



HAL
open science

Étude comparative Crisalix 4D versus Crisalix 3D versus essai par prothèses externes dans la chirurgie d'augmentation mammaire

Frédéric Hollard-Kissel

► **To cite this version:**

Frédéric Hollard-Kissel. Étude comparative Crisalix 4D versus Crisalix 3D versus essai par prothèses externes dans la chirurgie d'augmentation mammaire. Médecine humaine et pathologie. 2020. hal-03298097

HAL Id: hal-03298097

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03298097>

Submitted on 23 Jul 2021

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 et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

Année 2020

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement

Dans le cadre du troisième cycle de Médecine Spécialisée par

Frédéric HOLLARD-KISSEL

le 30 Septembre 2020 à Nancy

**Étude comparative Crisalix 4D versus Crisalix 3D
versus essai par prothèses externes dans la chirurgie
d'augmentation mammaire**

Composition du jury :

Président : Monsieur le Professeur Etienne SIMON

Président

Juges : Monsieur le Professeur François DAP

Juge

Madame la Professeure Muriel BRIX

Juge

Monsieur le Docteur Antoine De RUNZ

Juge et Directeur



**UNIVERSITÉ
DE LORRAINE**



FACULTÉ de MÉDECINE
NANCY

**Président de l'Université de Lorraine :
Professeur Pierre MUTZENHARDT**

**Doyen de la Faculté de Médecine :
Professeur Marc BRAUN**

**Vice-doyenne
Pr Laure JOLY**

Assesseurs :

Premier cycle : Dr Nicolas GAMBIER
Deuxième cycle : Dr Antoine KIMMOUN
Troisième cycle : Pr Laure JOLY
Formation à la recherche : Pr Nelly AGRINIER
Relations Grande Région : Pr Thomas FUCHS-BUDER
CUESIM : Pr Stéphane ZUILY
SIDES : Dr Julien BROSEUS
Vie Facultaire : Dr Philippe GUERCI
Étudiant : Mme Audrey MOUGEL

Chargés de mission

Docimologie : Dr Jacques JONAS
Orthophonie : Pr Cécile PARIETTI-WINKLER
PACES : Pr Mathias POUSSEL
Relations internationales : Pr Jacques HUBERT

Présidente du Conseil de la Pédagogie : Pr Louise TYVAERT
Président du Conseil Scientifique : Pr Jean-Michel HASCOET

=====

DOYENS HONORAIRES

Professeur Jean-Bernard DUREUX - Professeur Jacques ROLAND - Professeur Patrick NETTER - Professeur Henry COUDANE

=====

PROFESSEURS HONORAIRES

Etienne ALIOT - Jean-Marie ANDRE - Alain AUBREGE - Gérard BARROCHE - Alain BERTRAND –
Pierre BEY - Marc-André BIGARD - Patrick BOISSEL – Pierre BORDIGONI - Jacques BORRELLY –
Michel BOULANGE - Jean-Louis BOUTROY – Serge BRIANÇON - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET -
Daniel BURNEL - Claude CHARDOT Jean-François CHASSAGNE - François CHERRIER – Henry COUDANE -
Jean-Pierre CRANCE - Jean-Pierre DESCHAMPS - Jean-Bernard DUREUX - Gilbert FAURE - Gérard FIEVE -
Bernard FOLIGUET - Jean FLOQUET - Robert FRISCH - Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER –
Jean-Luc GEORGE - Alain GERARD - Hubert GERARD - Jean-Marie GILGENKRANTZ –
Simone GILGENKRANTZ -Gilles GROSDIDIER - François GUILLEMIN - Philippe HARTEMANN –
Gérard HUBERT - Claude HURIET - Michèle KESSLER - François KOHLER - Henri LAMBERT - Pierre LANDES
- Pierre LASCOMBES - Marie-Claire LAXENAIRE - Michel LAXENAIRE - Alain LE FAOU - Jacques LECLERE -
Pierre LEDERLIN - Bernard LEGRAS - Jean-Pierre MALLIÉ - Philippe MANGIN - François MARCHAL –
Jean-Claude MARCHAL – Yves MARTINET - Pierre MATHIEU - Michel MERLE - Daniel MOLÉ - Pierre MONIN -
Pierre NABET – Patrick NETTER - Jean-Pierre NICOLAS - Francis PENIN - Claude PERRIN - Luc PICARD -
François PLENAT - Jean-Marie POLU - Jacques POUREL - Francis RAPHAEL - Antoine RASPILLER –
Denis REGENT - Jacques ROLAND - Daniel SCHMITT - Michel SCHMITT - Michel SCHWEITZER –
Daniel SIBERTIN-BLANC - Claude SIMON - Danièle SOMMELET - Jean-François STOLTZ - Michel STRICKER -
Gilbert THIBAUT - Paul VERT - Hervé VESPIGNANI - Colette VIDAILHET - Michel VIDAILHET –
Jean-Pierre VILLEMOT - Michel WEBER – Denis ZMIROU - Faïez ZANNAD

=====

PROFESSEURS ÉMÉRITES

Etienne ALIOT - Pierre BEY - Henry COUDANE - Serge BRIANÇON - Jean-Marie GILGENKRANTZ –
Simone GILGENKRANTZ - Michèle KESSLER - Alain LE FAOU - Patrick NETTER - Jean-Pierre NICOLAS –
Luc PICARD - François PLENAT -
Jean-Pierre VILLEMOT - Faiez ZANNAD

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

42^e Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{re} sous-section : (*Anatomie*)

Professeur Marc BRAUN – Professeure Manuela PEREZ

2^e sous-section : (*Histologie, embryologie et cytogénétique*)

Professeur Christo CHRISTOV

3^e sous-section : (*Anatomie et cytologie pathologiques*)

Professeur Guillaume GAUCHOTTE

43e Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{re} sous-section : (*Biophysique et médecine nucléaire*)

Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER –
Professeur Antoine VERGER

2^e sous-section : (*Radiologie et imagerie médicale*)

Professeur René ANXIONNAT - Professeur Alain BLUM - Professeur Serge BRACARD –
Professeure Valérie CROISÉ - Professeur Jacques FELBLINGER - Professeur Benjamin GORY –
Professeur Damien MANDRY - Professeur Pedro GONDIM TEIXEIRA

44^e Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{re} sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Professeur Jean-Louis GUEANT - Professeur Bernard NAMOUR - Professeur Jean-Luc OLIVIER

2^e sous-section : (*Physiologie*)

Professeur Christian BEYAERT - Professeur Bruno CHENUÉL - Professeur Mathias POUSSEL

3^e sous-section (*Biologie cellulaire*)

Professeure Véronique DECOT-MAILLERET

4^e sous-section : (*Nutrition*)

Professeur Didier QUILLIOT - Professeure Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT - Professeur Olivier ZIEGLER

45^e Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{re} sous-section : (*Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière*)

Professeur Alain LOZNIEWSKI – Professeure Evelyne SCHVOERER

2^e sous-section : (*Parasitologie et Mycologie*)

Professeure Marie MACHOUART

3^e sous-section : (*Maladies infectieuses ; maladies tropicales*)

Professeur Bruno HOEN - Professeur Thierry MAY - Professeure Céline PULCINI –
Professeur Christian RABAUD

46^e Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{re} sous-section : (*Épidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Professeure Nelly AGRINIER - Professeur Francis GUILLEMIN

4^e sous-section : (*Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication*)

Professeure Eliane ALBUISSON - Professeur Nicolas JAY

47^e Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{re} sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Professeur Pierre FEUGIER

2^e sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie*)

Professeur Thierry CONROY - Professeur Frédéric MARCHAL - Professeur Didier PEIFFERT –
Professeur Guillaume VOGIN

3^e sous-section : (*Immunologie*)

Professeur Marcelo DE CARVALHO-BITTENCOURT - Professeure Marie-Thérèse RUBIO

4^e sous-section : (*Génétique*)

Professeur Philippe JONVEAUX - Professeur Bruno LEHEUP

48° Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

1^{re} sous-section : (*Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire*)

Professeur Gérard AUDIBERT - Professeur Hervé BOUAZIZ - Professeur Thomas FUCHS-BUDER
Professeure Marie-Reine LOSSER - Professeur Claude MEISTELMAN

2^e sous-section : (*Médecine intensive-réanimation*)

Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT - Professeur Sébastien GIBOT - Professeur Bruno LÉVY

3^e sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie*)

Professeur Pierre GILLET - Professeur Jean-Yves JOUZEAU

4^e sous-section : (*Thérapeutique-médecine de la douleur ; addictologie*)

Professeur Nicolas GIRERD - Professeur François PAILLE - Professeur Patrick ROSSIGNOL

49° Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION

1^{re} sous-section : (*Neurologie*)

Professeur Marc DEBOUVERIE - Professeur Louis MAILLARD - Professeur Sébastien RICHARD –
Professeur Luc TAILLANDIER Professeure Louise TYVAERT

2^e sous-section : (*Neurochirurgie*)

Professeur Thierry CIVIT - Professeure Sophie COLNAT-COULBOIS - Professeur Olivier KLEIN

3^e sous-section : (*Psychiatrie d'adultes ; addictologie*)

Professeur Jean-Pierre KAHN – Professeur Vincent LAPREVOTE - Professeur Raymund SCHWAN

4^e sous-section : (*Pédopsychiatrie ; addictologie*)

Professeur Bernard KABUTH

5^e sous-section : (*Médecine physique et de réadaptation*)

Professeur Jean PAYSANT

50° Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE

1^{re} sous-section : (*Rhumatologie*)

Professeure Isabelle CHARY-VALCKENAERE - Professeur Damien LOEUILLE

2^e sous-section : (*Chirurgie orthopédique et traumatologique*)

Professeur Laurent GALOIS - Professeur Didier MAINARD - Professeur François SIRVEAUX

3^e sous-section : (*Dermato-vénéréologie*)

Professeure Anne-Claire BURSZTEJN - Professeur Jean-Luc SCHMUTZ

4^e sous-section : (*Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie*)

Professeur François DAP - Professeur Gilles DAUTEL - Professeur Etienne SIMON

51° Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE

1^{re} sous-section : (*Pneumologie ; addictologie*)

Professeur Jean-François CHABOT - Professeur Ari CHAOUAT

2^e sous-section : (*Cardiologie*)

Professeur Edoardo CAMENZIND - Professeur Christian de CHILLOU DE CHURET –

Professeur Yves JUILLIERE

Professeur Nicolas SADOUL

3^e sous-section : (*Chirurgie thoracique et cardiovasculaire*)

Professeur Juan-Pablo MAUREIRA - Professeur Stéphane RENAUD

4^e sous-section : (*Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire*)

Professeur Sergueï MALIKOV - Professeur Denis WAHL – Professeur Stéphane ZUILY

52° Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE

1^{re} sous-section : (*Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie*)

Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI - Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET

2^e sous-section : (*Chirurgie viscérale et digestive*)

Professeur Ahmet AYAV - Professeur Laurent BRESLER - Professeur Laurent BRUNAUD –

Professeure Adeline GERMAIN

3^e sous-section : (*Néphrologie*)

Professeur Luc FRIMAT - Professeure Dominique HESTIN

4^e sous-section : (*Urologie*)

Professeur Pascal ESCHWEGE - Professeur Jacques HUBERT

53° Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE ET MÉDECINE GÉNÉRALE

1^{re} sous-section : (*Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie*)

Professeur Athanase BENETOS - Professeur Jean-Dominique DE KORWIN - Professeure Gisèle KANNY

Professeure Christine PERRET-GUILLAUME – Professeur Roland JAUSSAUD – Professeure Laure JOLY

3^e sous-section : (*Médecine générale*)

Professeur Jean-Marc BOIVIN – Professeur Paolo DI PATRIZIO

54° Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

1^{re} sous-section : (Pédiatrie)

Professeur Pascal CHASTAGNER - Professeur François FEILLET - Professeur Jean-Michel HASCOET
Professeur Emmanuel RAFFO - Professeur Cyril SCHWEITZER

2° sous-section : (Chirurgie infantile)

Professeur Pierre JOURNEAU - Professeur Jean-Louis LEMELLE

3° sous-section : (Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)

Professeur Philippe JUDLIN - Professeur Olivier MOREL

4° sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale)

Professeur Bruno GUERCI - Professeur Marc KLEIN - Professeur Georges WERYHA

55° Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{re} sous-section : (Oto-rhino-laryngologie)

Professeur Roger JANKOWSKI - Professeure Cécile PARIETTI-WINKLER

2° sous-section : (Ophtalmologie)

Professeure Karine ANGIOI - Professeur Jean-Paul BERROD

3° sous-section : (Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)

Professeure Muriel BRIX

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

61° Section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Professeur Walter BLONDEL

64° Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeure Sandrine BOSCHI-MULLER - Professeur Pascal REBOUL

65° Section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Professeure Céline HUSELSTEIN

=====

PROFESSEUR ASSOCIÉ DE MÉDECINE GÉNÉRALE

Professeure associée Sophie SIEGRIST

Professeur associé Olivier BOUCHY

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42° Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{re} sous-section : (Anatomie)

Docteur Bruno GRIGNON

2° sous-section : (Histologie, embryologie, et cytogénétique)

Docteure Isabelle KOSCINSKI

44° Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{re} sous-section : (Biochimie et biologie moléculaire)

Docteure Shyue-Fang BATTAGLIA - Docteure Sophie FREMONT - Docteure Catherine MALAPLATE –

Docteur Marc MERTEN - Docteur Abderrahim OUSSALAH

2° sous-section : (Physiologie)

Docteure Silvia DEMOULIN-ALEXIKOVA - Docteur Jacques JONAS

45° Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{re} sous-section : (Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière)

Docteure Corentine ALAUZET - Docteure Hélène JEULIN - Docteure Véronique VENARD

2° sous-section : (Parasitologie et mycologie)

Docteure Anne DEBOURGOGNE

46° Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{re} sous-section : (*Epidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Docteur Cédric BAUMANN - Docteure Frédérique CLAUDOT - Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE
Docteur Arnaud FLORENTIN (stagiaire)

2° sous-section (*Médecine et Santé au Travail*)

Docteure Isabelle THAON

3° sous-section (*Médecine légale et droit de la santé*)

Docteur Laurent MARTRILLE

47° Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{re} sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Docteur Julien BROSEUS – Docteure Maud D'AVENI

2° sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie*)

Docteure Lina BOLOTINE

3° sous-section : (*Immunologie*)

Docteure Alice AARNINK (stagiaire)

4° sous-section : (*Génétique*)

Docteure Céline BONNET

48° Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

1° sous-section : (*Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire*)

Docteur Philippe GUERCI

2° sous-section : (*Médecine intensive-réanimation*)

Docteur Antoine KIMMOUN

3° sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie*)

Docteur Nicolas GAMBIER - Docteure Françoise LAPICQUE - Docteur Julien SCALA-BERTOLA

49° Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION

2° sous-section : (*Neurochirurgie*)

Docteur Fabien RECH (stagiaire)

3° sous-section : (*Psychiatrie d'adultes ; addictologie*)

Docteur Thomas SCHWITZER (stagiaire)

50° Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE

4° sous-section : (*Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie*)

Docteure Laetitia GOFFINET-PLEUTRET

51° Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE

3° sous-section : (*Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire*)

Docteur Fabrice VANHUYSE

4° sous-section : (*Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire*)

Docteure Nicla SETTEMBRE

52° Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE

1^{re} sous-section : (*Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie*)

Docteur Anthony LOPEZ

2° sous-section : (*Chirurgie viscérale et digestive*)

Docteur Cyril PERRENOT

53° Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE ET MÉDECINE GÉNÉRALE

3° sous-section : (*Médecine générale*)

Docteure Kénora CHAU (stagiaire)

54° Section : DEVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

4° sous-section : (*Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; Gynécologie médicale*)

Docteure Eva FEIGERLOVA

5° sous-section : (*Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale*)

Docteur Mikaël AGOPIANTZ (stagiaire)

55° Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{re} sous-section : (*Oto-Rhino-Laryngologie*)

Docteur Patrice GALLET

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5^e Section : SCIENCES ÉCONOMIQUES

Monsieur Vincent LHUILLIER

7^e Section : SCIENCES DU LANGAGE : LINGUISTIQUE ET PHONETIQUE GENERALES

Madame Christine DA SILVA-GENEST

19^e Section : SOCIOLOGIE, DÉMOGRAPHIE

Madame Joëlle KIVITS

64^e Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Madame Marie-Claire LANHERS - Monsieur Nick RAMALANJAONA

65^e Section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Madame Nathalie AUCHET - Madame Natalia DE ISLA-MARTINEZ - Monsieur Christophe NEMOS

66^e Section : PHYSIOLOGIE

Monsieur Nguyen TRAN

69^e Section : NEUROSCIENCES

Madame Sylvie MULTON

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

Docteur Cédric BERBE

=====

DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Charles A. BERRY (1982)
Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)

Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)
Brown University, Providence (U.S.A)

Professeure Mildred T. STAHLMAN (1982)
Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)

Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)
Institut d'Anatomie de Würzburg (R.F.A)

Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)
Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)

Professeure Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996)
Université de Pennsylvanie (U.S.A)

Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)
Université d'Helsinki (FINLANDE)

Professeur Duong Quang TRUNG (1997)
Université d'Hô Chi Minh-Ville (VIËTNAM)

Professeur Daniel G. BICHET (2001)
Université de Montréal (Canada)

Professeur Marc LEVENSTON (2005)
Institute of Technology, Atlanta (USA)

Professeur Brian BURCHELL (2007)
Université de Dundee (Royaume-Uni)

Professeur Yunfeng ZHOU (2009)
Université de Wuhan (CHINE)

Professeur David ALPERS (2011)
Université de Washington (U.S.A)

Professeur Martin EXNER (2012)
Université de Bonn (ALLEMAGNE)

REMERCIEMENTS

A NOTRE MAITRE ET PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur Etienne SIMON

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier en Chirurgie Plastique, Reconstructrice et Esthétique, CHRU Nancy

Vous me faites l'honneur de présider mon jury de thèse.

J'ai eu la chance d'être interne dans votre service et de bénéficier de votre enseignement.

