



HAL
open science

Étude prospective comparative entre 2 systèmes de navigation : O-ARM® ET AIRO® : précision du vissage pédiculaire et irradiation

Kaissar Farah

► **To cite this version:**

Kaissar Farah. Étude prospective comparative entre 2 systèmes de navigation : O-ARM® ET AIRO® : précision du vissage pédiculaire et irradiation. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. dumas-01872645

HAL Id: dumas-01872645

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01872645>

Submitted on 21 Sep 2018

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.

**Étude prospective comparative entre 2 systèmes de navigation :
O-ARM® ET AIRO® : Précision du vissage pédiculaire et irradiation**

T H È S E A R T I C L E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE MARSEILLE

Le 6 Octobre 2017

Par Monsieur Kaissar FARAH

Né le 11 février 1987 à Tawitat Nahr (LIBAN)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de NEUROCHIRURGIE

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur DUFOUR Henry	Président
Monsieur le Professeur FUENTES Stéphane	Directeur
Monsieur le Professeur GILLE Olivier	Assesseur
Monsieur le Professeur BLONDEL Benjamin	Assesseur
Monsieur le Docteur (MCU-PH) GRAILLON Thomas	Assesseur



**Étude prospective comparative entre 2 systèmes de navigation :
O-ARM® ET AIRO® : Précision du vissage pédiculaire et irradiation**

T H È S E A R T I C L E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE MARSEILLE

Le 6 Octobre 2017

Par Monsieur Kaissar FARAH

Né le 11 février 1987 à Tawitat Nahr (LIBAN)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de NEUROCHIRURGIE

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur DUFOUR Henry	Président
Monsieur le Professeur FUENTES Stéphane	Directeur
Monsieur le Professeur GILLE Olivier	Assesseur
Monsieur le Professeur BLONDEL Benjamin	Assesseur
Monsieur le Docteur (MCU-PH) GRAILLON Thomas	Assesseur

AIX-MARSEILLE UNIVERSITE

Président : Yvon BERLAND

FACULTE DE MEDECINE

Doyen : Georges LEONETTI

Vice-Doyen aux Affaires Générales : Patrick DESSI

Vice-Doyen aux Professions Paramédicales : Philippe BERBIS

Assesseurs :

- * aux Etudes : Jean-Michel VITON
- * à la Recherche : Jean-Louis MEGE
- * aux Prospectives Hospitalo-Universitaires : Frédéric COLLART
- * aux Enseignements Hospitaliers : Patrick VILLANI
- * à l'Unité Mixte de Formation Continue en Santé : Fabrice BARLESI
- * pour le Secteur Nord : Stéphane BERDAH
- * aux centres hospitaliers non universitaire : Jean-Noël ARGENSON

Chargés de mission :

- * 1^{er} cycle : Jean-Marc DURAND et Marc BARTHET
- * 2^{ème} cycle : Marie-Aleth RICHARD
- * 3^{ème} cycle DES/DESC : Pierre-Edouard FOURNIER
- * Licences-Masters-Doctorat : Pascal ADALIAN
- * DU-DIU : Véronique VITTON
- * Stages Hospitaliers : Franck THUNY
- * Sciences Humaines et Sociales : Pierre LE COZ
- * Préparation à l'ECN : Aurélie DAUMAS
- * Démographie Médicale et Filiarisation : Roland SAMBUC
- * Relations Internationales : Philippe PAROLA
- * Etudiants : Arthur ESQUER

Responsable administratif :

- * Déborah ROCCHICCIOLI

Chefs de service :

- * Communication : Laetitia DELOUIS
- * Examens : Marie-Thérèse ZAMMIT
- * Intérieur : Joëlle FAVREGA
- * Maintenance : Philippe KOCK
- * Scolarité : Christine GAUTHIER

DOYENS HONORAIRES

M. Yvon BERLAND
M. André ALI CHERIF
M. Jean-François PELLISSIER

PROFESSEURS HONORAIRES

MM	AGOSTINI Serge	MM	GALLAIS Hervé
	ALDIGHERI René		GAMERRE Marc
	ALLIEZ Bernard		GARCIN Michel
	AQUARON Robert		GARNIER Jean-Marc
	ARGEME Maxime		GAUTHIER André
	ASSADOURIAN Robert		GERARD Raymond
	AUTILLO-TOUATI Amapola		GEROLAMI-SANTANDREA André
	BAILLE Yves		GIUDICELLI Roger
	BARDOT Jacques		GIUDICELLI Sébastien
	BARDOT André		GOUDARD Alain
	BERARD Pierre		GOUIN François
	BERGOIN Maurice		GRISOLI François
	BERNARD Dominique		GROULIER Pierre
	BERNARD Jean-Louis		HADIDA/SAYAG Jacqueline
	BERNARD Pierre-Marie		HASSOUN Jacques
	BERTRAND Edmond		HEIM Marc
	BISSET Jean-Pierre		HOUEL Jean
	BLANC Bernard		HUGUET Jean-François
	BLANC Jean-Louis		JAQUET Philippe
	BOLLINI Gérard		JAMMES Yves
	BONGRAND Pierre		JOUVE Paulette
	BONNEAU Henri		JUHAN Claude
	BONNOIT Jean		JUIN Pierre
	BORY Michel		KAPHAN Gérard
	BOURGEADE Augustin		KASBARIAN Michel
	BOUVENOT Gilles		KLEISBAUER Jean-Pierre
	BOUYALA Jean-Marie		LACHARD Jean
	BREMOND Georges		LAFFARGUE Pierre
	BRICOT René		LEVY Samuel
	BRUNET Christian		LOUCHET Edmond
	BUREAU Henri		LOUIS René
	CAMBOULIVES Jean		LUCIANI Jean-Marie
	CANNONI Maurice		MAGALON Guy
	CARTOUZOU Guy		MAGNAN Jacques
	CAU Pierre		MALLAN- MANCINI Josette
	CHAMLIAN Albert		MALMEJAC Claude
	CHARREL Michel		MATTEI Jean François
	CHOUX Maurice		MERCIER Claude
	CIANFARANI François		METGE Paul
	CLEMENT Robert		MICHOTÉY Georges
	COMBALBERT André		MILLET Yves
	CONTE-DEVOLX Bernard		MIRANDA François
	CORRIOL Jacques		MONFORT Gérard
	COULANGE Christian		MONGES André
	DALMAS Henri		MONGIN Maurice
	DE MICO Philippe		MONTIES Jean-Raoul
	DEVIN Robert		NAZARIAN Serge
	DEVRED Philippe		NICOLI René
	DJIANE Pierre		NOIRCLERC Michel
	DONNET Vincent		OLMER Michel
	DUCASSOU Jacques		OREHEK Jean
	DUFOUR Michel		PAPY Jean-Jacques
	DUMON Henri		PAULIN Raymond
	FARNARIER Georges		PELOUX Yves
	FAVRE Roger		PENAUD Antony

MM FIECHI Marius
FIGARELLA Jacques
FONTES Michel
FRANCOIS Georges
FUENTES Pierre
GABRIEL Bernard
GALINIER Louis
POYEN Danièle
PRIVAT Yvan
QUILICHINI Francis
RANQUE Jacques
RANQUE Philippe
RICHAUD Christian
ROCHAT Hervé
ROHNER Jean-Jacques
ROUX Hubert
ROUX Michel RUFO
Marcel SAHEL José
SALAMON Georges
SALDUCCI Jacques

PENE Pierre
PIANA Lucien
PICAUD Robert
PIGNOL Fernand
POGGI Louis
POITOUT Dominique
PONCET Michel

SAN MARCO Jean-Louis
SANKALE Marc SARACCO
Jacques SARLES Jean-
Claude SCHIANO Alain
SCOTTO Jean-Claude
SEBAHOUN Gérard
SERMENT Gérard
SERRATRICE Georges
SOULAYROL René STAHL
André TAMALET Jacques
TARANGER-CHARPIN Colette
THOMASSIN Jean-Marc
UNAL Daniel
VAGUE Philippe
VAGUE/JUHAN Irène
VANUXEM Paul
VERVLOET Daniel
VIALETTES Bernard
VIGOUROUX Robert
WEILLER Pierre-Jean

PROFESSEURS HONORIS CAUSA

1967

MM. les
Professeurs DADI (Italie)
CID DOS SANTOS (Portugal)

1974

MM. les
Professeurs MAC ILWAIN (Grande-Bretagne)
T.A. LAMBO (Suisse)

1975

MM. les
Professeurs O. SWENSON (U.S.A.)
Lord J.WALTON of DETCHANT (Grande-
Bretagne)

1976

MM. les
Professeurs P. FRANCHIMONT (Belgique)
Z.J. BOWERS (U.S.A.)

1977

MM. les
Professeurs C. GAJDUSEK-Prix Nobel (U.S.A.)
C.GIBBS (U.S.A.)
J. DACIE (Grande-Bretagne)

1978

M. le Président F. HOUPHOUET-BOIGNY (Côte d'Ivoire)

1980

MM. les
Professeurs A. MARGULIS (U.S.A.)
R.D. ADAMS (U.S.A.)

1981

MM. les
Professeurs H. RAPPAPORT (U.S.A.)
M. SCHOU (Danemark)
M. AMENT (U.S.A.)
Sir A. HUXLEY (Grande-Bretagne)
S. REFSUM (Norvège)

1982

M. le Professeur W.H. HENDREN (U.S.A.)

1985

MM. les
Professeurs S. MASSRY (U.S.A.)
KLINSMANN (R.D.A.)

1986

MM. les
Professeurs E. MIHICH (U.S.A.)

T. MUNSAT (U.S.A.)
LIANA BOLIS (Suisse)
L.P. ROWLAND (U.S.A.)

1987

M. le Professeur P.J. DYCK (U.S.A.)

1988

MM. les
Professeurs R. BERGUER (U.S.A.)
W.K. ENGEL (U.S.A.)
V. ASKANAS (U.S.A.)
J. WEHSTER KIRKLIN (U.S.A.)
A. DAVIGNON (Canada)
A. BETTARELLO (Brésil)

1989

M. le Professeur P. MUSTACCHI (U.S.A.)

1990

MM. les
Professeurs J.G. MC LEOD (Australie)
J. PORTER (U.S.A.)

1991

MM. les
Professeurs J. Edward MC DADE (U.S.A.)
W. BURGDORFER (U.S.A.)

1992

MM. les
Professeurs H.G. SCHWARZACHER (Autriche)
D. CARSON (U.S.A.)
T. YAMAMURO (Japon)

1994

MM. les
Professeurs G. KARPATI (Canada)
W.J. KOLFF (U.S.A.)

1995

MM. les
Professeurs D. WALKER (U.S.A.)
M. MULLER (Suisse)
V. BONOMINI (Italie)

1997

MM. les
Professeurs C. DINARELLO (U.S.A.)
D. STULBERG (U.S.A.)
A. MEIKLE DAVISON (Grande-Bretagne)
P.I. BRANEMARK (Suède)

1998

MM. les
Professeurs O. JARDETSKY (U.S.A.)

1999

MM. les
Professeurs

J. BOTELLA LLUSIA (Espagne)
D. COLLEN (Belgique)
S. DIMAURO (U. S. A.)

2000

MM. les
Professeurs

D. SPIEGEL (U. S. A.)
C. R. CONTI (U.S.A.)

2001

MM. les
Professeurs

P-B. BENNET (U. S. A.)
G. HUGUES (Grande Bretagne)
J-J. O'CONNOR (Grande Bretagne)

2002

MM. les
Professeurs

M. ABEDI (Canada)
K. DAI (Chine)

2003

M. le Professeur
Sir

T. MARRIE (Canada)
G.K. RADDI (Grande Bretagne)

2004

M. le Professeur

M. DAKE (U.S.A.)

2005

M. le Professeur

L. CAVALLI-SFORZA (U.S.A.)

2006

M. le Professeur

A. R. CASTANEDA (U.S.A.)

2007

M. le Professeur

S. KAUFMANN (Allemagne)

EMERITAT

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	RUFO 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

