



HAL
open science

Modélisation et évaluation clinico-radiologique des vissages antérogrades de la colonne postérieure de l'acetabulum

Guillaume Cavalié

► **To cite this version:**

Guillaume Cavalié. Modélisation et évaluation clinico-radiologique des vissages antérogrades de la colonne postérieure de l'acetabulum. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-02981925

HAL Id: dumas-02981925

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02981925>

Submitted on 28 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.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance.

La propriété intellectuelle du document reste entièrement celle du ou des auteurs. Les utilisateurs doivent respecter le droit d'auteur selon la législation en vigueur, et sont soumis aux règles habituelles du bon usage, comme pour les publications sur papier : respect des travaux originaux, citation, interdiction du pillage intellectuel, etc.

Il est mis à disposition de toute personne intéressée par l'intermédiaire de [l'archive ouverte DUMAS](#) (Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance).

Si vous désirez contacter son ou ses auteurs, nous vous invitons à consulter la page de DUMAS présentant le document. Si l'auteur l'a autorisé, son adresse mail apparaîtra lorsque vous cliquerez sur le bouton « Détails » (à droite du nom).

Dans le cas contraire, vous pouvez consulter en ligne les annuaires de l'ordre des médecins, des pharmaciens et des sages-femmes.

Contact à la Bibliothèque universitaire de Médecine
Pharmacie de Grenoble :
bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr

Année : 2020

**MODÉLISATION ET ÉVALUATION CLINICO-RADIOLOGIQUE DES
VISSAGES ANTÉROGRADES DE LA COLONNE POSTÉRIEURE DE
L'ACETABULUM**

THÈSE
PRÉSENTÉE POUR L'OBTENTION DU TITRE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

DIPLÔME D'ÉTAT

Guillaume CAVALIÉ

[Données à caractère personnel]

THÈSE SOUTENUE PUBLIQUEMENT À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE
GRENOBLE

Le : 26/10/2020

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE

Président du jury :

M. Le Professeur Jérôme TONETTI

Membres :

M. Le Professeur Philippe CHAFFANJON

M. Le Professeur Nicolas BRONSARD

M. Le Docteur Mehdi BOUDISSA (Directeur de thèse)

L'UFR de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.

Doyen de la Faculté : Pr. Patrice MORAND

Année 2019-2020

ENSEIGNANTS DE L'UFR DE MEDECINE

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	ALBALADEJO Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH	APEL Florent	Ophthalmologie
PU-PH	ARVIEUX-BARTHELEMY Catherine	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	BAILLET Athan	Rhumatologie
PU-PH	BARONE-ROCHETTE Gilles	Cardiologie
PU-PH	BAYAT Sam	Physiologie
MCF Ass.MG	BENDAMENE Farouk	Médecine Générale
PU-PH	BENHAMOU Pierre Yves	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	BERGER François	Biologie cellulaire
MCU-PH	BIDART-COUTTON Marie	Biologie cellulaire
PU-PH	BLAISE Sophie	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
MCU-PH	BOISSET Sandrine	Bactériologie-virologie
PU-PH	BOLLA Michel	Cancérologie-Radiothérapie
PU-PH	BONAZ Bruno	Gastroentérologie, hépatologie, addictologie
PU-PH	BONNETERRE Vincent	Médecine et santé au travail
PU-PH	BOREL Anne-Laure	Nutrition
PU-PH	BOSSON Jean-Luc	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	BOTTARI Serge	Biologie cellulaire
PR Ass.MG	BOUCHAUD Jacques	Médecine Générale
PU-PH	BOUGEROL Thierry	Psychiatrie d'adultes
PU-PH	BOUILLET Laurence	Médecine interne
MCU-PH	BOUSSAT Bastien	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	BOUZAT Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH	BRAMBILLA Christian	Pneumologie
PU-PH	BRAMBILLA Elisabeth	Anatomie et cytologie pathologiques
MCU-PH	BRENIER-PINCHART Marie Pierre	Parasitologie et mycologie
PU-PH	BRICAULT Ivan	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	BRICHON Pierre-Yves	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
MCU-PH	BRIOT Raphaël	Thérapeutique-médecine de la douleur
MCU-PH	BROUILLET Sophie	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
PU-PH	CAHN Jean-Yves	Hématologie
PU-PH	CARPENTIER Patrick	Chirurgie vasculaire, médecine vasculaire
PR Ass.MG	CARRILLO Yannick	Médecine Générale
PU-PH	CESBRON Jean-Yves	Immunologie
PU-PH	CHABARDES Stephan	Neurochirurgie
PU-PH	CHABRE Olivier	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	CHAFFANJON Philippe	Anatomie

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	CHARLES Julie	Dermato-vénérologie
MCF Ass.MG	CHAUVEY Marion	Médecine Générale
PU-PH	CHAVANON Olivier	Chirurgie thoracique et cardio- vasculaire
PU-PH	CHIQUET Christophe	Ophthalmologie
PU-PH	CHIRICA Mircea	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	CINQUIN Philippe	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	CLAVARINO Giovanna	Immunologie
PU-PH	COHEN Olivier	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	COURVOISIER Aurélien	Chirurgie infantile
PU-PH	COUTTON Charles	Génétique
PU-PH	COUTURIER Pascal	Gériatrie et biologie du vieillissement
PU-PH	CRACOWSKI Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
PU-PH	CURE Hervé	Cancérologie
PU-PH	DEBATY Guillaume	Médecine d'Urgence
PU-PH	DEBILLON Thierry	Pédiatrie
PU-PH	DECAENS Thomas	Gastro-entérologie, Hépatologie
PU-PH	DEMATTEIS Maurice	Addictologie
PU-PH	DEMONGEOT Jacques	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	DERANSART Colin	Physiologie
PU-PH	DESCOTES Jean-Luc	Urologie
PU-PH	DETANTE Olivier	Neurologie
MCU-PH	DIETERICH Klaus	Génétique
MCU-PH	DOUTRELEAU Stéphane	Physiologie
MCU-PH	DUMESTRE-PERARD Chantal	Immunologie
PU-PH	EPAULARD Olivier	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	ESTEVE François	Biophysique et médecine nucléaire
MCU-PH	EYSSERIC Hélène	Médecine légale et droit de la santé
PU-PH	FAUCHERON Jean-Luc	Chirurgie viscérale et digestive
MCU-PH	FAURE Julien	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	FERRETTI Gilbert	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	FEUERSTEIN Claude	Physiologie
PU-PH	FONTAINE Éric	Nutrition
PU-PH	FRANCOIS Patrice	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-MG	GABOREAU Yoann	Médecine Générale
PU-PH	GARBAN Frédéric	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	GAUDIN Philippe	Rhumatologie
PU-PH	GAVAZZI Gaétan	Gériatrie et biologie du vieillissement
PU-PH	GAY Emmanuel	Neurochirurgie
MCU-PH	GILLOIS Pierre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	GIOT Jean-Philippe	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique
MCU-PH	GRAND Sylvie	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	GRIFFET Jacques	Chirurgie infantile
MCU-PH	GUZUN Rita	Nutrition
PU-PH	HAINAUT Pierre	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	HALIMI Serge	Nutrition
PU-PH	HENNEBICQ Sylviane	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
PU-PH	HOFFMANN Pascale	Gynécologie-obstétrique

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	HOMMEL Marc	Neurologie
PU-MG	IMBERT Patrick	Médecine Générale
PU-PH	JOUK Pierre-Simon	Génétique
PU-PH	KAHANE Philippe	Physiologie
MCU-PH	KASTLER Adrian	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	KRAINIK Alexandre	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	LABARERE José	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-PH	LABLANCHE Sandrine	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
MCU-PH	LANDELLE Caroline	Bactériologie – virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	LANTUEJOL Sylvie	Anatomie et cytologie pathologiques
MCU-PH	LARDY Bernard	Biochimie et biologie moléculaire
MCU - PH	LE GOUELLEC Audrey	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	LECCIA Marie-Thérèse	Dermato-vénérologie
MCF Ass.MG	LEDOUX Jean-Nicolas	Médecine Générale
PU-PH	LEROY Vincent	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PU-PH	LETOUBLON Christian	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	LEVY Patrick	Physiologie
PU-PH	LONG Jean-Alexandre	Urologie
MCU-PH	LUPO Julien	Bactériologie-virologie
PU-PH	MAGNE Jean-Luc	Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire
MCU-PH	MAIGNAN Maxime	Médecine d'urgence
PU-PH	MAITRE Anne	Médecine et santé au travail
MCU-PH	MALLARET Marie-Reine	Hygiène hospitalière
PU-PH	MALLION Jean-Michel	Cardiologie
MCU-PH	MARLU Raphaël	Hématologie ; Transfusion
MCU-PH	MAUBON Danièle	Parasitologie et mycologie
PU-PH	MAURIN Max	Bactériologie-virologie
MCU-PH	MC LEER Anne	Histologie, embryologie et cytogénétique
MCU-PH	MONDET Julie	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	MORAND Patrice	Bactériologie-virologie
PU-PH	MOREAU-GAUDRY Alexandre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	MORO Elena	Neurologie
PU-PH	MORO-SIBILOT Denis	Pneumologie
MCU-PH	MORTAMET Guillaume	Pédiatrie
PU-PH	MOUSSEAU Mireille	Cancérologie
PU-PH	MOUTET François	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie
MCF Ass.MG	ODDOU Christel	Médecine Générale
MCU-PH	PACLET Marie-Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	PAILHE Régis	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	PALOMBI Olivier	Anatomie
PU-PH	PARK Sophie	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	PASSAGLIA Jean-Guy	Anatomie
PR Ass.MG	PAUMIER-DESBRIERES Françoise	Médecine Générale
PU-PH	PAYEN DE LA GARANDERIE Jean-François	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
MCU-PH	PAYSANT François	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	PELLETIER Laurent	Biologie cellulaire
PU-PH	PELLOUX Hervé	Parasitologie et mycologie

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	PEPIN Jean-Louis	Physiologie
PU-PH	PERENNOU Dominique	Médecine physique et de réadaptation
PU-PH	PERNOD Gilles	Médecine vasculaire
PU-PH	PIOLAT Christian	Chirurgie infantile
PU-PH	PISON Christophe	Pneumologie
PU-PH	PLANTAZ Dominique	Pédiatrie
PU-PH	POIGNARD Pascal	Bactériologie-virologie
PU-PH	POLACK Benoît	Hématologie
PU-PH	POLOSAN Mircea	Psychiatrie d'adultes
PU-PH	RAMBEAUD Jean-Jacques	Urologie
PU-PH	RAY Pierre	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
MCU-PH	RENDU John	Biochimie et biologie moléculaire
MCU-PH	RIALLE Vincent	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	RIETHMULLER Didier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH	RIGHINI Christian	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH	ROMANET Jean Paul	Ophthalmologie
PU-PH	ROSTAING Lionel	Néphrologie
MCU-PH	ROUSIIT Matthieu	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	ROUX-BUISSON Nathalie	Biochimie et biologie moléculaire
MCF Ass.MG	ROYER DE VERICOURT Guillaume	Médecine Générale
MCU-PH	RUBIO Amandine	Pédiatrie
PU-PH	SARAGAGLIA Dominique	Chirurgie orthopédique et traumatologie
MCU-PH	SATRE Véronique	Génétique
PU-PH	SAUDOU Frédéric	Biologie cellulaire
PU-PH	SCHMERBER Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH	SCHWEBEL Carole	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	SCOLAN Virginie	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	SEIGNEURIN Arnaud	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	STAHL Jean-Paul	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	STANKE Françoise	Pharmacologie fondamentale
MCU-PH	STASIA Marie-José	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	STURM Nathalie	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	TAMISIER Renaud	Physiologie
PU-PH	TERZI Nicolas	Médecine intensive-réanimation
MCU-PH	TOFFART Anne-Claire	Pneumologie
PU-PH	TONETTI Jérôme	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	TOUSSAINT Bertrand	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	VANZETTO Gérald	Cardiologie
PU-PH	VUILLEZ Jean-Philippe	Biophysique et médecine nucléaire
PU-PH	WEIL Georges	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	ZAOUI Philippe	Néphrologie
PU-PH	ZARSKI Jean-Pierre	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

PU-PH : Professeur des Universités - Praticiens Hospitaliers
MCU-PH : Maître de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers
PU-MG : Professeur des Universités de Médecine Générale
MCU-MG : Maître de Conférences des Universités de Médecine Générale
PR Ass.MG : Professeur des Universités Associé de Médecine Générale
MCF Ass.MG : Maître de Conférences Associé de Médecine Générale

Remerciements

Aux membres du jury.

A Monsieur Le Professeur Jérôme TONETTI, je souhaite vous remercier pour la formation chirurgicale de haut niveau que j'ai pu recevoir à vos côtés et pour la confiance que vous m'accordez en faisant désormais parti de votre équipe chirurgicale. Vous m'avez transmis votre passion pour la chirurgie du bassin, difficile mais tellement passionnante ! Je serai à la hauteur de vos attentes.

A Monsieur Le Professeur Nicolas BRONSARD, vous me faites l'honneur de participer au jury de ma thèse de médecine en tant qu'expert en chirurgie du squelette axial. Je vous en suis très reconnaissant.

A Monsieur Le Professeur Philippe CHAFFANJON, vous m'avez pris sous votre aile au laboratoire d'anatomie depuis mes premières années de médecine. C'est un réel plaisir de travailler à vos côtés toujours dans une ambiance familiale. Je suis très heureux d'intégrer « officiellement » le LADAF dès le mois de novembre en tant qu'assistant hospitalo-universitaire.

A Monsieur Le Docteur Mehdi BOUDISSA, je te remercie pour tout. Pour ton apprentissage au bloc opératoire, pour tes enseignements, ta bienveillance, pour ta patience et pour avoir accepté de diriger cette thèse. Tu es un modèle pour nous tous, et je te souhaite beaucoup de réussite pour ta prometteuse carrière hospitalo-universitaire.

A l'équipe d'Ortho Nord.

Au Dr Sébastien RUATTI, mon papa ! Je me souviens encore quand tu me prenais sur le trottoir de l'avenue des Maquis du Grésivaudan à 07h11 et du réveil tonique des Écrins 5 minutes après. Que de bons souvenirs et de bonnes rigolades ! Merci pour tout ce que tu m'as appris, tes connaissances chirurgicales sont incroyables et tu es pour moi un exemple à suivre !

Au Dr Gaël KERSCHBAUMER qui est le seul à vouloir que Coca-Cola développe son premier soda sans bulle... J'ai énormément appris à tes côtés, toujours dans le calme et avec une analyse très poussée de chaque situation ! Je te remercie pour tout.

Au Dr Olivier SEURAT, avec qui j'ai eu l'honneur de partager un semestre d'internat qui restera...dans les annales (sans mauvais jeu de mot). Je suis très content de travailler à tes côtés, dans la bonne humeur et je te remercie pour ton enseignement de la « sports médecine » et de la chirurgie du genou.

Au Dr Clémentine CORBET, je te remercie pour ces supers moments passés avec toi. Entre « pouic », «c'est juste pas le moment », changement de direction impromptu à l'arrêt de tram du CHU un soir d'hiver, escapade en Twingo un matin brumeux en direction d'un congrès savoyard et j'en passe ! Tes qualités chirurgicales sont indéniables et je ne te remercierai jamais assez de m'avoir coaché et laissé la main sur bon nombre d'interventions, toujours sans stress et avec beaucoup de patience.

Au Dr Benoît VIBERT, c'est un honneur pour moi de poursuivre ton travail et la prise en charge de tes patients dans le service. Tu es quelqu'un de formidable, tant sur le plan humain que sur le plan chirurgical, quelqu'un sur qui nous pouvons tous compter. Je te souhaite plein de bonnes choses pour la suite de ta carrière savoyarde.

Au Dr Camille TRONC, mon Camille, je suis tellement content de partager la partie droite du bureau avec toi à partir du mois de novembre (j'espère que tu arriveras à me supporter ☺) Je souhaite te remercier pour tout ce que tu m'as appris en chirurgie et pour m'avoir laissé opérer avec toujours d'excellents conseils techniques. Ta

polyvalence et tes connaissances chirurgicales sont un exemple. « Il est bon, pu*** mais qu'il est bon !!! ». ».

Au Dr MILAIRE, auprès de qui j'ai beaucoup appris. Une polyvalence chirurgicale incroyable, autant à l'aise sur un LCA que sur un bassin complexe et un charisme certain. Je souhaite également vous remercier pour vos répliques mythiques qui nous font tous encore beaucoup rire : « les seigneurs », « apporter du soins » et j'en passe.

Au Dr MARQUES, mon Benoît ça a vraiment été un réel plaisir de bosser tous les jours avec toi. C'est avec toi que j'ai appris les bases de la chirurgie du pied et de la cheville et je t'en remercie. Je te souhaite beaucoup de réussite pour la suite de ta carrière à la clinique et plein de bonheur pour ta petite famille.

Au Dr Lydie BOYOUND-GARNIER avec qui j'ai passé d'excellents moments pour mes premiers semestres d'interne à nord. Toujours de bonne humeur, il est vraiment très agréable de bosser avec toi. Je te remercie pour ton apprentissage de la chirurgie rachidienne et pour m'avoir laissé faire mon premier clou gamma tout seul comme un grand...et oui ça marque pour un petit interne !

Au Dr Aurélien ROUDET, nous avons passé un semestre ensemble et je dois dire que bon nombre de tes répliques, toujours bien dosées sont restées ancrées ! Merci pour ce que tu m'as appris en ce début d'internat.

Au personnel du bloc ortho nord, anesthésistes, infirmiers et brancardiers avec qui j'ai passé d'agréables moments. Vous avez tous été bienveillants avec moi depuis mes débuts au bloc opératoire. C'est une véritable petite famille, je serai bien nostalgique début novembre avec la réorganisation du bloc...

Aux équipes paramédicales du 13^{ème}A, B et C, grâce à votre bonne humeur et votre motivation sans faille, les semestres à ortho nord se passent parfaitement bien malgré la charge de travail colossale et la complexité des patients et des pathologies traitées. Je vous suis très reconnaissant du travail que vous faites au quotidien pour que nous puissions exercer notre métier dans les meilleures conditions. Je vous remercie !

À toute l'équipe du secrétariat du 13^{ème}, « les COPINES » vous m'avez bien fait courir pendant les semaines de bip pour signer les courriers mais cela m'a permis, en plus d'entretenir ma ligne, de faire le plein de potins. Merci de m'avoir supporté avec mon humour parfois bien graveleux.

Une mention spéciale à Béa, ma maman. Grâce à toi, on se sent bien à ortho Nord. Tu sais insuffler dans l'équipe cette ambiance si familiale et tellement nécessaire dans ce service. Merci pour tout et pour ton soutien dans toutes circonstances.

A notre équipe de plâtriers du 13eme pour leur efficacité et leurs soins apportés dans la réfection de nos plâtres « de bloc » affreux.

À l'équipe d'Ortho Sud,

Au Pr Dominique SARAGAGLIA, cher Maître, je souhaite vous remercier pour ce que vous m'avez appris lors de mes deux passages à l'Hôpital sud et notamment lors de ce dernier semestre au 4^{ème} si particulier cette année là pour vous et pour nous tous. Je garde d'excellents souvenirs de mon passage dans votre service et je suis très fier d'avoir été (avec Clément) votre dernier interne.

Au Pr Régis PAILHE, je te remercie pour tout ce que tu m'as appris, pour ces blocs programmés et ces gardes qui se passaient toujours dans la bonne humeur. Ta culture chirurgicale est impressionnante et l'orthopédie Grenobloise a réellement de la chance de t'avoir comme professeur.

Au Dr Brice RUBENS-DUVAL, auprès de qui j'ai beaucoup appris. Tu es un chirurgien expérimenté, méticuleux et excellent opérateur. Je te remercie pour ces blocs agréables avec plein de bons conseils et d'astuces chirurgicales. Tu nous transmets vraiment tout ton savoir, la définition même du compagnonnage en chirurgie.

Au Dr Roch MADER, avec qui j'ai passé d'excellents moments au travail et sur le vélo ! Aussi à l'aise sur la selle qu'avec un porte tige dans les mains ! J'espère que pour le jour de ma soutenance de thèse tu auras travaillé à la perfection ton twerk !