Vous êtes un exemple de rigueur, de patience et de gentillesse. Je vous remercie pour toutes les connaissances que vous m'avez transmises. Je me souviendrai toujours de votre habileté chirurgicale que j'espère pouvoir un jour atteindre.

Je vous remercie de m'avoir accompagné et conseillé tout au long de mon internat.

Veillez trouver ici l'expression de mon plus profond respect et de ma plus vive reconnaissance.

A NOTRE MAITRE ET JUGE

Monsieur le Professeur François DAP

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier en Chirurgie Plastique, Reconstructrice et Esthétique, Centre Chirurgical Émile Gallé

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites en acceptant de juger ce travail.

Je vous remercie pour le semestre que j'ai pu réaliser à vos côtés et de m'avoir fait partager vos connaissances en chirurgie de la main. Je me souviendrai de votre gentillesse, de votre dextérité chirurgicale et des nombreuses histoires accumulées au cours de votre expérience que vous preniez plaisir à raconter.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de ma sincère reconnaissance et de mon profond respect.

A NOTRE MAITRE ET JUGE

Madame la Professeure Muriel BRIX

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier en Chirurgie Maxillo-Faciale et Stomatologie, CHRU Nancy

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites en acceptant de juger ce travail.

Je vous suis reconnaissant pour votre bienveillance et votre empathie dans les moments les plus tourmentés de mon internat. Vous m'avez beaucoup accompagné et soutenu.

Je vous remercie pour les connaissances et l'expérience en chirurgie maxillo-faciale et en chirurgie plastique et reconstructrice que vous avez su me transmettre avec passion.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de ma profonde gratitude.

A NOTRE MAITRE ET DIRECTEUR DE THESE

Monsieur le Docteur Antoine de RUNZ

Chirurgien plastique, reconstructrice et esthétique à la clinique Claude Bernard, Metz.

Je te remercie de l'honneur que tu me fais en acceptant de diriger et juger ce travail.

Je te suis reconnaissant pour les connaissances et la passion que tu as su me transmettre dès le début de mon internat. Tu m'as enseigné la rigueur et prodigué de nombreux conseils qui m'ont aidés pendant tout mon internat.

Je te remercie pour ta patience, ta disponibilité et ton implication dans ce travail d'étude.

Tu trouveras dans cette thèse l'expression de mon admiration et de mon profond respect.

Aux médecins du service de chirurgie maxillo-faciale et plastique du CHU de Nancy

Dr Antoine de RUNZ, merci de m'avoir accompagné dans mes premiers pas. Tu as su me pousser et m'encourager. Tu as su transmettre ta rigueur et ta passion au bloc et en dehors. Je te remercie pour m'avoir fourni ce sujet et pour m'avoir accompagné dans ce travail.

A tous les autres chirurgiens que j'ai croisé dans le service :

Dr Michael COHET, nous avons grandi ensemble ; tu m'as accompagné, soutenu, épaulé. J'ai trouvé en toi un véritable ami.

Dr Julien GENET, merci d'avoir été à mes côtés. Merci pour tout ce que tu m'as enseigné à l'hôpital et en dehors. Je suis fier de te compter dans mes amis.

Dr Quentin KOPP, Dr Mikael NICOLAÏ, merci pour les semestres passés ensemble. J'ai beaucoup appris et progressé à vos côtés.

A mes anciens chefs : Dr Helene Le GALL, Dr Jean-Charles ROCHEFORT, Dr Corrine MATUSIAK, vous avez su m'accompagner sans perdre patience.

Aux médecins du service de chirurgie maxillo-faciale et plastique du CHU de Strasbourg

Au Professeure Catherine BRUAND-RODIER, merci de m'avoir accueilli dans votre service pour cet inter-CHU allongé mais raccourci en même temps. Vous avez su me faire confiance et me faire partager votre enseignement. Je me souviendrai avec bonheur de ces sept mois à vos côtés.

Au Professeur Frédéric BODIN, merci pour la confiance que vous m'avez accordée. Les longues interventions réalisées à vos côtés m'ont énormément appris. Merci de m'avoir transmis vos connaissances en chirurgie reconstructrice.

Aux Docteur Simone ZINK, Docteur Laetitia RUFFENACH, Docteur Maxence THOMAS, Docteur Shoshana ASSOULINE, Docteur Sarah HENDRIKS, merci pour m'avoir beaucoup appris et laissé opérer mais surtout merci pour avoir supporté mes blagues pas très drôles.

Aux médecins du service de chirurgie maxillo-faciale et plastique du CHR de Metz

Au Dr Grégoire KHAIRALLAH, tu as été comme un père dans ce service. Tu m'as soutenu et guidé avec empathie.

Aux Dr Marouane TALBI et Dr Thomas BRENGARD-BRESSLER, merci de m'avoir accueilli dans votre service.

Aux médecins du service de chirurgie de la main du Centre Chirurgical Émile Gallé

Au Professeur Gilles DAUTEL, je vous remercie infiniment pour votre rigueur et votre gentillesse à mon égard.

Au Professeur François DAP, merci pour les heures passées à vos côtés au bloc et en staff. Merci de participer à ce travail de thèses.

Aux médecins du service : Docteur Lionel ATHLANI, Docteur Juliette LOMBARD, Docteur Sophie SABAU, Docteur Romain DETAMMAECKER, Docteur Hugo MASCHINO, Docteur Helene AGNERAY, merci pour m'avoir tant supervisé et laissé opérer.

Aux médecins du service de chirurgie digestive et thoracique du CHU de Nancy

Au Professeure Manuela PEREZ, merci de m'avoir accompagné depuis mes débuts. Je n'oublierai pas votre sympathie et votre bienveillance. Je suis dans le regret de vous avouer que je n'aime pas le champagne.

Aux Docteur Nicolas REIBEL, Docteur Joëlle SIAT, Docteur Cyril PERRENOT, Docteur Beatrice ALVES NETO, je suis fier d'avoir réalisé le début de mon internat à vos côtés.

A tous les chirurgiens que j'ai rencontré durant mon internat

Aux Professeur Frédéric MARCHAL, Docteur Lea LEUFFLEN, Docteur Mohammed BABA-AISSA, Docteur Joëlle GIROT.

A tous mes co-internes,

Vous resterez tous de belles rencontres : Louis, Martin C-R, Antoine, Julien, Anne-Laure, Jordan, Corrine, Kunga, Joey, Lise, Mickael C, Michael C, Jean-François, Laetitia, Colin, Anne-Charlotte, Bérangère, Océane, Bertrand, Jules, Majd, Alexandre, Lucie, Loïse, Martin L, Guillaume H, Anna A, Alice C, Camille K, Camille G, Arnaud, Alice N, Quentin L, Diane (merci pour la correction !), Hannah, Anaïs.

A tous les internes de ma promo,

Louis, Martin, Antoine, Jean-Francois, Florian, Maxime H, Maxime B, Clément M, Clément L, Simon, Soline, Kevin, Agathe, Océane, Arthur, Élise, Andréa, Joey, Estelle, Rita, Patrick, Remi, Marine.

A tous les internes du service,

Guillaume B, Manon, Mathilde je n'ai pas eu la chance d'être interne avec vous mais le cœur y est.

A toute l'équipe du service,

Karine, Magalie, Kelly, Geneviève, Alix, Marie-Pierre, Caro, Fabienne, Antoine, Corine, Claudine, Séverine, Sandrine, Maud, Aline, Carole, Stéphanie, Julie, Sophie, Annick, Anne, Cécile, Gauthier H, Alain, Woody.

A toutes les équipes que j'ai rencontré au cours de mon internat.

Et à tous ceux que j'ai pu oublier

A ma mère,

Il était souvent difficile d'associer nos émotions à des mots, cependant tu m'as toujours accompagné et soutenu dans les nombreuses épreuves que nous avons vécues. Tu as su éclaircir mes doutes, refréner certaines volontés et m'encourager quand c'était nécessaire. Tu es le modèle que je veux suivre. Ta force, ton courage et ta volonté sont des principes que tu m'as constamment enseignés. Je te promets de les appliquer à mon tour.

En espérant ne pas te décevoir et être une fierté à tes yeux.

Je te dédie ce travail.

A Emmanuelle,

Pour toutes ces années passées ensemble. Nous avons été séparés trop tôt mais je suis fier d'avoir grandi avec toi.

A mon père,

Je te remercie de m'avoir accompagné durant mes études et mon internat. La vie n'a pas souvent été simple et dorénavant je suis heureux de pouvoir compter sur toi. Tu n'as jamais vraiment su me montrer que tu tenais à moi mais je sais que tu es fier de ce que je suis devenu. Merci d'être à mes côtés.

A Ambre,

Tu illumines chacune de mes journées. Merci d'être entrée dans ma vie et de croire en moi.

A ma famille,

A Julia, Louis, Antoine, Christian, Fabienne, Maude et Antoine (eh oui), Vincent, Pauline, André, Sophie H, Sophie K, Guillaume, Lisa.

A Thérèse, Catherine, Marie-Hélène, merci de m'accompagner depuis toutes ces années.

A Ludo, à la curiosité,

Tu sais comme je suis à l'aise avec les mots et les sentiments. Jamais je ne pourrai assez te remercier d'être dans ma vie. Tu m'as connu pour le meilleur et pour le pire. Tu as été présent quand c'était nécessaire. Je te suis éternellement reconnaissant.

A Victor,

Je suis fier de te compter comme un véritable ami et maintenant voisin. Un jour on ira manger chez Jeangeorges.

A Clémence,

Merci pour toute l'aide que tu m'as apportée. Et merci de garder Ludo quand je ne suis pas là.

A Vanessa,

Merci pour ces années à tes côtés et de m'avoir soutenu dans les moments les plus difficiles.

A Clément P,

Pour qui « moins » est une inconnue.

A Louis,

La moitié de mon internat avec toi, ça ne s'oublie pas. Je remercie ton humour et ton humour me remercie.

A Martin et Antoine,

Les premiers pas ensemble pour de belles rencontres.

A Caro Eloim,

Tu es un rayon de soleil, une boule d'énergie et de bonne humeur. Je suis fier de te connaître.

A Maud,

Merci pour les stat !

Aux potes,

Valentin, Denis, Doug, Remi, Tristan, Mouloud, Eric, Flo, Alix ; à toutes les vacances ensemble dans le sud sur la plage, au ski et au Portugal ; à toutes les soirées depuis la P2.

A Pierre,

Merci pour votre confiance et votre bienveillance.

A tous ceux qui m'ont accompagnés,

Frédérique et Bernard H, Eric M, Momo, Manou, Simone, Alain, Christelle, Eugenie

A mes amis d'enfance,

Guillaume H, Amaury P, Amaury S, Quentin MdB, Etienne

SERMENT

« Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

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

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque ».

TABLE DES MATIERES

PARTIE I : INTRODUCTION	21
1. La chirurgie mammaire d'augmentation	22
2. Le développement de la simulation 3D	23
3. Histoire de la 3D apportée à la chirurgie.....	25
4. Crisalix	35
PARTIE II : ARTICLE DE RECHERCHE	38
1. Resume	39
2. Abstract	40
3. Introduction	41
4. Matériels et methodes.....	43
5. Resultats	45
6. Discussion	50
7. Conclusion.....	52
8. Bibliographie.....	53
PARTIE III : DISCUSSION	56
CONCLUSION	66
BIBLIOGRAPHIE	68

PARTIE I : INTRODUCTION

1. LA CHIRURGIE MAMMAIRE D'AUGMENTATION

L'augmentation mammaire est la chirurgie esthétique la plus réalisée dans le monde avec 1,862,506 patientes opérées en 2018, en augmentation de 6,1% par rapport à l'année 2017 (1).

La planification d'une chirurgie plastique est habituellement définie à l'aide de photographies pré- et post-opératoires en 2D. Cependant, ce procédé peut s'avérer imprécis (2). En effet, les mesures des contours, du volume et de la forme du sein sont des données subjectives estimées par le chirurgien.

Heden et al. ont défini de manière précise les éléments qui permettent d'améliorer la relation patient/chirurgien (3). Dans cette étude menée en 2007 dans 3 pays sur 1323 femmes, le délai de réflexion pour une chirurgie mammaire est de 4 ans et les femmes consultent 2 à 5 chirurgiens durant cette période. De plus, 1 femme sur 4 seulement se fait opérer (1 sur 5 en France). Les patientes recherchent un médecin qui les implique dans le processus de choix thérapeutique et qui leur offre une prise en charge personnalisée. Aider les patientes à choisir l'implant et à visualiser le résultat espéré d'une chirurgie sont des éléments essentiels d'une consultation réussie (4)(5)(6). Ce principe est essentiel pour établir une relation de confiance avec la patiente (7).

2. LE DEVELOPPEMENT DE LA SIMULATION 3D

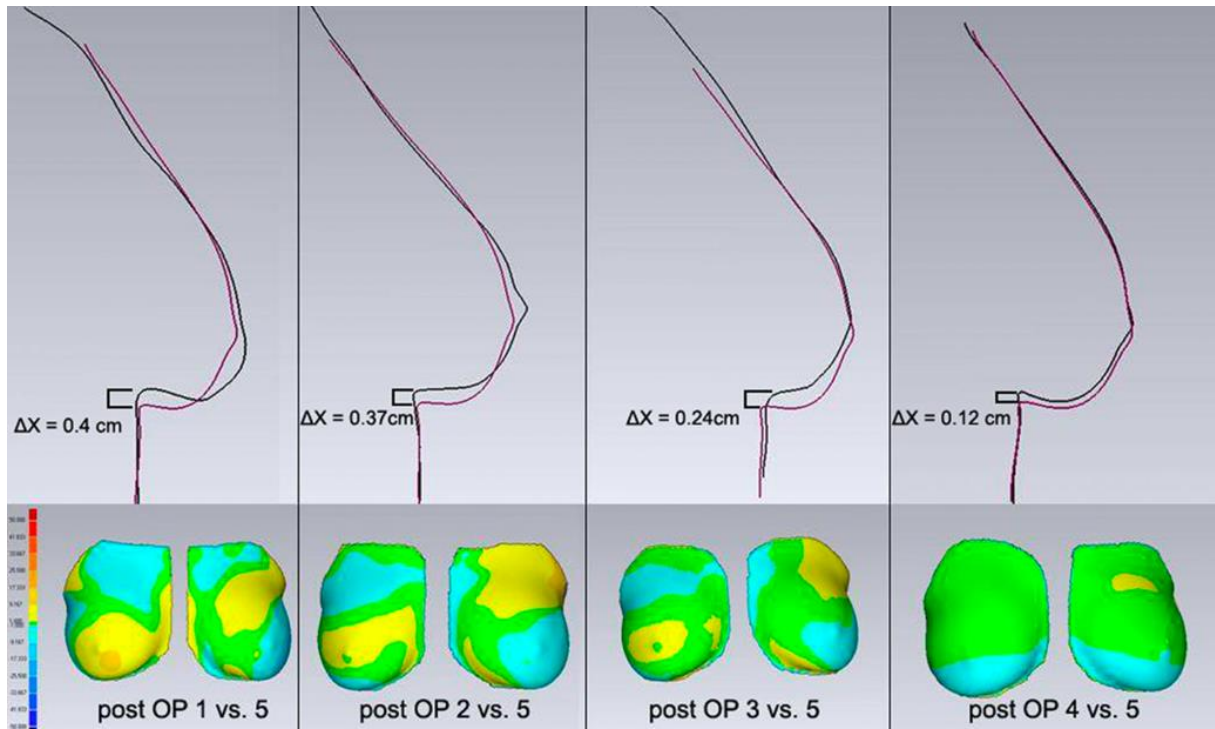
La reconstruction 3D s'est largement développée au cours des dernières années parallèlement à l'informatique avec une grande variété d'applications dans les domaines de la réalité virtuelle, des jeux vidéo, le cinéma mais surtout dans le domaine médical. Dans ce contexte, la reconstruction 3D a aisément pu s'intégrer à la chirurgie plastique.

Le terme imagerie tridimensionnel 3D fait référence à des techniques qui peuvent traiter la matière analysée en véritables données 3D acquises en pixels volumétriques (ou voxel) (8). De nombreux systèmes permettent de reproduire une image précise de l'anatomie humaine tels que les scanners ou l'IRM mais ce sont des procédés coûteux, longs et invasifs ; ils sont impossibles à utiliser dans une pratique médicale quotidienne. Cependant, ces systèmes se sont imposés comme des normes pour juger de la validité de l'imagerie de surface 3D (9)(10)(11).

Il est nécessaire de différencier l'imagerie 3D, telle que l'IRM, de l'imagerie de surface 3D proposée par Crisalix qui est l'analyse des surfaces le long de coordonnées x, y et z dans un espace tridimensionnel (8).

Kovacs et al. comparent les écarts de volumes entre des mesures par technologie laser 3D et 3 techniques classiques (IRM, moulage et mesures anthropométriques) (12)(13). Les résultats montrent une précision acceptable de l'imagerie tridimensionnelle pour les mesures du volume mammaire, une bonne tolérance et une meilleure interprétation de la zone anatomique à opérer. Kwong et al. confirment la précision du logiciel Crisalix pour la mesure des volumes mammaires en comparant les résultats émis par le logiciel sur 41 seins à des volumes de mastectomies (14).

Ces mesures sont stables dans le temps : Eder et al. ont comparé les résultats post-opératoires à 6 mois aux simulations réalisées à l'aide du logiciel 3D Geomagic Studio 11 assisté d'un appareil de balayage laser. Ils retrouvent des résultats très proches sans changement significatif jusqu'à 4 mois malgré une adaptation des tissus mous dans le temps (6).



Analyse à 6 mois post-opératoire du contour mammaire par Eder.