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AGOSTINI FERRANDES Aubert	CHARPIN Denis Surnombre	GORINCOUR Guillaume
ALBANESE Jacques	CHAUMOITRE Kathia	GRANEL/REY Brigitte
ALESSANDRINI Pierre Surnombre	CHAUVEL Patrick Surnombre	GRILLO Jean-Marie Surnombre
ALIMI Yves	CHINOT Olivier	GRIMAUD Jean-Charles
AMABILE Philippe	CHOSSEGROS Cyrille	GROB Jean-Jacques
AMBROSI Pierre	CLAVERIE Jean-Michel Surnombre	GUEDJ Eric
ARGENSON Jean-Noël	COLLART Frédéric	GUIEU Régis
ASTOUL Philippe	COSTELLO Régis	GUIS Sandrine
ATTARIAN Shahram	COURBIERE Blandine	GUYE Maxime
AUDOUIN Bertrand	COWEN Didier	GUYOT Laurent
AUFFRAY Jean-Pierre Surnombre	CRAVELLO Ludovic	GUYS Jean-Michel
AUQUIER Pascal	CUISSET Thomas	HABIB Gilbert
AVIERINOS Jean-François	CURVALE Georges	HARDWIGSEN Jean
AZORIN Jean-Michel	DA FONSECA David	HARLE Jean-Robert
AZULAY Jean-Philippe	DAHAN-ALCARAZ Laetitia	HOFFART Louis
BAILLY Daniel	DANIEL Laurent	HOUVENAEGHEL Gilles
BARLESI Fabrice	DARMON Patrice	JACQUIER Alexis
BARLIER-SETTI Anne	D'ERCOLE Claude	JOLIVET/BADIER Monique
BARTHET Marc	D'JOURNO Xavier	JOUVE Jean-Luc
BARTOLI Jean-Michel	DEHARO Jean-Claude	KAPLANSKI Gilles
BARTOLI Michel	DELARQUE Alain	KARSENTY Gilles
BARTOLIN Robert Surnombre	DELPERO Jean-Robert	KERBAUL François
BARTOLOMEI Fabrice	DENIS Danièle	LAFFORGUE Pierre
BASTIDE Cyrille	DESSEIN Alain Surnombre	LANCON Christophe
BENSOUSSAN Laurent	DESSI Patrick	LA SCOLA Bernard
BERBIS Philippe	DISDIER Patrick	LAUGIER René
BERDAH Stéphane	DODDOLI Christophe	LAUNAY Franck
BERLAND Yvon	DRANCOURT Michel	LAVIEILLE Jean-Pierre
BERNARD Jean-Paul	DUBUS Jean-Christophe	LE CORROLLER Thomas
BEROUD Christophe	DUFFAUD Florence	LE TREUT Yves-Patrice Surnombre
BERTUCCI François	DUFOUR Henry	LECHEVALLIER Eric
BLAISE Didier	DURAND Jean-Marc	LEGRE Régis
BLIN Olivier	DUSSOL Bertrand	LEHUCHER-MICHEL Marie- Pascale
BLONDEL Benjamin	ENJALBERT Alain	LEONE Marc
BONIN/GUILLAUME Sylvie	EUSEBIO Alexandre	LEONETTI Georges
BONELLO Laurent	FAKHRY Nicolas	LEPIDI Hubert
BONNET Jean-Louis	FAUGERE Gérard	LEVY Nicolas
BOTTA Alain Surnombre	FELICIAN Olivier	MACE Loïc
BOTTA/FRIDLUND Danielle	FENOLLAR Florence	MAGNAN Pierre-Edouard
BOUBLI Léon	FIGARELLA/BRANGER Dominique	MARANINCHI Dominique Surnombre
BOYER Laurent	FLECHER Xavier	MARTIN Claude Surnombre
BREGEON Fabienne	FOURNIER Pierre-Edouard	MATONTI Frédéric
BRETELLE Florence	FRAISSE Alain Disponibilité	MEGE Jean-Louis
BROUQUI Philippe	FRANCES Yves Surnombre	MERROT Thierry
BRUDER Nicolas	FRANCESCHI Frédéric	METZLER/GUILLEMAIN Catherine
BRUE Thierry	FUENTES Stéphane	MEYER/DUTOUR Anne
BRUNET Philippe	GABERT Jean	MICCALEF/ROLL Joëlle
BURTEY Stéphane	GAINNIER Marc	MICHEL Fabrice

CARCOPINO-TUSOLI Xavier
CASANOVA Dominique
CASTINETTI Frédéric
CECCALDI Mathieu
CHABOT Jean-Michel
CHAGNAUD Christophe
CHAMBOST Hervé
CHAMPSAUR Pierre
CHANEZ Pascal
CHARAFFE-JAUFFRET
Emmanuelle
CHARREL Rémi

CHIARONI Jacques
NICOLLAS Richard
OLIVE Daniel
OUAFIK L'Houcine
PAGANELLI Franck
PANUEL Michel
PAPAZIAN Laurent
PAROLA Philippe
PARRATTE Sébastien
PAUT Olivier
PELISSIER-ALICOT Anne-Laure
PELLETIER Jean
PETIT Philippe
PHAM Thao
PIARROUX Renaud
PIERCECCHI/MARTI Marie-
Dominique
PIQUET Philippe
PIRRO Nicolas
POINSO François
POUGET Jean Surnombre
RACCAH Denis
RAOULT Didier
REGIS Jean
REYNAUD/GAUBERT Martine

GARCIA Stéphane
GARIBOLDI Vlad
GAUDART Jean
GENTILE Stéphanie
GERBEAUX Patrick
GEROLAMI/SANTANDREA René
GILBERT/ALESSI Marie-Christine
GIORGI Roch
GIOVANNI Antoine

GIRARD Nadine
GIRAUD/CHABROL Brigitte

GONCALVES Anthony
REYNAUD Rachel
RICHARD/LALLEMAND Marie-Aleth
RIDINGS Bernard Surnombre
ROCHE Pierre-Hugues
ROCH Antoine
ROCHWERGER Richard
ROLL Patrice
ROSSI Dominique
ROSSI Pascal
ROUDIER Jean
SALAS Sébastien
SAMBUC Roland
SARLES Jacques
SARLES/PHILIP Nicole

SASTRE Bernard Surnombre
SCAVARDA Didier
SCHLEINITZ Nicolas
SEBAG Frédéric
SEITZ Jean-François
SERRATRICE Jacques
SIELEZNEFF Igor
SIMON Nicolas
STEIN Andréas

MICHEL Gérard
MICHELET Pierre
MILH Mathieu
MOAL Valérie
MONCLA Anne
MORANGE Pierre-Emmanuel
MOULIN Guy
MOUTARDIER Vincent
MUNDLER Olivier

NAUDIN Jean
NICCOLI/SIRE Patricia
NICOLAS DE LAMBALLERIE
Xavier
TAIEB David
THIRION Xavier
THOMAS Pascal
THUNY Franck
TRIGLIA Jean-Michel
TROPANO Patrick
TSIMARATOS Michel
TURRINI Olivier
VALERO René
VEY Norbert
VIDAL Vincent
VIENS Patrice
VILLANI Patrick
VITON Jean-Michel

VITTON Véronique
VIEHWEGER Heide Elke
VIVIER Eric
XERRI Luc

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 ASSOCIE DE MEDECINE GENERALE A MI-TEMPS

FILIPPI Simon

**PROFESSEUR ASSOCIE A TEMPS
PARTIEL**

ALTAVILLA Annagrazia
BURKHART Gary

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITE - PRATICIEN HOSPITALIER

ACHARD Vincent	FABRE Alexandre	MOTTOLA GHIGO Giovanna
ANDRE Nicolas	FOUILLOUX Virginie	NGUYEN PHONG Karine
ANGELAKIS Emmanouil	FRERE Corinne	NINOVE Laetitia
ATLAN Catherine	GABORIT Bénédicte	NOUGAIREDE Antoine
BACCINI Véronique	GASTALDI Marguerite	OUDIN Claire
BARTHELEMY Pierre	GAUDY/MARQUESTE Caroline	OVAERT Caroline
BARTOLI Christophe	GELSI/BOYER Véronique	PAULMYER/LACROIX Odile
BEGE Thierry	GIUSIANO Bernard	PERRIN Jeanne
BELIARD Sophie	GIUSIANO COURCAMBECK Sophie	RANQUE Stéphane
BERBIS Julie	GOURIET Frédérique	REY Marc
BERGE-LEFRANC Jean-Louis	GRAILLON Thomas	ROBAGLIA/SCHLUPP Andrée
BEYER-BERJOT Laura	GREILLIER Laurent	ROBERT Philippe
BOUCRAUT Joseph	GRISOLI Dominique	SABATIER Renaud
BOULAMERY Audrey	GUIDON Catherine	SARI-MINODIER Irène
BOULLU/CIOCCA Sandrine	HAUTIER/KRAHN Aurélie	SARLON-BARTOLI Gabrielle
BUFFAT Christophe	HRAIECH Sami	SAVEANU Alexandru
CALAS/AILLAUD Marie-Françoise	JOURDE CHICHE Noémie	SECQ Véronique
CAMILLERI Serge	KASPI-PEZZOLI Elise	SOULA Gérard
CARRON Romain	KRAHN Martin	TOGA Caroline
CASSAGNE Carole	L'OLLIVIER Coralie	TOGA Isabelle
		TREBUCHON/DA FONSECA Agnès
CHAUDET Hervé	LABIT-BOUVIER Corinne	TROUSSE Delphine
COZE Carole	LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina	VALLI Marc
DADOUN Frédéric (disponibilité)	LAGIER Aude	VELLY Lionel
DALES Jean-Philippe	LAGIER Jean-Christophe	VELY Frédéric
DAUMAS Aurélie	LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude	VION-DURY Jean
DEGEORGES/VITTE Joëlle	LEVY/MOZZICONACCI Annie	ZATTARA/CANNONI Hélène
DEL VOLGO/GORI Marie-José	LOOSVELD Marie	
DELLIAUX Stéphane	MANCINI Julien	
DESPLAT/JEGO Sophie	MARY Charles	
DEVEZE Arnaud Disponibilité	MASCAUX Céline	
DUFOUR Jean-Charles	MAUES DE PAULA André	
EBBO Mikael	MILLION Matthieu	

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

ABU ZAINEH Mohammad	DESNUES Benoît	STEINBERG Jean-Guillaume
BARBACARU/PERLES T. A.	LIMERAT/BOUDOURESQUE Françoise	THOLLON Lionel
BERLAND/BENHAIM Caroline	MARANINCHI Marie	THIRION Sylvie
BERAUD/JUVEN Evelyne (retraite octobre 2016)	MERHEJ/CHAUVEAU Vicky	
BOUCAULT/GARROUSTE Françoise	MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte	
BOYER Sylvie	POGGI Marjorie	
DEGIOANNI/SALLE Anna	RUEL Jérôme	

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

GENTILE Gaëtan

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE à MI-

TEMPS ADNOT Sébastien

BARGIER Jacques

BONNET Pierre-André

CALVET-MONTREDON Céline

GUIDA Pierre

JANCZEWSKI Aurélie

**MAITRE DE CONFERENCES
ASSOCIE à MI-TEMPS**

REVIS Joana

PROFESSEURS ET MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS**PROFESSEURS ASSOCIES, MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES (mono-appartenants)****ANATOMIE 4201**

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

LAGIER Aude (MCU-PH)

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)

ANTHROPOLOGIE 20

ADALIAN Pascal (PR)
DEGIOANNI/SALLE Anna (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)

ANGELAKIS Emmanouil (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)

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

ALBANESE Jacques (PU-PH)
AUFFRAY Jean-Pierre (PU-PH) Surnombre
BRUDER Nicolas (PU-PH)
KERBAUL François (PU-PH)
LEONE Marc (PU-PH)
MARTIN Claude (PU-PH) Surnombre
MICHEL Fabrice (PU-PH)
MICHELET Pierre (PU-PH)
PAUT Olivier (PU-PH)

GUIDON Catherine (MCU-PH)
VELLY Lionel (MCU-PH)

BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE 4401

BARLIER/SETTI Anne (PU-PH)
ENJALBERT Alain (PU-PH)
GABERT Jean (PU-PH)
GUIEU Régis (PU-PH)
OUAFIK L'Houcine (PU-PH)
BUFFAT Christophe (MCU-PH)
MOTTOLA GHIGO Giovanna (MCU-PH)
SAVEANU Alexandru (MCU-PH)

ANGLAIS 11**BIOLOGIE CELLULAIRE 4403**

BRANDENBURGER Chantal (PRCE)

ROLL Patrice (PU-PH)

BURKHART Gary (PAST)

GASTALDI Marguerite (MCU-PH)

KASPI-PEZZOLI Elise (MCU-PH)

LEVY/MOZZICONNACCI Annie (MCU-PH)

ROBAGLIA/SCHLUPP Andrée (MCU-PH)

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

METZLER/GUILLEMAIN Catherine (PU-PH)

PERRIN Jeanne (MCU-PH)

BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE 4301**CARDIOLOGIE 5102**

GUEDJ Eric (PU-PH)

AVIERINOS Jean-François (PU-PH)

GUYE Maxime (PU-PH)

BONELLO Laurent (PU PH)

MUNDLER Olivier (PU-PH)

BONNET Jean-Louis (PU-PH)

TAIEB David (PU-PH)

CUISSSET Thomas (PU-PH)

DEHARO Jean-Claude (PU-PH)

BELIN Pascal (PR) (69ème section)

FRAISSE Alain (PU-PH) Disponibilité

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

FRANCESCHI Frédéric (PU-PH)

HABIB Gilbert (PU-PH)

CAMMILLERI Serge (MCU-PH)

PAGANELLI Franck (PU-PH)

VION-DURY Jean (MCU-PH)

THUNY Franck (PU-PH)

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

CHIRURGIE DIGESTIVE 5202

BERDAH Stéphane (PU-PH)

HARDWIGSEN Jean (PU-PH)