Au Dr Vincent MORIN, pour tes surnoms toujours choisis à la perfection, ton sens de l'humour, ta personnalité attachante et surtout ton aisance chirurgicale impressionnante.

Au Dr Loïc SIGWALT, toujours de bonne humeur ! Cela a été un vrai plaisir de bosser avec toi lors de mes deux semestres à sud. Merci pour ce que tu m'as appris.

Au Dr Gabriel LATEUR, pour tes connaissances pointues dans beaucoup de domaines et notamment dans la chirurgie du membre supérieur. J'ai beaucoup appris à tes côtés et notamment mon premier Latarjet ! Je te souhaite plein de bonnes choses tant pour la suite de ta carrière que pour ta vie personnelle.

Au Dr Benoît ORFEUVRE, avec qui j'ai passé un excellent semestre au 13^{ème} A il y a quelques années maintenant. Nous avons passé de très bons moments ensemble, merci pour cela ! Ton petit poney qui t'aime ☺

Au Dr Jean-Charles GIUNTA pour m'avoir transmis ta passion véritable pour la chirurgie du pied malgré mes tentatives malsaines de détournement du sujet... En tout cas moi je suis fier de t'avoir enseigné les coups de bordure !

Au Dr Gabriel RAYBAUD, pour les costumes, la cravate et le marcel, pour ta connaissance et ta gestion parfaite de certaines applications mobiles ! Nous avons passé un excellent semestre ensemble, je te remercie pour nos discussions pas toujours sérieuses et ta bonne humeur.

Au Dr ROUCHY René Christopher, qui m'a pris sous son aile quand je n'étais encore qu'un petit externe. Si je fais de l'orthopédie aujourd'hui je pense que c'est aussi un peu grâce à toi !

A toutes les équipes du bloc, des consultations, des urgences, de l'UCA, du 4 et du 5. Merci pour ces deux semestres passés dans la famille Sud. J'ai passé d'excellents moments à vos côtés.

A l'équipe de chirurgie orthopédique pédiatrique de l'HCE.

Au Pr Jacques GRIFFET qui m'a accueilli dans son service pour mon premier semestre d'interne. Je vous remercie pour votre bienveillance à notre égard et votre bonne humeur.

Au Pr Aurélien COURVOISIER, je te remercie pour ce premier semestre passé à tes côtés. Tu auras été le premier à m'enseigner les visées pédiculaires. Tes compétences en chirurgie rachidienne et notamment en chirurgie de la scoliose sont reconnues de tous.

Au Dr Ahmad EID, vous êtes pour moi (et pour nous tous) un modèle, un Maître de la chirurgie. Cela a été un honneur pour moi d'opérer à vos côtés. Je vous remercie pour tout ce que vous m'avez enseigné, pour m'avoir fait confiance pour mes premières communications en congrès et pour votre humilité exemplaire (la première qualité d'un chirurgien).

Au Dr Émeline BOURGEOIS toujours bienveillante avec nous. Je te remercie pour ce que tu m'as appris en orthopédie pédiatrique, pour ton compagnonnage tout au long de ce premier semestre et pour les discussions philosophiques sur la vie en général.

A l'équipe de chirurgie de la main et des brûlés,

Au Dr Denis CORCELLA, je vous remercie de m'avoir accueilli dans votre service pendant ces 6 mois, pour votre humour, pour votre sujet de biblio et pour vos messages sur WhatsApp ! Votre dextérité chirurgicale est impressionnante et vous êtes un exemple pour nous tous.

Au Dr Alexandra FORLI, merci de m'avoir supporté pendant ces 6 mois. Cela n'a pas dû être évident pour vous tous les jours. Merci pour tout ce que vous m'avez appris et notamment pour votre patience la nuit, en astreinte, derrière le microscope !

Au Dr Margaux DELORD, toujours d'un calme absolu, quelle que soit la situation !
Merci pour toutes ces discussions au bloc opératoire sur la vie, la famille, les enfants,
sur les fils de soie et pour m'avoir souvent laissé opérer peu importe l'heure de la nuit.

Au Dr Charlotte MARIE, dit aussi « Cha-cha », si jeune mais tellement douée ! J'ai
passé un excellent semestre avec toi. J'ai pris beaucoup de plaisir à opérer à tes côtés
et je suis reconnaissant pour tout ce que tu m'as appris dans ta spécialité.

Aux équipes de consultation et du bloc main, merci de m'avoir si bien accueilli au sein
de votre service. J'ai passé d'agréables moments à vos côtés.

A l'équipe de chirurgie vasculaire du CH de Chambéry.

Au Dr Hélène BLAISE qui m'a accueilli à bras ouverts dans son service. « Bonjour
Madame Blaise » ... « du calme, du calme moi c'est Hélène ! » Je te remercie pour
tout ce que tu m'as appris en chirurgie vasculaire. Cela m'a tellement intéressé et la
passion de ton équipe était tellement présente que si je n'avais pas été orthopédiste,
j'aurais été chirurgien vasculaire, c'est certain.

Au Dr Nathalie DAVID, je te remercie pour ces moments passés au bloc opératoire à
tes côtés, toujours dans le calme, même lors des poses d'ECMO en extrême urgence
en réanimation ! Merci pour tout ce que tu m'as appris.

Au Dr Albéric DE LAMBERT avec qui j'ai passé des moments riches en stress et
mémorables derrière le robot Da Vinci avec l'endo-GIA dans la main. Merci pour ce
semestre et ces discussions sportives.

Au Dr Éric FRASSINETTI, avec qui j'ai passé un excellent semestre, dans la bonne
humeur. Ton côté chirurgien corse, polyvalent et « à l'ancienne » m'a énormément plu.

A toute l'équipe paramédicale du service de chirurgie vasculaire et du bloc opératoire
du CH de Chambéry et avec une mention toute particulière à ma petite Julie et à Anaïs
avec qui nous avons gardé des liens d'amitié certains malgré nos vies bien occupées.

Au laboratoire d'Anatomie des Alpes Françaises.

Au Pr Jean-Guy PASSAGIA, notre Maître. Merci pour votre enseignement de qualité, votre véritable passion pour l'anatomie, votre bienveillance et votre bonne humeur.

Au Pr Olivier PALOMBI, je vous remercie pour les super cours d'anatomie que vous nous avez dispensé et pour tout ce que vous faites pour la pédagogie médicale à Grenoble et maintenant nationalement. C'est un honneur pour moi de faire partie de votre équipe au laboratoire.

Au Dr Pierre-Yves RABATTU, je te remercie pour ce premier semestre que nous avons passé ensemble et notamment ce fameux réveillon du 31 décembre qui avait été mouvementé. Je suis bien content de bosser avec toi au LADAF.

A Philippe MASSON, mon philou. Je suis tellement heureux de t'avoir à mes côtés ! Nous sommes de vrais amis, le coup de foudre ! Nous partageons beaucoup de points communs...l'amour du travail bien fait, les discussions, le vélo, la via-ferrata, la vanlife, le « tchotcho » et bien entendu la connerie ! Merci pour tout ce que tu as fait pour moi pendant toutes ces années, tu m'as toujours supporté notamment dans les moments les plus difficiles. Et nous ne te remercierons jamais assez pour la quantité énorme de travail que tu fournis pour que le labo tourne à la perfection et pour qu'il soit autant apprécié de tous.

À Catherine ROULLET, je te remercie pour tous ces moments, bien trop courts, que nous avons passé ensemble. Merci pour tout ce que tu as fait pour nous et pour le labo.

A Marjaneh et Aurélie merci pour votre aide et votre gestion de la partie administrative de notre laboratoire.

À mes amis et co-internes

A Alex, mon loulou. Une véritable amitié depuis la deuxième année de médecine. Depuis, nous ne nous sommes pas vraiment lâchés ! Les stages hospitaliers, les stages labo ensemble et maintenant notre clinicat ensemble au LADAF ! Je te remercie d'avoir toujours été là pour moi, tant sur le plan personnel que professionnel. Je te remercie pour ton aide immense pour les biostatistiques présents dans cette thèse ! Je te souhaite plein de courage pour ta carrière médicale qui s'annonce très grande et tu auras toujours toute mon aide et mon soutien !

A Lilia, nous ne nous quittons plus depuis le premier jour de notre internat ! Merci d'avoir toujours été là pour moi, pour toutes nos discussions sur la vie, sur le travail, sur nos doutes et tout et tout. Merci pour ces moments passés avec toi, cela a toujours été très réconfortant. Je te souhaite plein de bonnes choses pour les années à venir.

A Elodie, Solène et Jordane, merci d'avoir toujours été là pour moi dès la deuxième année de médecine. Même si nous avons tous les trois pris des directions différentes et que nous nous voyons moins je pense toujours bien fort à vous. Nous avons tellement de souvenirs tous ensemble ! C'est à chaque fois un réel plaisir de vous revoir.

A JBK, merci d'être toi, merci pour ta sympathie, et ton amitié. Je te souhaite ce qu'il y a de meilleur pour ta vie personnelle et professionnelle. J'espère quand même pédaler un de ces jours avec toi !

A Tristan, une véritable amitié depuis la primaire ! Je te souhaite plein de bonnes choses pour toi et ta petite famille.

A Mat' Afsharian, mon ostéopathe favori ! Merci d'avoir toujours été là depuis toutes ces années, depuis l'époque du triathlon...Cela nous ne rajeuni pas bien mais nous avons passé d'excellents moments ensemble.

A Thibaud Fortané, nous n'avons jamais eu l'occasion de travailler ensemble mais nous avons passé de bons moments lors des différents DIU. Bon courage pour la suite de ta carrière.

A mon Chorteur avec qui j'ai passé deux excellents semestres dont le fameux semestre au 4^{ème} ! Toujours ultra-motivé et ultra-performant que ce soit sur un kite surf, sur des skis et surtout en orthopédie ! Merci pour toutes ces discussions toujours très intéressantes et ces fous-rires !

A La Gaule, merci pour tes imitations mémorables, pour ton humour et pour ton sérieux. Je te souhaite le meilleur pour la suite.

A Florent, je te souhaite plein de bonnes choses pour la suite de ta vie professionnelle et personnelle !

A Fanny, merci de me supporter depuis bien longtemps avec ma lourdeur orthopédique qui peut parfois me caractériser ☺ C'est vraiment un plaisir de bosser avec toi !

A Max, merci pour ces semestres passés à tes côtés et pour ton sérieux. Tu seras un excellent chirurgien et je suis impatient de bosser à tes côtés.

A Antonin, nous avons vraiment bien rigolé ensemble ! Toujours très agréable de bosser avec toi.

A Laura, avec qui j'ai passé un agréable semestre au 13A. Plein de bonnes choses pour la fin de ton internat.

Au Chevallier, merci pour ton soutien et ton aide notamment dans le semestre de folie, quand je passais mon Master 2. Merci aussi pour ton humour te caractérisant et que j'apprécie.

A Valentin, notre beau gosse ! J'ai beaucoup apprécié d'avoir travaillé avec toi. Bon courage pour la suite de ton internat.

A Virgil, un gars exceptionnel ! Au travail, comme dans la vie de tous les jours. Je te remercie pour ces semestres passés avec toi, pour ces fous rires et ta bonne humeur et je suis vraiment impatient de t'avoir comme interne.

A GDLM, merci de nous avoir beaucoup fait rire lors de ce semestre à Nord !

A tous mes autres co-internes avec qui je n'ai pas encore eu l'occasion de travailler : notre cycliste Della Rosa, Pierre, Clémentine...

A mon Prod'homator, « ça joue ? » ; « le Natel » ; « c'est juste » ; « labo J1 » ; « princesse » ... en 1 an tu nous as laissé bon nombre d'expressions et de phrases bien drôles.

A Mahmoud, « ah salut c'est Mahmoud ». J'ai passé un excellent dernier semestre avec toi. Tu es quelqu'un de remarquable ! Et je te remercie pour ton initiation à la chicha !

A Luca, notre tombeur Italiano-Suisse qui nous a appris le sens caché de la valve de Finochietto, et qui nous a appris une nouvelle échelle basée sur des « années de prison » afin d'avoir une évaluation la plus objective possible de la gent féminine.

A mon Paulo, pour ta gestion des plaies de la main, du service et de nos externes. J'ai beaucoup apprécié de travailler à tes côtés. Bon courage pour ton début d'assistanat.

A Elias, merci pour ce super semestre passé avec toi. Le tombeur Libanais du semestre !

A Mathieu Moulin, merci pour notre semestre hors filière que nous avons passé ensemble il y a déjà quelques années !

A Didi, merci pour toutes ces barres de rire et ces raclées que j'ai pris sur le vélo et sur les quelques sorties de course à pied. Ça fait mal...très mal ☺

A ma famille.

Je souhaite tout d'abord remercier mes parents. En effet c'est grâce à vous que je suis là où je suis aujourd'hui. Vous m'avez élevé avec bienveillance, dans les meilleures conditions possibles et vous m'avez toujours encouragé notamment durant ces longues et difficiles études. Je ne vous remercierai jamais assez pour tout ce que vous avez fait et ce que vous faites encore pour moi et pour nous.

A mon frère Thibaut, en écrivant ces lignes, pleins de souvenirs me reviennent...qu'est-ce que nous nous sommes éclatés ensemble ! je te remercie pour ton soutien sans faille dans toutes les situations et ton aide précieuse en nouvelles technologies et tes conseils avisés en business management !

Véra, nous avons traversé ensemble toutes les épreuves et embuches lors de ces études...Nous nous soutenons d'une formidable façon ! Ton calme, ta douceur et ton amour m'apaisent. Je te remercie d'être toujours là pour moi au quotidien.

A Louise, notre amour. Je suis tellement heureux de t'avoir, tu illumines notre quotidien parfois mouvementé. Tu es notre raison de vivre et j'espère que tu seras fière de ta maman et de ton papa. Je t'aime.

A mamie Nicole et papy Louis qui m'ont également toujours soutenu. Je vous remercie d'avoir toujours été là pour moi depuis tout petit. Petit souvenir des cours de maths au collège donnés par le papy. Si j'étais si « doué » pour les mathématiques c'est grâce à toi.

A tonton Eric et tatan Maryline, Laura, Mélanie et Damien merci d'être là, merci pour tous ces moments passés ensemble et merci pour votre soutien.

A ma belle-famille, qui a toujours été plus que géniale avec moi, qui m'a toujours soutenu et qui a toujours été compréhensive quand je ratais des réunions de famille pour de vraies raisons professionnelles !

A mon meilleur ami, Kévin. Nous nous connaissons depuis pratiquement la naissance ! Je suis vraiment heureux de t'avoir comme ami ! Tu as toujours été là pour moi et notamment dans les moments difficiles de nos vies d'ado et rien ne nous a séparé ! Même pas les études ☺ Je suis tellement fier de ce que tu es devenu et fier d'être le parrain de mon petit (maintenant si grand) Lucas.

A Abdou et Edwige. On se connaît depuis que j'ai 13-14 ans. Merci pour ces sorties vélo, au resto, ou en ville les samedis, pour ces après-midis à discuter. Je vous remercie également pour votre soutien sans faille tout au long de ces années.

PARTIE 1

Modélisation numérique du corridor du vissage antérograde de la colonne
postérieure de l'acetabulum (APCS)

Résumé

Introduction - L'objectif de ce travail était de modéliser le volume de la colonne postérieure contenant l'ensemble des trajectoires possibles pour l'insertion d'une vis antérograde de la colonne postérieure de l'acetabulum (APCS) avec un trajet intra-osseux. Cette modélisation représentera un modèle théorique permettant d'établir une standardisation et des recommandations dans la réalisation du vissage APCS.

Matériel et méthode - Le logiciel freeware 3D Slicer version 4.10.2 a été utilisé pour réaliser la segmentation de scanners en coupes millimétriques de 34 patients (24 hommes et 10 femmes) par seuillage et croissance de régions ainsi que le volume des trajectoires du vissage APCS (V_p). Les données morphologiques recueillies étaient la longueur de V_p , ses diamètres antéro-postérieurs et médio-latéraux, l'identification d'un point d'entrée et d'une angulation dans le plan frontal et sagittal. L'analyse statistique a été réalisée par un test t de Student en utilisant le logiciel JASP version 0.10.2.

Résultats - La longueur moyenne de V_p était de 139,8 mm chez l'homme et 133,2 mm chez la femme ($p=0.042$). Le diamètre antéro-postérieur minimum était de 7,2 mm et de 7 mm pour le diamètre médio-latéral. Cette zone étroite était située en moyenne à 4,7 mm en amont du bord supérieur de l'épine ischiatique et à 1 mm en aval. La superficie de la « safe zone » mesurait en moyenne 392,5 mm² chez l'homme et 278,3 mm² chez la femme ($p=0.002$). Le point d'entrée de la vis APCS située au centre de la « safe zone » n'était pas différent entre des bassins féminins et masculins ($p<0.05$). L'angulation moyenne dans le plan frontal était de 124,9° chez l'homme, 123,1° chez la femme ($p=0.47$) et de 56,1° chez les hommes et de 58,8° chez les femmes dans le plan sagittal ($p=0.22$). Ainsi, des traits fracturaires situés en aval de l'épine ischiatique, situés dans la « safe zone » et avec une verticalité importante doivent alerter le chirurgien sur le risque d'échec du vissage APCS.

Conclusion - Le vissage APCS est théoriquement réalisable sans danger par un vissage unique à l'aide d'une vis corticale de 3,5 mm, indépendamment du sexe du patient, en vérifiant des critères de validité sur le scanner préopératoire lors de l'analyse des traits fracturaires.

Mots clés : modélisation 3D ; vissages percutanés ; vissage antérograde de la colonne postérieure ; corridors osseux

Abstract

Introduction - The aim of this study was to model the volume of the posterior column containing all trajectories for the insertion of an APCS. This modeling will be a theoretical model in order to establish a standardization and recommendations for APCS insertion.

Material and method - The freeware 3D Slicer version 4.10.2 was used to perform the segmentation of CT-scans (millimeter thickness) of 34 patients (24 men and 10 women) by thresholding and growth of regions as well as the volume of the trajectories of the APCS (Vp). Morphological data collected included the length of Vp, its anteroposterior and medio-lateral diameters, identification of an entry point and angulation in the frontal and sagittal planes. Statistical analysis was performed by Student's t test using JASP software version 0.10.2.

Results - The mean length of Vp was 139.8 mm in men and 133.2 mm in women ($p=0.042$). The minimum anteroposterior diameter was 7.2 mm and 7 mm for the medio-lateral diameter. This narrow area was located 4.7 mm before the upper edge of the ischial spine and 1 mm after. The surface area of the "safe zone" measured on average 392.5 mm² in male and 278.3 mm² in female ($p=0.002$). The entry point of the APCS located in the center of the "safe zone" was not different between female and male ($p < 0.05$). The mean angulation in the frontal plane was 124.9° in male, 123.1° in female ($p=0.47$) and 56.1° in male and 58.8° in female in the sagittal plane ($p=0.22$). Thus, fracture located before the ischial spine, located in the "safe zone" and with a significant verticality should alert the surgeon to the risk of failure of the APCS fixation.

Conclusion - The APCS screwing is theoretically possible without danger by a single 3.5 mm cortical screw, regardless of the patient's sex, by checking validity criteria on the preoperative scanner during the analysis of the fracture lines.

Keywords: 3D modeling ; percutaneous screw fixation ; anterograde posterior column screw ; bone corridors

Introduction

Les vissages mini-invasifs autour de l'acetabulum dont le vissage antérograde de la colonne postérieure (APCS) ont pour objectif d'assurer et de maintenir une réduction fracturaire anatomique selon Matta [1] tout en limitant les complications liées à une chirurgie lourde et plus invasive comme les prises en charge en deux temps avec un temps antérieur puis un temps postérieur [2,3]. Cependant, ce type de vissage est techniquement difficile et demande une expérience particulière de l'opérateur et de fait, seuls les chirurgiens particulièrement entraînés à la chirurgie de l'acetabulum tentent sa réalisation [4]. En effet, la trajectoire de visée doit permettre de rester strictement au sein de la colonne postérieure sans effraction articulaire ou pelvienne [5]. Ce volume étroit appelé corridor de vissage représente le volume comprenant l'ensemble des trajectoires possibles pour l'insertion d'une vis APCS avec un trajet strictement intra-osseux. A ce jour, aucune étude n'a tenté de standardiser la technique de vissage, ni même de définir des indications et contre-indications au vissage APCS.