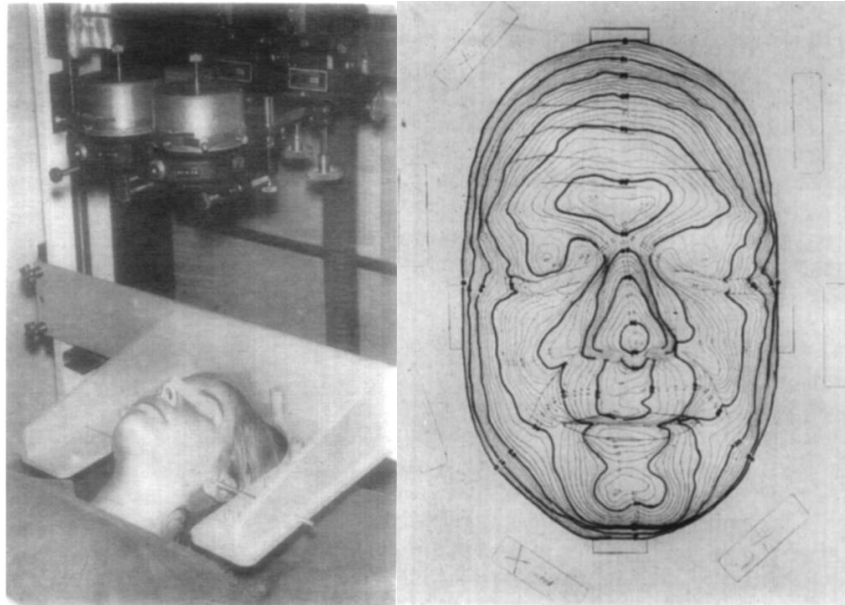
3. HISTOIRE DE LA 3D APPORTEE A LA CHIRURGIE

L'imagerie de surface tridimensionnelle a été appliquée pour la première fois par Thalman en 1944 pour capturer l'image d'un visage en 3D en s'aidant de la stéréophotogrammétrie (15). Par la suite, en 1949, Tanner et al. s'évertuent à comparer les données anthropométriques aux mesures bidimensionnelles puis tridimensionnelles pour définir des normes sur les photographies (16).

Données enregistrées par Tanner à l'aide de la stéréophotogrammétrie et comparées aux données anthropométriques.

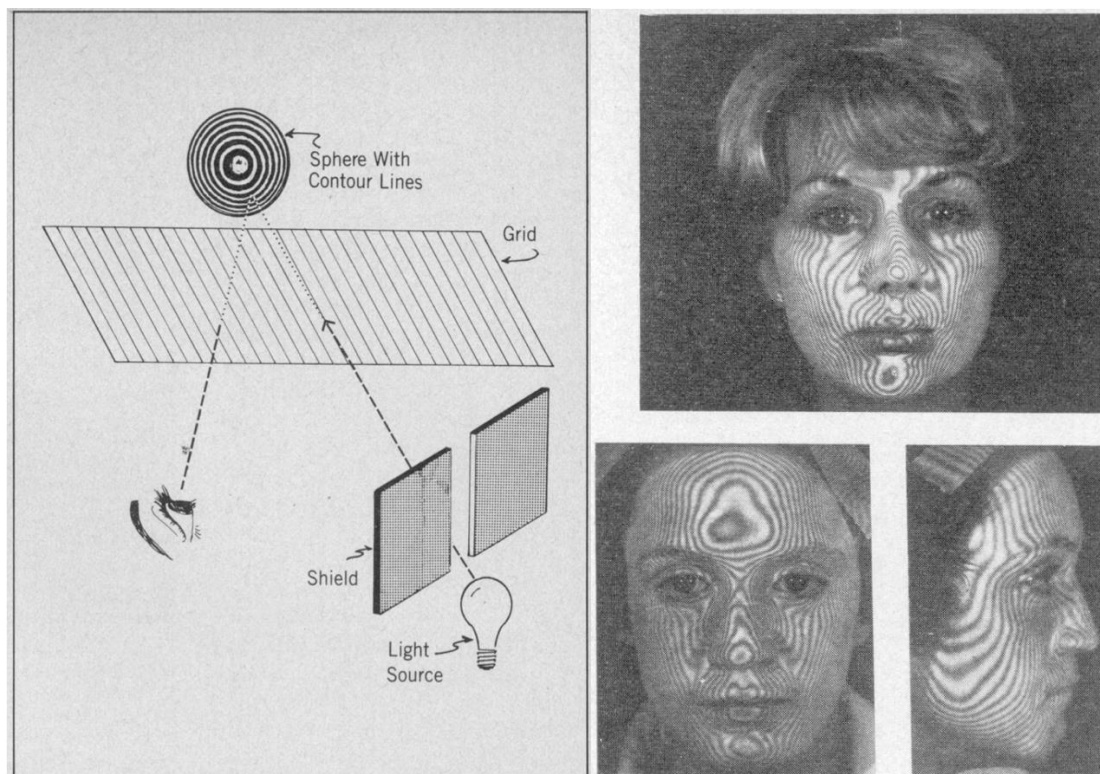
DIMENSIONS	N = 70	DIMENSIONS	N = 70
AP chest and TT ₁	.756	Circum. upper arm and ATU ₀	.697
AP chest and TTn _{ip}	.809	Circum. forearm and ATL _t	.687
Biacromial and TB ₁	.568	Circum. forearm and ATL ₁	.677
Bideltoïd and TB ₁	.706	Circum. wrist and WT	.752
Bitrochanteric and TB ₃	.951	Circum. wrist and ATL ₃	.808
Circum. neck and NTap	.786	Circum. thigh and LTU ₁	.909
Circum. neck and NTt	.849	Circum. calf and LTL ₁	.929
Circum. neck and NTap and NTt	.875	Circum. ankle and LTL ₂	.817

Ceci ouvre la voie à Burke et Beard (17)(18) qui, en 1967, développent l'utilisation de la stéréophotogrammétrie pour l'étude de la morphologie de la face (19)(20).



Simulation de visage par stéréophotogrammétrie avec des intervalles de 2mm par Burke

Dès 1970, Takasaki et al. proposent l'utilisation de la topographie Moiré pour l'analyse de la surface du corps humain (21) ; puis différents auteurs publient à leur tour de nouvelles applications et améliorations de cette technique dans les domaines de la chirurgie orthognatique (Karlán et al. 1979) (22) ou de la scoliose (Durdle et al., 1998) (23). Le moirage correspond à l'apparition de structures géométriques sur une image tramée, indépendamment des effets d'ombre. Habituellement corrigé en photographie à l'aide de filtres, il est utilisé pour analyser la déformation de la surface d'un objet. Il permet d'étudier en un temps et rapidement les déformations à l'aide d'un masque de Ronchi placé devant un visage. Un éclairage est mis en place et permet de faire apparaître des lignes incurvées de la grille sur l'objet.



Photographie Moirée. En haut, pointe du nez asymétrique. En bas à gauche, nez post-traumatique, peu de lignes de contour sur le dorsum. En bas à droite, défaut de projection de l'os zygomatique : lignes de contour verticales droites.

Cependant, cette technique s'avère fastidieuse laissant la place à d'autres méthodes : la lumière structurée (24)(25) d'une part mais surtout la stéréophotographie (26). Ce système utilise deux caméras placées en stéréo pour permettre une perception de la profondeur. Les deux images sont ensuite appariées dans l'espace pour créer une image tridimensionnelle à l'aide d'un logiciel dédié.

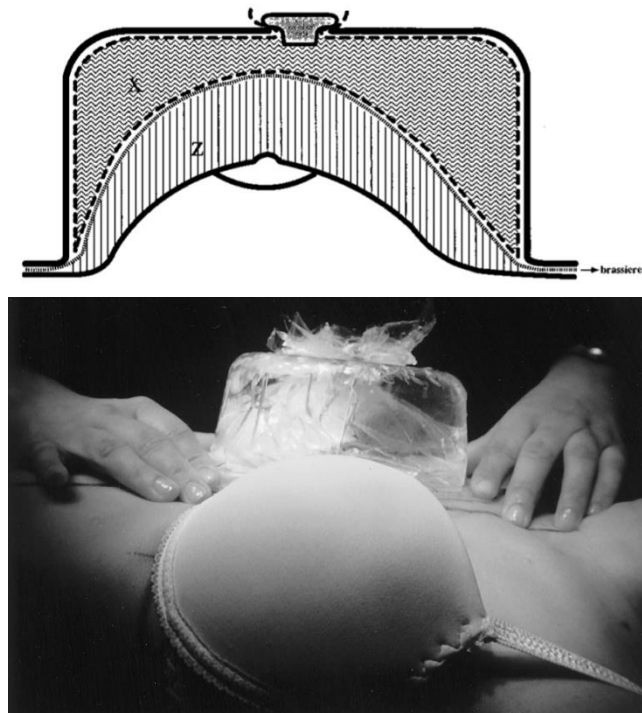
Les premières utilisations de l'imagerie tridimensionnelle pour le thorax et les seins remontent au début des années 2000. Galdino et al. utilisent cette technique dès 2002 pour déterminer la taille de l'expendeur et de la prothèse définitive en reconstruction mammaire (27).

En France, la chirurgie de simulation 3D est étudiée pour la première fois par Garson et al. en 2004 (28) sur quatre types de chirurgies mammaires : augmentation mammaire, reconstruction mammaire par prothèse, grand dorsal autologue et lipomodélage. Les résultats sont alors satisfaisants sans pour autant permettre à l'époque de prédire le résultat post-opératoire.

Depuis, de nombreux logiciels se sont développés dont l'intérêt de chacun dépend de l'application choisie (29)(30)(9). Afin d'améliorer l'utilité de l'imagerie tridimensionnelle, pour créer des résultats esthétiques et symétriques de manière reproductible, il est nécessaire d'introduire une approche normalisée des mesures tridimensionnelles (31). En effet, elle autorise désormais des mesures qui n'étaient pas disponibles auparavant telles que les mesures du volume du sein ou de la projection mammaire (32). Tepper et al. reportent des mesures effectuées sur 30 patientes et établissent des mesures précises, reproductibles en 3D qui n'étaient pas réalisables avec les outils conventionnels. Ce travail permet une standardisation des mesures en imagerie tridimensionnelle qu'ils nomment **mammométrie** (33). Ce travail peut être un outil de communication avec le patient et lui fournir des objectifs concrets sur le résultat attendu.

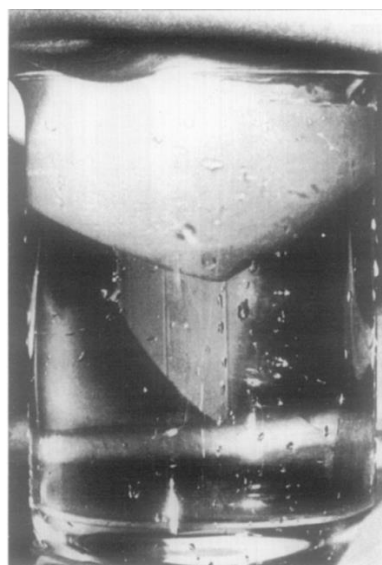
En 2008, Kim et al. tentent d'élaborer un logiciel de simulation 3D (34) qui prédit l'image virtuelle post-opératoire à partir d'un algorithme de mesures associé à une modélisation en 3D du torse de la patiente. Cet algorithme avait été créé à l'aide des chirurgiens par des mesures enregistrées sur des patientes réelles en pré- et post-opératoire. Il permettait d'obtenir des simulations sans matériel coûteux en un temps record.

La mesure du volume mammaire a toujours été un élément essentiel de la chirurgie du sein (35)(36)(37)(38). Des systèmes de mesures avaient déjà été mis au point dans ce but par Tezel et al. qui utilisaient le principe de la poussée d'Archimède associé à un container contenant un sac plastique (39). Ce dispositif est ensuite placé sur le sein de la patiente puis le sac est rempli d'eau et ce volume mesuré. Le même exercice est réalisé sur l'autre sein qui est équipé d'une prothèse mammaire externe dans un soutien-gorge et la différence de volume est mesurée permettant d'établir l'asymétrie de volume entre les deux seins et le volume nécessaire de la prothèse d'augmentation.



Mesure du volume mammaire avec une brassière selon Tezel. X est le volume du container, Z est le volume entre le sein et la brassière et indique le volume de la prothèse à utiliser.

Bouman et al. avaient, en premier, expérimenté cette technique dès 1970 (40) suivi par Schultz et al. en 1986 qui avaient conclu que cette technique présentait de nombreux inconvénients et ne pouvait pas remplacer l'expérience du chirurgien (41).



Une patiente introduit son sein gauche dans un récipient rempli d'eau pour mesurer son volume mammaire selon Bouman.

Brody et al. avaient également utilisé un système archaïque pour la mesure du volume de l'implant souhaité dès 1981. La patiente devait se procurer un soutien-gorge dont le volume lui convenait puis un sac en plastique rempli d'eau était placé dans le volume restant du soutien-gorge jusqu'à le remplir. Ce volume d'eau était ensuite mesuré précisément et constituait le volume choisi par la patiente. Ceci permettait également de corriger de fortes asymétries. Le chirurgien a réévalué à la hausse le volume de ses prothèses de 50 à 100cc par ce système et n'a plus jamais subi d'insatisfaction quant au volume (42).



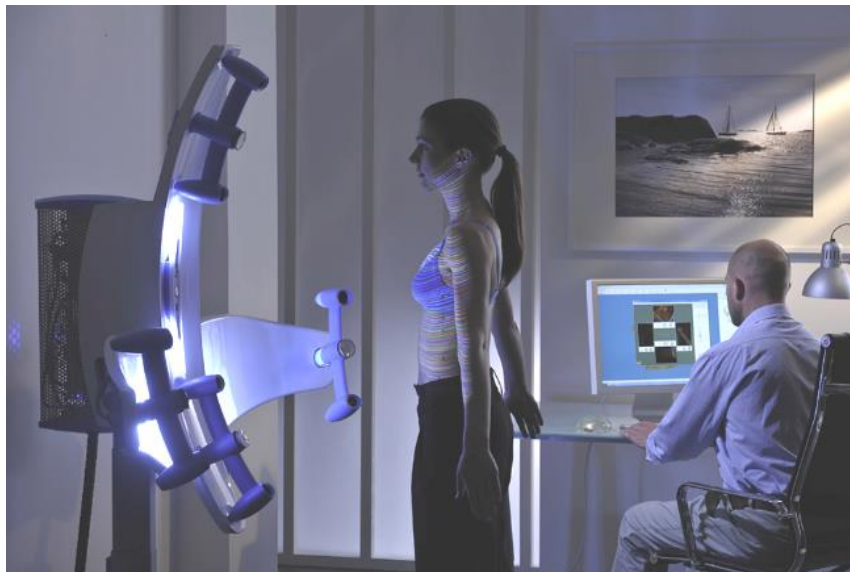
Équipement requis pour la mesure de l'asymétrie mammaire selon Brody.

La simulation 3D peut être un argument pertinent pour la mesure des cas d'asymétrie mammaire. Jusqu'à maintenant, l'asymétrie reposait sur une évaluation subjective des volumes qui ne permet de voir que des différences de mesures de plus de 5 mm à l'œil nu. Sur une étude de 100 patientes, Liu et al. constatent qu'aucune poitrine n'est strictement identique (43). Cette analyse pourrait être cruciale pour améliorer le taux de satisfaction des patientes. Il est également important que les patientes soient informées de ce fait en vue d'obtenir des attentes réalistes de l'intervention.

Il est intéressant de noter que Mineyev et al. ont constaté à l'aide de l'imagerie tridimensionnelle une différence de volume inférieure d'environ 1,6% lorsque la prothèse est exposée à la température corporelle expliqué par une absorption de gel de silicone par la coque et une diffusion à travers la coque (44).

Dans la dernière décennie, de nombreuses avancées dans les domaines de la lumière structurée et de la stéréophotogrammétrie ont été réalisées ; des données plus précises et plus accessibles au patient sont disponibles.

L'évaluation des performances d'un système de capture 3D se définit par plusieurs qualités comprenant la précision des mesures, la résolution optique et la vitesse de recueil des données. Mailey et al. ont étudié la précision des plateformes de simulation 3D à travers le logiciel AxisThree (45).

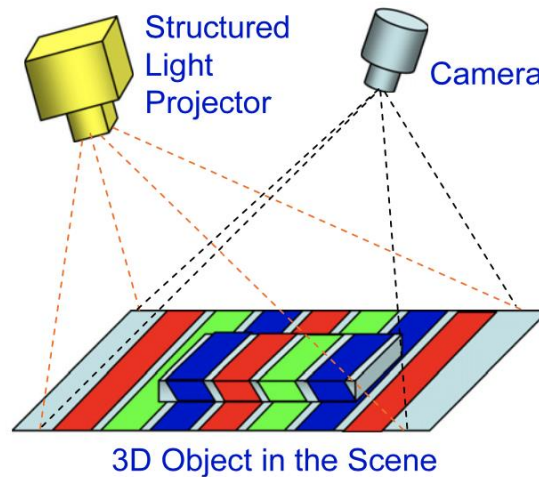


Système Axisthree

Au final, les mesures de volumes sont reproductibles, cependant l'étude retrouvait une variation de volume moyenne de 12,2% entre le logiciel et la réalité (de 0,4% à 30% sur 22 patientes). Malgré ces résultats les patientes étaient satisfaites de leur chirurgie. Losken et al. retrouvent les mêmes résultats dans leur étude en comparant les mesures prises par le logiciel 3dMD Torso en pré-opératoire à des volumes de mastectomies (dont la mesure est réalisée à l'aide d'un récipient rempli d'eau, en calculant le volume d'eau déplacé) (46).

Il existe maintenant de nombreux logiciels qui dominent le marché de la 3D médicale. Tous se différencient par leur précision, leur vitesse de capture, le plateau technique disponible, le matériel nécessaire et par leur prix. Il est nécessaire pour chaque chirurgien de définir le système qui lui correspond au mieux selon ses besoins et ses objectifs. Creasman et al. a tenté de mettre au point un logiciel simple et valide en quatre dimensions (PLI software) qui permettait d'éviter de nombreuses mesures supplémentaires sur les patientes. Il était destiné à

la consultation, la planification pré-opératoire et l'analyse des résultats esthétiques (9). Tzou et al. ont comparé les systèmes d'imagerie de surface les plus répandus de 5 sociétés : **3dMD** (3dMD LLC, Atlanta, GA, USA), **Axisthree** (Axisthree ,Belfast, Ireland), **Vectra** (Canfield' Scientific, Fairfield, New Jersey, USA), **Crisalix** (Crisalix, Bern, Switzerland) et **Di3D** (Dimensional Imaging Ltd, Glasgow, Scotland) (8). Axisthree est le seul système à utiliser la lumière structurée tandis que les autres utilisent la stéréophotogrammétrie.