LE TREUT Yves-Patrice (PU-PH) Surnombre

SASTRE Bernard (PU-PH) Surnombre

SIELEZNEFF Igor (PU-PH)

**BIostatistiques, Informatique Médicale
ET TECHNOLOGIES DE COMMUNICATION 4604**

CLAVERIE Jean-Michel (PU-PH) Surnombre

BEYER BERJOT Laura (MCU-PH)

GAUDART Jean (PU-PH)

GIORGI Roch (PU-PH)

CHIRURGIE GENERALE 5302

CHAUDET Hervé (MCU-PH)

DELPERO Jean-Robert (PU-PH)

DUFOUR Jean-Charles (MCU-PH)

MOUTARDIER Vincent (PU-PH)

GIUSIANO Bernard (MCU-PH)

SEBAG Frédéric (PU-PH)

MANCINI Julien (MCU-PH)

TURRINI Olivier (PU-PH)

SOULA Gérard (MCU-PH)

ABU ZAINEH Mohammad (MCF) (5ème section)

BEGE Thierry (MCU-PH)

BOYER Sylvie (MCF) (5ème section)

CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE 5002

ARGENSON Jean-Noël (PU-PH)
BLONDEL Benjamin (PU-PH)
CURVALE Georges (PU-PH)
FLECHER Xavier (PU PH)
PARRATTE Sébastien (PU-PH)
ROCHWERGER Richard (PU-PH)
TROPANO Patrick (PU-PH)

CANCEROLOGIE ; RADIOTHERAPIE 4702

BERTUCCI François (PU-PH)
CHINOT Olivier (PU-PH) COWEN Didier (PU-
PH) DUFFAUD Florence (PU-PH)
GONCALVES Anthony PU-PH)
HOUVENAEHEL Gilles (PU-PH)
MARANINCHI Dominique (PU-PH) Surnombre
SALAS Sébastien (PU-PH) VIENS Patrice
(PU-PH) SABATIER Renaud (MCU-PH)

CHIRURGIE INFANTILE 5402

ALESSANDRINI Pierre (PU-PH) Surnombre
GUYS Jean-Michel (PU-PH)
JOUVE Jean-Luc (PU-PH)
LAUNAY Franck (PU-PH)
MERROT Thierry (PU-PH)
VIEHWEGER Heide Elke (PU-PH)

CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE ET STOMATOLOGIE 5503

CHOSSEGROS Cyrille (PU-PH)
GUYOT Laurent (PU-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)
GRISOLI Dominique (MCU-PH)
TROUSSE Delphine (MCU-PH)

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

CASANOVA Dominique (PU-PH)
LEGRE Régis (PU-PH)
HAUTIER/KRAHN Aurélie (MCU-PH)

CHIRURGIE VASCULAIRE ; MEDECINE VASCULAIRE 5104

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

GASTROENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE ; ADDICTOLOGIE 5201

BARTHET Marc (PU-PH)
BERNARD Jean-Paul (PU-PH)
BOTTA-FRIDLUND Danielle (PU-PH)
DAHAN-ALCARAZ Laetitia (PU-PH)
GEROLAMI-SANTANDREA René (PU-PH)
GRIMAUD Jean-Charles (PU-PH)
LAUGIER René (PU-PH)
SEITZ Jean-François (PU-PH)
VITTON Véronique (PU-PH)

HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE 4202

GRILLO Jean-Marie (PU-PH) Surnombre
LEPIDI Hubert (PU-PH)
ACHARD Vincent (MCU-PH)
PAULMYER/LACROIX Odile (MCU-PH)

GENETIQUE 4704**DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE 5003**

BERBIS Philippe (PU-PH)
 GROB Jean-Jacques (PU-PH)
 RICHARD/LALLEMAND Marie-Aleth (PU-PH)

GAUDY/MARQUESTE Caroline (MCU-PH)

BEROUD Christophe (PU-PH)

LEVY Nicolas (PU-PH)
 MONCLA Anne (PU-PH)
 SARLES/PHILIP Nicole (PU-PH)

KRAHN Martin (MCU-PH)
 NGYUEN Karine (MCU-PH)
 TOGA Caroline (MCU-PH)

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

BRUE Thierry (PU-PH)
 CASTINETTI Frédéric (PU-PH)
 NICCOLI/SIRE Patricia (PU-PH)

ZATTARA/CANNONI Hélène (MCU-PH)

GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5403**EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE ET PREVENTION 4601**

AUQUIER Pascal (PU-PH)
 BOYER Laurent (PU-PH)
 CHABOT Jean-Michel (PU-PH)
 GENTILE Stéphanie (PU-PH)
 SAMBUC Roland (PU-PH)
 THIRION Xavier (PU-PH)

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

BERBIS Julie (MCU-PH)
 LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude (MCU-PH)

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

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

BERAUD/JUVEN Evelyne (MCF) 65ème section) (retraite octobre 2016)

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)

BACCINI Véronique (MCU-PH)
 CALAS/AILLAUD Marie-Françoise (MCU-PH)
 FRERE Corinne (MCU-PH)
 GELSI/BOYER Véronique (MCU-PH)
 LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina (MCU-PH)
 POGGI Marjorie (MCF) (64ème section)

MEDECINE LEGALE ET DROIT DE LA SANTE 4603

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

MALADIES INFECTIEUSES ; MALADIES TROPICALES 4503

BROUQUI Philippe (PU-PH)
PAROLA Philippe (PU-PH)
STEIN Andréas (PU-PH)

BARTOLI Christophe (MCU-PH)

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

LAGIER Jean-Christophe (MCU-PH)
MILLION Matthieu (MCU-PH)

MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION 4905**MEDECINE INTERNE ; GERIATRIE ET BIOLOGIE DU VIEILLISSEMENT ; MEDECINE GENERALE ; ADDICTOLOGIE 5301**

BONIN/GUILLAUME Sylvie (PU-PH)
DISDIER Patrick (PU-PH)
DURAND Jean-Marc (PU-PH)
FRANCES Yves (PU-PH) Surnombre
GRANEL/REY Brigitte (PU-PH)
HARLE Jean-Robert (PU-PH)
ROSSI Pascal (PU-PH)
SCHLEINITZ Nicolas (PU-PH)
SERRATRICE Jacques (PU-PH) disponibilité

EBBO Mikael (MCU-PH)

BENSOUSSAN Laurent (PU-PH)
DELARQUE Alain (PU-PH)

VITON Jean-Michel (PU-PH)

MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL 4602

BOTTA Alain (PU-PH) Surnombre
LEHUCHER/MICHEL Marie-Pascale (PU-PH)

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

GENTILE Gaëtan (MCF Méd. Gén. Temps plein)

NEPHROLOGIE 5203

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

BERLAND Yvon (PU-PH)
BRUNET Philippe (PU-PH)
BURTEY Stéphanne (PU-PH)
DUSSOL Bertrand (PU-PH)
MOAL Valérie (PU-PH)

JOURDE CHICHE Noémie (MCU PH)

ADNOT Sébastien (MCF 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)
GUIDA Pierre (MCF associé Méd. Gén. à mi-temps)

NUTRITION 4404**NEUROCHIRURGIE 4902**

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

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

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

CARRON Romain (MCU PH)
GAILLON Thomas (MCU PH)

MARANINCHI Marie (MCF) (66ème section)

ONCOLOGIE 65 (BIOLOGIE CELLULAIRE)	NEUROLOGIE 4901
CHABANNON Christian (PR) (66ème section) SOBOL Hagay (PR) (65ème section)	ATTARIAN Sharham (PU PH) AUDOIN Bertrand (PU-PH) AZULAY Jean-Philippe (PU-PH) CECCALDI Mathieu (PU-PH) EUSEBIO Alexandre (PU-PH)
OPHTALMOLOGIE 5502	FELICIAN Olivier (PU-PH) PELLETIER Jean (PU-PH) POUGET Jean (PU-PH) Surnombre
DENIS Danièle (PU-PH) HOFFART Louis (PU-PH) MATONTI Frédéric (PU-PH) RIDINGS Bernard (PU-PH) Surnombre	PEDOPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE 4904
OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE 5501	DA FONSECA David (PU-PH) POINSO François (PU-PH)
DESSI Patrick (PU-PH) FAKHRY Nicolas (PU-PH) GIOVANNI Antoine (PU-PH) LAVIEILLE Jean-Pierre (PU-PH) NICOLLAS Richard (PU-PH) TRIGLIA Jean-Michel (PU-PH) DEVEZE Arnaud (MCU-PH) Disponibilité REVIS Joana (MAST) (Orthophonie) (7ème Section) ROMAN Stéphane (Professeur associé des universités mi-temps)	PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE - PHARMACOLOGIE CLINIQUE; ADDICTOLOGIE 4803
PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE 4502	BLIN Olivier (PU-PH) FAUGERE Gérard (PU-PH) MICALLEF/ROLL Joëlle (PU-PH) SIMON Nicolas (PU-PH) BOULAMERY Audrey (MCU-PH) VALLI Marc (MCU-PH)
DESSEIN Alain (PU-PH) PIARROUX Renaud (PU-PH) CASSAGNE Carole (MCU-PH) L'OLLIVIER Coralie (MCU-PH) MARY Charles (MCU-PH) RANQUE Stéphane (MCU-PH) TOGA Isabelle (MCU-PH)	PHILOSOPHIE 17
PEDIATRIE 5401	LE COZ Pierre (PR) (17ème section) ALTAVILLA Annagrazia (PR Associé à mi-temps)
CHAMBOST Hervé (PU-PH) DUBUS Jean-Christophe (PU-PH) GIRAUD/CHABROL Brigitte (PU-PH) MICHEL Gérard (PU-PH) MILH Mathieu (PU-PH) REYNAUD Rachel (PU-PH) SARLES Jacques (PU-PH) TSIMARATOS Michel (PU-PH) ANDRE Nicolas (MCU-PH)	PHYSIOLOGIE 4402
	BARTOLOMEI Fabrice (PU-PH) BREGEON Fabienne (PU-PH) CHAUVEL Patrick (PU-PH) Surnombre JOLIVET/BADIER Monique (PU-PH) MEYER/DUTOUR Anne (PU-PH) BARTHELEMY Pierre (MCU-PH) BOULLU/CIOCCA Sandrine (MCU-PH) DADOUN Frédéric (MCU-PH) (disponibilité) DEL VOLGO/GORI Marie-José (MCU-PH)

COZE Carole (MCU-PH)
FABRE Alexandre (MCU-PH)
OUDIN Claire (MCU-PH)
OVAERT Caroline (MCU-PH)

DELLIAUX Stéphane (MCU-PH)
GABORIT Bénédicte (MCU-PH)
REY Marc (MCU-PH)
TREBUCHON/DA FONSECA Agnès (MCU-PH)

PSYCHIATRIE D'ADULTES ; ADDICTOLOGIE 4903

AZORIN Jean-Michel (PU-PH)
BAILLY Daniel (PU-PH)
LANCON Christophe (PU-PH)
NAUDIN Jean (PU-PH)

LIMERAT/BOUDOURESQUE Françoise (MCF) (40ème section)
RUEL Jérôme (MCF) (69ème section)
STEINBERG Jean-Guillaume (MCF) (66ème section)
THIRION Sylvie (MCF) (66ème section)

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)
GORINCOUR Guillaume (PU-PH)
JACQUIER Alexis (PU-PH)
MOULIN Guy (PU-PH)
PANUEL Michel (PU-PH)
PETIT Philippe (PU-PH)
VIDAL Vincent (PU-PH)

ASTOUL Philippe (PU-PH)
BARLESI Fabrice (PU-PH)
CHANEZ Pascal (PU-PH)
CHARPIN Denis (PU-PH) Surnombre
REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

GREILLIER Laurent (MCU PH)
MASCAUX Céline (MCU-PH)

TOMASINI Pascale (Maitre de conférences associé des universités)

THERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE; ADDICTOLOGIE 4804

REANIMATION MEDICALE ; MEDECINE URGENCE 4802

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

AMBROSI Pierre (PU-PH)
BARTOLIN Robert (PU-PH) Surnombre
VILLANI Patrick (PU-PH)

DAUMAS Aurélie (MCU-PH)

HRAIECH Sami (MCU-PH)

UROLOGIE 5204

RHUMATOLOGIE 5001

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 Monsieur le Professeur Henry DUFOUR

Vous me faites l'honneur de présider ce jury.

Merci pour l'intérêt portez à ce travail.

Soyez assuré de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Stéphane FUENTES

Vous me faites l'honneur de diriger ce travail.

Je vous remercie pour votre enseignement au quotidien et la confiance que vous m'accordez.

A Monsieur le Professeur Olivier GILLE

C'est un grand honneur que de vous avoir dans mon jury de thèse.

Merci de m'avoir permis la réalisation de ce travail.

Soyez assuré de mes remerciements les plus respectueux.

A Monsieur le Professeur Benjamin BLONDEL

Merci de l'intérêt que vous portez à ce travail.

Votre présence dans le jury m'honore.