Dans la littérature quelques articles étudient la morphologie du corridor osseux de la colonne postérieure pour le vissage APCS mais les données sont très hétérogènes de par le support utilisé (modèles 3D, os sec), de par l'origine géographique de la population étudiée et enfin du fait de divergences méthodologiques. En effet, concernant le diamètre moyen du corridor, la littérature met en évidence des diamètres moyens allant de 6,1 mm [5] à 20,7 mm [6]. De même, pour la trajectoire du vissage, les données sont variables pour l'angulation dans le plan sagittal allant de 37° [7] à 134° [8] et variant de 55,8° [7] à 119° [9] pour l'angulation dans le plan frontal.

L'objectif de cette étude est de réaliser la segmentation et reconstruction tridimensionnelle d'une cohorte de bassins et de définir un volume inclus au sein de la colonne postérieure de l'acetabulum représentant le volume pouvant englober l'ensemble des trajectoires possibles pour l'insertion d'une vis APCS avec un trajet strictement intra-osseux. Cette modélisation représentera un modèle théorique et nous permettra après analyse morphologique du corridor et étude de sa position au sein du bassin de déduire une standardisation et des recommandations dans la réalisation du vissage APCS.

Matériel et méthode

Identification du corridor osseux

Le logiciel freeware 3D Slicer version 4.10.2 a été utilisé pour réaliser la segmentation et l'analyse sur scanners (épaisseur de coupe de 0,6 mm) de 34 patients (24 hommes et 10 femmes). Le côté non fracturé a été segmenté et analysé en utilisant une segmentation semi-automatique par seuillage en sélectionnant des pixels de haute unité Hounsfield (entre 320 UH et 3000 UH) puis réalisation de la segmentation par croissance de régions par itérations successives (figure 1). Enfin, le volume des trajectoires du vissage isolé de la colonne postérieure (V_p) a été tracé en utilisant le module *Markups to model* qui se base sur un modèle convexe permettant de réaliser une surface close englobant chaque nouveau point ajouté (annexe 1).

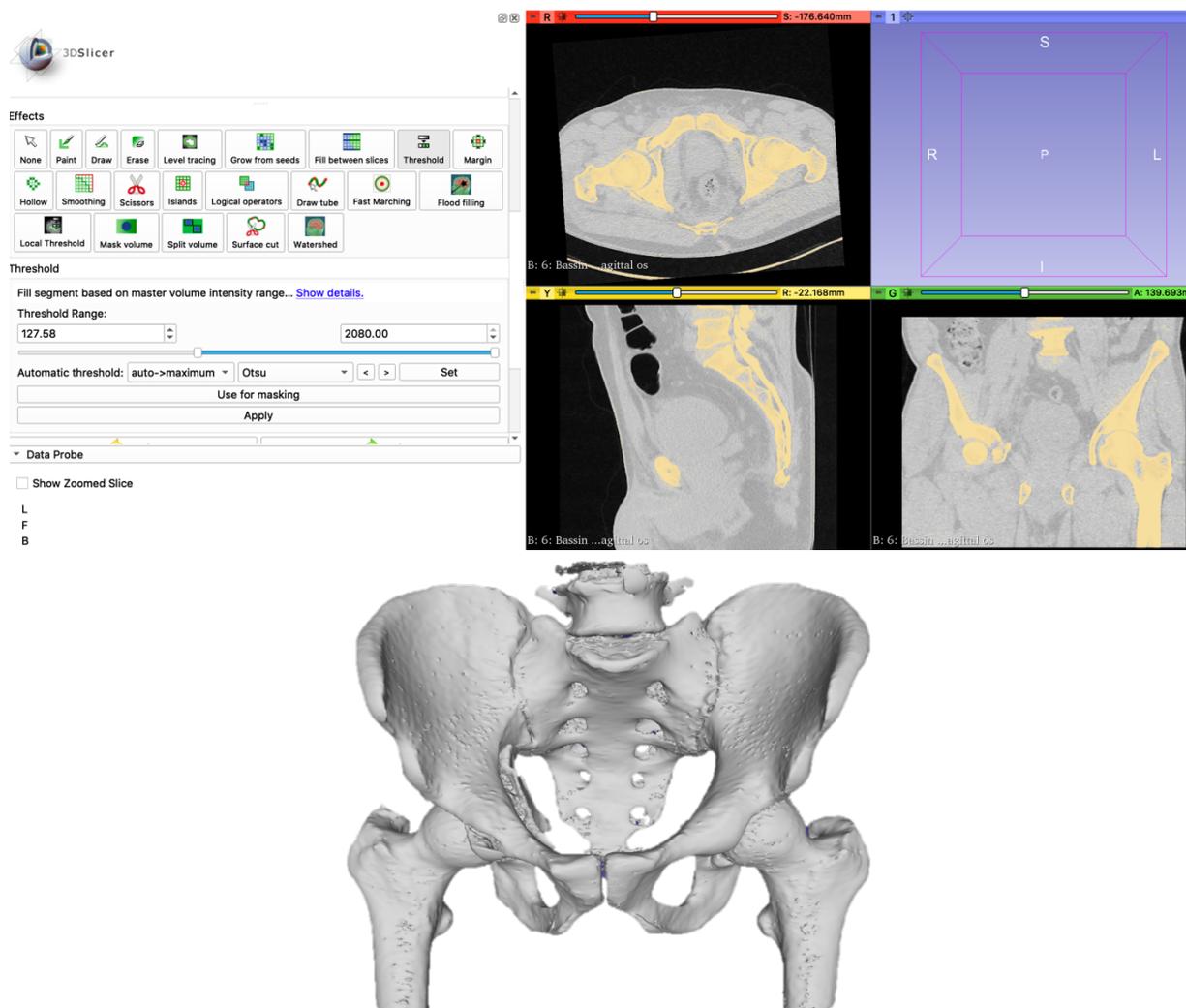


Figure 1 - Segmentation du bassin osseux par méthode de seuillage. Une fenêtre incluant des pixels de haute intensité Hounsfield est choisie afin d'obtenir le modèle 3D.

Mesures au sein de la colonne postérieure (V_p)

Les données morphologiques ont été mesurées au centre du volume de l'objet 3D en utilisant l'outil « ruler » du logiciel. La longueur du corridor a été mesurée puis discrétisée en 10 points équidistants. Ainsi, les diamètres antéro-postérieurs et médio-latéraux ont été mesurés tous les 10% de la longueur totale du corridor (figure 2).

La zone la plus étroite de V_p a été identifiée et nous avons situé cette zone par rapport à cinq repères bien individualisables comme décrit dans l'étude de Shahulhameed *et al.* [3] (figure 3).

Les autres paramètres analysés étaient l'aire de la zone d'insertion proximale, la localisation du centre de la zone d'insertion proximale de la vis par rapport à quatre repères : épine iliaque antéro-inférieure (EIAI), épine iliaque antéro-supérieure (EIAS), jonction ligne arquée-articulation sacro-iliaque et ligne arquée (figure 4).

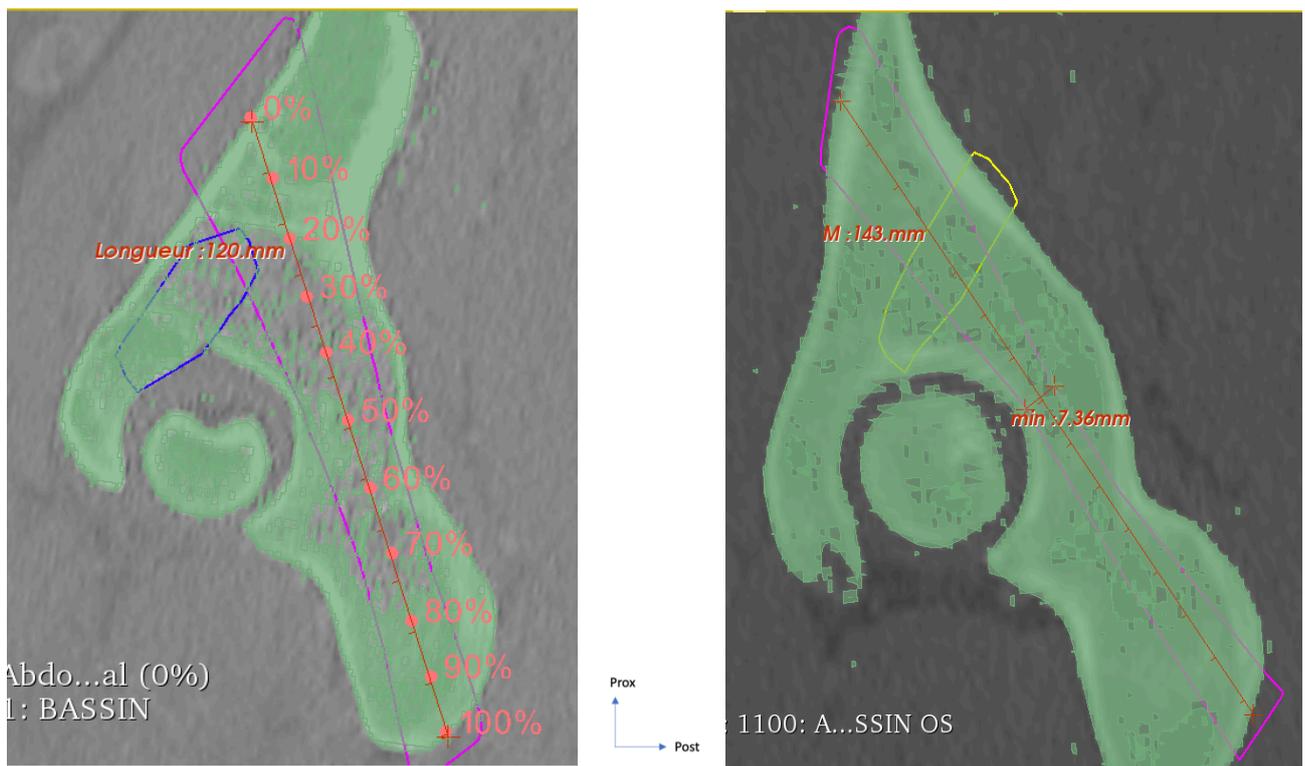


Figure 2 - Discretisation du corridor de la colonne postérieure (gauche) et mesure du diamètre minimum antéro-postérieur (droite).

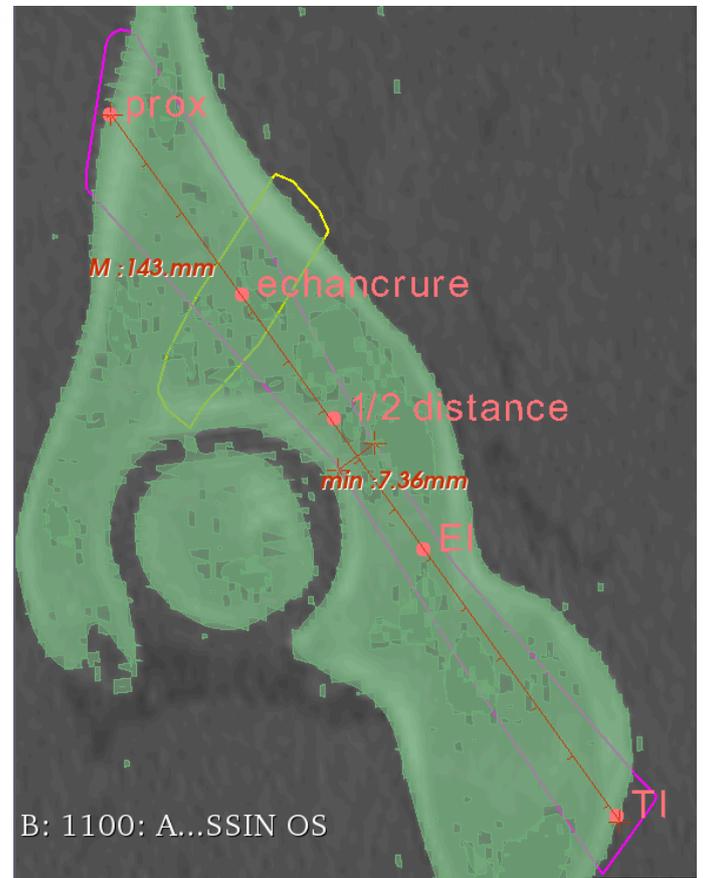
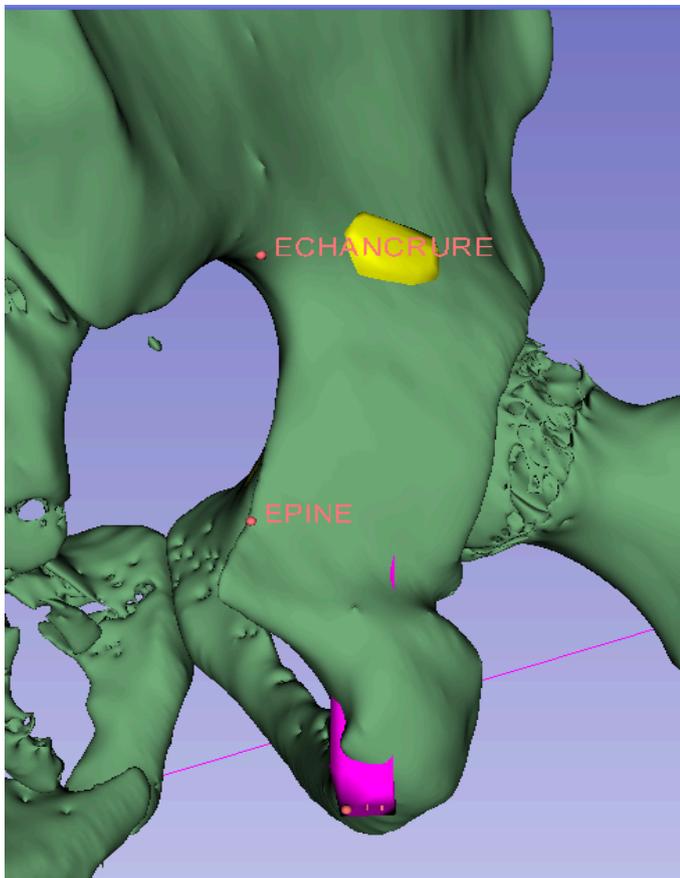
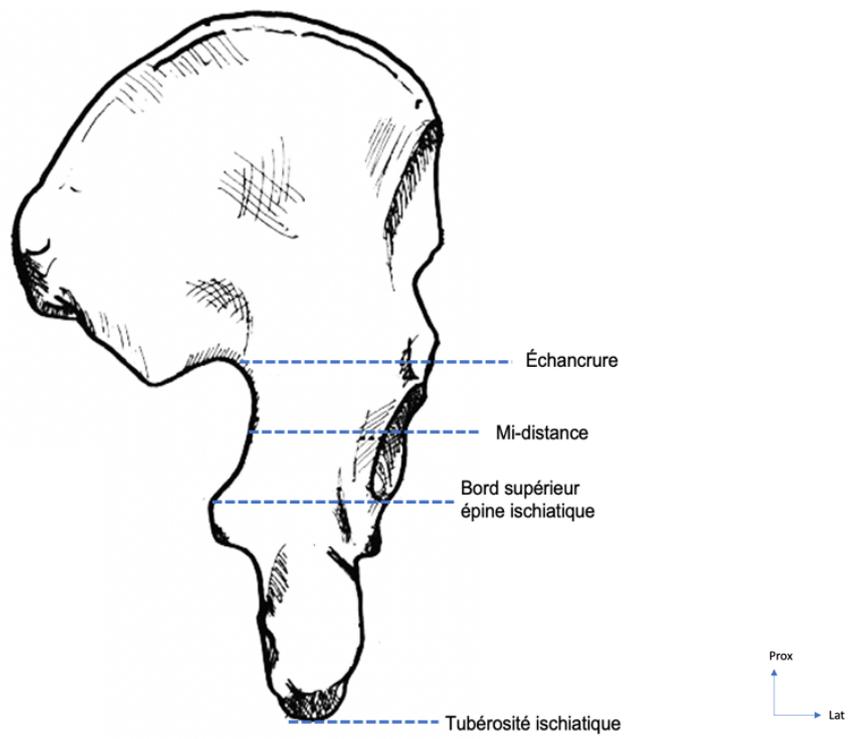


Figure 3 - Localisation du diamètre le plus étroit selon cinq repères : zone d'insertion proximale, bord supérieur de la grande incisure ischiatique, bord supérieur de l'épine ischiaque, mi-distance des deux repères précédents et tubérosité ischiatique. EI : épine ischiatique, TI : tubérosité ischiatique.

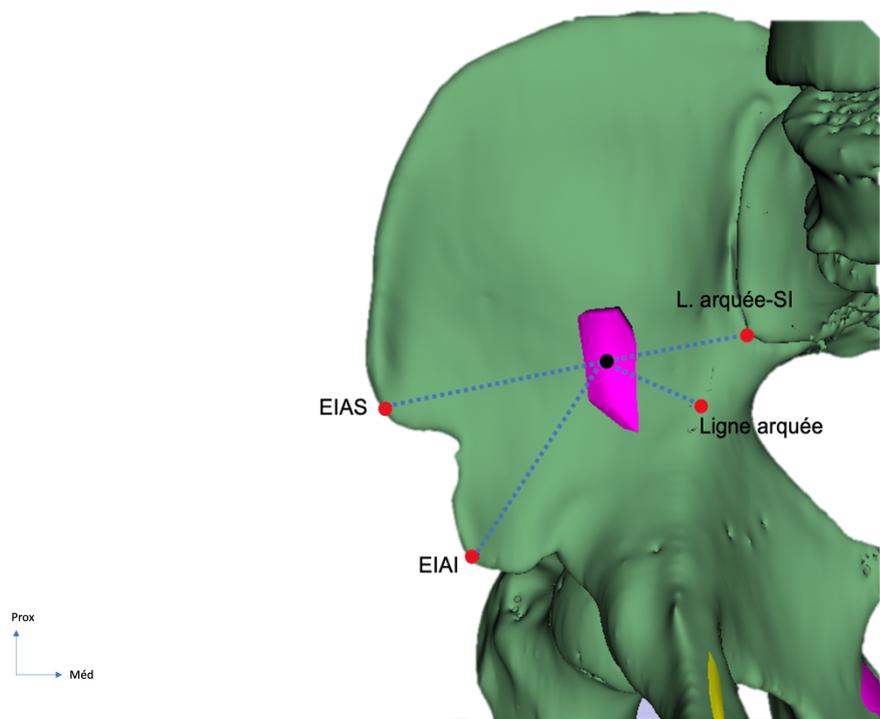


Figure 4 - « Safe zone » (rose) et localisation du point d'entrée (cercle) par rapport à l'EIAS, à l'EIAI, à la ligne arquée et à la jonction entre ligne arquée et bord antérieur de l'articulation sacro-iliaque (SI).

Enfin, concernant l'angulation de la trajectoire idéale, cette dernière a été définie par rapport à un repère utilisable en per-opératoire représenté par l'aire d'insertion sur l'os iliaque de la vis APCS. Nous définissons ainsi deux angles : l'angle α correspondant à l'angulation dans le plan sagittal de la trajectoire du vissage et l'angle β correspondant à l'angulation dans le plan frontal (figure 5).