Principe de la lumière structurée

Tous ces systèmes, excepté Crisalix, nécessitent une installation et des équipements plus ou moins lourds associé à un plateau technique spécifique qui peut rendre leur utilisation fastidieuse (47)(48).



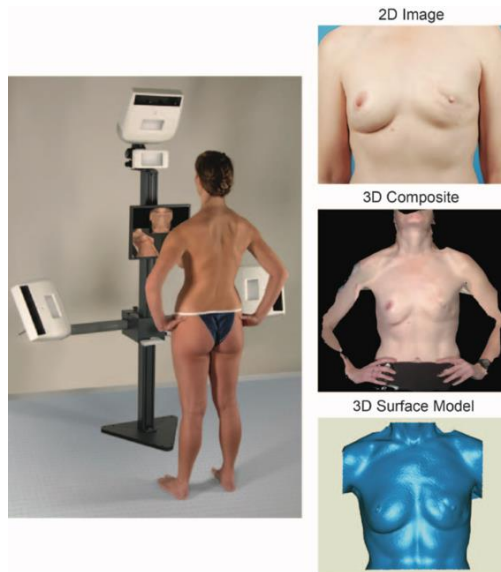
Système 3dMD

Comparaison des différents systèmes de simulation 3D

Company/ products	3dMDface	3dMDhead	3dMDtrio	3dMDtorso	3dMDbody	Axisthree XS-200	Axisthree XS-400	Canfield VECTRA H1	Canfield VECTRA M3	Canfield VECTRA XT	Canfield VECTRA CR 3D	Crisalix 3D MAMMO simulator	Crisalix 3D FACE simulator	Di3D™
Hardware	2 modular units of 6 medical grade, machine vision cameras, industrial-grade flash system synchronized in a single capture with a PC-controller desktop or PC-controller laptop for portability	5 modular units of 15 medical grade, machine vision cameras, industrial-grade flash system synchronized in a single capture with a PC-controller desktop	3 modular units of 9 medical grade, machine vision cameras, industrial-grade flash system synchronized in a single capture with a PC-controller desktop	4 modular units of 12 machine vision cameras and an industrial-grade flash system synchronized in a single capture with a PC-controller desktop	from 4 to 22 modular units of 12 to 66 machine vision cameras and an industrial-grade flash system synchronized in a single capture with PC-controller desktop (s)	3 imaging heads with cameras, projectors and lenses	4 imaging heads, chassis unit with micro controller, actuation control, automatic Range Finder PC with Intel i3 processor	1 pod with on-board modular, intelligent flash unit laptop	3 pods, floor stand 36 MP color texture, on-board, intelligent flash units PC + 23" monitor	3 pods, floor stand motorized lift to adjust for patient height, 36mp color texture, on-board, intelligent flash units PC + 23" monitor	2 or more pods, floor stand system scalable and customizable PC + 23" monitor or laptop	none from Crisalix; user needs a pc/laptop and a standard consumer camera (digital camera, webcam, smartphone, etc.)		standard 3D system uses 4 Canon EOS 550D 18 MP, two head studio flash kit for illumination, optional: laptop with pre-installed software
Realization	combined active and passive (hybrid)stereo photogrammetry					structured light		passive stereo photogrammetry				3D reconstruction from 2D image analysis		passive stereo photogrammetry
Coverage	190-degree face and neck capture (ear-to-ear)	Full 360-degree capture of the head, face, and neck	Dual purpose 190-degree face, neck, and décolletage capture and torso capture for augmentation including under the breast	190-degree face neck, and décolletage capture and torso capture for fuller figured reduction and reconstruction including under the breast	360-degree capture from head to toe with multiple options depending on application	~180-degree face capture	~180-degree face/torso capture	capturing volume (mm): 220x130x70 (H--W--D) typical application: 100-degree of left, right or front face	capturing volume (mm): 400x300x250 (H--W--D) typical application: face, neck and décolletage	capturing volume (mm): 600x550x350 (H--W--D) typical application: face, breast, torso, body	depends on number and placement of pods	~180° frontal and top-down views	~180-degree face capture	
Capture Speed	~1.5 ms at highest resolution	~1.5 ms at highest resolution	~1.5 ms at highest resolution	~1.5 ms at highest resolution	~1.5 ms at highest resolution	<= 2 seconds	2 <= seconds	8 ms	3,5 ms	3,5 ms	2 ms	depends on camera of user	length of a flash ~ 1 ms	
Processing Speed	<8 seconds	<15 seconds	<10 seconds	<12 seconds	<60 seconds	depends on PC of customer	face: < 1 min torso: < 30 sec.	~20 seconds	~120 seconds	~80 seconds	~120 seconds	<= 5 min	60 seconds	
File Size	depends on configuration, 4MB - 26MB	depends on configuration, 15MB - 95MB	depends on configuration, 11MB - 65MB	depends on configuration, 12MB - 70MB	depends on configuration, 5MB - 100MB	3 MB	3 MB	8 MB	8 MB	8 MB	depends on configuration	there are no files (web service)	50 - 60 MB	
Geometry representation	a continuous point cloud available as a textured mesh and dense textured point model					a continuous point cloud -> later converted to a mesh		mesh				mesh		
Error in Geometry	< 0.2mm	< 0.2mm	< 0.2mm	< 0.3mm	< 0.2mm to 1mm	< 0.5mm	< 0.5mm	> 0.1mm (x,y,z)	> 0.1mm (x,y,z)	> 0.1mm (x,y,z)	> 0.1mm (x,y,z)	2-5 mm	<= 0.2 mm (32,33)	
Onsite Installation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	no need (web service)	✓	
Portable	✓	✓	✓	✓	✓	✓	no	✓	✓	no	✓	✓	✓	
Calibration time	20 seconds	90 seconds	30 seconds	45 seconds	90 seconds	< 5 minutes	< 5 minutes	no calibration	< 3 minutes	no calibration	< 2 minutes	no calibration	5 minutes	
Sample density	62 vertices / cm ²	62 vertices / cm ²	62 vertices / cm ²	55 vertices / cm ²	8-62 vertices / cm ² depending on configuration	each head samples 0.5 million points	3 samples/mm ²	1.2 mm geometry resolution (polygon edge length)	1.2 mm geometry resolution (polygon edge length)	1.2 mm geometry resolution (polygon edge length)	1.2 mm geometry resolution (polygon edge length)	not specified	20 samples/mm ² to 30 samples/mm ²	
approx. Price (June 2013)	Each system is custom-configured and upgraded from standard modules to meet the customer's specific imaging workflow requirements. Prices start at 21,000 EUR.					13,000 EUR	27,000 EUR	9,000 EUR	26,000 EUR	37,000 EUR	depends on setup	1590 - 5490 EUR per year	25,000 EUR	

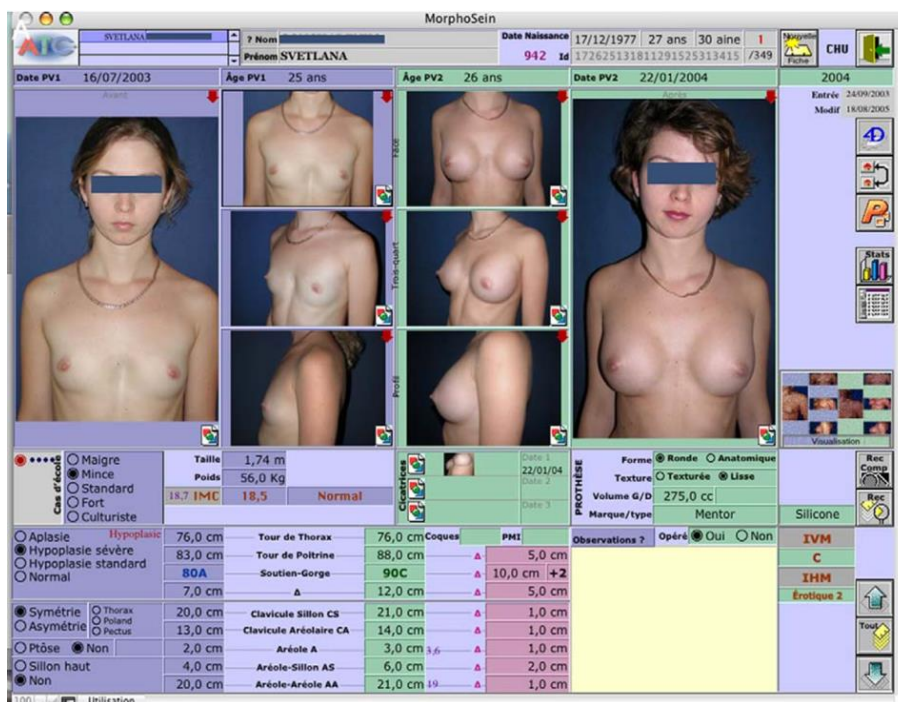
Il existe 3 types de stéréophotogrammétrie : active , passive et hybride (8)(26).

- **La stéréophotogrammétrie active** s'associe à de la lumière non structurée en projetant un motif lumineux aléatoire sur une surface capturée par deux caméras. Dans ce cas, aucun éclairage supplémentaire n'est nécessaire. Le motif projeté améliore la précision.
- **La stéréophotogrammétrie passive** (Canfield, Di3D) détermine l'image 3D à l'aide de deux caméras capturant le motif naturel de la surface uniquement. Elle nécessite des caméras de haute définition pour capturer les détails de surface. L'éclairage doit être soigneusement contrôlé (une forte lumière ambiante pourrait diminuer les détails à la surface d'un objet).
- Enfin, **la stéréophotogrammétrie hybride** (3dmD) associe les deux techniques précédentes et permet d'obtenir une précision et une qualité accrue.



Système Vectra

Un autre système de planification opératoire 2D a été développé. Il ne repose pas sur une image virtuelle graphique mais sur de réelles photos opératoires. Développé par Chavoïn et al. en 2005, le logiciel « **Morphosein** » contient une base de données de photos et de mesures pré- et post-opératoires de chirurgies d'augmentation mammaire. Il permet de prévoir le résultat post opératoire d'une patiente en recherchant dans la base de données des patientes de morphologie similaire avec différents types d'implants (49).



Logiciel Morphosein développé par Chavoïn

4. CRISALIX

La société **Crisalix**, basée en Suisse et fondée en 2009, a créé un logiciel de planification pré-opératoire (8). C'est un des premiers systèmes à s'être intéressé à la chirurgie plastique et notamment à la chirurgie esthétique. Aucun matériel spécifique n'est nécessaire et un appareil photo grand public associé au logiciel suffit à son utilisation. Le coût d'utilisation est inférieur aux autres logiciels disponibles (48).

Runz et al. a démontré l'intérêt de ce logiciel en complément des méthodes classiques que ce soit dans le choix de l'implant ou dans la qualité de la simulation par rapport au résultat post-opératoire (50). C'est une aide, par exemple, dans le choix des implants pour définir une atteinte réaliste ou pour différencier des volumes proches notamment (Vorstenbosch et al.). Ces éléments permettent d'établir une relation de confiance entre le chirurgien et sa patiente. Il peut être utilisé pour l'augmentation mammaire esthétique par prothèse ou lipofilling, pour la réduction mammaire ou pour la mastopexie.

Ce logiciel s'appuie sur une étude approfondie des tissus élastiques du corps humain permettant la réalisation de simulations viables et rapides. Il ne s'agit pas uniquement de modèles de torses préenregistrés mais associe plusieurs paramètres tels que la forme, le volume du sein, la gravité, la tension cutanée et l'interaction entre la peau, la graisse, la glande et le muscle.



Exemple de simulation par Crisalix 3D et position de l'implant en bleu

Le logiciel crée des images de surface 3D à partir de plusieurs photos 2D (3 photos prises de face et pour chaque profil de $\frac{3}{4}$) et de mesures morphométriques prises manuellement sur la patiente (distance entre les mamelons). Les photos peuvent être remplacées par un capteur comprenant deux caméras branchées directement sur l'**IPad (Structure Sensor Mark II)**, en vente sur le site web de la société).



Sensor Mark II

Chaque étape est guidée de manière interactive sur l'application Crisalix et prend quelques minutes seulement. Le chirurgien peut adapter le volume, la projection et la marque de la prothèse sur l'image 3D (à partir d'un catalogue), choisir la position de l'implant par rapport au muscle grand pectoral et choisir ou non la réalisation d'un Dual Plan comme décrit par Tebbetts et al. (51). La patiente a accès en permanence à sa simulation, peut la faire tourner et la faire partager à son entourage (52).

La validité de la simulation effectuée par le logiciel Crisalix a été étudié précisément par de Heras et al. en comparant les simulations aux seins post-opératoires analysés par scanner laser 3D (48). L'auteur retrouve une corrélation importante entre les deux méthodes avec une erreur moyenne entre 2 à 4 mm sur 10 patientes qui pourrait être expliquée par les mouvements respiratoires ou la position des bras sur le thorax.

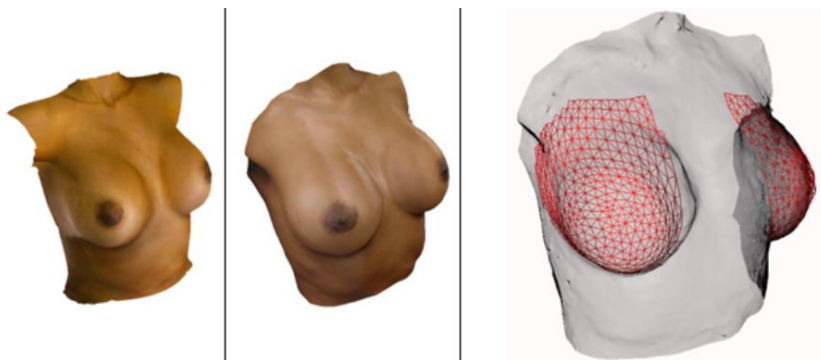


Image de gauche : simulation Crisalix 3D ; image au centre : balayage laser 3D ; image de droite : superposition des deux simulations

Récemment, un nouvel outil immersif utilisant la réalité augmentée a été mis au point par la même société sous le nom de Crisalix 4D. Le principe est le même, le thorax de la patiente est scanné et représenté en 3D. Puis, la simulation 3D est projeté sur un écran TV semblable à un miroir. La patiente découvre alors son résultat post opératoire en direct. Elle peut se mouvoir

devant l'écran, la simulation s'adaptant à son corps en entier et à sa position. Le résultat souhaité peut donc être approché au plus près, permettant de définir précisément le projet thérapeutique.

Cependant, aucune étude indépendante n'a été effectuée pour comparer l'intérêt de ce nouveau système par rapport au logiciel de simulation Crisalix 3D et par rapport aux méthodes plus conventionnelles telles que l'essai de prothèse mammaires externes.

Dans cette étude, nous avons évalué l'intérêt des patientes pour le logiciel Crisalix 4D dans les cas d'augmentation mammaire esthétique par prothèse comparativement à Crisalix 3D et aux implants externes. Nous avons également évalué la satisfaction post-opératoire par rapport à la simulation ainsi que l'apport du logiciel 4D dans le choix de la taille de la prothèse.

PARTIE II : ARTICLE DE RECHERCHE

Étude comparative Crisalix 4D versus Crisalix 3D versus essai par
prothèses externes dans la chirurgie d'augmentation mammaire

Frédéric HOLLARD-KISSEL, Pr Etienne SIMON, Pr Muriel BRIX, Dr Antoine de RUNZ

1. RESUME

Introduction : La simulation 3D pré-opératoire lors d'une consultation d'augmentation mammaire peut améliorer la relation de confiance entre le chirurgien et la patiente en l'aidant à se projeter objectivement dans son projet. La société Crisalix propose un nouvel outil : Crisalix 4D permet de créer une simulation dans un écran-miroir sans lunette adaptée. L'objectif principal de cette étude est de comparer l'intérêt des patientes pour ce nouveau logiciel par rapport à Crisalix 3D et par rapport à l'essai de prothèses externes.

Matériels et méthodes : L'étude inclut des patientes qui ont bénéficié d'une chirurgie d'augmentation mammaire par le même chirurgien (A.D.R.) selon la même technique. Elles ont toutes bénéficié lors de la consultation préopératoire d'une simulation 4D, d'une simulation 3D et de l'essai de prothèses externes. Un questionnaire téléphonique était réalisé à six mois de la chirurgie.

Résultats : L'étude comprend vingt-six patientes dont l'âge médian est de 29,5 ans. Le volume médian des prothèses est de 330mL. Cinquante-huit pourcent des patientes estiment que la réalité virtuelle les a beaucoup aidées dans le choix du volume des prothèses (8% pas du tout et 34% un peu.). 92 % des patientes étaient d'accord avec le fait que le résultat final est proche de la simulation 4D. 96% jugent que Crisalix 4D est un élément utile à la chirurgie d'augmentation mammaire. Les patientes ont, dans la majorité des cas (61%), préféré l'essai par prothèses externes. Le logiciel 4D semble être plus utile pour le choix du volumes des prothèses chez les patientes les plus âgées. Elle apparait comme un outil nécessaire chez les patientes les plus âgées de cette étude. La simulation semble avoir aidé principalement les patientes dans le choix de prothèses de volumes inférieurs à 350mL.