A Monsieur le Docteur Thomas GRAILLON

Vous me faites l'honneur de siéger dans mon jury.

Soyez assuré de l'expression de ma respectueuse considération.

A mon Cher Pays le Liban.

A mes parents : Mon père qui m'a fait découvrir le bloc opératoire depuis mon plus jeune âge et m'a transmis cette magnifique passion qu'est la neurochirurgie.

A ma Maman chérie pour son amour et sa tendresse. Grâce à vous j'arrive à réaliser mes rêves les plus grands. Vous êtes formidables. Je vous aime.

« Choukran »

A Jacques, mon petit grand frère. Toujours drôle et bienveillant. J'attends avec impatience le jour où tu viendras me prendre du vieux port avec ton grand yacht.

A Tina, Fadi et Sophia. Vous formez une très belle famille. Je suis très heureux de votre présence aujourd'hui. Merci pour votre soutien et les beaux moments que nous passons ensemble quand je suis au Liban.

A la famille Sichez: Jean Pierre, Nicole, Pierre Clément et Hélène. Vous êtes pour moi une vraie famille d'adoption en France. Merci pour votre soutien et toute votre affection. Vous avez toujours été là pour moi depuis mon arrivée. Eh oui je n'oublierais jamais les agréables moments passés à Sceaux pour la P1.

A mon cousin Elie qui s'est chargé de mon éducation sportive depuis tout petit. Grâce à toi je sais maintenant skier, plonger.

A la famille Miremont qui a chaleureusement accueilli « le fantôme de l'opéra » à Bordeaux. Merci encore pour les dégustations des vins.

Une pensée à Jeddo et Soussou, 2 magnifiques personnes qui nous ont quitté.

A Mathieu avec qui j'ai passé un externat formidable. Tu es toujours là pour me motiver et soutenir. Tu es comme un frère. Surtout ne change pas. J'ai hâte d'assister à ta thèse. NB : « La génétique ne ment pas ».

A mes amis Libanais que je retrouve toujours avec joie : Samer, Elie et Hicham.

A Camille, Bob, Jad, Elias, Sarah, Joe et Jenny. C'est toujours un plaisir de vous retrouver en France, au Liban et partout ailleurs.

A mes co-internes en neurochirurgie : Kevin pour ta bienveillance et tes conseils quand je débutais mon internat de neurochirurgie, Sébastien B, Sylvestre pour ta disponibilité et tes histoires folles, Christophe, Emilie, Sébastien P, Thomas, Patrick, Ketsia, Faisal pour m'avoir aidé pendant mon dernier semestre, Nicolas « c'est le feu », Marco, Solène et Elie.

A Delphine, qui par sa présence au sein du service nous montre l'importance de la collaboration avec les médecins généralistes. Merci de m'avoir supporté.

A Lucas, capitaine de l'équipe de foot Nordiste. C'est un plaisir de passer cette thèse avec toi.

A mon ami Nacer. Ensemble on a sillonné la France et survécu au Master II. Merci pour tes conseils et ta disponibilité. C'était un plaisir de travailler avec toi dans le service. On a passé d'agréables moments en dehors de l'univers hospitalier. Promis, un jour j'irais courir le Marseille-Cassis avec toi.

A Aurélie, grâce à toi les amputations n'ont plus de secret. C'était un plaisir d'être ton co-interne dans le monde de la chirurgie vasculaire et l'irradiation. Bon courage pour le début de ton assistanat.

A Hadrien et Gregory pour ce que vous m'avez appris au cours des quelques blocs qu'on a fait ensemble.

A mes co-internes bordelais : Cécile, Antoine, Paulo et Pierre. Grâce à vous j'ai passé un excellent inter-CHU.

A Mikael, un excellent chef. Merci pour tes conseils et ta bonne humeur. C'est vraiment un plaisir de collaborer avec toi près de la Marina.

A Hadrien et les gardes qu'on a passé ensemble. Merci pour ta gentillesse et ton humanisme.

A M Roche pour son enseignement sur la base du crâne.

A M Scavarda, Grégoire et Armando. J'ai passé un excellent semestre en pédiatrie. Merci pour ce que vous m'avez appris.

A M Metellus pour ce que vous m'avez appris en neuro-oncologie.

A Tarek, pour ce que tu m'as appris sur la pathologie rachidienne.

Au service de chirurgie vasculaire du Pr Magnan ; à M Bartoli et Gaëtan : merci pour votre accueil.

A Messieurs Vital, Pointillart, Ibrahim Obeid et Louis Boissière pour leurs enseignement au bloc et en consultation. Cela m'a été d'une très grande utilité.

A Camille, Thibault et Mathias mes chefs bordelais qui ont su palier mon ignorance des os longs.

A l'équipe d'anesthésie réanimation du Pr Bruder : Daniel, Mme Bricot, Maria, Aurélie et Suzanne. Merci pour ce que vous faites. Travailler avec vous est un vrai plaisir.

A l'équipe des infirmiers et IADE au bloc opératoire. Merci pour la bonne ambiance et pour votre soutien.

Au service de neurochirurgie de la Timone : infirmières secrétaires et infirmières coordinatrices pour le travail qu'elles fournissent.

A Émeline, Michaela et Didier chargés de la radioprotection. Merci pour votre aide et conseils lors de la réalisation de ce travail.

A Monsieur Dufour, vous m'avez accueilli dans votre service et c'est un vrai plaisir de travailler à vos côtés. Vous êtes un modèle à suivre en termes de rigueur et de sérieux au bloc opératoire et au lit du patient. Votre encadrement et ce que vous m'avez appris sur la chirurgie crânienne sont précieux à mes yeux. Merci encore pour votre soutien tout au long de mon cursus.

A Monsieur Fuentes, « une leçon de vie ». La neurochirurgie est magique ; avec vous elle l'est encore plus. Vous avez démystifié une grande partie de cette spécialité à mes yeux en rendant les choses simples. Parce que « si ça ne l'est pas, c'est qu'il y a un problème ». De la glande Pinéale au Sacrum, on se promène avec vous au bloc opératoire. J'espère ne pas vous décevoir à l'avenir. Merci encore pour votre confiance.

A Monsieur Gille, c'est un grand honneur que de vous avoir dans mon jury de thèse.

Merci de m'avoir accueilli au sein de votre service à Bordeaux. Grâce à votre pédagogie j'ai beaucoup appris à la consultation et au bloc opératoire.

A Benjamin, collaborer avec toi est très fructueux. Merci pour ton aide lors de mon master 2, pour les travaux en commun et tes conseils au bloc opératoire.

A Thomas, c'est un plaisir de t'avoir comme chef. Tu m'as toujours très bien encadré et aidé. Merci pour tes conseils, ta disponibilité et ton humour. C'est aussi un plaisir de jouer avec toi au foot.

*« Choisis un métier que tu aimes et tu n'auras pas à
travailler un seul jour de ta vie. »
Conficius*

SOMMAIRE

Introduction.....	p 2
Matériel et Méthodes.....	p 3
1. Sélection des patients.....	p 3
2. Instrumentation rachidienne guidée par l'imagerie.....	p 3
3. Évaluation radiologique de la visée pédiculaire.....	p 7
4. Quantification de l'exposition aux rayonnements ionisants.....	p 8
5. Analyses statistiques.....	p 9
Résultats.....	p 10
1. Population de patients.....	p 10
2. Utilisation de l'imagerie peropératoire.....	p 11
3. Précision de la visée pédiculaire.....	p 11
4. Irradiation.....	p 13
Discussion.....	p 15
1. Visée Pédiculaire.....	p 15
2. Irradiation et risque radiologique.....	p 16
3. Coût et Rentabilité.....	p 18
Conclusion.....	p 19
Bibliographie.....	p 20
Annexes.....	p 24
1. Classification de Heary pour le rachis thoracique.....	p 24
2. Classification de Gertzbein pour le rachis lombaire.....	p 24
3. Ordre de grandeurs d'irradiation en France: Rapport IRSN 2015.....	p 25
4. Coefficients permettant le calcul de la Dose Efficace ; Issus des Recommandations Européennes pour l'utilisation du scanner multi barrettes Mars 2004.....	p 26
Abréviations.....	p 27

INTRODUCTION

L'instrumentation du rachis thoraco-lombaire a augmenté de manière spectaculaire au cours des dernières décennies. Bien que l'ostéosynthèse pédiculaire permette d'améliorer le taux de fusion, le vissage pédiculaire reste un défi surtout pour les jeunes opérateurs. Un mauvais positionnement des vis peut entraîner des lésions neurologiques, des douleurs persistantes, des complications vasculaires, une chirurgie de révision et des coûts accrus. L'amélioration de la sécurité des patients est l'objectif principal pour chaque chirurgien. L'utilisation de la navigation fluoroscopique bidimensionnelle (2D) a réduit partiellement le nombre de vis mal placées¹⁻³. Les nouvelles techniques de navigation occupent une place de plus en plus importante dans la chirurgie rachidienne⁴⁻⁶. Elles permettent une meilleure précision lors du placement des vis pédiculaires tout en réduisant le taux de mal positionnement par rapport aux techniques conventionnelles guidées par fluoroscopie⁷⁻⁹. Bien que l'incidence des vis mal placées ait diminuée, elle dépend en grande partie de la définition même de "mal positionnement"¹⁰⁻¹³. La présente étude est axée sur la comparaison entre deux systèmes de navigation couplés à un scanner peropératoire: le système O-Arm[®] (OS) (imagerie peropératoire O-Arm[®] (Medtronic, Inc., Louisville, CO)) couplé au système de navigation StealthStation[®] (Medtronic[®] Navigation) et le système AIRO[®] (AS) (scanner Airo[®] iCT) couplé au système de navigation Brainlab Curve (Brainlab[®] AG, Allemagne). Les deux principaux objectifs sont : d'abord comparer la précision et ensuite, comparer l'exposition aux rayonnements ionisants de l'équipe chirurgicale et du patient lors de l'instrumentation du rachis thoraco-lombaire sous navigation couplée au scanner peropératoire.

MATERIEL ET METHODES

Sélection des patients

Il s'agit d'une étude prospective, non randomisée, comparative menée au sein de 2 Centres Hospitalo-Universitaire (CHU) français. Le système de navigation OS a été utilisé au CHU de Bordeaux et l'AS au CHU de Marseille.

Les critères d'inclusion retenus sont les patients âgés de plus de 18 ans, ayant bénéficié d'une instrumentation du rachis thoracique et/ou lombosacré par vissage transpédiculaire. Les pathologies rachidiennes concernées regroupent le dégénératif, la traumatologie, l'oncologie et les infections.

Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique.

Instrumentation rachidienne guidée par l'imagerie

Les voies d'abord pour le vissage transpédiculaire consistaient soit par une approche conventionnelle en ouvert, soit par une approche mini-invasive. Toutes les vertèbres instrumentées n'étaient pas contiguës. Les pédicules des vertèbres traumatiques ou infectées n'étaient pas toujours concernés par l'instrumentation.

Pour les patients, ayant bénéficié d'une approche mini-invasive dans le groupe AS, une seconde acquisition avec le scanner peropératoire a été réalisée afin de contrôler le bon positionnement des broches.

Dans le groupe OS, les patients ont bénéficié d'une anesthésie générale, installé sur 4 coussins chirurgicaux sur une table radio transparente en fibre de carbone (Maquet Inc., Gossau, Switzerland). Une fois l'abord terminé, l'étoile de référence est fixée sur un processus épineux situé 1 à 2 niveaux à proximité des vertèbres qui seront instrumentées.

L'O-Arm[®] est une plateforme d'imagerie qui fournit aux chirurgiens la fluoroscopie haute résolution, la radiologie conventionnelle et des informations 3D en temps réel.

Dans un premier temps, une imagerie fluoroscopique de repérage est réalisée afin de repérer les vertèbres à instrumenter. Le chirurgien et un technicien protégés par un

tablier en plomb sont présents dans la salle. L'acquisition 3D est ensuite effectuée sous apnée pour exclure les artefacts liés aux mouvements ventilatoires. Les images sont ensuite transférées automatiquement au système de navigation Medtronic®. Les outils de navigation sont enregistrés. Un pointeur navigué est utilisé pour identifier le point d'entrée au pédicule. Une fraise ou une pince Gouge permettent de préparer l'entrée dans le pédicule. Le taraudage et l'insertion des vis sont alors réalisés sous contrôle de la navigation. Une modélisation du trajet des vis était possible afin de déterminer le meilleur positionnement. Le diamètre et la longueur de la vis ont été déterminés en fonction de l'imagerie préopératoire et du logiciel de navigation. En fin de procédure, aucune nouvelle acquisition n'a été effectuée pour s'assurer du positionnement des vis pédiculaires.



Figure 1 : Système O-Arm® (Medtronic, Inc., Louisville, CO)) couplé au système de navigation StealthStation® (Medtronic® Navigation)



Figure 2 : Photographie peropératoire durant une procédure guidée par la navigation du système O-Arm®.