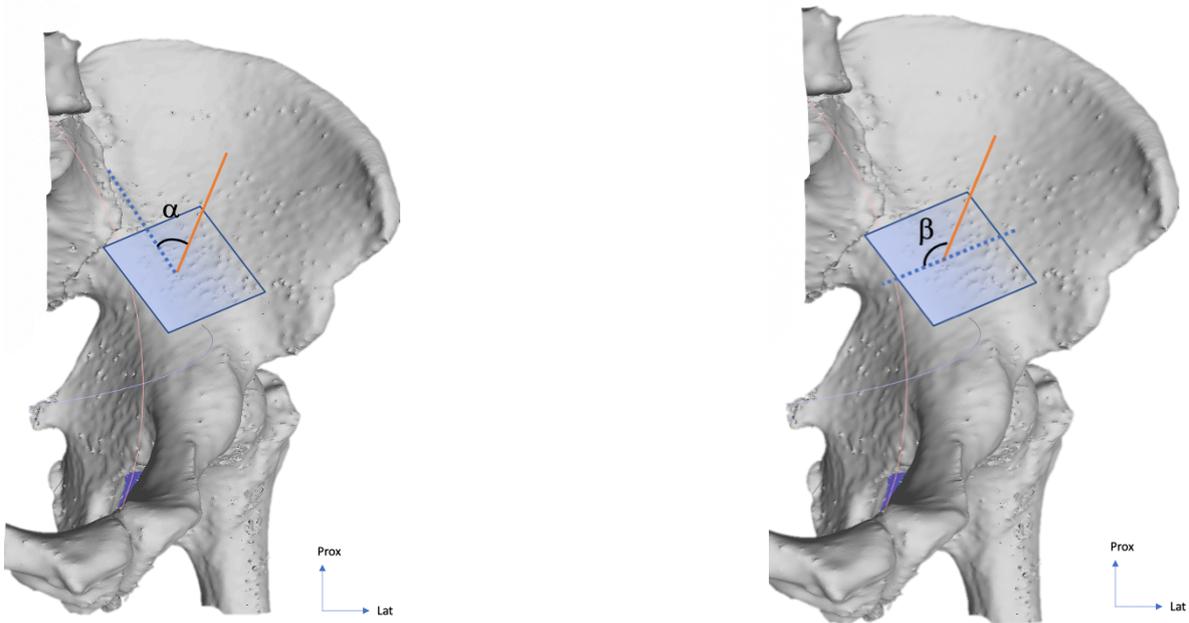


Figure 5 - Mise en place de l'angle α correspondant à l'angulation dans le plan sagittal et de l'angle β pour l'angulation dans le plan frontal en utilisant un repère facilement visible en per-opérateur situé en regard de la zone d'insertion de l'APCS (quadrilatère bleu). En orange : trajet de l'APCS.

L'ensemble des données morphologiques a été recueilli par le même opérateur. Les variables quantitatives sont décrites en utilisant la moyenne et l'écart-type. Concernant l'analyse statistique et pour la comparaison des données morphologiques chez l'homme et chez la femme, un test t de Student a été utilisé. La différence est jugée statistiquement significative si $p < 0.05$ avec un risque alpha fixé a priori à 5%. L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé en utilisant le logiciel JASP version 0.10.2.

Résultats

1) Analyse des données morphologiques de V_p

Chez les sujets de sexe masculin, la longueur moyenne du corridor était de 139,8 mm. Les diamètres antéro-postérieurs et médio-latéraux moyens allaient respectivement de 21,2 mm et 15,2 mm à un minimum de 13 mm et 13,4 mm. Cette zone plus étroite se situe au centre de la longueur de V_p . Le diamètre antéro-postérieur minimum était de 7,2 mm et le diamètre médio-latéral minimum de 8 mm.

Chez la femme, la longueur moyenne de V_p était de 133,2 mm. Les diamètres antéro-postérieurs et médio-latéraux moyens minimums allaient respectivement de 21,9 mm et 11,7 mm à un diamètre moyen minimum de 11,5 mm et 11 mm. Cette zone se situe à 60% la longueur totale de V_p . Le diamètre antéro-postérieur minimum était de 7,6 mm et le diamètre médio-latéral minimum était de 7 mm. La différence de la longueur moyenne du corridor de la colonne postérieure entre les hommes et les femmes était statistiquement significative ($p=0.042$).

Les données concernant les différents diamètres sont indiquées dans les tableaux et graphiques 1 et 2.

Diamètres AP de Vp (mm)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Moyenne Hommes (Écart-type)	21,2 (±2,3)	20,2 (±2,7)	18,6 (±2,2)	16,8 (±2,2)	14,7 (±2,1)	13 (±2,1)	13,2 (±2)	13,9 (±2,5)	15 (±2,7)	16,1 (±2,9)	16,8 (±2,7)
Min – Max Hommes	17,8 – 26,8	16,3 – 26,2	15 – 24,5	13 – 21,7	10 – 18,9	7,2 – 16,1	8,5 – 16,4	9,2 – 17,5	9,1 – 19,6	10,7 – 20,8	12 – 21
Moyenne Femmes (écart-type)	21,9 (±2,5)	19,5 (±2,8)	17,2 (±2,8)	15,0 (±2,2)	13,2 (±1,7)	11,8 (±1,8)	11,5 (±2,3)	12,4 (±2,0)	14,1 (±2,1)	15,6 (±2,3)	17,7 (±3,3)
Min – Max Femmes	17–27,5	16,2-24,3	13,6-21,7	11,4-18,5	10,2-15,7	8,9-14,4	7,6-14	8,8-14,9	10,8-17,2	12,3-19	14-24,8
P-value (t Student)	0.500	0.493	0.124	0.039*	0.050	0.139	0.039*	0.102	0.330	0.611	0.399

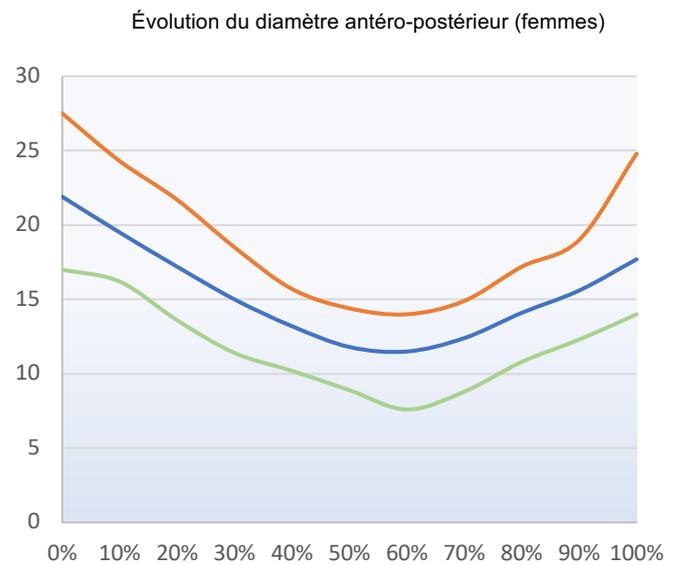
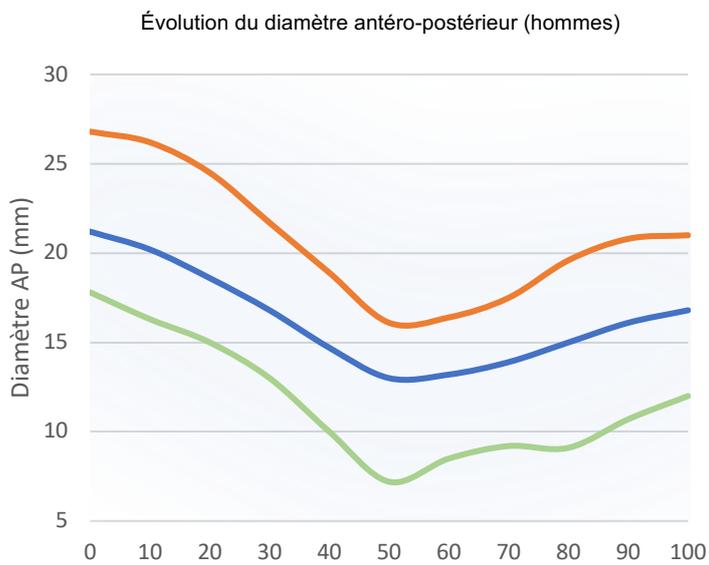


Tableau et Graphique 1 - Évolution du diamètre antéro-postérieur de Vp chez l'homme et la femme le long du corridor de visée. En ordonnée : valeur du diamètre antéro-postérieur en mm. En abscisse : discrétisation du corridor Vp. 0% correspondant au point d'entrée proximal.

Orange : valeurs maximales ; bleu : valeurs moyennes ; vert : valeurs minimales.

Diamètres ML de Vp (en mm)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Moyenne Hommes (écart-type)	15,2 (±2,3)	14,9 (±2,3)	14,6 (±2,2)	14,3 (±2,3)	13,8 (±2)	13,4 (±2,1)	13,6 (±2,2)	14 (±2,5)	14,3 (±2,4)	14,3 (±2,4)	14,5 (±2,5)
Min-Max Hommes	10,1-19,8	9,9-18,9	9,5-18,8	8,9-18,3	8,9-17,6	9,7-18	9,1-18,2	8,7-19,3	8,5-19	8-18,6	8,1-19,7
Moyenne Femmes (écart-type)	11,7 (±1,9)	11,7 (±2,1)	11,5 (±2,0)	11,4 (±1,8)	11,2 (±1,8)	11,3 (±2)	11,0 (±2,1)	11,4 (±1,9)	11,4 (±1,9)	11,3 (±2,1)	11,6 (±2)
Min-Max Femmes	7,5-14,1	7,5-14,7	7,3-13,7	7,2-13,7	7,3-13,7	7,2-13,2	7,0-13,3	7,5-14,1	7,5-14,5	7,5-14,6	7,5-15,1
P-value (t student)	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.001*	0.002*	0.010*	0.003*	0.006*	0.002*	0.002*	0.003*

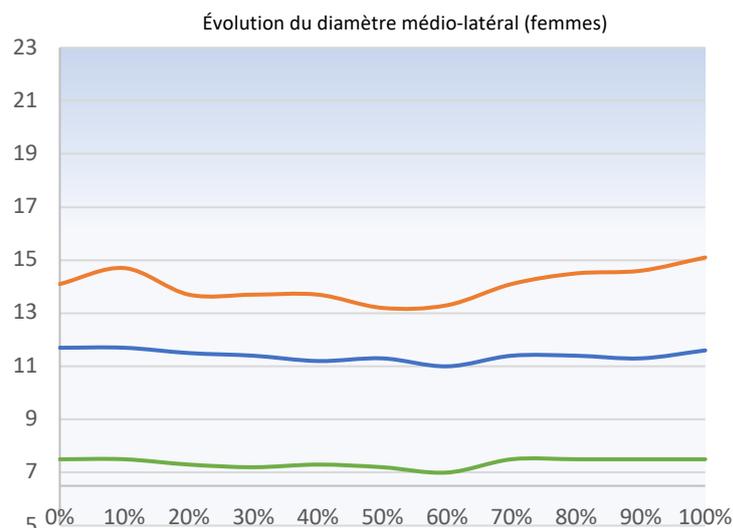
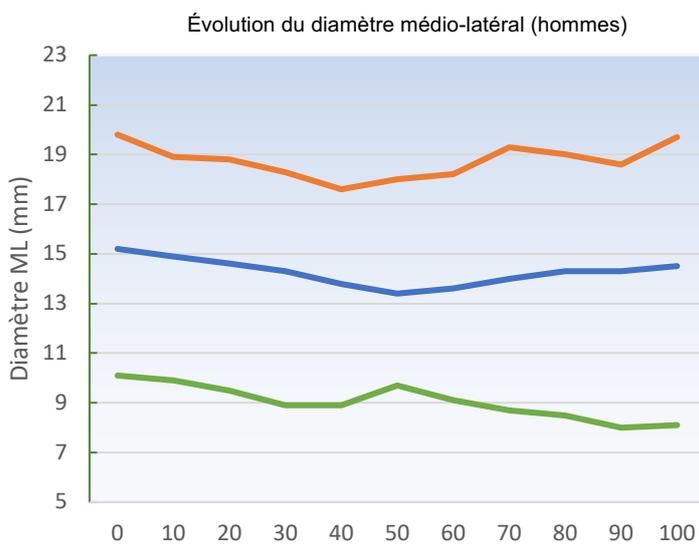


Tableau et Graphique 2 - Évolution du diamètre médio-latéral de V_p chez l'homme et la femme le long du corridor de visée. En ordonnée valeur du diamètre médio-latéral en mm. En abscisse : discrétisation du corridor V_p. 0% correspondant au point d'entrée proximal.

Orange : valeurs maximales ; bleu : valeurs moyennes ; vert : valeurs minimales.

2) Situation de la zone la plus étroite (zone de danger)

Le diamètre antéro-postérieur le plus étroit se situe en moyenne chez l'homme à 73,7 mm de la zone d'insertion proximale de la vis, à 4,2 mm en amont du bord supérieur de l'épine ischiatique et à 63,9 mm en amont du bord inférieur de la tubérosité ischiatique. Le diamètre médio-latéral le plus étroit se situe en moyenne à 75,2 mm de la zone d'insertion proximale de la vis, à 3 mm en amont du bord supérieur de l'épine ischiatique et à 63,8 mm en amont du bord inférieur de la tubérosité ischiatique. Les différences entre les sujets féminins et masculins étaient non significatives (figure 6).

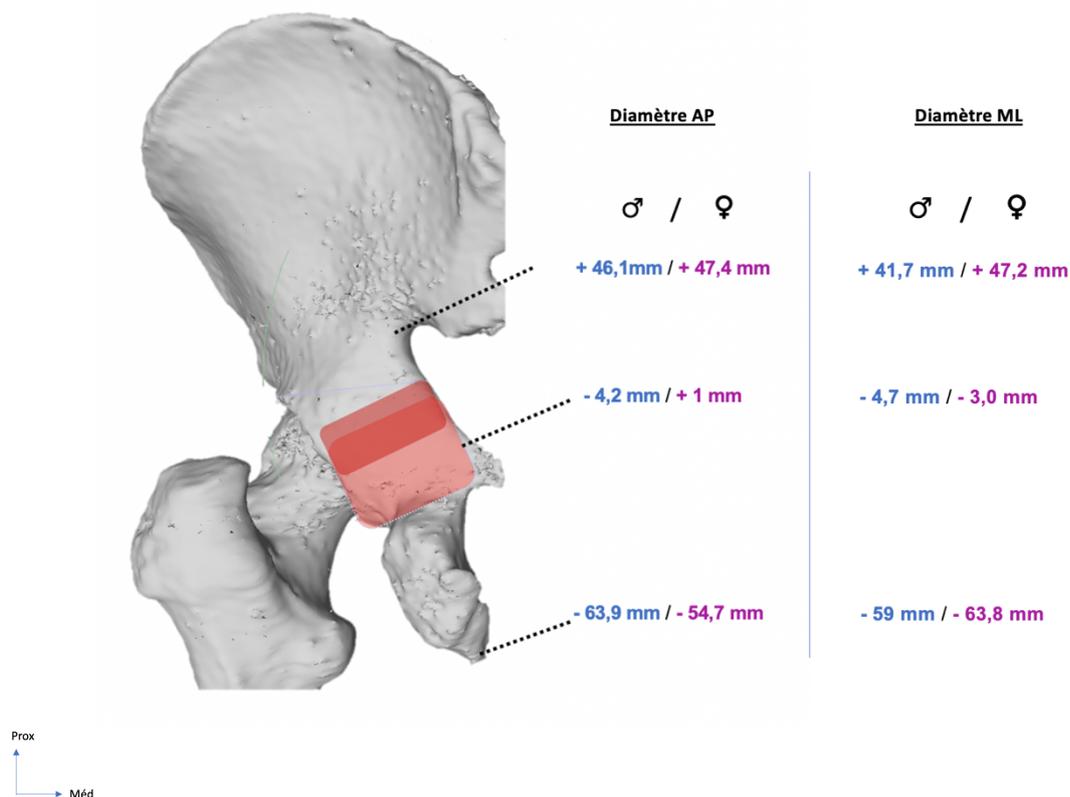


Figure 6 - Localisation chez l'homme et chez la femme des diamètres antéro-postérieurs et médio-latéraux les plus étroits par rapport à trois repères : bord supérieur de la grande incisure ischiatique, bord supérieur de l'épine ischiatique et bord inférieur de la tubérosité ischiatique. -x (situation de la zone étroite avant le point de repère utilisé). +x (situation de la zone étroite après le point de repère).

3) « Safe zone » et point d'entrée

La zone d'insertion de la vis peut être définie en deux zones. La « safe zone » correspondant à la surface comprenant l'ensemble des points d'entrée possibles et le point d'entrée correspondant au centre de la « safe zone ». Il représente ainsi le point d'entrée de la trajectoire de vis APCS la plus directe possible.

La superficie de la « safe zone » mesurait en moyenne 392,5 mm² chez l'homme et 278,3 mm² chez la femme ($p=0.002$). Chez l'homme, le point d'entrée idéal était situé en moyenne à 63,9 mm de l'EIAS, 55,7 mm de l'EIAI, 36,8 mm de la jonction ligne arquée-bord antérieur de SI et à 27,7 mm de la ligne arquée.

Chez la femme, le point d'entrée était situé en moyenne à 63 mm de l'EIAS, 53,9 mm de l'EIAI, 34,6 mm de la jonction ligne arquée-bord antérieur de SI et à 24,6 mm de la ligne arquée. La différence de localisation des points d'entrée entre hommes et femmes en fonction de l'EIAS ($p=0.670$), EIAI ($p=0.419$), jonction ligne arquée-SI ($p=0.343$) et ligne arquée ($p=0.107$) était statistiquement non significative (figure 7).

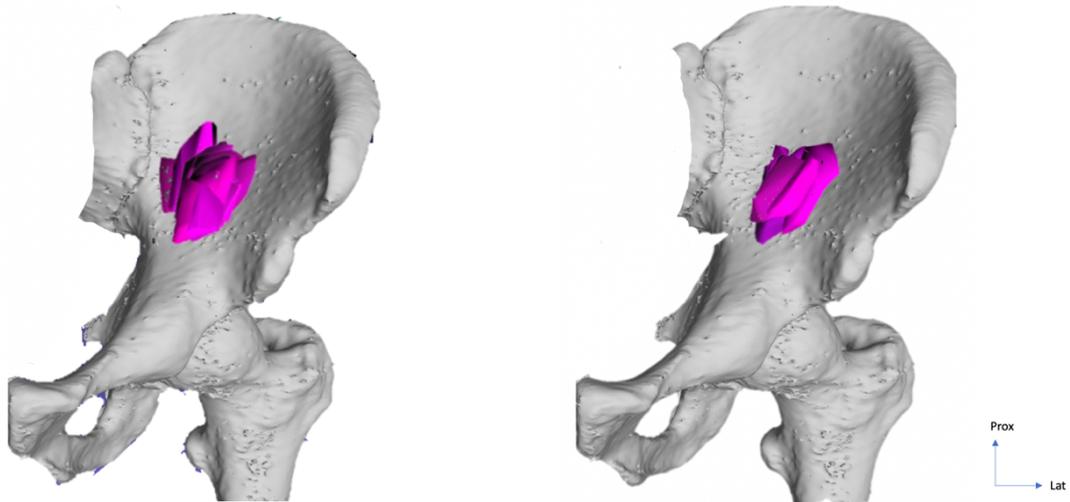


Figure 7 - Agrégation de l'ensemble des « safe zone » d'insertion de la vis APCS chez les hommes à gauche et chez les femmes à droite ($p<0.05$).

4) Angulation de la trajectoire du vissage APCS

L'angle dans le plan sagittal (angle α) est en moyenne de $56,1^\circ$ chez les hommes et de $58,8^\circ$ chez les femmes. Concernant l'angle β définissant l'angulation dans le plan frontal, la valeur moyenne chez l'homme est de $124,9^\circ$ et de $123,1^\circ$ chez la femme. Les différences entre les valeurs sont statistiquement non significatives (tableau 3).

	Angle α ($^\circ$)		Angle β ($^\circ$)	
	Femmes (n=10)	Hommes (n=24)	Femmes (n=10)	Hommes (n=24)
Moyenne	58,8	56,1	123,1	124,9
Écart-type	5,6	5,9	4,8	7,3
Minimum	50,0	44,0	114,6	113,8
Maximum	64,3	68,5	130,0	140,0
p-value (t Student)	0.22		0.47	

Tableau 3 - Différences des angulations dans le plan frontal et sagittal du vissage APCS chez l'homme et la femme. Résultats statistiquement non significatifs ($p > 0.05$).