Conclusion : Ce nouveau logiciel de simulation est un outil utile dans une consultation d'augmentation mammaire. Les patientes de plus de 30 ans semblent plus réceptives à ce nouvel outil. Il est ludique et les aide tout en les rassurant dans la démarche de la consultation. Les patientes restent cependant attachées à la méthode classique par essai de prothèses externes. Il permet d'augmenter le taux de conversion chirurgicale mais nécessite un investissement financier supplémentaire et allonge la durée de la consultation. Une nouvelle étude plus puissante pourrait analyser la satisfaction des patientes en fonction de leurs caractéristiques dans le but d'adapter chaque consultation au profil de la patiente.

Mots-clés :

Simulation 3D ; Crisalix ; augmentation mammaire

2. ABSTRACT

Introduction: Preoperative 3D simulation during a breast augmentation consultation improves the relationship of trust between the surgeon and the patient by helping her to project herself objectively in her project. The company Crisalix offers a new tool: Crisalix 4D allows to create a simulation in a mirror screen without a particular pair of glasses. The main objective of this study is to compare the interest of patients in this new software versus Crisalix 3D and versus testing external breast prostheses.

Materials and methods: The study included patients who underwent breast augmentation surgery by the same surgeon (A.D.R.) using the same technique. They all benefited during the preoperative consultation from a 4D simulation, a 3D simulation and the testing of external breast prostheses. A questionnaire survey was completed six months after surgery.

Results: The study included twenty-six patients with a median age of 29.50 years. The median volume of the prostheses is 330ml. Fifty-eight percent of patients believe that virtual reality has helped them a lot in the choice of the size of the prostheses (8% not at all and 34% a little). 92% of patients agreed that the end result is close to 4D simulation. 96% believe Crisalix 4D is a useful software for breast augmentation surgery. In the majority of cases (61%), patients preferred the test by using external breast prostheses. The 4D simulation seems to be more useful for the choice of the volumes of the prostheses in the oldest patients and it appears to be a necessary tool for oldest patients of this study. The simulation seems to have mainly assisted the patients in the choice of prostheses with volumes less than 350ml.

Conclusion: This new simulation software is a useful tool in a breast augmentation consultation. Patients over 30 seem to be more receptive to this new tool. It is fun and helps them while reassuring them in the consultation process. However, the patients remain attached to the classic method by testing external breast prostheses. It helps increase the surgical conversion rate but requires additional financial investment and lengthens the duration of the consultation. A new more powerful study could analyze patient satisfaction based on their characteristics with the aim of matching each consultation to the patient's profile.

Keyword :

3D simulation ; Crisalix ; breast augmentation

3. INTRODUCTION

Lors d'une consultation d'augmentation mammaire il est nécessaire d'aider au mieux possible les patientes à choisir leur implant. Visualiser le résultat attendu de la chirurgie est un élément supplémentaire pour une consultation réussie (1)(2)(3)(4).

De nombreux logiciels se sont développés afin d'améliorer l'utilité de l'imagerie de surface 3D dans le but de créer des résultats esthétiques et symétriques de manière reproductible (5)(6)(7)(8)(9). Tous ces systèmes, excepté Crisalix, nécessitent une installation et des équipements plus ou moins lourds associés à un plateau technique spécifique qui peut rendre leur utilisation fastidieuse (10)(11).

D'autres systèmes, plus simples, permettent de prévoir le résultat post opératoire d'une patiente à partir d'une base de données de photos et de mesures pré- et post-opératoires de chirurgie d'augmentation mammaire (logiciel Morphosein, développé par Chavoïn et al. (12)).

Crisalix est le premier système à s'être intéressé à la chirurgie esthétique (6)(13)(14). Le logiciel crée des images de surface 3D à partir de plusieurs photos 2D ou d'un capteur 3D portable connecté et de mesures prises manuellement sur la patiente. Le chirurgien peut adapter le volume de la prothèse sur l'image 3D. La patiente a accès en permanence à sa simulation et peut la faire partager à son entourage. Récemment, un nouvel outil immersif utilisant la réalité augmentée a été mis au point par la même société sous le nom de Crisalix 4D. La patiente découvre une simulation de son résultat post opératoire en direct sur un écran TV. Elle peut se mouvoir devant l'écran, la simulation s'adaptant à son corps en entier et à sa position. Cependant, aucune étude indépendante n'a été effectuée pour comparer l'intérêt de ce nouveau système par rapport au logiciel de simulation Crisalix 3D et par rapport aux méthodes plus conventionnelles telles que l'essai de prothèse mammaires externes.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la perception des patientes face à la réalité augmentée et de comparer cette méthode aux autres méthodes d'essai de prothèses.

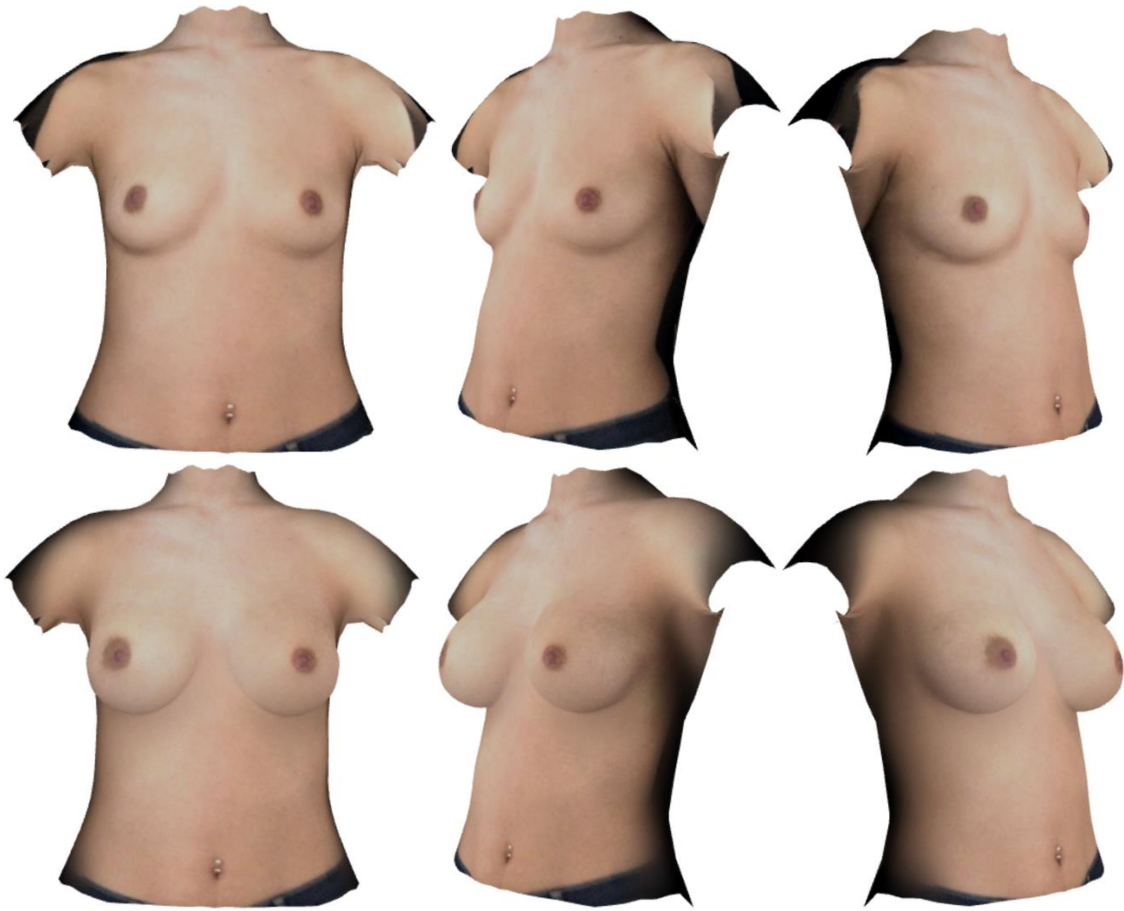


Figure 1 : simulation de patiente à l'aide de Crisalix 3D pour des prothèses rondes en silicone de 310ml en position retro-pectorale

4. MATERIELS ET METHODES

Une étude monocentrique prospective a été réalisée. Elle inclut des patientes opérées d'une augmentation mammaire esthétique par prothèses de Janvier 2018 à Juillet 2018, et exclut les patientes ayant bénéficié d'une mastopexie concomitante. Les autres critères d'exclusion étant : les reconstructions mammaires, les seins tubéreux, les malformations congénitales, ou une reprise chirurgicale.

Toutes les patientes ont été opérées par le même chirurgien (A.D.R.) selon le même protocole développé et précisément décrit par Heden et al. dans son Akademikliniken (15), c'est-à-dire la pose d'implants en gel de silicone micro-texturé par une incision sous mammaire en position retro pectorale sous anesthésie générale. L'incision était placée précisément dans le futur emplacement du sillon sous mammaire et la prothèse placée 50% au-dessus et sous le mamelon. Les patientes ont bénéficié des deux consultations préopératoires nécessaires avant leur intervention.

Les patientes pouvaient, lors de la consultation, choisir la taille de leur implant selon 3 techniques de simulation : Crisalix 4D, Crisalix 3D et l'essai de prothèses mammaires externes. La reconstruction 3D était réalisée à l'aide d'un iPad associé à une caméra 3D (Sensor Mark II) achetée auprès du laboratoire (à partir de 449 dollars). Des mesures complémentaires sont prises sur les patientes.

Un questionnaire était ensuite réalisé à distance de la chirurgie, comprenant les questions suivantes :

1. La 4D a-t-elle aidé dans le choix des prothèses ?
 - 1 Pas du tout
 - 2 Un peu
 - 3 Beaucoup

2. L'aspect 4D est-il proche du résultat final ?
 - 1 Non pas du tout d'accord
 - 2 Non partiellement pas d'accord
 - 3 Ne se prononce pas
 - 4 Oui partiellement d'accord
 - 5 Oui totalement d'accord

3. A posteriori, considérez-vous que l'apport de la réalité augmentée pour envisager une chirurgie d'augmentation mammaire était :
- 1 Inutile
 - 2 Utile
 - 3 Très utile
 - 4 Indispensable
4. Parmi les trois méthodes utilisées pour choisir les prothèses, quelle méthode avez-vous préférée ?
- 1 Essai direct par prothèses externes
 - 2 Simulation 3D (Crisalix 3D)
 - 3 Réalité augmentée (Crisalix 4D)

De cette dernière question, ont été retenus le premier choix dans un premier temps puis le dernier choix dans un second temps.

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R version 3.6.3) et de Microsoft Word (version 16.38) pour l'élaboration des graphiques de type camemberts. Le seuil de signification bilatéral a été fixé à $p < 0,05$. Les caractéristiques de la population d'étude ont été décrites en moyenne \pm écart-type et médiane (1er et 3e quartiles) pour les variables quantitatives continues et en effectif et pourcentage pour les variables catégorielles. Il n'y avait pas de donnée manquante. Les caractéristiques des patientes ont été décrites et comparées selon leurs réponses aux différentes questions. Afin de comparer les dispersions de chaque modalité des réponses aux questions, la représentation à l'aide de boîtes à moustaches côte à côte a été utilisée.

L'effectif de l'échantillon étant faible, les variables quantitatives (âge et volume des prothèses) ont été transformées en variables catégorielles. Les groupes de patientes ont ensuite été comparés à l'aide du test exact de Fisher.

L'objectif principal de l'étude est d'évaluer la satisfaction des patientes dans le choix du volume des prothèses constituant l'échantillon vis-à-vis de l'utilisation de la réalité augmentée (Crisalix 4D) en comparaison de l'utilisation de la simulation 3D (Crisalix 3D) et de la méthode d'essai par prothèses mammaires externes.

5. RESULTATS

Vingt-six patientes ont bénéficié d'une première augmentation mammaire esthétique par prothèses. Elles étaient âgées de 20 à 41 ans (âge médian 29,50 ans). La taille des prothèses variait de 285 ml à 430 ml (volume médian 330 ml). Aucune complication majeure n'a été enregistrée.

Il n'existe aucun instrument validé pour évaluer de manière objective la similitude entre les images simulées et les seins opérés, ni pour évaluer objectivement le degré de satisfaction des patientes.

Cinquante-huit pourcent des patientes estiment que la réalité virtuelle les a beaucoup aidées dans le choix du volume des prothèses (8% pas du tout et 34% un peu, figure 2).

Quarante-six pourcent des patientes étaient entièrement d'accord avec le fait que le résultat final est proche de la simulation 4D (46% étaient partiellement d'accord, 4% ne savent pas et 4% ne sont pas d'accord avec cette information, figure 2).

Trente-huit pourcent jugent que Crisalix 4D est un élément très utile à la chirurgie d'augmentation mammaire (31% l'estiment utile, 27% indispensables et 4% inutile, figure 2).

Les patientes ont dans la majorité des cas (61%) préféré l'essai par prothèses externes (27% des patientes ont préféré la simulation 3D et 12% ont préféré la simulation 4D, figure 2).

A l'inverse, 42% des patientes ont le moins apprécié la simulation 3D contre 39% pour la Crisalix 4D et seulement 19% pour les prothèses externes (figure 2).

La puissance statistique de l'étude ne permet pas de prouver une corrélation significative entre l'âge des patientes, le volume des prothèses et le choix des patientes dans la méthode d'essai.

Tableau 1 : Caractéristiques de l'échantillon

	N	%/moy	ET*	médiane	Q1	Q3	min	max
Age	26	29,15	6,07	29,50	25,00	34,00	20,00	41,00
Volume	26	345,8	44,58	330,0	310,0	380,0	285,0	430,0
QUESTIONNAIRE								
La 4D a-t-elle aidé dans le choix des prothèses ?								
Pas du tout	2	7,69						
Un peu	9	34,62						
Beaucoup	15	57,69						
L'aspect 4D est-il proche du résultat final ?								
Non pas du tout d'accord	0	0,00						
Non partiellement pas d'accord	1	3,85						
Ne se prononce pas	1	3,85						
Oui partiellement d'accord	12	46,15						
Oui totalement d'accord	12	46,15						
A posteriori, considérez-vous que l'apport de la réalité augmentée pour envisager une chirurgie d'augmentation mammaire était :								
Inutile	1	3,85						
Utile	8	30,77						
Très utile	10	38,46						
Indispensable	7	26,92						
1. Parmi les trois méthodes utilisées pour choisir les prothèses, quelle méthode avez-vous préférée ?								
Essai direct	16	61,54						
Simulation 3D	7	26,92						
Réalité augmentée 4D	3	11,54						
2. Parmi les trois méthodes utilisées pour choisir les prothèses, quelle méthode avez-vous le moins, appréciée ?								
Essai direct	5	19,23						
Simulation 3D	11	42,31						
Réalité augmentée 4D	10	38,46						

*écart-type

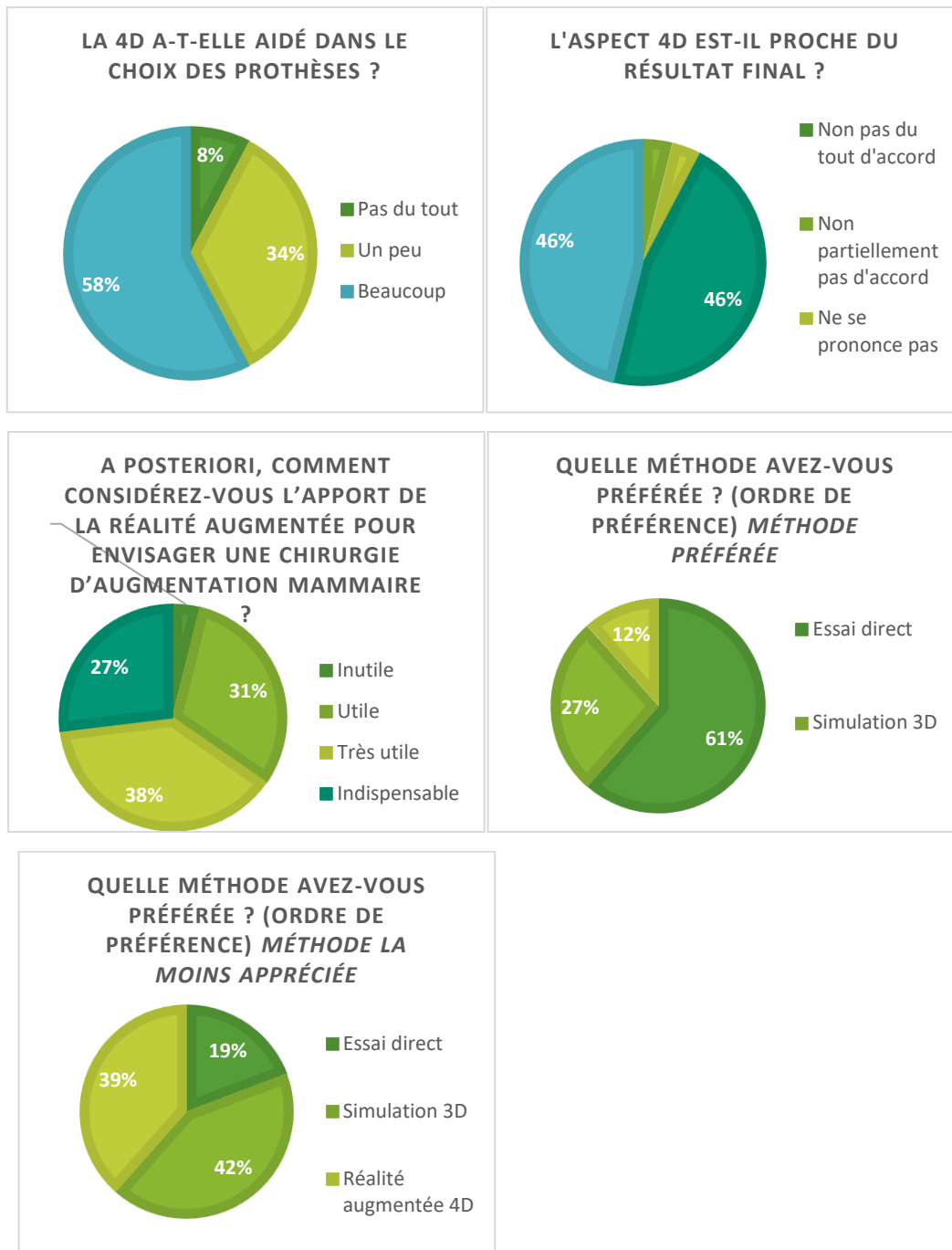


Figure 2 : réponses au questionnaire téléphonique

Néanmoins, la simulation 4D semble avoir été plus utile pour le choix du volumes des prothèses chez les patientes les plus âgées de l'étude (figure 3).