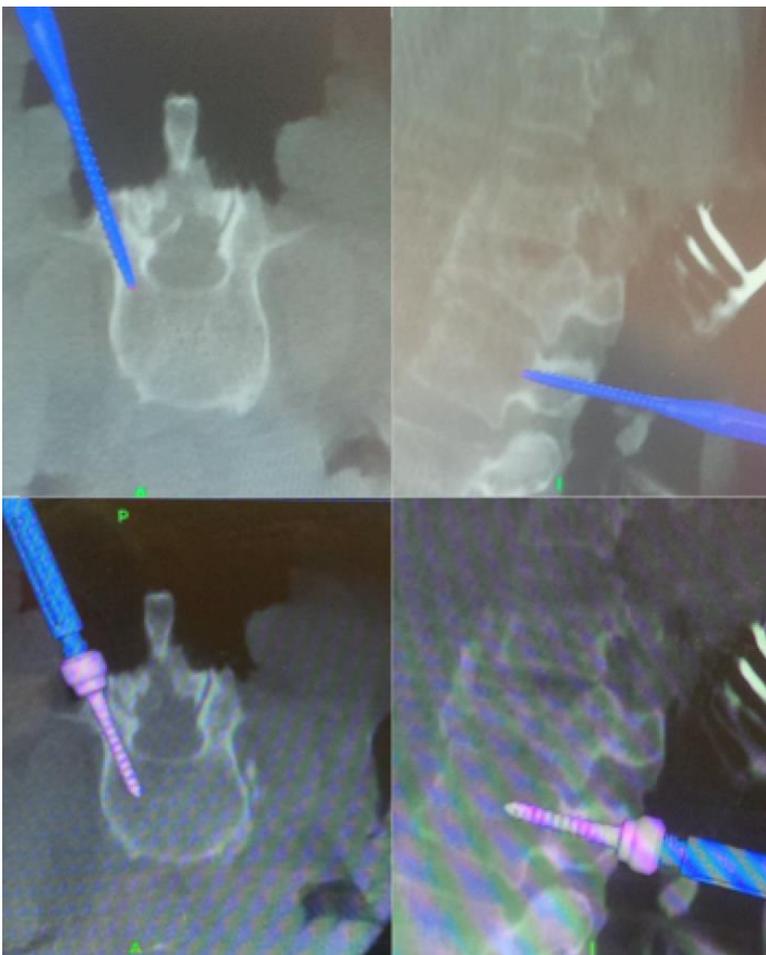


Figure 3 : Capture d'écran lors de la navigation avec le Système O-Arm® pour instrumentation du rachis lombaire

Dans le groupe AS, les patients ont bénéficié d'une anesthésie générale et installé sur une table radio transparente (Trumpf Medical® TrueSystem 7500) perpendiculaire au scanner AIRO®.

Ce dernier abrite un tube à rayons X avec un réseau de détection 32 barrettes. Une fois l'abord terminé, l'étoile de référence est fixée sur un processus épineux situé 1 à 2 niveaux à proximité des vertèbres qui seront instrumentées. Le champ de l'acquisition est déterminé en dessinant ses limites avec un marqueur de peau sur un champ stérile posé au dessus du site opératoire. Les limites sont repérées grâce au système laser intégré au scanner. Pour débiter l'acquisition, tout le personnel quitte la salle opératoire à l'exception du technicien qui effectue l'acquisition ; il est protégé par un tablier en plomb et se place derrière un paravent mobile en plomb de 2 mm d'épaisseur situé à 2,5 mètres du scanner. Une fois l'acquisition terminée, les images sont automatiquement transférées vers le système de navigation Brainlab® Curve. Les acquisitions sont toutes effectuées sous apnée pour exclure les artefacts liés aux mouvements ventilatoires. Les outils de navigation sont enregistrés et la même procédure que celle décrite pour le groupe OS est effectuée.



Figure 4 : Système AIRO® (scanner Airo® couplé au système de navigation Brainlab Curve (Brainlab® AG, Allemagne).



Figure 5 : Photographie peropératoire durant une procédure guidée par la navigation du système AIRO®.

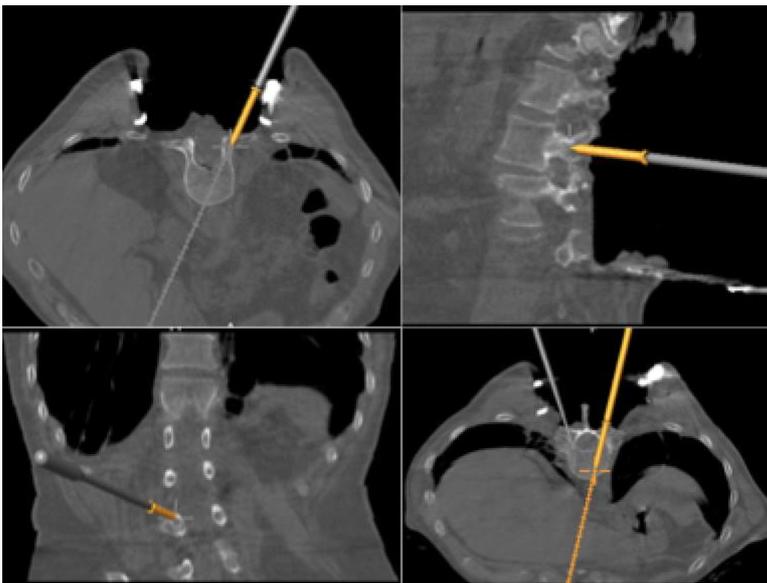


Figure 6 : Capture d'écran lors de la navigation avec le Système AIRO® pour instrumentation du rachis thoracique.

Évaluation radiologique de la visée pédiculaire

Un scanner de contrôle du rachis a été réalisé au second jour postopératoire afin d'évaluer la précision de la visée pédiculaire : (épaisseur de coupe 1 mm) avec reconstructions axiales, coronales et sagittales.

Le positionnement des vis pédiculaire a été évalué selon la classification de Heary¹⁴ pour le rachis thoracique et la classification de Gertzbein¹⁵ pour le rachis lombosacré.

Par ailleurs, nous nous sommes intéressés au grade clinique des vis pédiculaires : sont considérées comme acceptables les grades \leq II de la classification de Heary et les grades \leq B de la classification de Gertzbein.

Les autres sont considérées comme non acceptable (Grade Heary >II, ou Grade Gertzbein >B)^{14,16-18}.

Quantification de l'exposition aux rayonnements ionisants

Le second objectif de cette étude est de comparer l'exposition aux rayonnements ionisants du patient et de l'équipe chirurgicale lors de l'utilisation de l'OS ou de l'AS. Les protocoles d'acquisition utilisés étaient les protocoles standard fournis par les 2 systèmes. Ils ne seront pas détaillés dans cet article.

Pour chaque acquisition, nous avons rapporté :

- Pour le mode 2D : le Produit Dose Surface (PDS) en mGy.cm^2 , qui permet la mesure de la dose délivrée lors de la fluoroscopie de repérage du O-Arm[®].
- Pour le mode 3D : Produit Dose Longueur (PDL) en mGy.cm . Il s'agit d'une grandeur dérivée de la dose absorbée multipliée par la longueur explorée secondaire à l'acquisition 3D du O-Arm[®] et de l'AIRO[®].

Ces mesures ont été extraites directement des rapports fournis par chaque système.

-L'irradiation (en μSv) du chirurgien dans le groupe OS a été recueillie à l'aide d'un dosimètre (Thermo Electron Corporation Mk2.3) placé en regard du thorax sous un tablier de plomb. Lors de la fluoroscopie de repérage, le chirurgien se plaçait juste derrière l'O-Arm[®].

Dans le groupe AS, l'ensemble de l'équipe chirurgicale et anesthésique est hors salle lors de l'acquisition. Par conséquent, aucun dosimètre n'a été utilisé.

- La dose efficace (E) (en mSv) représente la dose ramenée au corps entier : somme des doses équivalentes reçues par chaque organe, pondérée par leur facteur de pondération tissulaire. Elle peut ainsi évaluer un risque radiologique¹⁹.

Elle est calculée en utilisant le rapport E/PDL figurant dans les recommandations Européennes pour l'utilisation du scanner²⁰ ($E = k * \text{PDL}$) ($k = 0,014$ et $k = 0,015$ pour respectivement thorax et abdomen-bassin (régions du corps scannée lors de l'instrumentation thoracolombaire).

Analyses statistiques

Une comparaison entre les 2 cohortes a été réalisée concernant les données démographiques des patients, le nombre de niveaux instrumentés, la précision de la visée pédiculaire et l'irradiation. Le test de Fisher et le Student t-test ont été respectivement utilisés pour des données qualitatives et quantitatives. Une valeur $p < 0,05$ est considérée comme statistiquement significative.

RESULTATS

Population de patients (Tableau 1)

Entre septembre 2016 et juin 2017, 11 patients (6 hommes et 5 femmes) dans le groupe OS et 11 patients (4 hommes et 7 femmes) dans le groupe AS ont bénéficié d'une instrumentation transpédiculaire thoracique et/ou lombosacrée. ($p = 0,67 > 0,05$).

Parmi l'ensemble des patients opérés au CHU Marseille à l'aide de l'AS, 11 ont été retenus de façon à être appariés aux patients du groupe OS concernant l'âge et le niveau rachidien instrumenté.

L'âge moyen était de 60,2 ans (51-78 ans) dans le groupe OS et 67 ans (52-85 ans) dans le groupe AS ($p = 0,17 > 0,05$).

L'indice de masse corporelle moyen était de 24,52 kg.m⁻² (20,8 à 29,41) dans le groupe OS et 28,27 kg.m⁻² (19,7-52,5) dans le groupe AS ($p = 0,2 > 0,05$).

17 patients ont été opérés pour une pathologie rachidienne dégénérative (77%) et 5 pour des lésions traumatiques du rachis (23%).

Moyenne	O-Arm	AIRO	p
Sexe Ratio H:F	6:5	4:7	0.67
Age (années)	60.2 (51-78)	67 (52-85)	0.17
IMC (kg.m ⁻²)	24.52 (20.8-29.41)	28.27 (19.7-52.5)	0.2
Durée Chirurgie (minutes)	155.5 (57-344)	173.8 (74-465)	0.67
Nombre de vertèbres instrumentées	3.6	4	0.77
Temps s'écoulant entre la demande de la réalisation de l'acquisition et la reprise de la chirurgie (minutes)	7.8	4.5	10 ^{-6*}

Tableau 1 : Analyse démographique des 2 cohortes.

Concernant la voie d'abord, dans le groupe OS 3 ont bénéficié d'une voie mini-invasive et 8 en ouvert ; dans le groupe AS on compte 8 abords mini-invasifs et 3 en ouvert ($p = 0,08 > 0,05$). (Tableau 2)

	O-Arm	AIRO	p
Ouvert	8	3	0.08
Mini-Invasif	3	8	

Tableau 2 : Type d'approches chirurgicales dans les 2 cohortes

Utilisation de l'imagerie en peropératoire

Le temps moyen nécessaire pour réaliser une acquisition (temps s'écoulant entre la demande de la réalisation de l'acquisition par le chirurgien et la reprise de la chirurgie) était de 7,8 minutes (min) dans le groupe OS et 4,5 min dans le groupe AS ($p = 3 \cdot 10^{-6} < 0,05$).

L'acquisition a été obtenue avec succès au moins 1 fois chez tous les patients. Chez 3 patients dans le groupe OS, l'acquisition a dû être répétée 1 seule fois en raison d'un problème technique afin d'obtenir une image exploitable.

Le temps opératoire moyen était de 155,5 min (57-344 min) dans le groupe OS et 173,8 min (74-465 min) dans le groupe AS ($p = 0,67 > 0,05$).

Le nombre moyen de vertèbres instrumentées était de 3,6 dans le groupe OS et 4 dans le groupe AS ($p = 0,77 > 0,05$).

Précision de la visée pédiculaire (Tableau 3 et 4)

Le repositionnement de vis mal placées était basé sur le jugement peropératoire du chirurgien ou lors d'une chirurgie de reprise pour vis neurotoxique.

Dans le groupe OS, au total 74 vis ont été placées sous navigation : 9 au niveau du rachis thoracique et 65 au niveau lombaire. Au niveau thoracique, selon la classification de Heary, 5 étaient grade I, 1 grade II, 3 grade III et 0 grade IV. 66,6% ont été jugés acceptables et 33,3% non acceptable. Au niveau lombaire, selon la classification de

Gertzbein, 50 étaient grade A, 9 grade B, 2 grade C, 1 grade D et 3 grade E. Une chirurgie de révision a été réalisée le lendemain du bloc pour 1 patient dans le groupe OS. 2 vis neurotoxiques en L2 et L3 gauche ont été diagnostiquées à l'aide du scanner de contrôle postopératoire. Un problème technique lors du bloc a été signalé par le chirurgien. 90,8% des vis ont été jugées acceptables et 9,2% non-acceptables.