Discussion

Notre étude est originale car c'est la seule étude européenne analysant la morphologie du volume V_p pouvant contenir l'ensemble des trajectoires les plus directes possibles du vissage APCS ainsi que les données permettant de définir une trajectoire théorique idéale à savoir un point d'entrée et une angulation dans différents plans.

Dans la littérature, les quelques données existantes sont hétérogènes. Dans une population caucasienne Caviglia *et al.* [5] mettent en évidence sur scanners que la zone la plus étroite est en moyenne de 6,1 mm. Cependant, cette zone n'est pas localisée avec précision le long de l'axe du corridor et il n'existe aucune donnée sur la méthode employée ni même sur l'effectif utilisé pour les mesures. L'étude scanner portant sur 13 pelvis d'Attias *et al.* [10] montre un diamètre moyen de 11,4 mm avec des valeurs allant de 9,4 à 13,3 mm. Puchwein *et al.* [6] qui ont analysé 35 scanners d'hommes et 15 scanners de femmes trouvent un diamètre moyen compris entre 13,4

et 26,9 mm. Les données dans la population asiatique sont également hétérogènes avec un diamètre variant de 10,2 à 12,2 mm pour l'étude de Zhang *et al.* [11], et jusqu'à 16,8 mm pour Feng *et al.* [7]. De plus, les valeurs de l'angulation du vissage sont également très différentes entre les études. En effet, Feng *et al.* [7] trouvent des angulations variant de 37° pour l'angulation antéro-postérieure dans le plan sagittal à 55,8° dans le plan frontal en utilisant comme plan de référence la ligne arquée. L'étude de Jung *et al.* [8] quant à elle retrouve des valeurs moyennes d'angulation de 134° dans le plan sagittal en utilisant le sol comme référentiel. Enfin, dans l'étude anatomique de Mu *et al.* [9] sur os secs et en utilisant comme plan de référence celui de la zone d'insertion de l'APCS sur l'aile iliaque (comme dans notre étude) on retrouve des valeurs moyennes d'angulation de 57° dans le plan sagittal et de 119° dans le plan frontal. Ces données sont similaires à celles retrouvées dans notre étude.

Les données morphologiques de V_p qui ont été mesurées permettent d'extraire des indications et contre-indications du vissage APCS et il s'agit à notre connaissance de la seule étude proposant des recommandations sur le vissage APCS. Dans notre étude, les diamètres antéro-postérieurs minimums sont de 7,2 mm chez l'homme et de 7,6 mm chez la femme et les diamètres médio-latéraux les plus petits sont de 8 mm chez l'homme et 7 mm chez la femme. Ainsi, nous pouvons extrapoler que les vissages d'un diamètre supérieur à 7,3 mm chez l'homme et 6,5 mm chez la femme semblent exposer le chirurgien à un trajet extra-osseux. D'autres études comme celle de Mu *et al.* [9] montrent qu'un vissage de diamètre 6,5 mm sur os sec est possible sans effraction cortical. Cependant, ces vissages sont réalisés en conditions optimales sur os sec et sans aucun tissu mou environnant avec une liberté totale dans le mouvement du bassin osseux autour de l'amplificateur de brillance afin de vérifier l'absence d'issue intra-articulaire de la vis ce qui est difficilement réalisable en conditions réelles.

La zone comprenant les diamètres les plus petits représente une zone de danger. Cette zone est située en moyenne à 4,7 mm en amont du bord supérieur de l'épine ischiatique et à 1 mm en aval. Ainsi, pour des traits de fractures situés au sein de cette zone ou en aval, il existe un risque de non fixation du trait et de trajet extra-osseux pouvant être dommageable pour le patient. Par conséquent les traits de fractures situés en aval du bord supérieur de l'épine ischiatique constituent une contre-indication

relative au vissage APCS. Ces traits de fracture peuvent toutefois être maintenus par un vissage rétrograde de la colonne postérieure de l'acetabulum [12].

Une zone d'insertion potentielle du vissage APCS (« safe zone ») a été définie et son volume est différent entre les pelvis masculins et féminins. Au centre de la « safe zone », nous avons localisé le point d'entrée idéal qui est situé chez l'homme en moyenne à 63,9 mm de l'EIAS, 55,7 mm de l'EIAI, 36,8 mm de la zone de jonction ligne arquée-SI et 27,7 mm de la ligne arquée. Chez la femme, les valeurs moyennes sont de 63 mm de l'EIAS, 53,9 mm de l'EIAI, 34,6 mm de la zone de jonction ligne arquée-SI et 24,6 mm de la ligne arquée et il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les deux sexes. Ainsi, tout trait de fracture passant au sein de la « safe zone » et du point d'entrée idéal constitue une contre-indication relative au vissage APCS. De plus, il est nécessaire de prendre en compte la verticalité du trait postérieur. En effet, un trait très vertical sera à risque de sortie de la vis par le trait de fracture et donc de non fixation de la fracture. Enfin, l'insertion d'une APCS pourra se faire si la fracture de la colonne postérieure est non déplacée ou bien réduite [13].

Les limites de notre étude sont d'une part un déséquilibre entre l'effectif de patients de sexe masculin (24 patients inclus) et l'effectif de patients de sexe féminin (10 patientes) et d'autre part la difficulté d'appliquer en per-opératoire les données morphologiques extraites concernant la trajectoire du vissage idéal et notamment la position du point d'entrée et la trajectoire dans le plan frontal et sagittal. Ainsi, il serait intéressant de développer et de valider des outils de navigation 3D ou des systèmes de chirurgie assistée par ordinateur (CAO) afin de réaliser de manière sûre et efficace le vissage APCS et les autres vissages mini-invasifs autour de l'acetabulum [14,15].

Conclusion

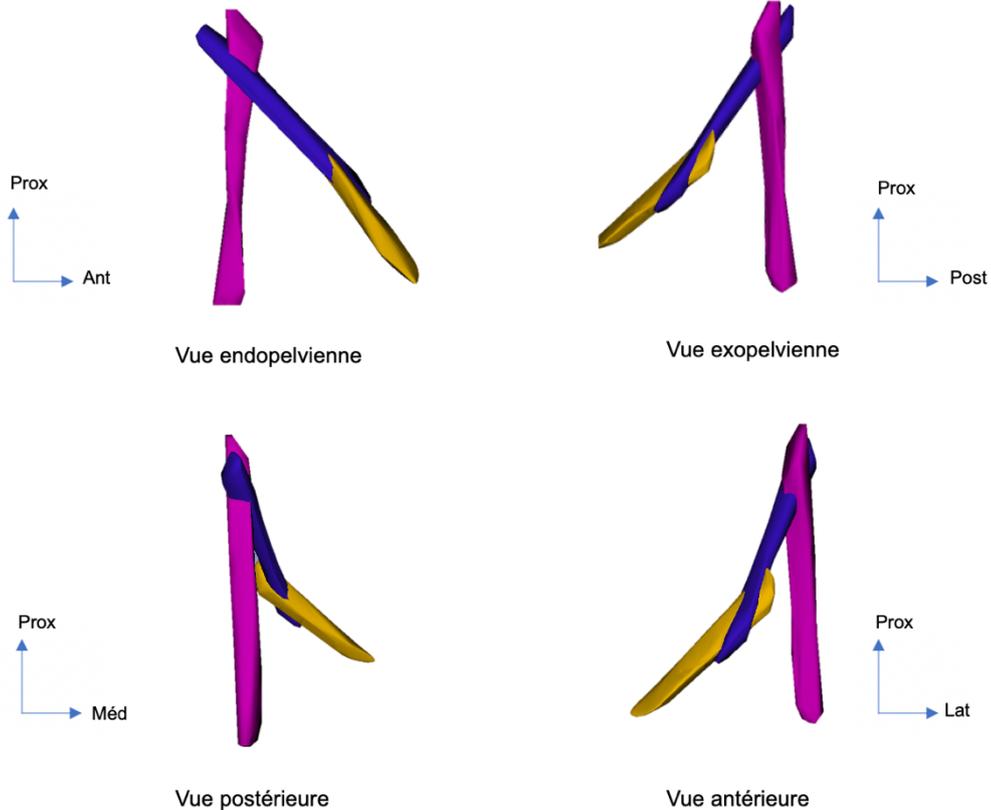
Notre étude propose une analyse de la morphologie du volume pouvant contenir l'ensemble des trajectoires les plus directes possibles du vissage APCS ainsi que les données permettant de définir une trajectoire théorique idéale (un point d'entrée et une angulation dans différents plans). Le vissage APCS est théoriquement réalisable sans danger par un vissage unique à l'aide d'une vis corticale de 3,5 mm, indépendamment du sexe du patient, en vérifiant des critères de validité précis sur le scanner préopératoire lors de l'analyse des traits fracturaires.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Matta JM. Fractures of the acetabulum: accuracy of reduction and clinical results in patients managed operatively within three weeks after the injury. *J Bone Joint Surg Am.* 1996 Nov;78(11):1632–45.
- [2] Jung G-H, Lee Y, Kim J-W, Kim J. Computational analysis of the safe zone for the antegrade lag screw in posterior column fixation with the anterior approach in acetabular fracture: A cadaveric study. *Injury.* 2017 Mar;48(3):608–14.
- [3] Shahulhameed A, Roberts CS, Pomeroy CL, Acland RD, Giannoudis PV. Mapping the columns of the acetabulum—Implications for percutaneous fixation. *Injury.* 2010 Apr;41(4):339–42.
- [4] Xu Y, Lin C, Zhang L, Lin M, Lai J, Cao S, et al. Anterograde Fixation Module for Posterior Acetabular Column Fracture: Computer-Assisted Determination of Optimal Entry Point, Angle, and Length for Screw Insertion. *Med Sci Monit.* 2016 Sep 1;22:3106–12.
- [5] Caviglia H, Mejail A, Landro ME, Vatani N. Percutaneous fixation of acetabular fractures. *EFORT Open Reviews.* 2018 May;3(5):326–34.
- [6] Puchwein P, Enninghorst N, Sisak K, Ortner T, Schildhauer TA, Balogh ZJ, et al. Percutaneous fixation of acetabular fractures: computer-assisted determination of safe zones, angles and lengths for screw insertion. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012 Jun;132(6):805–11.
- [7] Feng X, Zhang S, Luo Q, Fang J, Lin C, Leung F, et al. Definition of a safe zone for antegrade lag screw fixation of fracture of posterior column of the acetabulum by 3D technology. *Injury.* 2016 Mar;47(3):702–6.
- [8] Jung G-H, Lee Y, Kim J-W, Kim J. Computational analysis of the safe zone for the antegrade lag screw in posterior column fixation with the anterior approach in acetabular fracture: A cadaveric study. *Injury.* 2017 Mar;48(3):608–14.

- [9] Mu W, Wang X, Jia T, Zhou D, Cheng A. Quantitative anatomic basis of antegrade lag screw placement in posterior column of acetabulum. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2009 Nov;129(11):1531–7.
- [10] Attias N, Lindsey RW, Starr AJ, Borer D, Bridges K, Hipp JA. The use of a virtual three-dimensional model to evaluate the intraosseous space available for percutaneous screw fixation of acetabular fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery British volume*. 2005 Nov;87-B(11):1520–3.
- [11] Zhang P, Tang J, Dong Y, Lu L, Wang S, Song S, et al. A new navigational apparatus for fixation of acetabular posterior column fractures with percutaneous retrograde lagscrew: Design and application. *Medicine (Baltimore)*. 2018 Sep;97(36):e12134.
- [12] Hong G, Cong-Feng L, Cheng-Fang H, Chang-Qing Z, Bing-Fang Z. Percutaneous screw fixation of acetabular fractures with 2D fluoroscopy-based computerized navigation. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2010 Sep;130(9):1177–83.
- [13] Stöckle U, Hoffmann R, Nittinger M, Südkamp NP, Haas NP. Screw fixation of acetabular fractures. *International Orthopaedics*. 2000 Jul 27;24(3):143–7.
- [14] Chui KH, Chan CCD, Ip KC, Lee KB, Li W. Three-dimensional navigation-guided percutaneous screw fixation for nondisplaced and displaced pelvi-acetabular fractures in a major trauma centre. *International Orthopaedics (SICOT)*. 2018 Jun;42(6):1387–95.
- [15] Peng Y, Zhang L, Min W, Tang P. Comparison of anterograde versus retrograde percutaneous screw fixation of anterior column acetabular fractures. *Int J CARS*. 2016 Apr;11(4):635–9.

Annexe 1



Modélisation par le logiciel 3D Slicer des volumes des trajectoires du vissage de la colonne postérieure (rose), de la colonne antérieure (bleu) et de la branche ilio-pubienne (jaune).

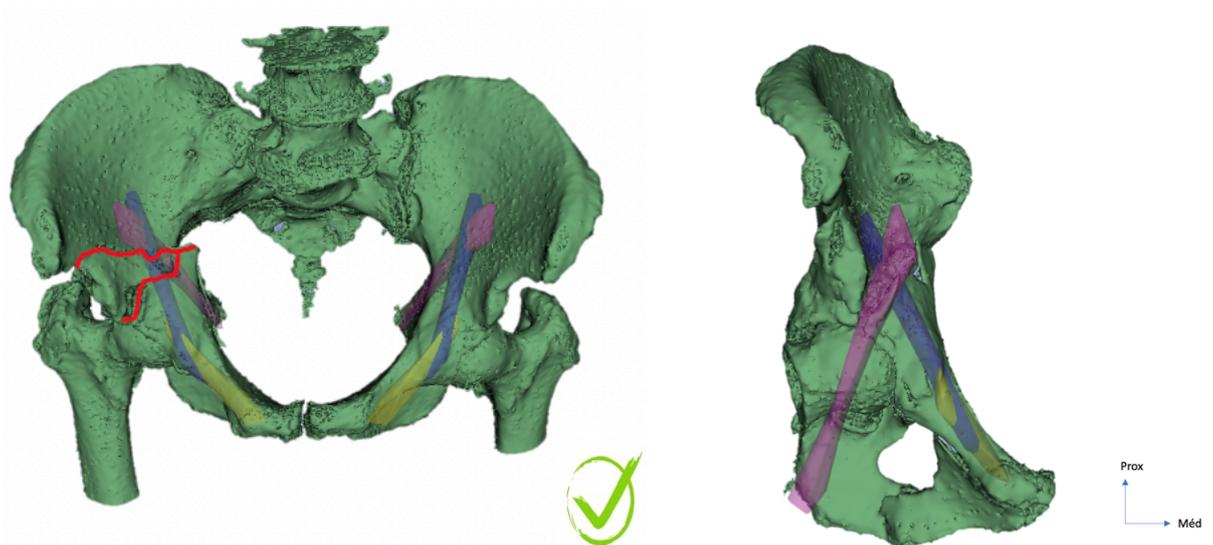
A noter la zone de rétrécissement antéro-postérieur de V_p bien visible sur les vues endo et exopelviennes.

Annexe 2

Analyse de la faisabilité du vissage APCS

Étape 1 - Analyse du trait de la colonne antérieure et « safe zone »

- 1) Premier exemple → « **safe zone** » située hors du foyer de fracture



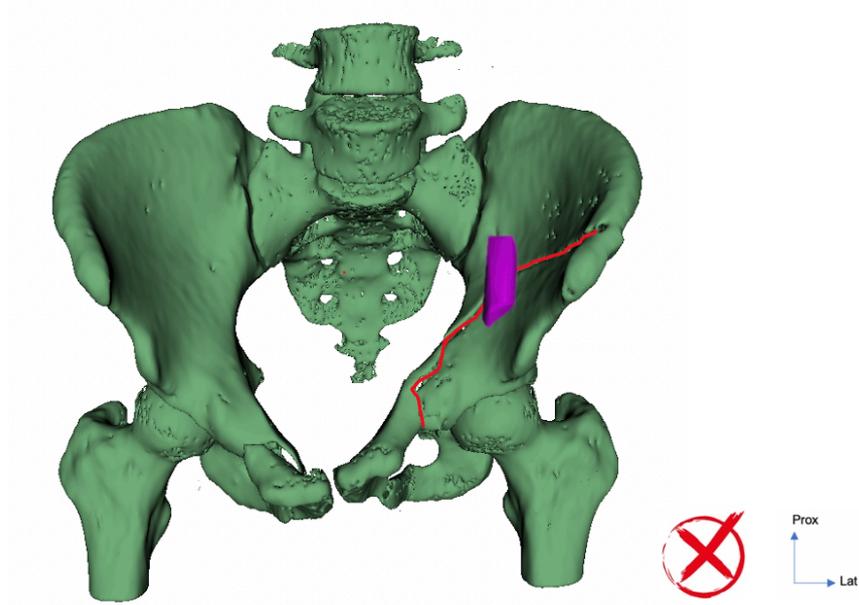
A gauche : Vue supérieure du bassin d'une patiente de 73 ans présentant une fracture de la colonne antérieure avec trait hémi-transversal postérieur. Le trait de fracture de la colonne antérieure se situe à l'extérieur de la « safe zone » du vissage APCS (en rose). Il s'agit de l'un des quatre critères nécessaires à l'insertion d'une vis APCS.

A droite : Visualisation sur une vue latérale de l'orientation du corridor de vissage APCS dans le plan sagittal.

En jaune : corridor de vissage de la branche ilio-pubienne.

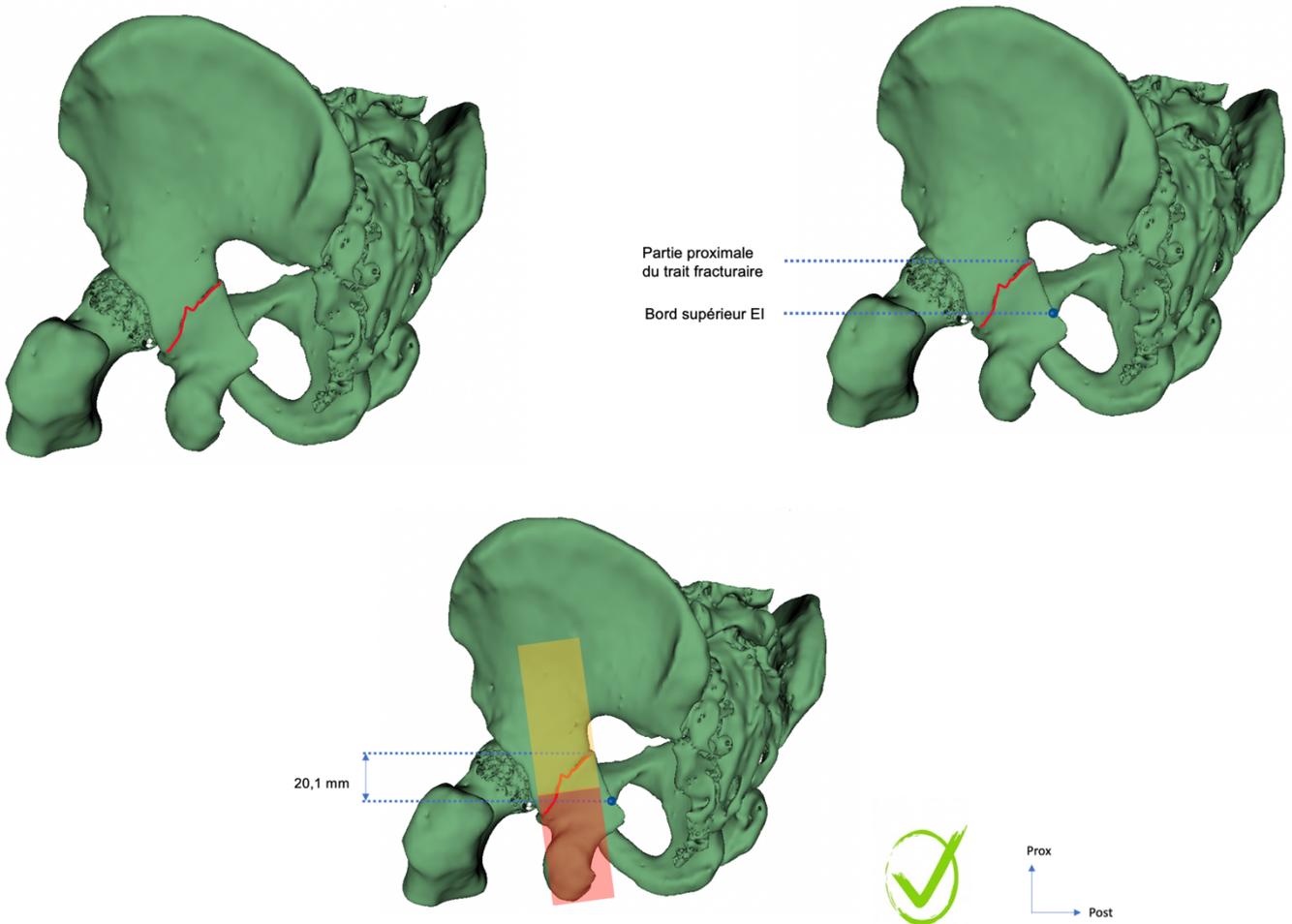
En bleu : corridor de vissage de la colonne antérieure.