La simulation semble avoir aidé principalement les patientes dans le choix de prothèses de volumes inférieurs à 350mL (figure 3).

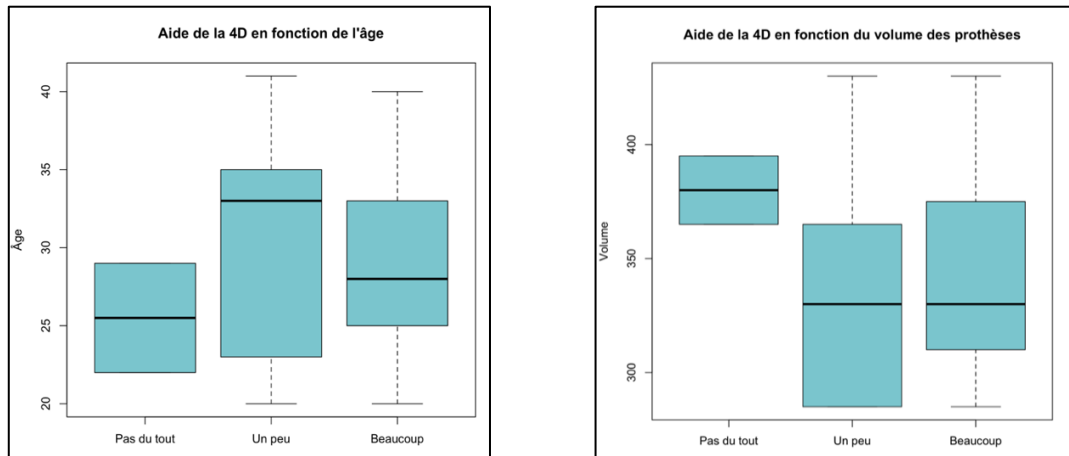


Figure 3 : Question 1 : La 4D a-t-elle aidé dans le choix des prothèses en fonction de l'âge et du volume des prothèses ?

La réalité augmentée dans le choix de cette chirurgie apparaît comme un outil profitable chez les patientes les plus âgées (figure 4) et ne semble pas indispensable chez les patientes de moins de 30 ans pour réaliser une consultation d'augmentation mammaire.

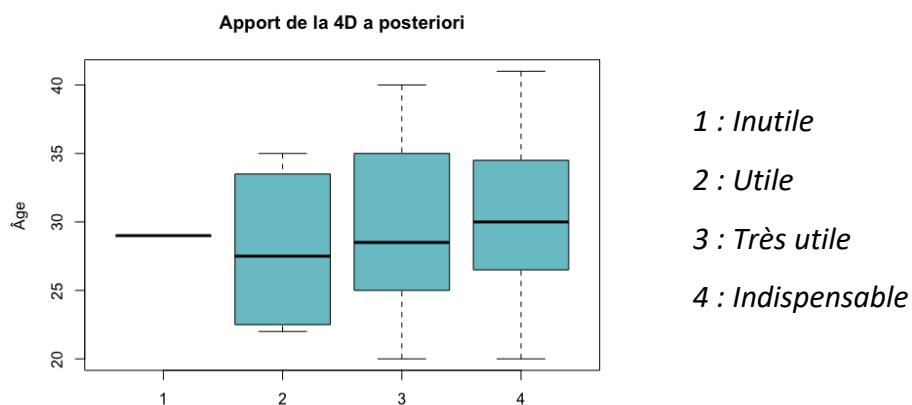


Figure 4 : Question 3 : A posteriori, comment considérez-vous l'apport de la réalité augmentée pour envisager une chirurgie d'augmentation mammaire

De manière globale, Crisalix 4D semble être une méthode de simulation utile lors d'une consultation d'augmentation mammaire par prothèse auprès des patientes de plus de 30 ans (figure 5).

Les prothèses externes semblent être la méthode d'essai préféré pour les patientes dont le choix se porte sur des prothèses de gros volume (> 350ml) (figure 5).

La puissance de l'étude ne permet pas de comparer Crisalix 4D à la simulation 3D mais les patientes semblent moins apprécier Crisalix 4D pour les prothèses de petits volumes et Crisalix 3D semble être moins adapté aux prothèses de gros volumes (figure 5).

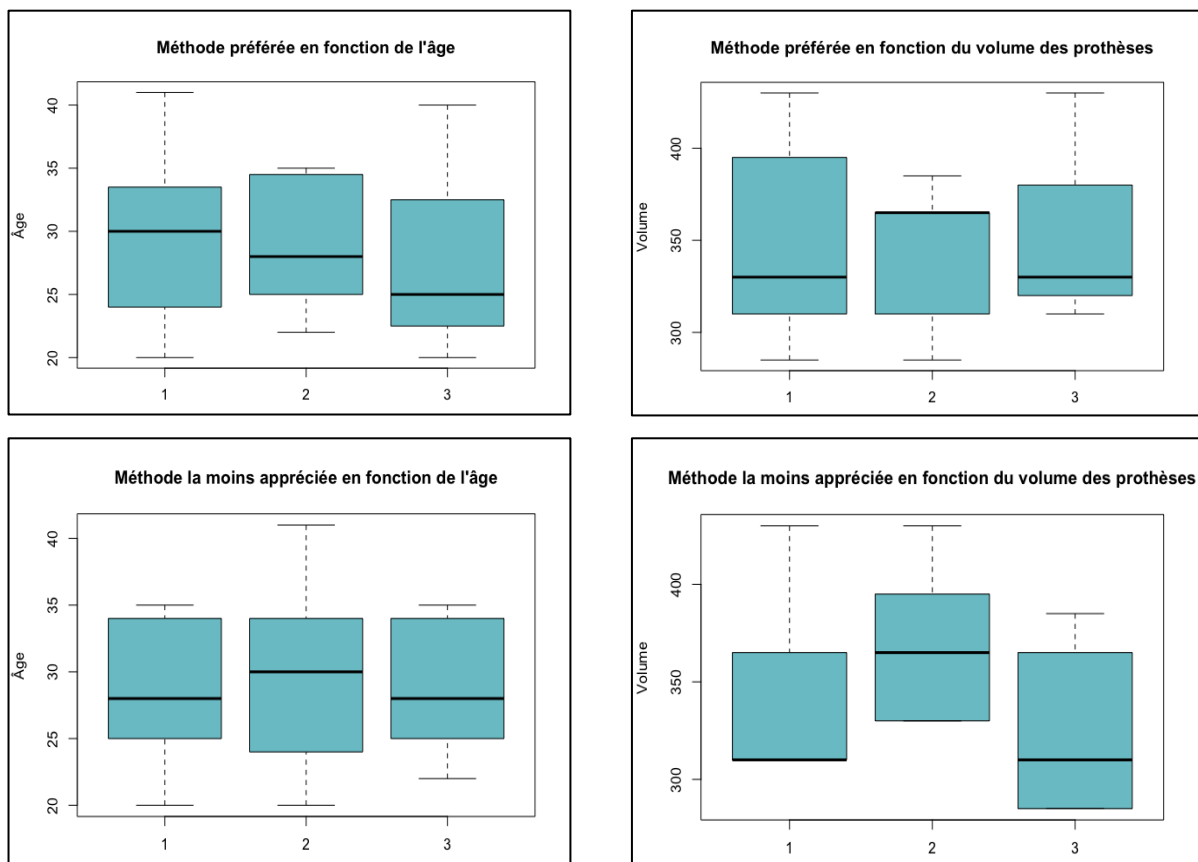


Figure 5 : Question 4 : Parmi les trois méthodes utilisées pour choisir les prothèses, quelle méthode avez-vous préféré et quelle méthode avez-vous le moins préféré ? (Ordre de préférence)

- 1 : Essai direct
- 2 : Simulation 3D
- 3 : Réalité augmentée 4D

6. DISCUSSION

De nombreuses méthodes sont employées pour simuler les résultats post-opératoires d'une chirurgie d'augmentation mammaire esthétique. Nous avons étudié une technique novatrice de simulation 4D développée récemment par la société Crisalix.

Près de 80% des femmes qui consultent un chirurgien ne dépassent pas le cap de la consultation. Dans ce contexte, la réalité virtuelle présente un intérêt pour établir la planification opératoire et peut être un outil d'imagerie quotidien dans la pratique clinique. Les simulations sont rapides, mais augmentent cependant le temps de consultation (environ une dizaine de minutes), et fiables. Elles ne nécessitent pas un investissement matériel important et la formation du chirurgien est aisée. Celui-ci doit cependant s'équiper, en plus du capteur 3D vendu par la société, d'un grand écran permettant de visualiser la simulation. Le logiciel Crisalix est ludique pour les patientes mais également très simple à utiliser pour le chirurgien. Il ne nécessite qu'un abonnement en ligne ce qui autorise une grande flexibilité dans son utilisation qui reste simple pour créer les simulations. Un certain nombre d'auteurs ont publié leurs résultats sur les différents logiciels d'imagerie 3D (14)(10) mais aucun n'a encore évalué le dernier logiciel proposé par la société Crisalix.

Toutes les femmes avaient bénéficié de la même chirurgie (augmentation mammaire esthétique par prothèse) selon la même technique. Crisalix 4D a aidé les patientes à choisir leurs prothèses dans plus de la moitié des cas et le résultat post-opératoire était semblable à la simulation pour la plupart des sujets (92%). Ceci est confirmé par les résultats de nombreuses études portant sur l'intérêt de la simulation 3D (13) (95% des patientes étaient satisfaites dans l'étude de Creasman et al. à 6 mois). Ce résultat est supérieur aux conclusions de l'étude de Donfrancesco et al. qui portait sur 300 cas (72% de patientes satisfaites). Cependant, Vorstenbosch et al prouvent que Crisalix évalue de manière moins précise les données pré-opératoires pour des seins ptotiques ou tubéreux (13). Cruz et al. précisent une insatisfaction jusqu'à 25% chez des patientes bénéficiant du logiciel Crisalix 3D du fait d'une anticipation insuffisante de la laxité cutanée (2). La simulation 3D est également moins performante pour des prothèses de gros volumes (Gladilin et al. retrouvent les mêmes résultats) (16). Une communication prudente doit donc accompagner la simulation pour éviter que le résultat soit perçu comme décevant.

Les patients les plus âgées semblent être plus réceptives aux nouvelles technologies. Elles favorisent le logiciel de simulation 4D pour choisir la taille de leurs prothèses (figure 3), la jugent utile voire indispensable pour envisager une consultation d'augmentation mammaire (figure 4) et disent avoir préféré Crisalix 4D aux autres méthodes d'essai lors de la consultation (figure 5).

Dans cette étude, quasiment toutes les patientes estiment que la réalité virtuelle 4D est utile pour planifier une chirurgie d'augmentation mammaire et même un tiers des patientes la jugent indispensable ; cependant, les patientes sont toujours attachées à l'essai de prothèses externes qui leur permet de voir « physiquement » le résultat et autorise le toucher pour estimer le volume. Ces données sont contradictoires avec d'autres études qui affirment que la plupart des patientes n'auraient pas réalisé cette intervention sans l'usage préalable de la simulation 3D (13).

Ces conclusions suggèrent que Crisalix 4D est utile à la planification pré-opératoire mais pas indispensable pour les patientes qui veulent conserver le toucher et la vision directe.

La simulation 4D peut être un argument complémentaire dans le choix de son chirurgien (83% des patientes estiment que le logiciel a joué un rôle dans le choix de leur chirurgien (13)). De nombreux auteurs ont vu leur taux de consultation de chirurgie mammaire et leur taux de conversion augmenter de manière nette après la mise en place du système de visualisation tridimensionnelle (17)(16) (Donfrancesco et al. constatent un taux de conversion qui s'accroît de 67% à 86% sur une série de 301 patientes).

La patiente collabore avec son chirurgien dans le choix des prothèses. Ceci est confirmé par notre étude qui démontre que 58% ont été aidées dans le choix du volume des prothèses. Le taux de réintervention était de 0% car la simulation permet d'inclure la patiente dans le processus de prise de décision. Dans la littérature, le taux de réintervention est d'environ 20% (18)(19)(20) dans les trois ans dont 30% à 40% des cas pour un changement de taille (21). Brody et al. avaient, de leur côté, constaté une augmentation de volume moyen de 50 à 100ml dans le choix des prothèses en consultation après utilisation d'un système archaïque de simulation 3D sans aucune demande de réintervention par la suite (22).

7. CONCLUSION

Les logiciels de simulation 3D sont des « cabines d'essayage » avant de programmer l'intervention d'augmentation mammaire pour des patientes qui abordent de façon très subjective le résultat qu'elles souhaitent obtenir. Il existe aujourd'hui de nombreux logiciels qui trouvent chacun leur intérêt. La dernière nouveauté de la société Crisalix permet aux patientes de voir leur simulation dans un miroir-écran. Il s'agit d'une méthode ludique qui a parfaitement trouvé sa place dans une consultation d'augmentation mammaire, notamment pour les femmes les plus âgées. Elle semble satisfaire ces dernières et augmente le taux de conversion chirurgicale.

Cependant, cette nouveauté paraît utile mais pas indispensable pour les patientes qui restent attachées à l'essai de prothèses externes. Par ailleurs, son utilisation allonge le temps de consultation et nécessite un investissement matériel plus important par le chirurgien. Il serait intéressant de pouvoir adapter le déroulement de la consultation en fonction du profil de la patiente. Une étude plus importante pourrait étudier précisément les caractéristiques de chaque patiente intéressée par la simulation.

Conflit d'intérêt : aucun

8. BIBLIOGRAPHIE

1. Hedén P, Adams WP, Maxwell P, Nava M, Scheflan M, Stan C. Aesthetic Breast Surgery: Consulting for the Future—Proposals for Improving Doctor–Patient Interactions. *Aesthetic Plast Surg.* mai 2009;33:388-94.
2. Cruz, Norma I. MD. Breast Augmentation Patient Satisfaction with 3D Simulation of Surgical Outcomes. *Plast Reconstr Surg.* oct 2015;Volume 136:p 161.
3. Elfakir H, Shipkov H, Mojallal A. [Optimization of primary aesthetic breast augmentation using implants: an evidence-based level approach]. *Ann Chir Plast Esthet.* avr 2014;59:89-96.
4. de Mortillet S. [Management of complications and unsatisfactory results of aesthetic mammary augmentation by implants]. *Ann Chir Plast Esthet.* nov 2019;64:583-93.
5. Creasman CN, Mordaunt D, Liolios T, Chiu C, Gabriel A, Maxwell GP. Four-Dimensional Breast Imaging, Part I: Introduction of a Technology-Driven, Evidence-Based Approach to Breast Augmentation Planning. *Aesthet Surg J.* 1 nov 2011;31:914-24.
6. Tzou C-HJ, Artner NM, Pona I, Hold A, Placheta E, Kropatsch WG, et al. Comparison of three-dimensional surface-imaging systems. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* avr 2014;67:489-97.
7. Tepper OM, Unger JG, Small KH, Feldman D, Kumar N, Choi M, et al. Mammometrics: The Standardization of Aesthetic and Reconstructive Breast Surgery: *Plast Reconstr Surg.* janv 2010;125:393-400.
8. Kovacs L, Eder M, Zimmermann A, Müller D, Schuster T, Papadopoulos NA, et al. Three-Dimensional Evaluation of Breast Augmentation and the Influence of Anatomic and Round Implants on Operative Breast Shape Changes. *Aesthetic Plast Surg.* août 2012;36:879-87.
9. Garson S, Delay E, Sinna R, Carton S, Delaporte T, Chekaroua K. Apport de l'imagerie 3D à la chirurgie mammaire : étude préliminaire. *Ann Chir Plast Esthet.* août 2005;50:296-308.

