum

Par Pauline MATHON

**Introduction :** Les hémiarthroplasties d'épaule en métal sont parfois préférées afin de préserver le stock osseux glénoïdien (sujets jeunes, perte de substance glénoïdienne postérieure, rétroversion). Cependant, l'érosion glénoïdienne est une complication fréquente, entraînant une altération des résultats fonctionnels et une nécessité de reprise chirurgicale. De par ses propriétés, nous supposons que le pyrocarbone, sous forme d'hémiarthroplastie, permet de préserver la surface glénoïdienne.

**Matériels et méthodes :** Nous avons réalisé une étude observationnelle, monocentrique, rétrospective, incluant les hémiarthroplasties en pyrocarbone réalisées de janvier 2014 à décembre 2017. Les omarthroses séquellaires de fractures étaient exclues. Aucun fraisage de la glène n'était réalisé. La durée de suivi minimale était de 2 ans. L'évaluation était clinique avec calcul du score de Constant et radiologique avec des radiographies et un scanner. Une étude des modifications de la surface glénoïdienne était réalisée par analyse 3D.

**Résultats :** Au total, 43 hémiarthroplasties en pyrocarbone ont été incluses. L'âge moyen à la chirurgie était de  $64 \pm 8$  ans. Le score de Constant moyen a augmenté significativement, passant de  $34 \pm 7$  à  $80 \pm 10$  points ( $p=1.7 \times 10^{-8}$ ). Les scores étaient comparables pour les glènes B et C par rapport au type A. Les sujets jeunes ( $<60$  ans) n'avaient pas de scores inférieurs. Nous avons retrouvé 16% de tendinopathies du sus-épineux, responsables d'une diminution significative du score fonctionnel. Au dernier recul, 98% des patients étaient satisfaits ou très satisfaits de l'intervention. Nous avons observé un recentrage de la tête humérale chez 73% des patients, avec une diminution significative de l'index de subluxation passé de 63% à 52% ( $p<0.001$ ). La perte de substance moyenne au niveau de la glène était de  $-0.58 \pm 0.83$  mm. A un recul moyen de  $36 \pm 12$  mois, le taux de survie de la prothèse était de 100%.

**Conclusion :** Les hémiarthroplasties en pyrocarbone assurent, à court terme, indolence et récupération de la fonction, sans érosion majeure de la glène. Les sujets jeunes et les glènes B et C n'avaient pas de résultats inférieurs. Les modifications de la surface glénoïdienne peuvent correspondre à un phénomène de remodelage ou à une progression de l'arthrose.

**Mots-clés :** omarthrose, arthroplastie d'épaule, hémiarthroplastie, pyrocarbone, érosion glénoïdienne, subluxation postérieure, rétroversion glénoïdienne, analyse tridimensionnelle