Dans le groupe AS, au total 84 vis ont été placées sous navigation : 20 au niveau du rachis thoracique et 64 au niveau lombaire. Au niveau thoracique, selon la classification de Heary, 17 étaient grade I, 0 grade II, 1 grade III et 2 grade IV. 85% ont été jugés acceptables et 15% non-acceptables. Au niveau lombaire, selon la classification de Gertzbein, 48 étaient grade A, 11 grade B, 2 grade C, 0 grade D et 3 grade E. Aucune chirurgie de révision n'a été nécessaire dans ce groupe. 92,2% ont été jugées acceptables et 7,8% non-acceptables.

Aucune différence significative n'a été observée entre les deux systèmes concernant le vissage thoracique ($p = 0,11$) et lombaire ($p = 0,98$).

	Nb de Vis Pédiculaires		Grade I		Grade II		Grade III		Grade IV		Grade V	
	OS	AS	OS	AS	OS	AS	OS	AS	OS	AS	OS	AS
T8	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T9	2	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0
T10	1	4	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0
T11	0	8	0	6	0	0	0	1	0	1	0	0
T12	4	6	3	5	1	0	0	0	0	1	0	0
TOTAL	9	20	5 (55.5%)	17 (85%)	1 (11.1%)	0	3 (33.3%)	1 (5%)	0	2 (10%)	0	0

Tableau 3 : Visée pédiculaire thoracique selon la classification de Heary.

	Nb de Vis Pédiculaires		Grade A		Grade B		Grade C		Grade D		Grade E	
	OS	AS	OS	AS	OS	AS	OS	AS	OS	AS	OS	AS
L1	10	8	5	5	5	3	0	0	0	0	0	0
L2	12	6	9	3	2	2	0	1	0	0	1	0
L3	10	7	6	6	1	0	2	0	0	0	1	1
L4	15	19	14	15	0	2	0	1	1	0	0	1
L5	11	18	9	13	1	4	0	0	0	0	1	1
S1	7	6	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	65	64	50 (77%)	48 (75%)	9 (13.8%)	11 (17%)	2 (3%)	2 (3%)	1 (1.5%)	0	3 (4.6%)	3 (4.7%)

Tableau 4 : Visée pédiculaire lombosacrée selon la classification de Gertzbein.

Aucune différence significative n'a été trouvée quant au grade clinique au niveau thoracique ($p = 0,34$) et lombaire ($p = 1$). (Tableau 5)

	Heary		p	Gertzbein		p
	OS	AS		OS	AS	
Acceptable	66.6%	85%	0.34	90.8%	92.2%	1
Poor	33.3%	15%		9.2%	7.8%	

Tableau 5 : Grade clinique et comparaison de la visée pédiculaire entre les 2 cohortes.

Irradiation (Tableau 6)

Dans le groupe OS :

Le nombre moyen d'acquisitions pour chaque patient était de 1,36 (1-3).

Le PDS moyen était de 877,8 mGy.cm² (162,36-2040,16 mGy.cm²). Le PDL variait de 143,71 à 630,35 mGy.cm (moyenne de 235,12 mGy.cm), ce qui correspond à 2,58 mSv par acquisition. L'irradiation moyenne globale reçue par un patient (somme de la fluoroscopie et de l'imagerie 3D) était de 3,52 mSv (2,1 à 9,4 mSv). La dose efficace moyenne par vertèbre instrumentée était de 1,04 mSv. L'irradiation moyenne reçue par le chirurgien lors de la fluoroscopie de repérage était de 0,63 μ Sv.

Lors de l'acquisition, l'irradiation reçue par l'équipe chirurgicale et anesthésique hors salle, a été considérée nulle.

Dans le groupe AS :

Le nombre moyen d'acquisitions pour chaque patient était de 1,8 (1-2).

Le PDL variait de 425,89 à 1681,04 mGy.cm (moyenne 1039,46 mGy.cm), ce qui correspond à 8,7 mSv par acquisition. L'irradiation moyenne de chaque patient était de 15,6 mSv (6,4-25,2 mSv). La dose efficace moyenne par vertèbre instrumentée était de 3,9 mSv. Lors de l'acquisition, l'irradiation reçue par l'équipe chirurgicale et anesthésique hors salle, a de même été considérée nulle.

Aucune différence statistiquement significative n'a été retrouvée concernant le nombre d'acquisition par patient ($p=0,07 > 0,05$). Les différences entre les deux systèmes étaient significativement différentes concernant le PDL ($p=10^{-6} < 0,05$), l'irradiation reçue par un patient ($p=10^{-6} < 0,05$), la dose efficace moyenne par vertèbre instrumentée ($p < 0,05$) et l'irradiation reçue par le chirurgien ($p=0,02 < 0,05$).

Moyenne	O-Arm	AIRO	p
Nombre d'acquisition/ patient	1.36	1.8	0.07
PDL (mGy.cm)	235 (143- 630)	1039 (425-1681)	$<10^{-6}$ *
Irradiation reçue /patient (mSv)	3.52 (2.1–9.4)	15.6 (6.4–25.2)	$<10^{-6}$ *
Irradiation par niveau instrumenté (mSv)	1.04	3.9	<0.05 *
Irradiation/acquisition (mSv)	2.58	8.7	<0.05 *
Irradiation reçue par le chirurgien (μ Sv)	0.63	0	0.02*

Tableau 6 : Comparaison entre les 2 cohortes de l'exposition aux rayonnements ionisants du patient et du chirurgien. PDL : Produit Dose Longueur

DISCUSSION

Il s'agit de la première étude multicentrique comparant 2 systèmes de navigation 3D. Les 2 cohortes étaient comparables en ce qui concerne les données démographiques des patients et le nombre de vertèbres instrumentées.

Visée Pédiculaire

Le taux de mal positionnement de vis pédiculaires peut varier entre 5 et 30% pour les techniques à main levée et guidées par la fluoroscopie²¹⁻²⁷. La navigation avec un scanner peropératoire dans la chirurgie rachidienne offre de meilleurs résultats concernant le positionnement des vis pédiculaires^{5,8,28-30}. De nombreuses classifications concernant la précision du positionnement et l'effraction corticale des vis pédiculaires sont rapportées dans la littérature¹². Ceci entraîne une hétérogénéité dans les résultats rapportés concernant les grades cliniques (acceptable/non-acceptable) des implants pédiculaires. Il n'existe actuellement aucune classification consensuelle pour évaluer la précision du positionnement des implants pédiculaires. Cependant, la classification la plus utilisée est basée sur la rupture de la cortical du pédicule par niveau de 2 mm tel que rapportée par Aoud et al¹⁶. Ces grades sont mesurés sur des scanners postopératoires. Nous pensons qu'une nouvelle classification consensuelle pour déterminer la précision du positionnement des implants pédiculaires devrait exister pour le rachis thoracique et lombaire. Cela permettrait la comparaison de différentes techniques de navigation utilisées pour le vissage pédiculaire. Dans notre étude, nous n'avons pas retrouvé de différence significative entre les 2 cohortes quant au grade clinique des vis pédiculaires (acceptable/non-acceptable). Le taux global de vis considérées comme acceptable s'élève à 87,8% dans le groupe OS et 90% dans le groupe AS. Ces valeurs sont semblables à celles retrouvées dans la littérature chez les équipes utilisant ces mêmes systèmes. En effet, Gelalis et al.⁸ ont rapporté un taux de 89 à 100% de bon positionnement des implants pédiculaires dans le sous-groupe ayant bénéficié de navigation guidée par un scanner peropératoire. Dans une méta-analyse évaluant 7533 vis pédiculaires, Tian et Xu¹ ont signalé une médiane de bon positionnement de 90,76% pour le sous-groupe de navigation avec un scanner peropératoire. Les rapports concernant l'utilisation de l'O-Arm[®] ont montré un taux de bon positionnement allant de 92 à 97,5%³¹⁻³³. En rapportant leur expérience de 1651 vis pédiculaires placées chez 266 patients, Rivkin et al³⁴, ont souligné l'importance de la

courbe d'apprentissage pour les chirurgiens. Ils ont démontré une augmentation significative du taux de bon positionnement des implants pédiculaires entre le début et la fin de leur étude. Un taux de bon positionnement de 82,9% a été observé pour les 15 premiers patients. Il a été qualifié de sous optimal. Il est par la suite passé à 92,6 et 95,9% pour les patients suivants ($p < 0,05$). D'autre part, les premiers et rares rapports concernant la navigation avec le système AIRO[®] ont montré un taux de bon positionnement allant de 95,9% à 98,6%^{35,36}. D'autres études pourraient être intéressantes à mener dans les deux CHU afin de comparer le taux de bon positionnement des implants pédiculaires dans un groupe de navigation avec un scanner peropératoire au taux obtenu dans un groupe guidée par la fluoroscopie; Une étude prospective randomisée évaluant l'intérêt de la navigation avec un scanner peropératoire dans la pratique quotidienne de la chirurgie rachidienne thoraco-lombaire serait intéressante à réaliser.

Irradiation et risque radiologique

Le second objectif de cette étude était de comparer l'irradiation du patient et du chirurgien. L'irradiation lors de la chirurgie rachidienne est particulièrement élevée lors des approches mini-invasives. Cela reste une préoccupation majeure pour les patients et le personnel de la salle opératoire ; Les chirurgiens reçoivent la dose d'irradiation la plus élevée lors de la navigation sous fluoroscopie³⁷⁻⁴⁰. En effet, la dose efficace moyenne rapportée dans la littérature pour une instrumentation du rachis thoraco-lombaire par abord ouvert chez les adultes est de 0,393 mSv par niveau contre 0,611 mSv par niveau pour les approches mini-invasives sous fluoroscopie⁴¹⁻⁴³. Les techniques de navigation basées sur le scanner peropératoire ont été développées au cours de la dernière décennie afin d'accroître la précision du placement des implants pédiculaires et de réduire l'exposition aux rayons. Bien que de multiples études aient déterminé que la navigation basée sur le scanner peropératoire (O-Arm[®]) réduit l'exposition du personnel de la salle opératoire aux rayonnements ionisants, elle augmente l'irradiation du patient⁴⁴⁻⁴⁷. Tabaraee et al.⁴⁸, dans une étude sur le placement de 160 vis pédiculaires sur des cadavres, ont montré que dans le groupe O-Arm[®], aucune irradiation n'a été détectée pour l'équipe chirurgicale, tandis que dans le groupe fluoroscopie, on retrouvait une exposition de 0,6075 mSv. Par ailleurs, Mendelsohn et al.⁴⁹ ont trouvé, une dose efficace moyenne de 1,09 mSv par patient par niveau de vertèbre instrumentée en ouvert au niveau thoraco-lombaire sous navigation O-Arm[®] ;

un résultat similaire à celui retrouvé dans notre étude pour le groupe OS (1,04 mSv par niveau). Ils ont également constaté que dans les 73 patients ayant bénéficié de l'instrumentation guidée par O-Arm®, leur irradiation était 8,7 fois supérieure à celle du personnel de la salle opératoire ; une valeur similaire à celle trouvée par Villard et al.⁵⁰ (9,96 fois). Il est important de peser la balance bénéfice/risque quant à la réduction de l'irradiation du personnel de la salle opératoire tout en augmentant celle du patient. De futures études concernant l'utilisation de la navigation basée sur le scanner peropératoire sont nécessaires pour établir le risque radiologique du patient. L'irradiation naturelle est estimée à 2,9 mSv/an en France⁵¹ et à 3,1 mSv/an aux États-Unis⁵². En médecine, l'exposition aux rayonnements ionisants n'est pas sans impact majeur. En effet, il est estimé que l'imagerie médicale cause 0,6% à 3% des cancers dans le monde⁵³. Le risque pour un adulte de développer un cancer lié à l'irradiation est de 4/100 000 par mSv d'exposition. L'ICRP recommande que l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants soit limitée à 20mSv/an sur une période de 5 ans, sans dépasser 50 mSv en une seule année. Pour le grand public, l'exposition aux rayonnements ionisants devrait être limitée à une moyenne maximale de 1 mSv/an sur une période de cinq ans¹⁹. À l'heure actuelle, il n'existe pas de recommandations spécifiques pour les limites d'exposition aux rayonnements ionisants du personnel de la salle opératoire ; cependant il est recommandé de mettre en place des protocoles de protection plus importants afin de minimiser cette exposition⁵⁴. La dose efficace moyenne pour un scanner du crâne est de 2 mSv, pour le rachis de 7,5 à 10 mSv^{19,55,56}. Dans notre étude, la dose moyenne d'exposition aux rayonnements ionisants par acquisition dans le groupe OS était de 2,58 contre 8,7 mSv dans le groupe AS. Bien qu'il soit plus élevé dans le groupe AS, cela doit être corrélé à la meilleure qualité de l'imagerie peropératoire obtenue avec ce système. Un meilleur confort chirurgical pourrait également être retenu par le chirurgien. Des études comparant l'évaluation de la qualité de l'imagerie et le confort du chirurgien lors de la navigation avec ces 2 systèmes pourraient être très intéressantes. Nos valeurs restent inférieures à celles retenues par les recommandations 2007 de l'ICRP. Les équipes envisageant l'utilisation de la navigation basée sur le scanner peropératoire doivent peser la balance bénéfice/risque de l'exposition du patient aux rayonnements ionisants. Ceci est particulièrement vrai pour le groupe AS où une seule acquisition est équivalente à 4,35 ans de rayonnement naturel. De plus, l'intérêt d'une imagerie de contrôle systématique en postopératoire (scanner ou radiographie) devra se poser. En réalité, nous n'avons pas rapporté l'irradiation reçue par le patient en rapport avec le scanner de contrôle postopératoire à J2. L'objectif ultime pour une meilleure

prise en charge consisterait en une exposition minimale aux rayonnements ionisants pour le personnel de la salle opératoire avec un taux de bon positionnement des implants pédiculaires proche de 100%. En supposant cela, un contrôle postopératoire immédiat d'une instrumentation rachidienne ne devrait plus être nécessaire. D'autre part, une collaboration étroite avec les services de radioprotection respectifs peut aider à réduire l'exposition aux rayonnements ionisants sans impact négatif sur la qualité de l'image : diminuer l'irradiation avec une qualité d'image équivalente⁵⁷.