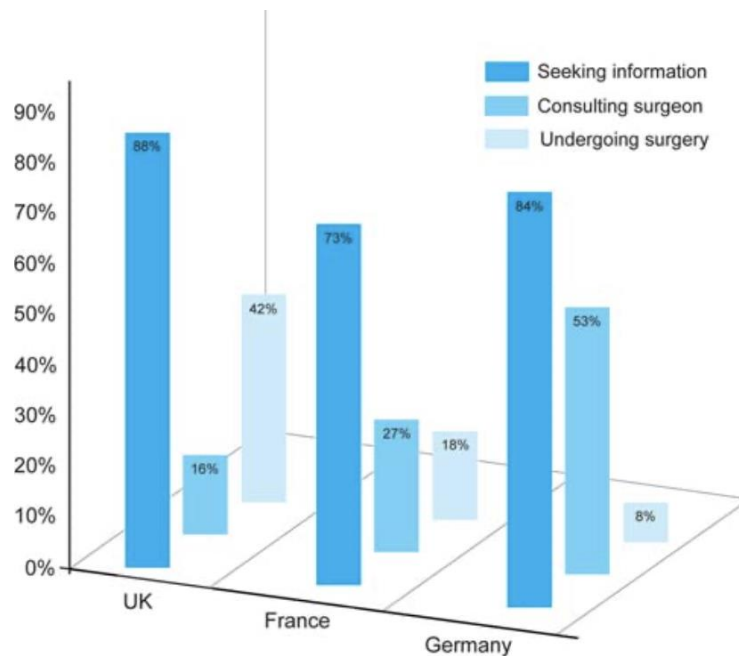
10. de Heras Ciechomski P, Constantinescu M, Garcia J, Olariu R, Dindoyal I, Le Huu S, et al. Development and Implementation of a Web-Enabled 3D Consultation Tool for Breast Augmentation Surgery Based on 3D-Image Reconstruction of 2D Pictures. *J Med Internet Res*. 3 févr 2012;14:e21.
11. Heike CL, Upson K, Stuhaug E, Weinberg SM. 3D digital stereophotogrammetry: a practical guide to facial image acquisition. *Head Face Med*. déc 2010;6:18.
12. Chavoïn JP, Teyseyre A, Grolleau JL. «Morphosein»: gestion d'une base de données patients pour le choix objectif du volume de l'implant dans les hypotrophies mammaires. *Ann Chir Plast Esthét*. oct 2005;50:487-93.
13. Vorstenbosch J, Islur A. Correlation of Prediction and Actual Outcome of Three-Dimensional Simulation in Breast Augmentation Using a Cloud-Based Program. *Aesthetic Plast Surg*. juin 2017;41:481-90.
14. de Runz A, Boccara D, Bertheuil N, Claudot F, Brix M, Simon E. Three-dimensional imaging, an important factor of decision in breast augmentation. *Ann Chir Plast Esthét*. avr 2018;63:134-9.
15. Hedén P, Jernbeck J, Hober M. Breast augmentation with anatomical cohesive gel implants: the world's largest current experience. *Clin Plast Surg*. juill 2001;28:531-52.
16. Gladilin E, Gabrielova B, Montemurro P, Hedén P. Customized Planning of Augmentation Mammoplasty with Silicon Implants Using Three-Dimensional Optical Body Scans and Biomechanical Modeling of Soft Tissue Outcome. *Aesthetic Plast Surg*. août 2011;35:494-501.
17. Donfrancesco A, Montemurro P, Hedén P. Three-Dimensional Simulated Images in Breast Augmentation Surgery: An Investigation of Patients' Satisfaction and the Correlation between Prediction and Actual Outcome. *Plast Reconstr Surg*. oct 2013;132:810-22.
18. Cunningham B. The Mentor Core Study on Silicone MemoryGel Breast Implants: *Plast Reconstr Surg*. déc 2007;120:19S-29S.
19. Spear SL, Murphy DK, Slicton A, Walker PS. Inamed Silicone Breast Implant Core Study Results at 6 Years: *Plast Reconstr Surg*. déc 2007;120:8S-16S.
20. Gounot N. [Secondary surgery for breast ptosis with implants]. *Ann Chir Plast Esthet*. nov 2019;64:569-74.

21. McCafferty LR, Casas LA, Stinnett SS, Lin S, Rho J, Skiles M. Multisite Analysis of 177 Consecutive Primary Breast Augmentations: Predictors for Reoperation. *Aesthet Surg J.* mai 2009;29:213-20.
22. Brody GS. Breast Implant Size Selection and Patient Satisfaction: *Plast Reconstr Surg.* oct 1981;68:611-3.

PARTIE III : DISCUSSION

Les femmes ont des difficultés à communiquer leurs attentes de la chirurgie. Compte tenu du fait que les besoins d'informations des patientes évoluent, toutes les voies de communication doivent être utilisées. Plusieurs méthodes sont employées : la photographie qui est utilisée par tous les chirurgiens plastiques, la simulation 3D et depuis peu la réalité virtuelle qui a été peu étudiée. La simulation 4D est encore plus novatrice car elle autorise la femme à voir sa simulation en réalité augmentée sans lunette adaptée en direct sur un écran qui s'apparente à un miroir.

Près de 80% des femmes qui consultent un chirurgien ne dépassent pas le cap de la consultation indiquant une faiblesse dans le processus de communication.



Pourcentage de femmes intéressées par la chirurgie et amenées à se faire opérer

La planification dimensionnelle est un élément essentiel et permet une évaluation objective de la taille de l'implant. Il apparaît que la réalité virtuelle présente un intérêt pour établir la planification opératoire et peut être un outil d'imagerie quotidien dans la pratique clinique. La consultation est centrée sur l'image qui ressort de cette simulation car le choix de l'implant n'est plus la décision du chirurgien uniquement. Par ailleurs, certaines attentes irréalistes et inesthétiques en matière d'augmentation mammaire doivent être expliquées aux patientes.

Les simulations sont rapides (le temps de consultation est cependant allongé) et fiables. Elles ne nécessitent aucun investissement matériel important et la formation du chirurgien est

aisée et rapide contrairement à d'autres sociétés sur le marché dont les logiciels et les machines interfèrent, plutôt qu'améliorent, le déroulement de la consultation.

Heden liste les éléments barrières d'une consultation de chirurgie d'augmentation mammaire, l'aspect final inquiète 40% des femmes

Reason	% of Women ^a
Too expensive/still saving up/don't know about cost	73
Concerned about long-term effects, including scarring or loss of sensitivity	59
Concerned about safety	49
Afraid of surgery/problems with doctor	44
Worried breast won't look natural or will change body symmetry	40
Fear that implants will need to be replaced/require reoperation	37
Don't know enough about the procedure/approach to getting surgery	37
Partner would oppose/not socially acceptable/embarrassed	25
Media or others' experiences have put me off	24
Not me/too dramatic/don't want others to think I am vain or self-absorbed	20
Afraid of not being able to breast feed/witing until after children	19
Don't know anyone close to me who has had it	14

Un certain nombre d'auteurs ont publié leurs résultats sur les différents logiciels d'imagerie 3D mais aucun n'a encore évalué le dernier logiciel proposé par la société Crisalix.

Toutes les femmes avaient bénéficié de la même chirurgie (augmentation mammaire esthétique par prothèse) selon la même technique.

Crisalix 4D a aidé les patientes à choisir leurs prothèses dans plus de la moitié des cas (58% beaucoup et 34% un peu) et le résultat post-opératoire était semblable à la simulation pour la plupart des sujets (98%). Ce résultat est confirmé dans de nombreuses études portant sur l'évaluation de la simulation 3D (52). L'étude menée par de Runz et al. confirme un taux de satisfaction de 98% tandis que 93% des patientes estiment que le logiciel les a aidées dans le choix de la taille des prothèses et 90% estiment que le résultat est proche de la simulation (50). 95% des patientes étaient satisfaites dans l'étude de Creasman et al. à 6 mois. Celui-ci est supérieur aux conclusions de l'étude de Donfrancesco et al. qui portait sur 300 cas : 72 % des patientes jugeaient le résultat plus satisfaisant contre 28% qui le jugeaient moins flatteur en utilisant le système Vectra. Cette même étude souligne l'intérêt de la simulation comme étant plus précise pour les petits seins non ptotiques (5).

Une étude portant sur la satisfaction post-opératoire révèle que la simulation était moins performante pour les seins modérément ptotiques avec une base étroite et un sillon sous mammaire haut situé. Cruz et al. retrouvaient les mêmes résultats avec une insatisfaction évaluée à 25% à l'aide du logiciel Crisalix (4). L'explication pourrait être des seins simulés trop ronds et non ptotiques car le logiciel n'évalue pas l'élasticité des tissus mous.

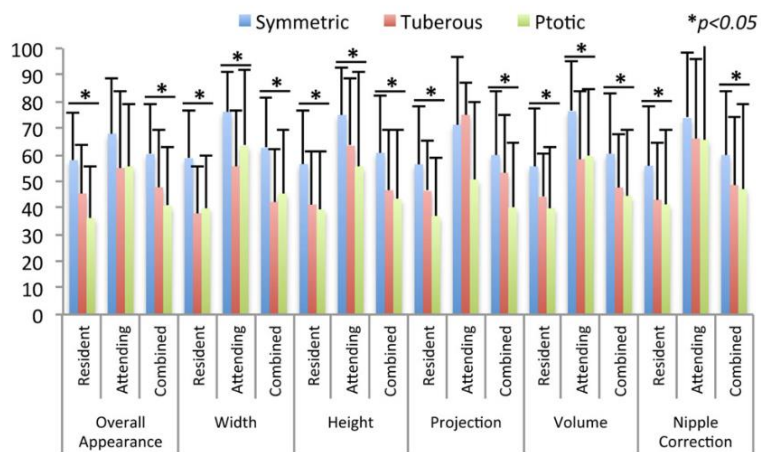
De leur côté, Vorstenbosch et al prouvent que Crisalix évalue de manière moins précise les données pré-opératoires pour des seins ptotiques ou tubéreux (52). Aucune étude n'a, pour le moment, comparé les différents logiciels de simulation 3D entre eux.



Simulation de seins tubéreux à l'aide du logiciel Crisalix 3D



Simulation de seins ptotiques à l'aide du logiciel Crisalix 3D : seule la position du mamelon a bien été évaluée



Etude sur les resultats de seins ptotiques ou tubereux

Notre étude retrouve également des résultats plus décevants pour des prothèses de gros volumes (>350cc) lors des simulations 3D ou 4D. Gladilin et al. concluent aux mêmes résultats dans leur étude sur la simulation 3D à l'aide du logiciel Vectra (53). Les patientes préfèrent alors se fier à des essais par prothèses externes.

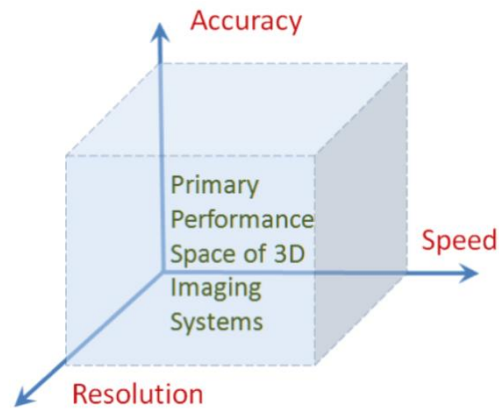
Une communication prudente doit donc accompagner la simulation pour éviter que le résultat ne soit perçu comme décevant. Les patientes sont informées que ces simulations sont réalisées à titre indicatif et qu'aucune poursuite en justice ne pourra être entreprise si la simulation n'est pas semblable à la réalité.

Par ailleurs, il semblerait dans notre étude, que les femmes les plus âgées étaient plus réceptives à l'utilisation des logiciels de simulations. En effet, il serait plus logique d'intéresser les populations les plus jeunes en recherche de nouvelles technologies. Cependant, le groupe de femmes de plus de 30 ans estime avoir été plus aidé par le logiciel 4D que le groupe de femmes de moins de 30 ans. Peu d'études se sont intéressées à l'adaptation de logiciels de simulations en fonction des caractéristiques des patientes. Seule l'étude de Runz et al. aboutit aux mêmes conclusions avec un âge médian de 30,1 ans pour 3D contre 28,6 ans pour l'essai de prothèses externes.

Geng et al. ont établi trois facteurs qui évaluent les performances techniques d'un système d'imagerie 3D (24) :

- La précision : correspond à la différence entre la mesure évaluée par le système d'imagerie (selon différentes directions x, y, z) par rapport à la réalité. Des valeurs statistiques (erreur moyenne, incertitude, RMS) quantifient cette différence et peuvent être employées pour comparer deux systèmes.
- La résolution : désigne la plus petite partie d'un objet que le système 3D peut différencier. Cela désigne également le nombre de points de mesures qu'un système peut obtenir sur une image.
- La vitesse d'acquisition.

Cependant, il existe de multiples facteurs de performance différents qui peuvent être utilisés pour caractériser un système d'imagerie 3D (champ de vision, profondeur de champ).



Facteurs déterminant les performances techniques selon Geng et al.

Dans cette étude, quasiment toutes les patientes estiment que la réalité virtuelle est utile pour planifier une chirurgie d'augmentation mammaire et même un tiers des patientes la jugent indispensable.

Cependant, il est à noter que les patientes sont toujours attachées à l'essai de prothèses externes qui leur permet de voir le résultat, du décolleté par exemple, avec un vêtement et autorise le toucher pour estimer le volume. Ces données sont contradictoires avec d'autres études qui affirment que les patientes n'auraient pas réalisé cette intervention sans l'usage préalable de la 3D (52).

Ces conclusions suggèrent que Crisalix 4D est utile à la planification pré-opératoire mais pas indispensable pour les patientes qui veulent conserver le toucher et la vision directe.

Certains auteurs concluent que les patientes surestiment la taille de la prothèse lors de la simulation. En effet, Creasman et al. estiment que 48% de leurs patientes auraient choisi un implant plus gros après une évaluation à 6 mois post-opératoire malgré un résultat proche de la simulation (54). Ceci peut être lié à un changement d'opinion subjectif. Seuls des cas d'augmentations mammaires esthétiques avaient été inclus dans cette étude.

Etude sur la satisfaction post-opératoire réalisée par Creasman à l'aide du logiciel Precision Light, Inc.

Question	Response Rate, %
Would not have undergone surgery without simulation	21
Role of imaging in choosing physician	
Main reason	16
Very	67
Moderate	16
Somewhat	5
Not a factor	3
Discussion with imaging yielded complete trust in physician	47
Accuracy of simulation	95
Implant size satisfaction six months	
Prefer larger	48
Prefer smaller	0
Same	52

Le logiciel Crisalix est très convivial pour les patientes mais également très simple à utiliser pour le chirurgien. Il ne nécessite qu'un abonnement en ligne associé à une caméra vendue par le laboratoire adaptable sur une tablette tactile Ipad (Structure Sensor Mark II, qui n'est pas obligatoire dans l'utilisation du logiciel), ce qui autorise une grande flexibilité dans son utilisation qui reste simple pour créer les simulations. D'autres systèmes de simulation nécessitent un investissement matériel plus important qui peut associer une ou plusieurs caméras, un trépied, un ordinateur, un siège spécifique pour le sujet et une table.

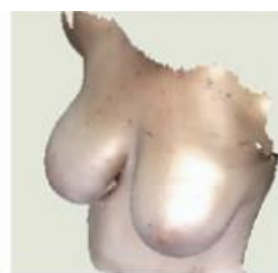
La simulation 4D peut être un argument commercial dans le choix de son chirurgien (83% des patientes estiment que le logiciel a joué un rôle dans le choix de leur chirurgien (52)). De nombreux auteurs ont vu leur taux de consultation de chirurgie mammaire et leur taux de conversion chirurgicale augmenter de manière nette après la mise en place du système de visualisation tridimensionnelle. La patiente se libère de la peur de la chirurgie en visualisant le résultat post-opératoire et en collaborant avec son chirurgien dans le choix des prothèses. Ceci est confirmé par notre étude qui démontre que 38% des femmes ont jugé le logiciel 4D très utile pour cette chirurgie et 58% qui ont été aidées dans le choix du volume des prothèses.

Le taux de reintervention était de 0% car la simulation permet d'inclure la patiente dans le processus de prise de décision. Dans la littérature, le taux de reintervention est d'environ 20% (55)(56) dans les trois ans dont 30% à 40% des cas pour un changement de taille (57). Brody et al. avaient, de leur côté, constaté une augmentation de volume moyen de 50 à 100cc dans le choix des prothèses en consultation après utilisation d'un systèmes archaïque de simulation 3D sans aucune demande de reintervention par la suite (42).

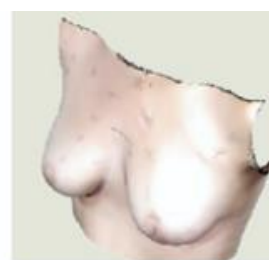
Complications des impants selon McCafferty.

Reasons for reoperation	Percent of reoperations
Patient choice (size change)	30%-40%
Implant-related and miscellaneous (Baker CC grade III/IV; deflation/ rupture; malposition; asymmetry)	60%-70%

Mailey et al. retrouvaient une différence de volume jusqu'à 30% (12,2% en moyenne) entre le volume estimé et le volume réel (45). Tepper et al. ont étudié de manière objective les mesures pré- et post-opératoires de la simulation 3D sur 14 patientes à l'aide d'un scanner laser V910 de la société Minolta dans le but de standardiser la chirurgie esthétique du sein (58)(2). Contrairement à la précédente étude, aucun changement significatif de volume n'était constaté entre la simulation et le volume après intervention.



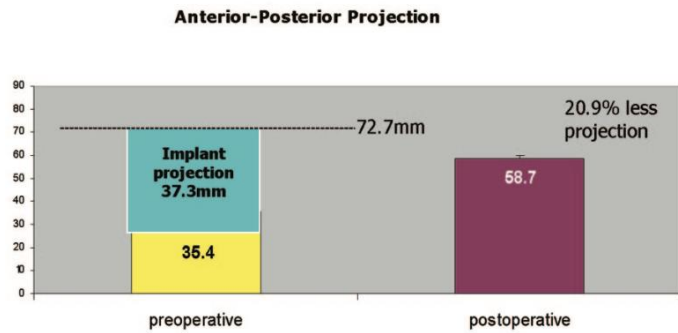
Pre-operative scan



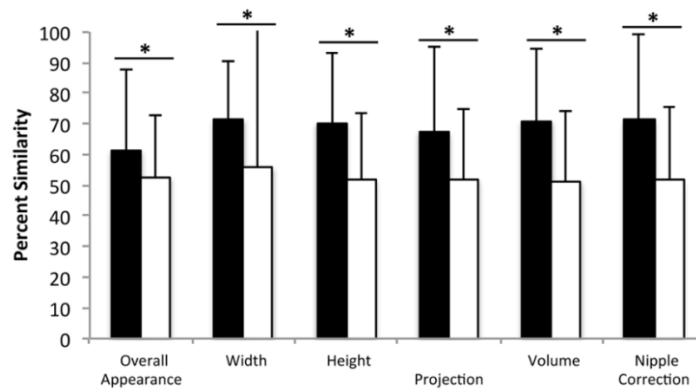
Post-breast
reduction surgery

Resultats post-opératoires après utilisation du scanner laser V910

Cependant, la mesure du plan antéro-postérieur (projection) était 20% inférieure à la simulation. Ceci pourrait être expliqué par la compression des tissus mous et le déplacement postérieur de la paroi thoracique après la mise en place de l'implant en position sous-musculaire.



Différence de mesure de la projection du sein par rapport au résultat attendu



Différences de mesures entre la simulation et le résultat post-opératoire

Le même phénomène avait déjà été étudié pour les implants en silicone dans les génioplasties d'augmentation dont le muscle mentonnier était maintenu en tension par l'implant et la mandibule subissant alors une érosion osseuse par compression (59). Il pourrait être intéressant de comparer cette mesure chez des patientes dont la prothèse est placée en position pré-musculaire.