2) Deuxième exemple → « safe zone » située au niveau du foyer de fracture



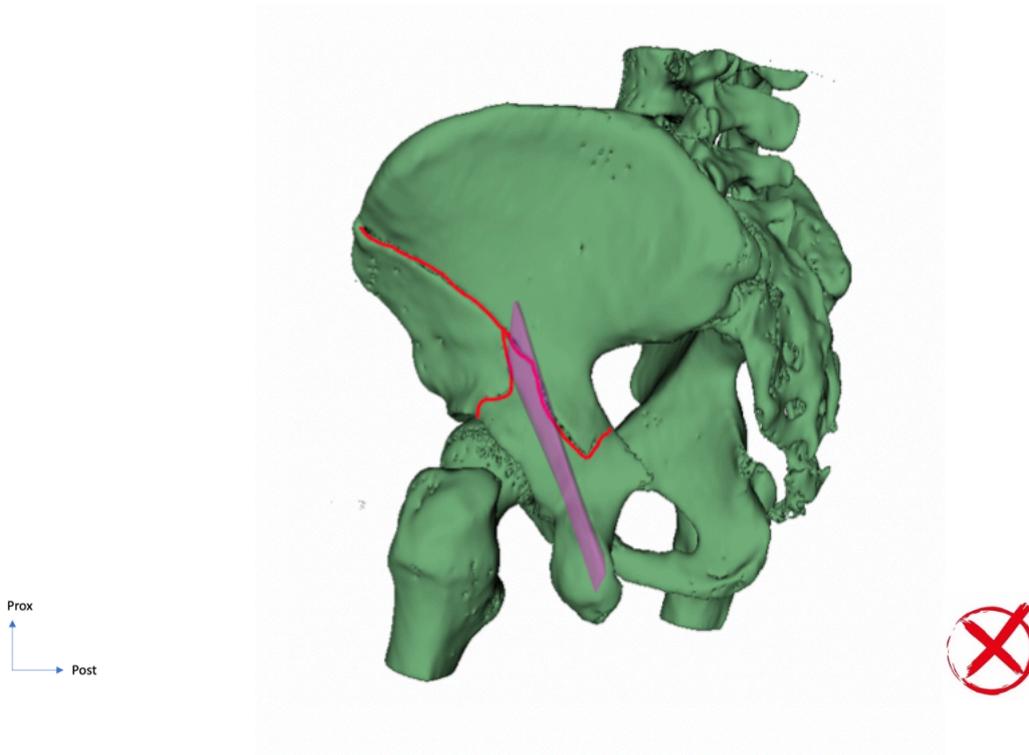
Vue antérieure du bassin d'une patiente de 30 ans présentant une fracture de la colonne antérieure avec trait hémi-transversal postérieur. Le trait de fracture de la colonne antérieure se situe au niveau de la « safe zone » du vissage APCS (en rose). Le vissage APCS est donc théoriquement déconseillé chez cette patiente.

Étape 2 - Analyse du trait de fracture de la colonne postérieure



Premier exemple : Identification et analyse du trait de fracture de la colonne postérieure (en rouge)

- Absence de déplacement fracturaire
- Une grande majorité du trait est située hors de la zone de danger (carré rouge)
- La verticalité du trait est compatible avec un vissage APCS
- Vissage APCS recommandé



Deuxième exemple : Identification et analyse du trait de fracture de la colonne postérieure (en rouge) chez la même patiente de 30 ans présentée plus haut. Le trait de la colonne postérieure est vertical et situé proche de la zone d'insertion. Ainsi, le vissage APCS est déconseillé avec un risque accru de sortie de la vis par le trait de fracture. Il s'agit de la cause la plus fréquente d'échec du vissage APCS.

Annexe 3

Critères scannographiques pré-opératoires pour le vissage APCS

4 critères morphologiques :

- Type fracturaire : double colonne / fracture de la colonne antérieure avec trait hémi-transversal postérieur / fracture en T / fracture transverse.
- Trait de fracture situé en amont du bord supérieur de l'épine ischiatique.
- Trait de fracture n'atteignant pas la zone d'insertion de la vis (« safe zone » et point d'entrée).
- Trait de fracture transversal ou à faible verticalité.

PARTIE 2

Résultats radio-cliniques du vissage antérograde de la colonne postérieure de
l'acetabulum (APCS)

Résumé

Introduction - Le vissage isolé antérograde de la colonne postérieure de l'acetabulum (APCS) a pour objectif d'obtenir une ostéosynthèse stable de la colonne postérieure tout en diminuant les complications liées à des doubles abords dans le cas de fractures atteignant les deux colonnes de l'acetabulum. L'objectif de ce travail est de présenter les résultats radiologiques et cliniques de l'ostéosynthèse de la colonne postérieure de l'acetabulum par abord antérieur unique en utilisant un vissage isolé antérograde de la colonne postérieure de l'acetabulum (APCS).

Matériel et méthode - L'étude porte sur 69 patients opérés par voie antérieure pour une fracture atteignant les deux colonnes de l'acetabulum entre 2014 et 2018. 24 patients du groupe APCS et 45 patients du groupe témoin ont été analysés. Le critère de jugement radiologique était défini par la qualité de la réduction selon Matta et le résultat clinique était évalué par les scores fonctionnels hanche de Harris et de Postel Merle D'Aubigné (PMA). Une analyse séquentielle hiérarchique a été réalisée en utilisant un test du Chi2 pour le critère radiologique et un test t de Student pour le résultat clinique.

Résultats - Dans le groupe APCS, la réduction était anatomique dans 70,8% (17/24) des cas, imparfaite dans 12,5% (3/24) et pauvre dans 16,7% (4/24). Dans le groupe témoin, la réduction était anatomique dans 33,3% (15/45) des cas, imparfaite dans 31,1% (14/45) et pauvre dans 35,6% (16/45). La différence de qualité de la réduction était statistiquement significative en faveur du groupe APCS ($p=0.012$). Les résultats cliniques étaient non significatifs pour le score de Harris ($p=0.201$) et pour le score PMA ($p>0.05$). L'irradiation moyenne lors du vissage APCS était significativement plus élevée (114,8 cGy.cm⁻²) par rapport au groupe contrôle (39,8 cGy.cm⁻²) ($p=0.003$). Enfin, aucune PTH n'a été posée dans le groupe APCS contre 8 dans le groupe contrôle ($p=0.031$). Les différences en termes de coxarthrose, pseudarthrose, hématome, transfusion sanguine, infection du site opératoire, désunion cicatricielle, lésion vasculaire et nerveuse étaient statistiquement non significatives.

Conclusion - Notre étude montre une association statistiquement significative entre la qualité de la réduction fracturaire et la réalisation d'un vissage isolé antérograde de la colonne postérieure. La réussite de cette fixation isolée de la colonne postérieure témoigne de la bonne réduction obtenue par l'abord antérieur et permet une fixation stable de la colonne postérieure, au prix d'une irradiation supplémentaire mais sans augmenter le taux de complications per et post-opératoires.

Mots clés : fractures de l'acetabulum ; vissages percutanés ; vissage antérograde de la colonne postérieure ; irradiation

Abstract

Introduction - The aim of the anterograde posterior column screw (APCS) is to obtain stable fixation of the posterior column by reducing the complications associated with double approaches in the case of fractures affecting both columns of the acetabulum.

Material and method - The study included 69 patients operated by an anterior pelvic approach for a fracture involving both columns of the acetabulum between 2014 and 2018. 24 patients from the APCS group and 45 patients from the control group were analyzed. The radiological endpoint was defined by the quality of the reduction according to Matta and the clinical outcome was assessed by hip functional scores of Harris and Postel Merle D'Aubigné (PMA). Hierarchical testing was performed using a Chi2 test for the radiological endpoint and a Student's t test for the clinical endpoint.

Results - In the APCS group, the reduction was anatomical in 70.8% (17/24) of cases, imperfect in 12.5% (3/24) and poor in 16.7% (4/24). In the control group, the reduction was anatomical in 33.3% (15/45) of cases, imperfect in 31.1% (14/45) and poor in 35.6% (16/45). The difference in the quality of the reduction was statistically significant in favor of the APCS group ($p = 0.012$). The clinical outcomes were non-significant for the Harris score ($p = 0.201$) and for the PMA score ($p > 0.05$). The mean irradiation during APCS procedure was significantly higher (114.8 cGy.cm⁻²) compared to the control group (39.8 cGy.cm⁻²) ($p = 0.003$). Finally, no Total Hip Arthroplasty (THA) was performed in the APCS group compared to 8 THA in the control group ($p = 0.031$). Differences in hip osteoarthritis, nonunion, hematoma, blood transfusion, surgical site infection, scar disunion, vascular and nerve damages were statistically insignificant

Conclusion - Our study demonstrated a statistically significant association between the quality of the fracture reduction and the achievement of an APCS. The success of this isolated fixation of the posterior column attests to the good reduction obtained by the anterior approach and allows a stable fixation of the posterior column, at the cost of additional irradiation but without increasing the rate of per- and post-operative complications.

Keywords : acetabular fractures ; percutaneous screw fixation ; anterograde posterior column screw ; irradiation

Introduction

Les fractures de l'acetabulum sont des fractures peu fréquentes. D'après le registre national Finlandais l'incidence de ces fractures est estimée à 7,2 pour 100 000 habitants entre 1997 et 2014 [1]. La prise en charge chirurgicale de ces fractures est complexe de par la proximité d'éléments vasculo-nerveux et de par la diversité des voies d'abord disponibles. Par conséquent, la prise en charge de ces traumatismes nécessite une expertise particulière retrouvée au sein des trauma center de niveau 1.

Deux pics de fréquence sont identifiés : chez les patients jeunes lors de traumatismes à haute énergie et chez les patients âgés lors de traumatismes à faible énergie sur un os fragilisé par l'ostéoporose [2-5]. Afin de décrire au mieux ces fractures complexes, Judet et Letournel ont mis au point et publié en 1964 une classification radiologique basée sur le concept des deux colonnes de l'acetabulum [6,7].

Boudissa *et al.* [3] ont montré dans une série rétrospective de 414 patients pris en charge dans un trauma center de niveau 1 que les fractures complexes les plus fréquentes nécessitant une ostéosynthèse sont les fractures des deux colonnes (11,6%) suivies des fractures de la colonne antérieure avec trait hémi-transversal postérieur dans 8,7% des cas. Ces fractures sont opérées en première intention par un abord antérieur unique afin d'éviter la réalisation d'un abord postérieur dans un second temps si la réduction est satisfaisante.

La prise en charge thérapeutique de ces fractures a évolué avec une tendance significative à l'augmentation des indications d'ostéosynthèse en fonction du type fracturaire, du déplacement et de la congruence de l'articulation coxo-fémorale. Le but final de cette prise en charge chirurgicale est de retarder la survenue à plus ou moins court terme d'une coxarthrose post-traumatique et de mobiliser plus rapidement le patient, évitant ainsi les complications de décubitus [8-10]. En effet, Bhandari *et al.* ont montré que l'impaction ostéochondrale et l'écart inter-fragmentaire de plus de 2 mm étaient corrélés à l'apparition d'une coxarthrose. Dans cette étude, 100% des patients ayant eu une réduction non anatomique ont présenté une coxarthrose à 8 ans contre 25% des patients ayant bénéficié d'une réduction anatomique [11].

Initialement, cette ostéosynthèse n'était réalisée que par abord direct large en utilisant les voies d'abords classiques de l'acetabulum. La fixation du foyer de fracture consistait alors en l'utilisation de plaques vissées avec un double abord dans le cas

des fractures touchant les deux colonnes de l'acetabulum. En parallèle, les études anatomiques et radiologiques du bassin ont permis d'identifier des corridors osseux au sein des deux colonnes de l'acetabulum dans lesquels une ostéosynthèse par voie mini-invasive, voir percutanée peut être réalisée en utilisant des vissages isolés. Nous devons la première description d'une ostéosynthèse percutanée de l'acetabulum sous guidage scanner à Gay *et al.* en 1992 [12]. Avec la recrudescence des fractures de l'acetabulum chez les sujets âgés qui représentent 14% de l'ensemble des fractures de l'acetabulum aux États-Unis en 2019 [13], ces techniques mini-invasives ont désormais toute leur place dans l'arsenal thérapeutique du chirurgien orthopédiste. En effet, les ostéosynthèses mini-invasives permettent de diminuer les infections du site opératoire, les ossifications hétérotopiques autour de l'articulation coxo-fémorale et les pseudarthroses [14,15] avec de bons résultats anatomiques et fonctionnels [16].

Un certain nombre d'études anatomiques, radiologiques et numériques ont rapporté la description morphologique des corridors osseux péri-acétabulaires permettant la mise en place d'une vis isolée sans trajet extra-osseux dommageable pour le patient (issue intra-articulaire, lésion vasculaire, nerveuse ou d'un organe intra-péritonéale). Les corridors les mieux décrits sont ceux permettant le vissage de la branche ilio-pubienne, de la colonne antérieure et de la colonne postérieure de l'acetabulum [17-22]. Ce dernier peut se faire selon deux techniques.

Le vissage antérograde « Antegrade Posterior Column Screw » (APCS) permettant le vissage de la colonne postérieure de la fosse iliaque jusqu'à la tubérosité ischiatique. Le vissage rétrograde « Retrograde Posterior Column Screw » ou « butt screw » qui permet la fixation de la colonne postérieure de façon rétrograde en insérant la vis à partir de la tubérosité ischiatique [14].

Le vissage antérograde a notre préférence car il permet de visser la colonne postérieure par un abord antérieur de l'acetabulum en utilisant le plus souvent la fenêtre externe de la voie ilio-inguinale sans modifier l'installation du patient. Ce vissage est techniquement complexe de par l'anatomie du pelvis et les structures anatomiques environnantes qui contraignent la trajectoire de la vis. Ces dernières années, lorsque la fixation de la colonne postérieure de l'acetabulum était indiquée, une tentative de vissage APCS était systématiquement réalisée nous permettant de comparer deux groupes relevant d'une même indication de vissage APCS : un groupe avec vissage APCS et un groupe sans vissage correspondant à l'échec de la procédure.

Il s'agit à notre connaissance de la seule étude qui compare dans une population européenne les résultats cliniques et radiologiques des ostéosyntheses de la colonne postérieure de l'acetabulum avec APCS par rapport à un groupe contrôle sans vissage.

Ainsi, l'objectif principal de notre travail est de présenter les résultats radiologiques et cliniques de l'ostéosynthèse de la colonne postérieure de l'acetabulum par abord antérieur unique en utilisant un vissage APCS et de les comparer à un groupe témoin.

Matériel et méthode

Description de la population

Tous les patients opérés entre 2014 et 2018 pour une fracture atteignant les deux colonnes de l'acetabulum par voie antérieure unique étaient inclus dans cette étude rétrospective et monocentrique.

Les critères d'inclusion étaient les suivants : tout patient présentant une fracture avec indication théorique d'APCS (fracture des deux colonnes de l'acetabulum, colonne antérieure avec trait hémi-transversal postérieur, fracture en T et fracture transverse) et ayant bénéficié d'une ostéosynthèse uniquement par voie antérieure de la colonne postérieure par vissage isolé de type APCS ou d'une tentative d'ostéosynthèse de la colonne postérieure par vissage isolé de type APCS, un bilan d'imagerie comprenant un scanner pré et post-opératoire du bassin, un dossier médical complet incluant un compte-rendu opératoire, un compte-rendu d'hospitalisation et un compte-rendu de consultation post-opératoire.

Deux groupes ont été constitués, le groupe APCS incluant l'ensemble des patients ayant bénéficié d'une ostéosynthèse de la colonne postérieure par vissage isolé de type APCS et le groupe témoin comprenant les patients présentant une indication théorique de vissage de type APCS mais sans que ce dernier n'ait été réalisé (échec de procédure).

Tous les patients étaient opérés par un des trois opérateurs seniors expérimentés en chirurgie de l'acetabulum.

Méthode d'évaluation

Un scanner en coupes fines millimétriques était systématiquement réalisé en pré et en post-opératoire. Le critère de jugement radiologique défini comme la qualité de la réduction sur le scanner post-opératoire était évalué et comparé entre les deux groupes selon les critères de Matta: réduction anatomique si l'écart inter-fragmentaire est compris entre 0 et 1 mm ; imparfaite entre 2 et 3 mm d'écart inter-fragmentaire et pauvre si l'écart est strictement supérieur à 3 mm [8]. Les mesures d'écart inter-fragmentaire et/ou marche d'escalier étaient réalisées conformément aux méthodes de mesures de Borrelli *et al.* [23]. L'évaluation clinique comprenait la comparaison entre les deux groupes du score fonctionnel hanche de Harris [24] (annexe 1) et de Postel Merle d'Aubigné (PMA) [25] (annexe 2). Ces deux scores ont été calculés lors de la dernière consultation de suivi du patient avec son chirurgien.

Dans le groupe APCS, le vissage APCS était évalué qualitativement. Le vissage était qualifié de « succès » si la vis était en position intra-osseuse et fixait la colonne postérieure de l'acetabulum. Le vissage était qualifié d'« imparfait » si la vis présentait une effraction osseuse et fixait la colonne postérieure de l'acetabulum. Enfin le vissage était qualifié « en échec » si la fixation du trait de fracture n'était pas assurée et si le trajet était extra-osseux et/ou responsable de lésions vasculo-nerveuses.

Les complications étaient recueillies et analysées en per-opératoire, post-opératoire et dans le cadre du suivi du patient. Étaient systématiquement recherchées : l'infection du site opératoire, la présence d'une désunion cicatricielle, l'existence d'un hématome post-opératoire, une transfusion pour anémie aigue, une lésion nerveuse per-opératoire, la présence d'une pseudarthrose, d'une coxarthrose selon la classification de Tönnis [26] (annexe 3), la mise en place d'une prothèse totale de hanche (PTH) et l'existence de calcifications hétérotopiques selon Brooker [27] (annexe 4).

L'ensemble des données ont été recueillies de manière rétrospective par le même investigateur.

Analyses statistiques

Les variables quantitatives ont été décrites en utilisant la moyenne et l'écart-type. Les variables qualitatives ont été décrites en dénombrant l'effectif et le pourcentage de l'effectif total. Concernant l'analyse statistique des critères de jugements principaux et afin d'éviter toute inflation du risque alpha, nous avons réalisé une analyse séquentielle hiérarchique en analysant dans un premier temps le critère de jugement principal radiologique. Si une différence statistiquement significative avec un risque alpha fixé a priori à 5% est retrouvée pour le critère de jugement radiologique, alors l'analyse du critère de jugement clinique est réalisée. Le test statistique utilisé est un test du Chi2 ou un test de Fisher pour le critère radiologique et un test t de Student ou un test de Wilcoxon pour les critères cliniques en fonction des conditions de validité. Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant le logiciel JASP version 0.10.2.