Coût et Rentabilité

Un autre point important lors de l'acquisition de cette technologie (navigation basée sur le scanner peropératoire) par une équipe chirurgicale est sa rentabilité.

Dans une étude économique, Costa et al,⁵⁸ ont comparé un système de navigation basé sur l'imagerie préopératoire à la navigation sous O-Arm[®]. L'utilisation de la navigation sous O-Arm[®] permet une réduction du coût moyen de 255,83 euros par patient. Dans une autre étude cas-témoins, Dea et al,³³ ont récemment signalé une réduction du nombre de ré-intervention pour mal positionnement de vis pédiculaire chez les patients opérés sous navigation couplée au scanner peropératoire. Ils avancent que les coûts élevés d'acquisition et de maintenance de ce système compensent largement les coûts liés à une éventuelle ré-intervention. Aux États-Unis, le seuil de rentabilité calculé correspond à 168 cas par an de patients opérés du rachis sous navigation couplé à un scanner peropératoire. Leur analyse coût-efficacité a montré que pour des centres ayant un recrutement important (plus de 250 instrumentations rachidiennes par an), cette technologie est économiquement justifiée. Nous n'avons pour l'instant retrouvé aucune étude s'intéressant au coût-efficacité du système AIRO[®]. Des études évaluant la rentabilité de ces 2 technologies devraient prendre en compte les spécificités du système de soins de chaque pays.

CONCLUSION

Cette étude est la première comparant directement deux systèmes de navigation peropératoire lors de l'instrumentation du rachis thoraco-lombaire. C'est aussi la première étude qui s'intéresse à l'irradiation lors de l'utilisation du scanner AIRO®. Le scanner peropératoire est une innovation majeure qui permet d'améliorer la précision du positionnement des vis pédiculaires. Ceci est accompagné d'une irradiation acceptable pour le patient et réduite pour le personnel médico-chirurgical. De nombreuses limites sont à noter dans cette étude : le faible effectif de patients dans chaque cohorte ainsi que l'hétérogénéité des approches chirurgicales. Dans l'avenir, il serait intéressant de mener de nouvelles études évaluant l'exposition aux rayonnements ionisants et la rentabilité de l'AIRO®. Néanmoins, nous pensons que ce travail permettra à d'autres équipes souhaitant acquérir un système de navigation peropératoire d'orienter leur choix. Bien que certaines publications valident le fait que cette technologie soit efficace et rentable pour des centres avec un flux important de patients, les chirurgiens doivent s'y intéresser de près aux expositions des patients aux rayonnements ionisants et s'y engager à les réduire.

BIBLIOGRAPHIE

1. Tian NF, Xu HZ. Image-guided pedicle screw insertion accuracy: a meta-analysis. *Int Orthop*. 2009;33(4):895-903.
2. Meng XT, Guan XF, Zhang HL, He SS. Computer navigation versus fluoroscopy-guided navigation for thoracic pedicle screw placement: a meta-analysis. *Neurosurg Rev*. 2016;39(3):385-91.
3. Waschke A, Walter J, Duenisch P, Reichart R, Kalff R, Ewald C. CT-navigation versus fluoroscopy-guided placement of pedicle screws at the thoracolumbar spine: single center experience of 4,500 screws. *Eur Spine J*. 2013;22(3):654-60.
4. Holly LT, Foley KT. Image guidance in spine surgery. *Orthop Clin North Am*. 2007;38(3):451-61; abstract viii.
5. Kosmopoulos V, Schizas C. Pedicle screw placement accuracy: a meta-analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(3):E111-20.
6. Costa F, Cardia A, Ortolina A, Fabio G, Zerbi A, Fornari M. Spinal navigation: standard preoperative versus intraoperative computed tomography data set acquisition for computer-guidance system: radiological and clinical study in 100 consecutive patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(24):2094-8.
7. Mason A, Paulsen R, Babuska JM, Rajpal S, Burneikiene S, Nelson EL, et al. The accuracy of pedicle screw placement using intraoperative image guidance systems. *J Neurosurg Spine*. 2014;20(2):196-203.
8. Gelalis ID, Paschos NK, Pakos EE, Politis AN, Arnaoutoglou CM, Karageorgos AC, et al. Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques. *Eur Spine J*. 2012;21(2):247-55.
9. Tang J, Zhu Z, Sui T, Kong D, Cao X. Position and complications of pedicle screw insertion with or without image-navigation techniques in the thoracolumbar spine: a meta-analysis of comparative studies. *J Biomed Res*. 2014;28(3):228-39.
10. Laine T, Schlenzka D, Makitalo K, Tallroth K, Nolte LP, Visarius H. Improved accuracy of pedicle screw insertion with computer-assisted surgery. A prospective clinical trial of 30 patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1997;22(11):1254-8.
11. Merloz P, Tonetti J, Pittet L, Coulomb M, Lavallee S, Sautot P. Pedicle screw placement using image guided techniques. *Clin Orthop Relat Res*. 1998(354):39-48.
12. Puvanesarajah V, Liauw JA, Lo SF, Lina IA, Witham TF. Techniques and accuracy of thoracolumbar pedicle screw placement. *World J Orthop*. 2014;5(2):112-23.
13. Kosmopoulos V, Theumann N, Binaghi S, Schizas C. Observer reliability in evaluating pedicle screw placement using computed tomography. *Int Orthop*. 2007;31(4):531-6.
14. Heary RF, Bono CM, Black M. Thoracic pedicle screws: postoperative computerized tomography scanning assessment. *J Neurosurg*. 2004;100(4 Suppl Spine):325-31.
15. Gertzbein SD, Robbins SE. Accuracy of pedicular screw placement in vivo. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1990;15(1):11-4.
16. Aoude AA, Fortin M, Figueiredo R, Jarzem P, Ouellet J, Weber MH. Methods to determine pedicle screw placement accuracy in spine surgery: a systematic review. *Eur Spine J*. 2015;24(5):990-1004.
17. Belmont PJ, Jr., Klemme WR, Dhawan A, Polly DW, Jr. In vivo accuracy of thoracic pedicle screws. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(21):2340-6.

18. Guha D, Jakubovic R, Gupta S, Alotaibi NM, Cadotte D, da Costa LB, et al. Spinal intraoperative three-dimensional navigation: correlation between clinical and absolute engineering accuracy. *Spine J*. 2017;17(4):489-98.
19. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP*. 2007;37(2-4):1-332.
20. G. Bongartz SJG, A.G. Jurik, M. Leonardi, E. van Persijn van Meerten, R. Rodríguez, K. Schneider, A. Calzado, J. Geleijns, K.A. Jessen, W. Panzer, P. C. Shrimpton, G. Tosi. European Guidelines for Multislice Computed Tomography. March 2004.
21. Hart RA, Hansen BL, Shea M, Hsu F, Anderson GJ. Pedicle screw placement in the thoracic spine: a comparison of image-guided and manual techniques in cadavers. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30(12):E326-31.
22. Assaker R, Reyns N, Vinchon M, Demondion X, Louis E. Transpedicular screw placement: image-guided versus lateral-view fluoroscopy: in vitro simulation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(19):2160-4.
23. Mirza SK, Wiggins GC, Kuntz Ct, York JE, Bellabarba C, Knonodi MA, et al. Accuracy of thoracic vertebral body screw placement using standard fluoroscopy, fluoroscopic image guidance, and computed tomographic image guidance: a cadaver study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28(4):402-13.
24. Bransford R, Bellabarba C, Thompson JH, Henley MB, Mirza SK, Chapman JR. The safety of fluoroscopically-assisted thoracic pedicle screw instrumentation for spine trauma. *J Trauma*. 2006;60(5):1047-52.
25. Guzey FK, Emel E, Hakan Seyithanoglu M, Serdar Bas N, Ozkan N, Sel B, et al. Accuracy of pedicle screw placement for upper and middle thoracic pathologies without coronal plane spinal deformity using conventional methods. *J Spinal Disord Tech*. 2006;19(6):436-41.
26. Ravi B, Zahrai A, Rampersaud R. Clinical accuracy of computer-assisted two-dimensional fluoroscopy for the percutaneous placement of lumbosacral pedicle screws. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(1):84-91.
27. Amiot LP, Lang K, Putzier M, Zippel H, Labelle H. Comparative results between conventional and computer-assisted pedicle screw installation in the thoracic, lumbar, and sacral spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25(5):606-14.
28. Zausinger S, Scheder B, Uhl E, Heigl T, Morhard D, Tonn JC. Intraoperative computed tomography with integrated navigation system in spinal stabilizations. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(26):2919-26.
29. Tormenti MJ, Kostov DB, Gardner PA, Kanter AS, Spiro RM, Okonkwo DO. Intraoperative computed tomography image-guided navigation for posterior thoracolumbar spinal instrumentation in spinal deformity surgery. *Neurosurg Focus*. 2010;28(3):E11.
30. Shin BJ, James AR, Njoku IU, Hartl R. Pedicle screw navigation: a systematic review and meta-analysis of perforation risk for computer-navigated versus freehand insertion. *J Neurosurg Spine*. 2012;17(2):113-22.
31. Shin MH, Hur JW, Ryu KS, Park CK. Prospective Comparison Study Between the Fluoroscopy-guided and Navigation Coupled With O-arm-guided Pedicle Screw Placement in the Thoracic and Lumbosacral Spines. *J Spinal Disord Tech*. 2015;28(6):E347-51.
32. Van de Kelft E, Costa F, Van der Planken D, Schils F. A prospective multicenter registry on the accuracy of pedicle screw placement in the thoracic, lumbar, and sacral levels with the use of the O-arm imaging system and StealthStation Navigation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37(25):E1580-7.

33. Dea N, Fisher CG, Batke J, Strelzow J, Mendelsohn D, Paquette SJ, et al. Economic evaluation comparing intraoperative cone beam CT-based navigation and conventional fluoroscopy for the placement of spinal pedicle screws: a patient-level data cost-effectiveness analysis. *Spine J.* 2016;16(1):23-31.
34. Rivkin MA, Yocom SS. Thoracolumbar instrumentation with CT-guided navigation (O-arm) in 270 consecutive patients: accuracy rates and lessons learned. *Neurosurg Focus.* 2014;36(3):E7.
35. Hecht N, Kamphuis M, Czabanka M, Hamm B, Konig S, Woitzik J, et al. Accuracy and workflow of navigated spinal instrumentation with the mobile AIRO((R)) CT scanner. *Eur Spine J.* 2016;25(3):716-23.
36. Lian X, Navarro-Ramirez R, Berlin C, Jada A, Moriguchi Y, Zhang Q, et al. Total 3D Airo(R) Navigation for Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *Biomed Res Int.* 2016;2016:5027340.
37. Yu E, Khan SN. Does less invasive spine surgery result in increased radiation exposure? A systematic review. *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472(6):1738-48.
38. Theocharopoulos N, Perisinakis K, Damilakis J, Papadokostakis G, Hadjipavlou A, Gourtsoyiannis N. Occupational exposure from common fluoroscopic projections used in orthopaedic surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85-A(9):1698-703.
39. Rampersaud YR, Foley KT, Shen AC, Williams S, Solomito M. Radiation exposure to the spine surgeon during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000;25(20):2637-45.
40. Mulconrey DS. Fluoroscopic Radiation Exposure in Spinal Surgery: In Vivo Evaluation for Operating Room Personnel. *Clin Spine Surg.* 2016;29(7):E331-5.
41. Perisinakis K, Theocharopoulos N, Damilakis J, Katonis P, Papadokostakis G, Hadjipavlou A, et al. Estimation of patient dose and associated radiogenic risks from fluoroscopically guided pedicle screw insertion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2004;29(14):1555-60.
42. Bronsard N, Boli T, Challali M, de Dompure R, Amoretti N, Padovani B, et al. Comparison between percutaneous and traditional fixation of lumbar spine fracture: intraoperative radiation exposure levels and outcomes. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2013;99(2):162-8.
43. Fransen P. Fluoroscopic exposure in modern spinal surgery. *Acta Orthop Belg.* 2011;77(3):386-9.
44. Lange J, Karellas A, Street J, Eck JC, Lapinsky A, Connolly PJ, et al. Estimating the effective radiation dose imparted to patients by intraoperative cone-beam computed tomography in thoracolumbar spinal surgery. *Spine (Phila Pa 1976).* 2013;38(5):E306-12.
45. Bandela JR, Jacob RP, Arreola M, Griglock TM, Bova F, Yang M. Use of CT-based intraoperative spinal navigation: management of radiation exposure to operator, staff, and patients. *World Neurosurg.* 2013;79(2):390-4.
46. Nottmeier EW, Pirris SM, Edwards S, Kimes S, Bowman C, Nelson KL. Operating room radiation exposure in cone beam computed tomography-based, image-guided spinal surgery: clinical article. *J Neurosurg Spine.* 2013;19(2):226-31.
47. Grelat M, Zairi F, Quidet M, Marinho P, Allaoui M, Assaker R. [Assessment of the surgeon radiation exposure during a minimally invasive TLIF: Comparison between fluoroscopy and O-arm system]. *Neurochirurgie.* 2015;61(4):255-9.
48. Tabaraee E, Gibson AG, Karahalios DG, Potts EA, Mobasser JP, Burch S. Intraoperative cone beam-computed tomography with navigation (O-ARM) versus conventional fluoroscopy (C-ARM): a cadaveric study comparing accuracy,