Il serait intéressant de pouvoir adapter le déroulement de la consultation en fonction du profil de la patiente : âge, volume, morphologie. Une étude plus importante pourrait étudier précisément les caractéristiques de chaque patiente intéressée par la simulation.

CONCLUSION

Le développement de la simulation 3D impose son utilisation dans de nombreux domaines, notamment la chirurgie. La chirurgie plastique est donc naturellement un vivier pour ceux qui souhaitent développer de nouvelles adaptations. La simulation 3D a trouvé sa place dans la chirurgie d'augmentation par prothèses par l'intermédiaire de nombreuses sociétés qui s'acharnent à imaginer ce que le corps humain pourrait ressembler après la chirurgie. Crisalix est un de ces nouveaux outils. Il a clairement été démontré que ce logiciel est un outil supplémentaire dans une consultation. Il est rapide, fiable, moins coûteux que certains concurrents et augmente le taux de conversion chirurgicale.

Sous le nom de Crisalix 4D, la réalité augmentée permet aux patientes de tester un nouvel outil de simulation et au chirurgien de tester un nouvel outil de communication. Dans notre étude, les patientes ont plébiscité ce nouveau dispositif dont les simulations sont efficaces et représentent convenablement le résultat post-opératoire. Il a également aidé les patientes à choisir la taille de leurs prothèses. Ce logiciel est plus efficace pour des prothèses de faible volume. La population cible de ce logiciel semble être des femmes d'âge avancé. Cependant, il est nécessaire de ne pas exclure les essais standards de prothèses par prothèses externes dans le soutien-gorge.

Par ailleurs, Crisalix 4D augmente légèrement le temps de consultation et nécessite un investissement matériel supplémentaire. Il est donc nécessaire de prendre en compte ces éléments avant d'acquérir ce logiciel. Il serait intéressant d'étudier la simulation avec une série plus importante de sujets pour définir la population cible intéressée par cet outil.

BIBLIOGRAPHIE

1. ISAPSRResults-2018.pdf.
2. Tepper OM, Small KH, Unger JG, Feldman DL, Kumar N, Choi M, et al. 3D Analysis of Breast Augmentation Defines Operative Changes and Their Relationship to Implant Dimensions: *Ann Plast Surg.* mai 2009;62:570-5.
3. Hedén P, Adams WP, Maxwell P, Nava M, Schefflan M, Stan C. Aesthetic Breast Surgery: Consulting for the Future—Proposals for Improving Doctor–Patient Interactions. *Aesthetic Plast Surg.* mai 2009;33:388-94.
4. Cruz, Norma I. MD. Breast Augmentation Patient Satisfaction with 3D Simulation of Surgical Outcomes. *Plast Reconstr Surg.* oct 2015;Volume 136:p 161.
5. Donfrancesco A, Montemurro P, Hedén P. Three-Dimensional Simulated Images in Breast Augmentation Surgery: An Investigation of Patients’ Satisfaction and the Correlation between Prediction and Actual Outcome. *Plast Reconstr Surg.* oct 2013;132:810-22.
6. Eder M, Waldenfels F v., Sichtermann M, Schuster T, Papadopoulos NA, Machens H-G, et al. Three-dimensional evaluation of breast contour and volume changes following subpectoral augmentation mammoplasty over 6 months. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* sept 2011;64:1152-60.
7. Ruiz G, Ramon E, García J, Sukno FM, Ballester MAG. Weighted regularized statistical shape space projection for breast 3D model reconstruction. *Med Image Anal.* juill 2018;47:164-79.
8. Tzou C-HJ, Artner NM, Pona I, Hold A, Placheta E, Kropatsch WG, et al. Comparison of three-dimensional surface-imaging systems. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* avr 2014;67:489-97.
9. Creasman CN, Mordaunt D, Liolios T, Chiu C, Gabriel A, Maxwell GP. Four-Dimensional Breast Imaging, Part I: Introduction of a Technology-Driven, Evidence-Based Approach to Breast Augmentation Planning. *Aesthet Surg J.* 1 nov 2011;31:914-24.
10. Eder M, Papadopoulos NA, Kovacs L. Re: virtual 3-dimensional modeling as a valuable adjunct to aesthetic and reconstructive breast surgery. *Am J Surg.* oct 2007;194:563-5.

11. Kovacs L, Eder M, Hollweck R, Zimmermann A, Settels M, Schneider A, et al. Breast volume measurement using 3d surface imaging. *J Biomech.* janv 2006;39:S213.
12. Kovacs L, Eder M, Zimmermann A, Müller D, Schuster T, Papadopulos NA, et al. Three-Dimensional Evaluation of Breast Augmentation and the Influence of Anatomic and Round Implants on Operative Breast Shape Changes. *Aesthetic Plast Surg.* août 2012;36:879-87.
13. Kovacs L, Eder M, Hollweck R, Zimmermann A, Settles M, Schneider A, et al. Comparison between breast volume measurement using 3D surface imaging and classical techniques. *The Breast.* avr 2007;16:137-45.
14. Kwong JW, Tijerina JD, Choi S, Luan A, Feng CL, Nguyen DH, et al. Assessing the Accuracy of a 3-Dimensional Surface Imaging System in Breast Volume Estimation. *Ann Plast Surg.* mai 2020;84:S311-7.
15. Thalmaan D. Die Stereogrammetrie: ein diagnostisches Hilfsmittel in der Kieferorthopaedie. Zurich Switz Univ Zurich. 1944;
16. Tanner JM, Weiner JS, with an Addendum on an Aircraft Camera Technique. by Brian Stanford and J. M. Tanner. The reliability of the photogrammetric method of anthropometry, with a description of a miniature camera technique. *Am J Phys Anthropol.* juin 1949;7:145-86.
17. Burke PH, Beard LFH. Stereophotogrammetry of the face. *Am J Orthod.* oct 1967;53:769-82.
18. Beard LF, Burke PH. Evolution of a system of stereophotogrammetry for the study of facial morphology.
19. Chang JB, Small KH, Choi M, Karp NS. Three-Dimensional Surface Imaging in Plastic Surgery: Foundation, Practical Applications, and Beyond. *Plast Reconstr Surg.* mai 2015;135:1295-304.
20. Stern CS, Schreiber JE, Surek CC, Garfein ES, Jelks EB, Jelks GW, et al. Three-Dimensional Topographic Surface Changes in Response to Compartmental Volumization of the Medial Cheek: Defining a Malar Augmentation Zone. *Plast Reconstr Surg.* mai 2016;137:1401-8.
21. Takasaki H. Moiré Topography. *Appl Opt.* 1 juin 1970;9:1467.

22. Karlan MS. Contour Analysis in Plastic and Reconstructive Surgery. Arch Otolaryngol - Head Neck Surg. 1 nov 1979;105:670-9.
23. Durdle NG, Thayyoor J, Raso VJ. An improved structured light technique for surface reconstruction of the human trunk. In: Conference Proceedings IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering Waterloo, Ont., Canada: IEEE; 1998. p. 874-7.
24. Geng J. Structured-light 3D surface imaging: a tutorial. Adv Opt Photonics. 30 juin 2011;3:128.
25. Olesen OV, Paulsen RR, Hojgaard L, Roed B, Larsen R. Motion tracking in narrow spaces: a structured light approach. Med Image Comput Comput Assist Interv. In 2010. p. ;13:253e60.
26. Tzou C-HJ, Frey M. Evolution of 3D Surface Imaging Systems in Facial Plastic Surgery. Facial Plast Surg Clin N Am. nov 2011;19:591-602.
27. Galdino, Greg M., Nahabedian, Maurice, Chiaramonte, Michael, Geng, Jason Z., Klatsky, Stanley, Manson, Paul. Clinical Applications of Three-Dimensional Photography in Breast Surgery. juill 2002;110.
28. Garson S, Delay E, Sinna R, Carton S, Delaporte T, Chekaroua K. Apport de l'imagerie 3D à la chirurgie mammaire : étude préliminaire. Ann Chir Plast Esthét. août 2005;50:296-308.
29. Tepper OM, Small K, Rudolph L, Choi M, Karp N. Virtual 3-dimensional modeling as a valuable adjunct to aesthetic and reconstructive breast surgery. Am J Surg. oct 2006;192:548-51.
30. Boot JC, Naftel AJ, Ramli ARB. BODYMAP: An image processing system for the measurement of body surface profiles encountered in skin expansion surgery. Int J Biomed Comput. oct 1992;31:189-204.
31. Kovacs L, Yassouridis A, Zimmermann A, Brockmann G, W?hnl A, Blaschke M, et al. Optimization of 3-Dimensional Imaging of the Breast Region With 3-Dimensional Laser Scanners: Ann Plast Surg. mars 2006;56:229-36.
32. Nahabedian MY, Galdino G. Symmetrical Breast Reconstruction: Is There a Role for Three-Dimensional Digital Photography: Plast Reconstr Surg. nov 2003;112:1582-90.

33. Tepper OM, Unger JG, Small KH, Feldman D, Kumar N, Choi M, et al. Mammometrics: The Standardization of Aesthetic and Reconstructive Breast Surgery: *Plast Reconstr Surg.* janv 2010;125:393-400.
34. Kim Y, Lee K, Kim W. 3D virtual simulator for breast plastic surgery. *Comput Animat Virtual Worlds.* 2008;19:515-26.
35. Westreich M. Anthropomorphic Breast Measurement: Protocol and Results in 50 Women with Aesthetically Perfect Breasts and Clinical Application: *Plast Amp Reconstr Surg.* août 1997;100:468-79.
36. Smith DJ, Palin WE, Katch VL, Bennett JE. Breast Volume and Anthropomorphic Measurements: Normal Values. *Plast Reconstr Surg.* sept 1986;78:331-5.
37. Kalbhen CL, McGill JJ, Fendley PM, Corrigan KW, Angelats J. Mammographic determination of breast volume: comparing different methods. *Am J Roentgenol.* déc 1999;173:1643-9.
38. Bulstrode N, Bellamy E, Shrotria S. Breast volume assessment: comparing five different techniques. *The Breast.* avr 2001;10:117-23.
39. Tezel E, Numanoğlu A. Practical Do-It-Yourself Device for Accurate Volume Measurement of Breast: *Plast Reconstr Surg.* mars 2000;105:1019-23.
40. Bouman FG. Volumetric measurement of the human breast and breast tissue before and during mammoplasty. *Br J Plast Surg.* 1970;23:263-4.
41. Schultz RC, Dolezal RF, Nolan J. Further Applications of Archimedes' Principle in the Correction of Asymmetrical Breasts: *Ann Plast Surg.* févr 1986;16:98-101.
42. Brody GS. Breast Implant Size Selection and Patient Satisfaction: *Plast Reconstr Surg.* oct 1981;68:611-3.
43. Liu C, Luan J, Mu L, Ji K. The Role of Three-Dimensional Scanning Technique in Evaluation of Breast Asymmetry in Breast Augmentation: A 100-Case Study: *Plast Reconstr Surg.* déc 2010;126:2125-32.
44. Mineyev M, Kramer D, Kaufman L, Carlson J, Frankel S. Measurement of Breast Implant Volume with Magnetic Resonance Imaging: *Ann Plast Surg.* avr 1995;34:348-51.

45. Mailey B, Freel A, Wong R, Pointer DT, Khoobehi K. Clinical Accuracy and Reproducibility of Portrait 3D Surgical Simulation Platform in Breast Augmentation. *Aesthet Surg J.* 1 janv 2013;33:84-92.
46. Losken A, Seify H, Denson DD, Paredes AA, Carlson GW. Validating Three-Dimensional Imaging of the Breast: *Ann Plast Surg.* mai 2005;54:471-6.
47. Heike CL, Upson K, Stuhaug E, Weinberg SM. 3D digital stereophotogrammetry: a practical guide to facial image acquisition. *Head Face Med.* déc 2010;6:18.
48. de Heras Ciechowski P, Constantinescu M, Garcia J, Olariu R, Dindoyal I, Le Huu S, et al. Development and Implementation of a Web-Enabled 3D Consultation Tool for Breast Augmentation Surgery Based on 3D-Image Reconstruction of 2D Pictures. *J Med Internet Res.* 3 févr 2012;14:e21.
49. Chavoïn JP, Teyssere A, Grolleau JL. « Morphosein » : gestion d'une base de données patients pour le choix objectif du volume de l'implant dans les hypotrophies mammaires. *Ann Chir Plast Esthét.* oct 2005;50:487-93.
50. de Runz A, Boccara D, Bertheuil N, Claudot F, Brix M, Simon E. Three-dimensional imaging, an important factor of decision in breast augmentation. *Ann Chir Plast Esthét.* avr 2018;63:134-9.
51. Tebbetts JB. Dual Plane Breast Augmentation: Optimizing Implant-Soft-Tissue Relationships in a Wide Range of Breast Types. *Plast Reconstr Surg.* 2006;118:18.
52. Vorstenbosch J, Islur A. Correlation of Prediction and Actual Outcome of Three-Dimensional Simulation in Breast Augmentation Using a Cloud-Based Program. *Aesthetic Plast Surg.* juin 2017;41:481-90.
53. Gladilin E, Gabrielova B, Montemurro P, Hedén P. Customized Planning of Augmentation Mammoplasty with Silicon Implants Using Three-Dimensional Optical Body Scans and Biomechanical Modeling of Soft Tissue Outcome. *Aesthetic Plast Surg.* août 2011;35:494-501.
54. Creasman CN, Mordaunt D, Liolios T, Chiu C, Gabriel A, Maxwell GP. Four-Dimensional Breast Imaging, Part II: Clinical Implementation and Validation of a Computer Imaging System for Breast Augmentation Planning. *Aesthet Surg J.* 1 nov 2011;31:925-38.

55. Cunningham B. The Mentor Core Study on Silicone MemoryGel Breast Implants: *Plast Reconstr Surg.* déc 2007;120:19S-29S.
56. Spear SL, Murphy DK, Slicton A, Walker PS. Inamed Silicone Breast Implant Core Study Results at 6 Years: *Plast Reconstr Surg.* déc 2007;120:8S-16S.
57. McCafferty LR, Casas LA, Stinnett SS, Lin S, Rho J, Skiles M. Multisite Analysis of 177 Consecutive Primary Breast Augmentations: Predictors for Reoperation. *Aesthet Surg J.* mai 2009;29:213-20.
58. Tepper OM, Choi M, Small K, Unger J, Davidson E, Rudolph L, et al. An Innovative Three-Dimensional Approach to Defining the Anatomical Changes Occurring after Short Scar-Medial Pedicle Reduction Mammoplasty: *Plast Reconstr Surg.* juin 2008;121:1875-85.
59. Matarasso A, Elias AC, Elias RL. Labial incompetence: a marker for progressive bone resorption in silastic chin augmentation. *Plast Reconstr Surg.* nov 1996;98:1007-14; discussion 1015.

VU

NANCY, le 10 septembre 2020

Le Président de Thèse

Professeur Etienne SIMON

NANCY, le 10 septembre 2020

Le Doyen de la Faculté de Médecine

Professeur Marc BRAUN

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE/ 11372C

NANCY, le 15 septembre 2020

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE,

Professeur Pierre MUTZENHARDT

RESUME DE LA THESE

Introduction : L'augmentation mammaire est l'intervention de chirurgie esthétique la plus pratiquée dans le monde. La consultation pré-opératoire impose la réalisation de simulations nécessaires au choix des prothèses. Depuis peu, le développement des technologies 3D a permis de proposer un nouvel outil de simulation. Différentes sociétés proposent aujourd'hui des systèmes complexes qui nécessitent un investissement matériel et financier important. La société Crisalix a développé un nouveau dispositif 3D simple, moins coûteux et moins contraignant, plus adapté à une consultation de routine. Récemment, Crisalix 4D a été créé. Sur le même principe, les patientes retrouvent leur simulation en réalité augmentée en direct sur un écran TV sans dispositif de visualisation adapté.

Observation : Une étude monocentrique a été réalisée incluant 26 patientes qui ont bénéficié de cette simulation suivie de la chirurgie par le même chirurgien (A. D. R.). Lors de la consultation pré-opératoire, elles ont également bénéficié de l'essai de prothèses par le logiciel Crisalix 3D et par prothèses mammaires externes. Les critères d'exclusion sont : correction de ptose, malformation mammaire, reconstruction mammaire. Le critère de jugement principal est la satisfaction des patientes pour le logiciel Crisalix 4D. Les critères de jugement secondaires sont : l'évaluation de la satisfaction en fonction de l'âge et du volume des prothèses, la comparaison de la satisfaction par rapport au logiciel Crisalix 3D et l'essai par prothèses externes.

Discussion : La simulation a aidé les sujets à choisir leurs prothèses et était semblable au résultat final dans la majorité des cas. Cependant, les patientes favorisent la méthode d'essai par prothèses externes. Le logiciel semble plus efficace pour les prothèses de faible volume et a été majoritairement plébiscité par les femmes les plus âgées de l'étude. Le temps de consultation est allongé et un investissement supplémentaire est nécessaire pour le chirurgien.

Conclusion : De nombreux chirurgiens utilisent déjà Crisalix 3D. Le dernier né de la société Crisalix est un outil supplémentaire au cours d'une consultation d'augmentation mammaire. Il semble satisfaire les patientes et permet au chirurgien d'augmenter son taux de conversion chirurgicale. Les femmes restent cependant attachées aux méthodes classiques d'essai de prothèses. Il serait intéressant d'adapter la consultation au profil de la patiente.

TITRE EN ANGLAIS : Comparative study Crisalix 4D versus Crisalix 3D versus testing external breast prostheses in breast augmentation surgery.

THESE : MEDECINE SPECIALISEE – ANNEE 2020

MOTS CLES : Simulation 3D ; Crisalix ; augmentation mammaire

INTITULE ET ADRESSE :

UNIVERSITE DE LORRAINE

Faculté de médecine de Nancy

9, avenue de la Forêt de Haye

54505 VANDOEUVRE-LES-NANCY