Résultats

L'analyse porte sur 69 patients inclus dont 58 hommes d'âge moyen de 54,8 ans (± 16) et 11 femmes d'âge moyen de 49,3 ans ($\pm 17,2$). Les fractures de la colonne antérieure avec trait hémi-transversale postérieure sont les plus représentées (34/69) suivies des fractures double colonne (27/69) puis des fractures en T (6/69) et transverses (2/69). Dans le groupe vissage APCS, l'analyse du critère de jugement clinique porte sur 23 patients (décès d'un patient quelques jours après la chirurgie) avec un délai moyen de suivi de 13,4 mois et sur 24 patients pour le critère de jugement radiologique. L'analyse du groupe témoin est réalisée sur 45 patients pour les critères de jugement clinique et radiologique avec un suivi moyen post-opératoire à 15,1 mois. Les deux groupes étaient comparables en termes de sex-ratio, âge moyen, variété fracturaire, voie d'abord, temps chirurgical et durée de suivi (tableau 1).

	Groupe APCS (n=24)	Groupe Témoin (n=45)	p-value
Hommes, n (%)	23 (95,8)	35 (77,8)	0.051
Femmes, n (%)	1 (4,2)	10 (22,2)	
Age moyen (écart-type)	54,8 (± 16)	49,3 (± 17,2)	0.206
Type fracturaire, n (%)			
CA + HTP	11 (45,8)	23 (51,1)	
Double colonne	10 (41,7)	17 (37,8)	0.609
T	3 (12,5)	3 (6,7)	
Transverse	0 (0)	2 (4,4)	
Trait situé en aval du bord supérieur de l'épine ischiatique, n (%)	0 (0)	31 (68,9)	
Voie d'abord, n (%)			
Ilio-fémorale	0 (0)	1 (2,2)	
Ilio-inguinale	14 (58,3)	29 (64,4)	0.832
Stoppa	9 (37,5)	13 (28,9)	
Para-rectale	1 (4,2)	2 (4,4)	
Fenêtre externe (si autre que voie ilio-inguinale)	24 (100)	32 (71,1)	0.003*
Longueur de vis moyenne en millimètres (écart-type)	100,4 (± 18,5)	NC	
Temps chirurgical moyen en minutes (écart-type)	146,3 (± 36,8)	135,1 (± 58,7)	0.402
Produit dose-surface rayonnement moyen en cGy.cm ⁻² (écart-type)	114,8 (± 73,8)	39,8 (± 30)	0.003*
Suivi moyen en mois (écart-type)	13,4 (± 6,6)	15,1 (± 18,2)	0.676

Tableau 1 - Description de la population étudiée. *différence statistiquement significative si $p < 0.05$. CA + HTP : colonne antérieure avec trait hémi-transversal postérieur.

Concernant le critère de jugement radiologique et pour le groupe APCS, la réduction est évaluée comme anatomique dans 70,8% des cas (17/24), imparfaite dans 12,5% (3/24) et pauvre dans 16,7% des cas (4/24). Dans le groupe témoin, la distribution est homogène avec une réduction anatomique dans 33,3% des cas (15/45), imparfaite dans 31,1% des cas (14/45) et pauvre dans 35,6% des cas (16/45). Cette différence de qualité radiologique de la réduction selon Matta entre le groupe APCS et le groupe témoin est statistiquement significative en faveur du groupe APCS ($p=0.012$).

Pour le critère de jugement clinique et dans le groupe APCS, le score de Harris moyen est de 96,6 sur 100 points avec des scores allant de 52 à 100. Le score PMA douleur moyen est de 5,7 sur 6 ; 5,9 sur 6 pour le score PMA mobilité et enfin 5,8 sur 6 pour le score PMA fonction.

Pour le groupe témoin le score de Harris moyen est de 91,9 sur 100 avec des scores allant de 36 à 100. Les valeurs moyennes pour le score PMA sont de 5,4 ; 5,7 et 5,6 pour les scores PMA douleur, mobilité et fonction respectivement. Il n'existe aucune

différence statistiquement significative entre les deux groupes pour le critère de jugement clinique ($p>0.05$) (tableau 2).

	Groupe APCS	Groupe Témoin	p-value
Critère de jugement radiologique, n (%)	n=24	n=45	
Anatomique	17 (70,8)	15 (33,3)	
Imparfaite	3 (12,5)	14 (31,1)	0.012*
Pauvre	4 (16,7)	16 (35,6)	
Critère de jugement clinique	n=23	n=45	
Score clinique de Harris moyen (écart-type)	96,6 ($\pm 10,2$)	91,9 ($\pm 15,8$)	0.201
Harris = 100, n (%)	18 (78,3)	28 (62,3)	0.181
75 \leq Harris < 100	4 (17,4)	11 (24,4)	0.507
50 \leq Harris < 75	1 (4,3)	4 (8,9)	0.497
25 \leq Harris < 50	0 (0)	2 (4,4)	0.591
Harris < 25	0 (0)	0 (0)	
Score PMA douleur moyen (écart-type)	5,7 ($\pm 0,6$)	5,4 ($\pm 1,1$)	0.316
Score PMA mobilité moyen (écart-type)	5,9 ($\pm 0,2$)	5,7 ($\pm 0,6$)	0.151
Score PMA fonction moyen (écart-type)	5,8 ($\pm 0,4$)	5,6 ($\pm 0,9$)	0.403

Tableau 2 - Résultats concernant le critère de jugement radiologique et le critère de jugement clinique.

*différence statistiquement significative si $p<0.05$.

Concernant l'analyse de la qualité du vissage APCS, l'analyse en sous-groupes ne permet pas de trouver de relation statistiquement significative entre la qualité du vissage et qualité de la réduction radiologique selon Matta. Ni même entre la variété fracturaire et la qualité du vissage APCS (tableau 3)

Type fracturaire	Qualité du vissage APCS			p-value
	Échec	Imparfait	Succès	
Bi colonne	2	0	8	0.387
CA+HTP	3	1	7	
T	0	1	2	
Qualité de la réduction (Matta)				
Anatomique	2	2	13	0.451
Imparfaite	1	0	2	
Pauvre	2	0	2	

Tableau 3 - Analyse de la qualité du vissage APCS en fonction du type fracturaire et de la qualité de la réduction selon les critères de Matta.

Concernant les paramètres per-opératoires, le temps chirurgical moyen est de 146,3 minutes pour le groupe APCS et 135,1 minutes dans le groupe contrôle. Il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes ($p=0.402$). Concernant l'irradiation reçue par le patient lors de la chirurgie, elle est en moyenne de 114,8 cGy.cm⁻² pour le groupe APCS et de 39,8 cGy.cm⁻² pour le groupe contrôle. La différence d'irradiation entre les deux groupes est statistiquement significative ($p=0.003$) (tableau 1).

Dans le groupe APCS, il n'y a eu aucune indication de pose de PTH pour coxarthrose post-traumatique. L'analyse d'une éventuelle coxarthrose était réalisée sur des radiographies du bassin de face. 60,9% des patients ne présentent aucun signe de coxarthrose, 30,4% présentent une coxarthrose de stade 1 selon Tönnis, 8,7% une coxarthrose de stade 2 et aucun patient ne présente une coxarthrose de stade 3.

Dans le groupe témoin, 8 PTH ont été posées pour une coxarthrose post-traumatique ($p=0.031$) avec un délai moyen de 12,9 mois post-ostéosynthèse. 25 (55,6%) patients ne présentent aucune coxarthrose, 8 (17,8%) une coxarthrose de stade 1, 5 une coxarthrose de stade 2 (11,1%) et enfin 7 patients (15,5%) une coxarthrose de stade 3. Il n'existe pas de différence statistique concernant la présence d'une coxarthrose dans les deux groupes, excepté pour le stade 3 de Tönnis ($p=0.046$). L'ensemble des autres complications sont indiquées dans le tableau 4.

	Groupe APCS n=23	Groupe témoin n=45	p-value
<u>Coxarthrose selon Tönnis n (%)</u>			
<i>Tönnis 0</i>	14 (60,9)	25 (55,6)	
<i>Tönnis 1</i>	7 (30,4)	8 (17,8)	
<i>Tönnis 2</i>	2 (8,7)	5 (11,1)	0.192
<i>Tönnis 3</i>	0 (0)	7 (15,5)	
PTH post-ostéosynthèse n (%)	0 (0)	8 (17,8)	0.031*
Délai moyen de pose de PTH (écart-type)	NC	12,9 (±19,5)	
<hr/>			
Pseudarthrose n (%)	0 (0)	0 (0)	
<u>Ossifications hétérotopiques selon Brooker n (%)</u>			
<i>Stade 0</i>	20 (87)	39 (86,7)	
<i>Stade 1</i>	3 (13)	5 (11,1)	
<i>Stade 2</i>	0 (0)	0 (0)	0.756
<i>Stade 3</i>	0 (0)	1 (2,2)	
<i>Stade 4</i>	0 (0)	0 (0)	
<hr/>			
Hématome n (%)	0 (0)	1 (2,2)	0.471
Transfusion sanguine n (%)	8 (34,8)	16 (35,6)	0.592
Infection du site opératoire n (%)	0 (0)	2 (4,4)	0.305
Désunion cicatricielle n (%)	0 (0)	1 (2,2)	0.471
Lésion vasculaire n (%)	0 (0)	0 (0)	
Dysesthésie territoire fémoro- cutané n (%)	1 (4,3)	4 (8,9)	0.332

Tableau 4 - Complications post-opératoires. *différence statistiquement significative si $p < 0.05$.

Discussion

Cette étude confirme l'intérêt du vissage APCS sur la qualité de la réduction des fractures double colonne, colonne antérieure avec trait hémi-transversal postérieur, transverse et T de l'acetabulum. En effet, ce vissage par voie antérieure est associé, dans notre expérience, à une réduction anatomique dans 70,8% des cas et permet de maintenir cette dernière en évitant au patient un abord postérieur complémentaire.

Il s'agit à notre connaissance de la première étude qui étudie les résultats cliniques et radiologiques dans une population européenne de l'ostéosynthèse de la colonne postérieure de l'acetabulum par voie antérieure grâce au vissage APCS par rapport à un groupe contrôle.

Le gold standard du traitement chirurgical des fractures déplacées de l'acetabulum est une ostéosynthèse qui se réalise le plus souvent par abord direct avec, pour certaines fractures atteignant les deux colonnes de l'acetabulum, la réalisation de doubles abords nécessitant deux temps opératoires et donc entraînant un risque accru de complications [16]. Avec l'augmentation de l'incidence des fractures de l'acetabulum chez les patients âgés [13], les techniques de vissages percutanés ou mini-invasifs doivent être développées et évaluées. Ainsi, et malgré sa méthodologie rétrospective, notre étude apporte des données satisfaisantes concernant les résultats cliniques et radiologiques de l'ostéosynthèse de la colonne postérieure par vissage isolé antérograde mini-invasif.

Concernant notre critère de jugement radiologique, la qualité de la réduction évaluée sur scanner post-opératoire selon les critères de Matta [8] est meilleure dans le groupe des patients ayant bénéficié d'un vissage APCS avec une différence statistiquement significative par rapport au groupe contrôle ($p=0.012$). Par conséquent, le risque de coxarthrose post-traumatique est moindre, permettant d'éviter la pose d'une prothèse totale de hanche souvent complexe du fait d'un cal vicieux acétabulaire et de la perte de substance osseuse qui peut être associée rendant obligatoire la mise en place de renforts acétabulaires. Ceci est illustré par l'absence de mise en place de PTH post-traumatique dans le groupe APCS contre 8 dans le groupe contrôle ($p=0.031$). Une des limites à cette analyse est un suivi moyen des patients plutôt court avec 13,4 mois pour le groupe APCS et 15,1 mois pour le groupe contrôle. Afin d'éviter ce biais, l'ensemble des patients a été recontacté par téléphone afin de vérifier l'absence de pose de PTH dans un autre établissement entre la dernière consultation et l'inclusion du patient.

Ces meilleurs résultats radiologiques pour le groupe APCS peuvent être analysés de la façon suivante : le vissage APCS permet de perfectionner la réduction de la colonne postérieure obtenue par abord antérieur unique notamment en permettant une compression au sein du foyer de fracture. De plus, pour les patients du groupe APCS, ces meilleurs résultats en termes de qualité de la réduction peuvent également s'expliquer par des conditions per-opératoires optimales pour la réalisation de ce vissage complexe, notamment une bonne réduction (ou un non déplacement de la colonne postérieure), une bonne visibilité de la « safe zone », des contrôles scopiques exploitables et une morphologie du patient facilitant le geste (absence d'obésité).

Enfin, un biais de sélection est sans doute présent du fait de l'exclusion des patients ayant bénéficié d'un abord postérieur secondaire et qui ont par définition une réduction non acceptable par l'abord antérieur premier. Dans tous les cas, le vissage APCS doit être tenté car il permet d'obtenir le plus souvent une réduction anatomique. Cependant, nous n'avons pas retrouvé de relation entre le succès du vissage APCS et la qualité de la réduction selon Matta. Une tendance cependant se dessine. Chez les patients ayant un succès dans le vissage APCS, la réduction est le plus souvent anatomique (13 APCS sur 17 vissages succès). L'effectif faible entraîne un manque de puissance statistique qui est sans doute responsable de cette absence de relation statistique.

Les deux scores fonctionnels hanche étudiés pour notre critère de jugement clinique ne montrent pas de différence statistiquement significative entre le groupe APCS et le groupe témoin. Ces résultats peuvent sembler surprenants compte tenu de la différence significative de qualité de la réduction entre les deux groupes et la corrélation prouvée entre réduction et résultats cliniques. Le faible recul peut expliquer l'absence de différence statistiquement significative bien qu'une tendance semble se dessiner en faveur du groupe APCS.

Dans la littérature, aucune étude ne compare à notre connaissance les résultats cliniques et radiologiques du vissage APCS versus groupe contrôle. L'étude descriptive d'Amoretti *et al.* [28] qui étudie la mise en place de différents vissages percutanés de l'acetabulum assistés par TDM pour des fractures transverses trans-tectales a montré des résultats cliniques excellents avec un score PMA entre 5 et 6 pour chacun des trois items chez les 52 patients de l'étude et sans aucune complication. Bozzio *et al.* [16] en 2015 ont montré des résultats fonctionnels moyens selon le score de WOMAC pour l'étude du vissage percutané de la colonne antérieure et postérieure de l'acetabulum sans groupe contrôle. De même, Kazemi *et al.* [29] ont montré dans une population bénéficiant de vissages percutanés de la colonne antérieure et postérieure que le score PMA total moyen sur 28 patients était de 17,4 sur 18. Enfin l'étude de Starr *et al.* [30] montre des scores de Harris moyens allant de 85 sur 100 pour des patients âgés ayant bénéficié de vissages percutanés purs des deux colonnes à 96 sur 100 pour des patients ayant bénéficié d'une réduction par mini-abord et vissage isolé. Néanmoins ces vissages concernent des fractures peu ou pas

déplacées et donc leurs résultats sont difficilement comparables à ceux de la présente étude.

Enfin, concernant les complications, on note l'absence d'hématome et aucune infection post-opératoire précoce ou tardive pour les patients du groupe APCS. Ceci est cohérent avec les résultats retrouvés dans la littérature à propos des vissages percutanés de l'acetabulum [18,28,31]. Ces résultats confirment la relative innocuité de la technique dès lors qu'elle est maîtrisée. En effet, tous les chirurgiens opérateurs étaient des chirurgiens séniors expérimentés en chirurgie de l'acetabulum.

Ainsi, l'ostéosynthèse de la colonne postérieure de l'acetabulum par APCS est une technique fiable. En effet, elle apporte des résultats radiologiques et fonctionnels satisfaisants et sûrs sans augmenter le taux de complications. Nos résultats ne doivent pas faire oublier qu'il s'agit d'un vissage techniquement difficile demandant une expérience particulière de l'opérateur du fait d'un corridor de vissage étroit et d'une trajectoire contrainte par les tissus environnants. Au sein de notre équipe, nous réalisons ce vissage sous fluoroscopie avec un vissage de 3,5 mm non canulé en utilisant le plus souvent la fenêtre externe de la voie ilio-inguinale.

Compte tenu du corridor de vissage étroit, de la trajectoire de vissage propre à chaque patient et de la difficulté dans l'interprétation des images fluoroscopiques au niveau du bassin, certaines équipes ont développé pour les vissages antérogrades et rétrogrades de la colonne postérieure des dispositifs médicaux permettant de réaliser des vissages plus sûrs. L'équipe de Zhang *et al.* [32] a développé un cadre rigide fixé au patient permettant la réalisation d'un vissage rétrograde de la colonne postérieure. Autre outil intéressant, celui développé par Chen *et al.* [33] permettant de réaliser un vissage de type APCS en utilisant un objet 3D développé sur une base de données de 96 segmentations osseuses de bassin. Ce dernier dispositif qui comporte trois canons de visée pour un vissage de 6,5 mm est posé sur la zone d'insertion potentielle de l'APCS « safe zone » au niveau de l'aile iliaque. La précision de ce guide a été testée sur cinq cadavres uniquement mais avec succès.

Nous avons montré qu'il existe une augmentation majeure de la dose de rayonnement délivrée au patient pour le groupe APCS comparativement au groupe témoin ($p=0.003$). Afin de limiter cette dose de rayonnement et d'augmenter la précision et la

sécurité des vissages il sera nécessaire d'évaluer les techniques de navigation fondées sur l'imagerie 3D intra-opératoire. En effet, les bénéfices de la navigation fondée sur l'imagerie 3D intra-opératoire sont bien démontrés dans de nombreuses publications pour la chirurgie rachidienne et notamment pour les vissages pédiculaires [34]. Concernant la chirurgie des fractures de l'acetabulum, une seule étude de niveau III portant sur 35 patients a montré que la réduction de la surface articulaire est meilleure et que la dose de rayonnement délivrée au patient est significativement plus basse dans le groupe utilisant la technologie O-arm pour l'ostéosynthèse des fractures déplacées de l'acetabulum par rapport à un groupe contrôle [35].

Conclusion

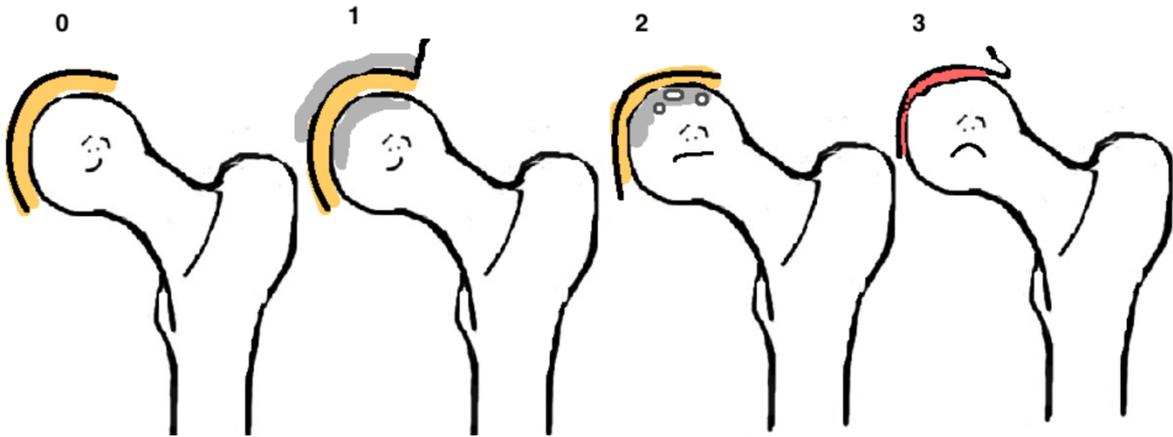
Le vissage mini-invasif antérograde de la colonne postérieure de l'acetabulum est significativement associé à des résultats radiologiques satisfaisants et cliniques encourageants sans augmenter le taux de complications. Il s'agit donc d'un moyen d'ostéosynthèse de la colonne postérieure sûr et efficace qu'il sera nécessaire de développer en s'aidant notamment des outils de navigation actuels afin qu'il devienne techniquement plus accessible et moins irradiant.