- efficiency, and safety for spinal instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38(22):1953-8.
49. Mendelsohn D, Strelzow J, Dea N, Ford NL, Batke J, Pennington A, et al. Patient and surgeon radiation exposure during spinal instrumentation using intraoperative computed tomography-based navigation. *Spine J*. 2016;16(3):343-54.
50. Villard J, Ryang YM, Demetriades AK, Reinke A, Behr M, Preuss A, et al. Radiation exposure to the surgeon and the patient during posterior lumbar spinal instrumentation: a prospective randomized comparison of navigated versus non-navigated freehand techniques. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(13):1004-9.
51. Rapport IRSN/2015-00001. Exposition de la population française aux rayonnements ionisants en 2015. 2016.
52. Schauer DA, Linton OW. National Council on Radiation Protection and Measurements report shows substantial medical exposure increase. *Radiology*. 2009;253(2):293-6.
53. Berrington de Gonzalez A, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet*. 2004;363(9406):345-51.
54. Giordano BD, Grauer JN, Miller CP, Morgan TL, Rehtine GR, 2nd. Radiation exposure issues in orthopaedics. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93(12):e69(1-10).
55. Lemburg SP, Peters SA, Roggenland D, Nicolas V, Heyer CM. Cumulative effective dose associated with radiography and CT of adolescents with spinal injuries. *AJR Am J Roentgenol*. 2010;195(6):1411-7.
56. Albert JM. Radiation risk from CT: implications for cancer screening. *AJR Am J Roentgenol*. 2013;201(1):W81-7.
57. Abul-Kasim K, Soderberg M, Selariu E, Gunnarsson M, Kherad M, Ohlin A. Optimization of radiation exposure and image quality of the cone-beam O-arm intraoperative imaging system in spinal surgery. *J Spinal Disord Tech*. 2012;25(1):52-8.
58. Costa F, Porazzi E, Restelli U, Foglia E, Cardia A, Ortolina A, et al. Economic study: a cost-effectiveness analysis of an intraoperative compared with a preoperative image-guided system in lumbar pedicle screw fixation in patients with degenerative spondylolisthesis. *Spine J*. 2014;14(8):1790-6.

ANNEXES

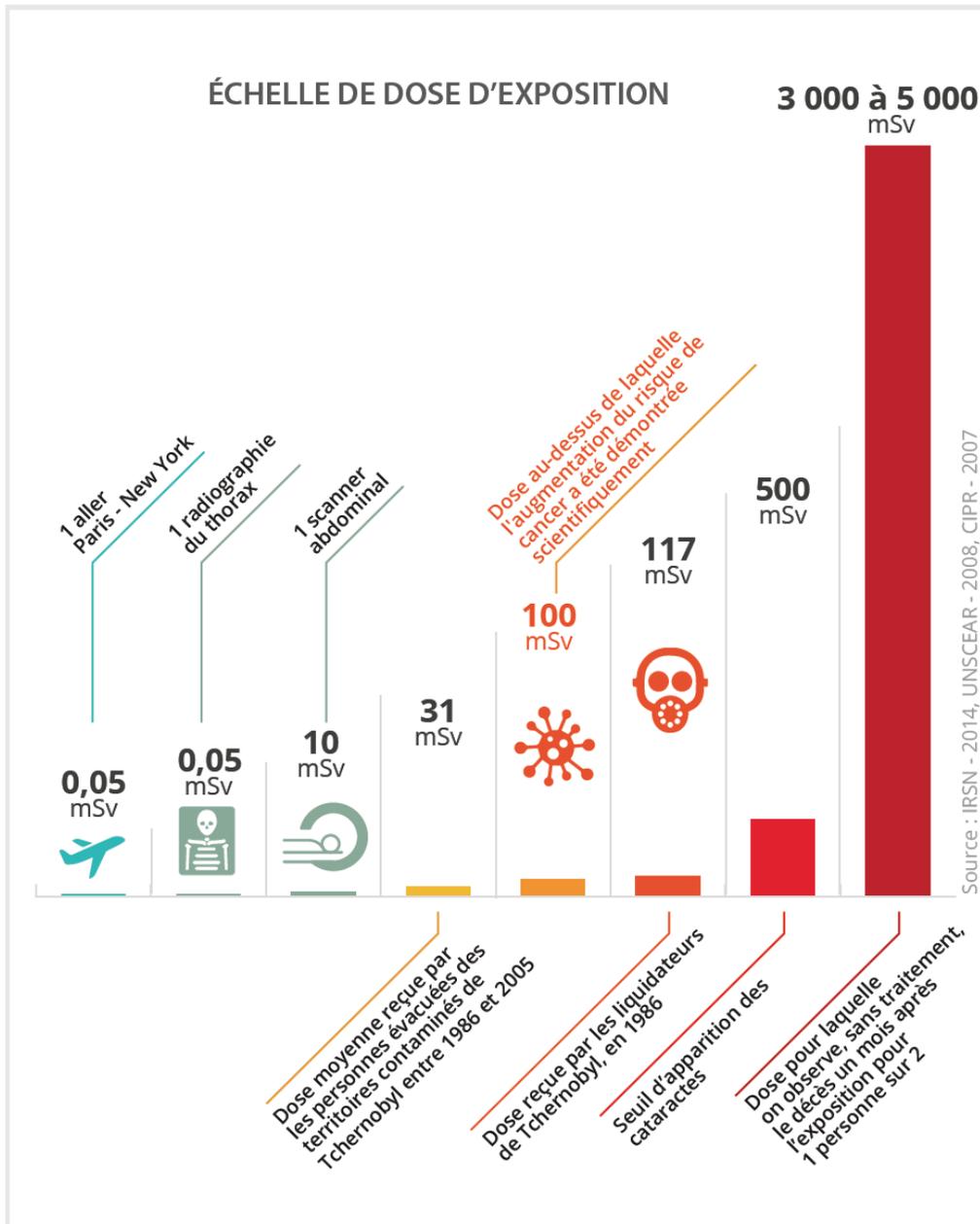
ANNEXE 1 Classification de Heary pour le rachis thoracique

Grade	Brèche
1	Absente. Vis complètement contenue dans le pédicule
2	Latérale mais pointe au sein du corps vertébral
3	Antérieure ou latérale de la pointe
4	Médiane ou inférieure
5	Nécessitant une révision immédiate du fait de sa proximité à des structures sensibles (Moelle Spinale, Racines, vaisseaux)

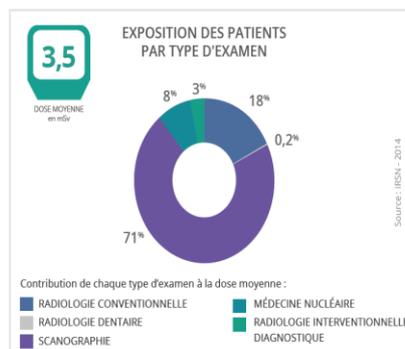
ANNEXE 2 Classification de Gertzbein pour le rachis lombaire

Grade	
A	Vis intra pédiculaire sans brèche de la corticale
B	Brèche de la corticale du pédicule <2mm
C	Brèche de la corticale du pédicule <4mm
D	Brèche de la corticale du pédicule <6mm
E	Brèche de la corticale du pédicule >6mm ou vis ne traversant le pédicule à aucun moment de son trajet prédéterminée

ANNEXE 3 Ordre de grandeurs d'irradiation en France : Rapport IRSN 2015



EXPOSITION DE LA POPULATION EXPOSITION DES PATIENTS EXPOSÉS EXPOSITION DES TRAVAILLEURS



ANNEXE 4 Coefficients permettant le calcul de la Dose Efficace ; Issus des Recommandations Européennes pour l'utilisation du scanner multibarrettes Mars 2004

Generalised E/DAP coefficients for radiographic/fluoroscopic examinations

Exam type	E/DAP (mSv/Gy cm²)
1. Chest (PA + Lat) High kV Chest (PA + Lat) Low kV	0.18 0.10
2. Cervical spine	
3. Thoracic spine	0.19
4. Lumbar spine	0.21
6. Abdomen	0.26
7. Pelvis & hip	0.29
8. Ba meal	0.2
9. Ba enema	0.28
10. Ba follow	0.22
11. IVU	0.18
12. Cardiac angio.	0.2

Generalised E/DLP coefficients for CT examinations

Region of body scanned	E/DLP (mSv/mGy cm)
13. Head	0.0021
14. Neck	0.0059
15. Chest	0.014
17. Abdomen & pelvis	0.015
18. Pelvis	0.015
19. Trunk	0.015

ABREVIATIONS

AS : Système AIRO®

cm : Centimètre

PDS : Produit Dose Surface

PDL : Produit Dose longueur

IRCP : International Commission on Radiological Protection

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire

mGy : milliGray

Min : Minutes

mSv : milliSeivert

OS : Système O-Arm®

Sv : Sievert

μSv : microSeivert

SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis(e) 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.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) 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 déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque.

RESUME :

Objectif : Le vissage pédiculaire reste un défi surtout pour les jeunes opérateurs. Les nouvelles techniques de navigation occupent une place de plus en plus importante dans la chirurgie rachidienne. La présente étude est axée sur la comparaison entre deux systèmes de navigation couplés à un scanner peropératoire : O-Arm® et AIRO®. La précision et l'exposition aux rayonnements ionisants de l'équipe chirurgicale et du patient lors de l'instrumentation du rachis thoraco-lombaire ont été comparées.

Méthodes : Les auteurs ont mené une étude prospective, non randomisée, comparative dans deux Centres Hospitalo-Universitaires (CHU) français : O-Arm® au CHU Bordeaux et AIRO® au CHU Marseille. Un scanner a été réalisé à J2 postopératoire afin d'évaluer la précision du placement des vis pédiculaires. L'exposition aux rayonnements ionisants et la dose efficace ont été calculées à partir des rapports fournis par chaque système.

Résultats : Au total, 74 vis ont été placés chez 11 patients dans le groupe O-Arm® et 84 chez 11 patients dans le groupe AIRO®. Selon les classifications de Heary et Gertzbein pour le rachis thoracique et lombaire respectivement, 90,8% ont été jugés acceptables pour le groupe O-Arm® et 92,2% le groupe AIRO® ($p > 0,05$).

Les différences entre ces deux systèmes de navigation étaient significatives ($p < 0,05$) concernant le Produit Dose Longueur (235 pour l'O-Arm® et 1039 mGy.cm pour AIRO®), l'irradiation reçue par un patient (3,52 pour l'O-Arm® et 15.6 mSv pour AIRO®), la dose efficace moyenne par vertèbre instrumentée (1,04 pour l'O-Arm® et 3.9 mSv pour l'AIRO®) et l'irradiation reçue par le chirurgien (0.63 pour l'O-Arm® et 0 µSv pour l'AIRO®).

Conclusion : Le scanner peropératoire est une innovation majeure qui permet d'améliorer la précision du positionnement des vis pédiculaires. Ceci est accompagné d'une irradiation acceptable pour le patient et réduite pour le personnel médico-chirurgical. Il s'agit d'une technologie efficace et rentable pour des centres avec un volume important de chirurgie rachidienne instrumentée. Les chirurgiens doivent s'intéresser de près et s'engager afin de réduire l'exposition des patients aux rayonnements ionisants.

Mots Clés : O-Arm® ; AIRO® ; Navigation peropératoire ; scanner peropératoire ; Vissage pédiculaire ; Irradiation ; Rachis Thoraco-lombaire.