Annexe 2

DOULEUR		MOBILITE			MARCHE-STABILITE
		Pas d'attitude vicieuse	Attitude vicieuse en flexion ou RE	Attitude vicieuse en ABD, ADD ou RI	
6	Aucune	Flexion $\geq 90^\circ$	Aucune	Aucune	Normale ou illimitée
5	Rare Légère	70° à 90°	Aucune	Aucune	Limitée ou légère boiterie si prolongée Canne pour longues distances Pas d'instabilité
4	Après 30mn à 1h de marche	50° à 70°	Abaisser la note de 1 point	Abaisser la note de 2 points	Canne pour sortir Boiterie nette Légère instabilité
3	Après 10 à 20mn de marche	30° à 50°			Canne en permanence Instabilité
2	Avant 10mn de marche	< 30°			2 cannes
1	Immédiatement à La marche				Béquilles
0					Marche impossible

Score fonctionnel hanche de Postel Merle d'Aubigné (PMA)

Annexe 3



Classification de la coxarthrose selon Tönnis

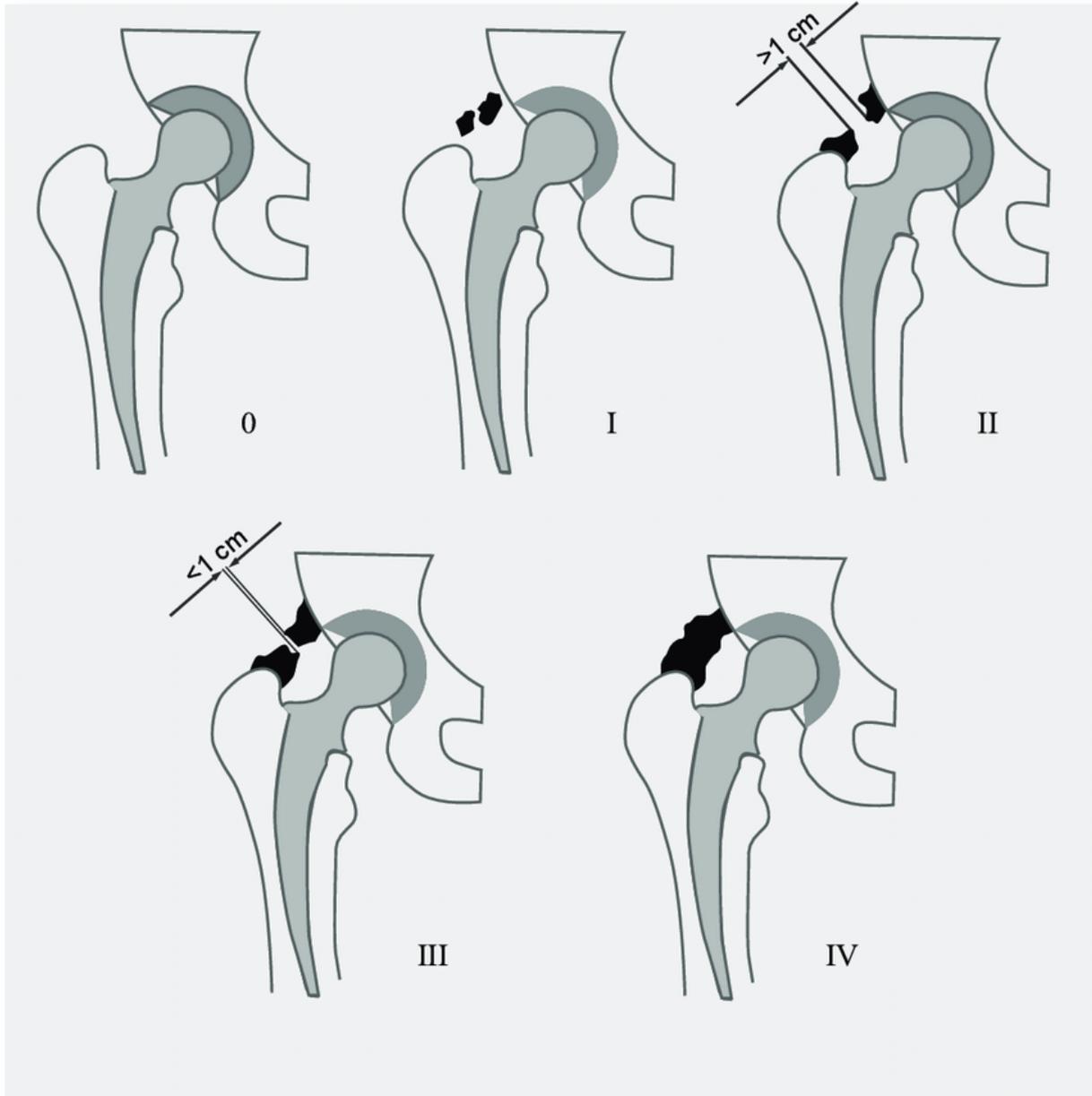
Stade 0 : Aucun signe de coxarthrose

Stade 1 : Condensation sous chondrale et pincement articulaire minimes

Stade 2 : Condensation sous chondrale modérée, géodes et pincement articulaire modéré

Stade 3 : Coxarthrose avancée avec ostéophytose

Annexe 4



Classification des ossifications hétérotopiques en quatre stades selon Brooker

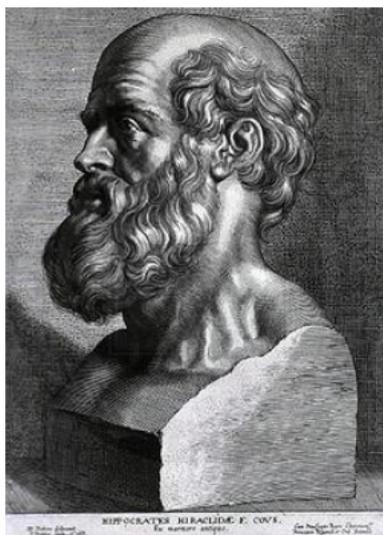
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Rinne PP, Laitinen MK, Huttunen T, Kannus P, Mattila VM. The incidence and trauma mechanisms of acetabular fractures: A nationwide study in Finland between 1997 and 2014. *Injury*. 2017 Oct;48(10):2157–61.
- [2] Boudissa M, Francony F, Drevet S, Kerschbaumer G, Ruatti S, Milaire M, et al. Operative versus non-operative treatment of displaced acetabular fractures in elderly patients. *Aging Clin Exp Res*. 2019 Jun 10.
- [3] Boudissa M, Francony F, Kerschbaumer G, Ruatti S, Milaire M, Merloz P, et al. Epidemiology and treatment of acetabular fractures in a level-1 trauma centre: Retrospective study of 414 patients over 10 years. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017;103(3):335–9.
- [4] Guerado E, Cano JR, Cruz E. Fractures of the acetabulum in elderly patients: an update. *Injury*. 2012 Dec;43 Suppl 2:33-41.
- [5] Ferguson TA, Patel R, Bhandari M, Matta JM. Fractures of the acetabulum in patients aged 60 years and older: an epidemiological and radiological study. *J Bone Joint Surg Br*. 2010 Feb;92(2):250–7.
- [6] Judet R, Judet J, Letournel E. Fractures of the acetabulum: classification and surgical approaches for open reduction. Preliminary report. *J Bone Joint Surg Am*. 1964 Dec;46:1615–46.
- [7] Tonetti J. Fractures de l'acetabulum. *EMC - Appareil locomoteur* 2012;7(3):1-21.
- [8] Matta JM. Fractures of the acetabulum: accuracy of reduction and clinical results in patients managed operatively within three weeks after the injury. *J Bone Joint Surg Am*. 1996 Nov;78(11):1632–45.
- [9] Borrelli J, Ricci WM, Steger-May K, Totty WG, Goldfarb C. Postoperative Radiographic Assessment of Acetabular Fractures. *J Orthop Trauma*. 2005;19(5):6.

- [10] Boudissa M, Francony F, Drevet S, et al. Operative versus non-operative treatment of displaced acetabular fractures in elderly patients. *Aging Clin Exp Res*. 2020 Apr;32(4):571-577.
- [11] Bhandari M, Matta J, Ferguson T, Matthys G. Predictors of clinical and radiological outcome in patients with fractures of the acetabulum and concomitant posterior dislocation of the hip. *J Bone Joint Surg Br*. 2006 Dec;88(12):1618–24.
- [12] Gay SB, Siström C, Wang GJ, Kahler DA, Boman T, McHugh N, et al. Percutaneous screw fixation of acetabular fractures with CT guidance: preliminary results of a new technique. *AJR Am J Roentgenol*. 1992 Apr;158(4):819–22.
- [13] Dyskin E, Hill BW, Torchia MT, Cole PA. A Survey of High- and Low-Energy Acetabular Fractures in Elderly Patients. *Geriatr Orthop Surg Rehabil*. 2019;10:2151459319870426.
- [14] Caviglia H, Mejail A, Landro ME, Vatani N. Percutaneous fixation of acetabular fractures. *EFORT Open Reviews*. 2018 May;3(5):326–34.
- [15] Manson T, Schmidt AH. Acetabular Fractures in the Elderly: A Critical Analysis Review. *JBJS Rev*. 2016 04;4(10).
- [16] Bozzio AE, Johnson CR, Mauffrey C. Short-term results of percutaneous treatment of acetabular fractures: functional outcomes, radiographic assessment and complications. *Int Orthop*. 2016 Aug;40(8):1703–8.
- [17] Puchwein P, Enninghorst N, Sisak K, Ortner T, Schildhauer TA, Balogh ZJ, et al. Percutaneous fixation of acetabular fractures: computer-assisted determination of safe zones, angles and lengths for screw insertion. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2012 Jun;132(6):805–11.
- [18] Stöckle U, Hoffmann R, Nittinger M, Südkamp NP, Haas NP. Screw fixation of acetabular fractures. *International Orthopaedics*. 2000 Jul 27;24(3):143–7.

- [19] Feng X, Zhang S, Luo Q, Fang J, Lin C, Leung F, et al. Definition of a safe zone for antegrade lag screw fixation of fracture of posterior column of the acetabulum by 3D technology. *Injury*. 2016 Mar;47(3):702–6.
- [20] Jung G-H, Lee Y, Kim J-W, Kim J. Computational analysis of the safe zone for the antegrade lag screw in posterior column fixation with the anterior approach in acetabular fracture: A cadaveric study. *Injury*. 2017 Mar;48(3):608–14.
- [21] Mu W, Wang X, Jia T, Zhou D, Cheng A. Quantitative anatomic basis of antegrade lag screw placement in posterior column of acetabulum. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2009 Nov;129(11):1531–7.
- [22] Xu Y, Lin C, Zhang L, Lin M, Lai J, Cao S, et al. Anterograde Fixation Module for Posterior Acetabular Column Fracture: Computer-Assisted Determination of Optimal Entry Point, Angle, and Length for Screw Insertion. *Med Sci Monit*. 2016 Sep 1;22:3106–12.
- [23] Borrelli J Jr, Ricci WM, Steger-May K, Totty WG, Goldfarb C. Postoperative radiographic assessment of acetabular fractures. A comparison of plain radiographs and CT scans. *J Orthop Trauma*. 2005 May;19:299–304
- [24] Harris WH. Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *J Bone Joint Surg Am*. 1969 Jun;51(4):737-55.
- [25] D'Aubigné RM, Postel M. The classic: functional results of hip arthroplasty with acrylic prosthesis. 1954. *Clin Orthop Relat Res*. 2009 Jan;467(1):7-27.
- [26] Kovalenko B, Bremjit P, Fernando N. Classifications in brief: Tönnis classification of hip osteoarthritis. *Clin Orthop Relat Res*. 2018 Aug;476(8):1680-1684.
- [27] Brooker AF, Bowerman JW, Robinson RA, Riley LH. Ectopic ossification following total hip replacement. Incidence and a method of classification. *J Bone Joint Surg Am*. 1973;55:1629–32

- [28] Amoretti N, Huwart L, Hauger O, Marcy P-Y, Nouri Y, Ibba C, et al. Percutaneous screw fixation of acetabular roof fractures by radiologists under CT and fluoroscopy guidance. *AJR Am J Roentgenol*. 2013 Feb;200(2):447–50.
- [29] Kazemi N, Archdeacon MT. Immediate full weightbearing after percutaneous fixation of anterior column acetabulum fractures. *J Orthop Trauma*. 2012 Feb;26(2):73–9.
- [30] Starr AJ, Jones AL, Reinert CM, Borer DS. Preliminary results and complications following limited open reduction and percutaneous screw fixation of displaced fractures of the acetabulum. *Injury*. 2001 May;32 Suppl 1:SA45-50.
- [31] Gary JL, VanHal M, Gibbons SD, Reinert CM, Starr AJ. Functional Outcomes in Elderly Patients With Acetabular Fractures Treated With Minimally Invasive Reduction and Percutaneous Fixation. *J Orthop Trauma*. 2012;26(5):6.
- [32] Zhang P, Tang J, Dong Y, Lu L, Wang S, Song S, et al. A new navigational apparatus for fixation of acetabular posterior column fractures with percutaneous retrograde lagscrew: Design and application. *Medicine (Baltimore)*. 2018 Sep;97(36):e12134.
- [33] Chen H, Wang G, Li R, Sun Y, Wang F, Zhao H, et al. A novel navigation template for fixation of acetabular posterior column fractures with antegrade lag screws: design and application. *International Orthopaedics (SICOT)*. 2016 Apr;40(4):827–34.
- [34] Tonetti J, Boudissa M, Kerschbaumer G, Seurat O. Place de l'imagerie 3D intraopératoire en chirurgie orthopédique et traumatologie. In : *Conférences d'enseignement 2019*. Elsevier Masson SAS;2019. p. 37-45.
- [35] Sebaaly, A., Jouffroy, P., Moreau, P. E., Rodaix, C., & Riouallon, G. Intraoperative cone beam tomography and navigation for displaced acetabular fractures: a comparative study. *Journal of Orthopaedic Trauma*. 2018 Dec;32(12):612-16.



SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'HIPPOCRATE,

Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins gratuitement à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au dessus de mon travail. Je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Admis dans l'intimité des maisons, mes yeux n'y verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je garderai le respect absolu de la vie humaine.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

THÈSE SOUTENUE PAR : Guillaume CAVALIÉ

TITRE :

MODÉLISATION ET ÉVALUATION CLINICO-RADIOLOGIQUE DES VISSAGES ANTÉROGRADES DE LA COLONNE POSTÉRIEURE DE L'ACETABULUM

CONCLUSION :

L'objectif de cette thèse est d'évaluer puis d'établir des recommandations pour la réalisation du vissage antérograde de la colonne postérieure de l'acétabulum (APCS). La première partie a consisté en une modélisation 3D du corridor osseux du vissage APCS à l'aide du logiciel 3DSlicer. Les modèles nous ont permis dans un premier temps d'établir une morphologie précise du volume contenant les trajectoires du vissage chez l'homme et chez la femme puis dans un second temps les caractéristiques permettant de standardiser le vissage APCS en termes de point d'entrée et d'angulation. Enfin, cela nous a permis d'établir quatre critères scannographiques pré-opératoires du trait de fracture permettant de recommander la réalisation du vissage APCS. La seconde partie a consisté en l'évaluation des résultats cliniques et radiologiques chez tout patient présentant une indication théorique de vissage APCS. La qualité de la réduction selon Matta était significativement meilleure chez les patients ayant bénéficié d'un vissage APCS par rapport aux patients du groupe contrôle ($p=0,012$) au prix d'une irradiation significativement plus importante ($p=0,003$). Les résultats cliniques, bien que non significatifs ($p>0,05$), permettent de dégager une tendance en faveur du groupe APCS. Enfin, le taux de complications n'est pas plus élevé dans le groupe APCS. Ainsi, l'ostéosynthèse de la colonne postérieure de l'acétabulum par vissage APCS cortical 3,5 mm apporte des résultats radiologiques et fonctionnels satisfaisants et sûrs. Nos résultats ne doivent pas faire oublier qu'il s'agit d'un vissage techniquement difficile demandant une expertise particulière de l'opérateur.

MOTS-CLÉS : modélisation 3D ; fractures de l'acétabulum ; vissages percutanés ; vissage antérograde de la colonne postérieure ; corridors osseux ; irradiation

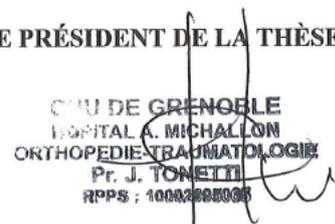
VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le : 20/09/20

LE DOYEN


Pour le Président
et par délégation
Le Doyen de Médecine
Pr. Patrice MORAND

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE


CHU DE GRENOBLE
HÔPITAL A. MICHALON
ORTHOPÉDIE TRAUMATOLOGIE
Pr. J. TONETTI
RPPS : 1002200005
Pr. Jérôme TONETTI

MODÉLISATION ET ÉVALUATION CLINICO-RADIOLOGIQUE DES VISSAGES ANTÉROGRADES DE LA COLONNE POSTÉRIEURE DE L'ACETABULUM

RÉSUMÉ : L'objectif de cette thèse est d'évaluer puis d'établir des recommandations pour la réalisation du vissage antérograde de la colonne postérieure de l'acétabulum (APCS). La première partie a consisté en une modélisation 3D du corridor osseux du vissage APCS à l'aide du logiciel 3DSlicer. Les modèles nous ont permis dans un premier temps d'établir une morphologie précise du volume contenant les trajectoires du vissage chez l'homme et chez la femme puis dans un second temps les caractéristiques permettant de standardiser le vissage APCS en termes de point d'entrée et d'angulation. Enfin, cela nous a permis d'établir quatre critères scannographiques pré-opératoires du trait de fracture permettant de recommander la réalisation du vissage APCS. La seconde partie a consisté en l'évaluation des résultats cliniques et radiologiques chez tout patient présentant une indication théorique de vissage APCS. La qualité de la réduction selon Matta était significativement meilleure chez les patients ayant bénéficié d'un vissage APCS par rapport aux patients du groupe contrôle ($p=0,012$) au prix d'une irradiation significativement plus importante ($p=0,003$). Les résultats cliniques, bien que non significatifs ($p>0,05$), permettent de dégager une tendance en faveur du groupe APCS. Enfin, le taux de complications n'est pas plus élevé dans le groupe APCS. Ainsi, l'ostéosynthèse de la colonne postérieure de l'acetabulum par vissage APCS cortical 3,5 mm apporte des résultats radiologiques et fonctionnels satisfaisants et sûrs. Nos résultats ne doivent pas faire oublier qu'il s'agit d'un vissage techniquement difficile demandant une expertise particulière de l'opérateur.

MOTS-CLÉS : modélisation 3D ; fractures de l'acetabulum ; vissages percutanés ; vissage antérograde de la colonne postérieure ; corridors osseux ; irradiation

MODELING, CLINICAL AND RADIOLOGICAL ASSESSMENT OF THE ANTEROGRADE POSTERIOR COLUMN SCREW

ABSTRACT: The objective of this study was to assess and establish recommendations for the anterograde posterior column screw fixation (APCS). The first part consisted of a 3D modeling of the bone corridor of the APCS using the freeware 3DSlicer. First, the models allowed us to establish a morphology of the volume containing the trajectories of the APCS in male and female and secondly the characteristics for the APCS insertion in terms of entry point and angulation. Finally, this enabled us to establish four preoperative criteria of the fracture line based on CT scan to recommend the APCS insertion. The second part consisted of the assessment of the clinical and radiological outcomes for patients with an indication for APCS fixation. The quality of reduction according to Matta was significantly better for patients undergoing an APCS fixation compared to the control group ($p=0.012$) at the cost of significantly higher irradiation ($p=0.003$). The clinical results are not significant ($p>0.05$) but show a trend in favor of the APCS group. Finally, the complication rate is not higher in the APCS group. Thus, osteosynthesis of the posterior column of the acetabulum using a 3.5 mm cortical screw provides satisfactory and safe radiological and functional outcomes. Our results should not make us forget that APCS is a technically surgery requiring special expertise from the operator.

KEYWORDS: 3D models ; acetabular fractures ; percutaneous screw fixation ; anterograde posterior column screw ; bone corridor ; irradiation

FILIÈRE : Chirurgie orthopédique et traumatologie