Évaluation du logiciel TIVMI lors d'un processus de reconstruction faciale informatisée

Estelle Creppy

▶ **To cite this version:**

Estelle Creppy. Évaluation du logiciel TIVMI lors d'un processus de reconstruction faciale informatisée. Chirurgie. 2015. dumas-01245447

HAL Id: dumas-01245447

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01245447

Submitted on 17 Dec 2015

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.

Université de Bordeaux
Collège des Sciences de la Santé
UFR des Sciences Odontologiques

Année 2015 N°88

Thèse pour l'obtention du

DIPLÔME d' ÉTAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par Estelle Kockwey Ibrilola CREPPY

Née le 9 OCTOBRE 1990 à l'Isle d'Espagnac (16)

Le 14 décembre 2015

Évaluation du Logiciel TIVMI lors d'un processus de reconstruction faciale informatisée

Directeur de thèse

Docteur Christophe BOU

Membres du Jury

Présidente	Mme M-J. BOILEAU	Professeur des Universités
Directeur	Mr C. BOU	Maître de Conférences des Universités
Rapporteur	Mr N. GLOCK	Assistant Hospitalo-Universitaire
Assesseur	Mme C. BADET	Maître de Conférences des Universités

UNIVERSITE DE BORDEAUX

MAJ 01/11/2015

Président	M. TUNON DE LARA Manuel
Directeur de Collège des Sciences de la Santé	M. PELLEGRIN Jean-Luc

COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE
UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

Directrice	Mme BERTRAND Caroline	58-02
Directrice Adjointe – Chargée de la Formation initiale	Mme ORIEZ-PONS Dominique	58-01
Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche	M. FRICAIN Jean-Christophe	57-02
Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales	M. LASSERRE Jean-François	58-02

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme	Caroline	BERTRAND	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-02
Mme	Véronique	DUPUIS	Prothèse dentaire	58-02
M.	Jean-Christophe	FRICAIN	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme	Elise	ARRIVÉ	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
Mme	Cécile	BADET	Sciences biologiques	57-03
M.	Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Michel	BARTALA	Prothèse dentaire	58-02
M.	Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Christophe	BOU	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
Mme	Sylvie	BRUNET	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
M.	Sylvain	CATROS	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
M.	Stéphane	CHAPENOIRE	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M.	Jacques	COLAT PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M,	Jean-Christophe	COUTANT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M.	François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Raphael	DEVILLARD	Odontologie conservatrice- Endodontie	58-01
M.	Emmanuel	D'INCAU	Prothèse dentaire	58-02
M.	Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M.	Dominique	GILLET	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	58-02
M.	Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme	Odile	LAVIOLE	Prothèse dentaire	58-02
M.	Jean-Marie	MARTEAU	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
Mme	Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Adrien	NAVAUD	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Dominique	ORIEZ	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Jean-François	PELI	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01

M.	Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
M.	Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Johan	SAMOT	Sciences biologiques	57-03
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noélie	THEBAUD	Sciences biologiques	57-03
M.	Eric	VACHEY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01

ASSISTANTS

Mme	Audrey	AUSSEL	Sciences biologiques	57-03
M.	Wallid	BOUJEMAA AZZI	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Julien	BROTHIER	Prothèse dentaire	58-02
M.	Mathieu	CONTREPOIS	Prothèse dentaire	58-02
M.	Guillaume	CRESTE	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Clarisse	DE OLIVEIRA	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Cédric	FALLA	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
M.	Guillaume	FENOUL	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Nicolas	GLOCK	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
Mme	Sandrine	GROS	Orthopédie dento-faciale	56-02
Mme	Olivia	KEROUREDAN	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Alice	LE NIR	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
Mme	Karine	LEVET	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
M.	Alexandre	MARILLAS	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Marie	MÉDIO	Orthopédie dento-faciale	56-02
Mme	Darrène	NGUYEN	Sciences biologiques	57-03
M.	Alice	NOUREDDINE	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Chloé	PELOURDE	Orthopédie dento-faciale	56-02
Mme	Candice	PEYRAUD	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Jean-Philippe	PIA	Prothèse dentaire	58-02
M.	Mathieu	PITZ	Parodontologie	57-01
Mme	Charlotte	RAGUENEAU	Prothèse dentaire	58-02
M.	Clément	RIVES	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	François	ROUZÉ L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-02
M.	François	VIGOUROUX	Parodontologie	57-01
			Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
			Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02

Remerciements

À notre Présidente de thèse

Madame le Professeur Marie-José BOILEAU

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section Orthopédie dento-faciale 56-02

Je vous remercie pour l'honneur que vous me faites en acceptant la présidence de mon jury. Veuillez trouver ici, Madame le Professeur, le témoignage de ma profonde gratitude et de mes sentiments les plus respectueux.

À notre Directeur de thèse

Monsieur le Docteur Christrophe BOU

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section Prévention épidémiologie - Économie de la santé - Odontologie légale 56-03

Je vous remercie pour votre enseignement chaleureux dispensé au cours de ces trois années à l'hôpital Saint-André, pour m'avoir proposé et fait confiance pour traiter cet intéressant sujet de thèse, pour m'avoir suivie et soutenue jusqu'à la fin de mon cursus.
Veuillez trouver ici, Monsieur, l'expression de ma profonde et respectueuse reconnaissance.

À notre Rapporteur de thèse

Monsieur le Docteur Nicolas Glock

Assistant Hospitalo-Universitaire

Sous-section Sciences anatomiques et physiologiques 58-03

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites de bien vouloir juger ce travail. Veuillez trouver ici, Monsieur, le témoignage de mes remerciements les plus respectueux.

À notre Assesseur

Madame le Docteur Cécile BADET

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section Sciences Biologiques 57-03

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites en acceptant de participer à ce jury de thèse. Il me tenait à cœur, par l'amitié qui vous lie à ma famille, que vous soyez présente dans mon jury de thèse. Veuillez trouver ici, Madame, le témoignage de ma respectueuse gratitude.

À ma famille,

Merci d'être là. Séchez vos larmes.

À tous les autres,

La brièveté de ce discours reflétera paradoxalement l'incommensurable étendue de l'amour que je vous porte, merci.

Évaluation du Logiciel TIVMI lors d'un processus de reconstruction faciale informatisée

Table des matières

INTRODUCTION....8

I. La reconstruction faciale en Odontologie légale....10
I.1 Objectif....10
I.1.1 La reconstruction faciale dans un processus d'identification 10
I.1.1.1 L'identification médico-légale....10
I.1.1.2 L'identification comparative....11
I.1.1.3 L'identification estimative....13
I.1.2 Reconstruction Faciale : Principes généraux 15
I.1.3 Reconstruction Faciale et Reconnaissance Faciale....16
I.2 Principes et Méthodes....17
I.2.1 Généralités 17
I.2.2 L'épaisseur de tissus mous....17
I.2.2.1 Anciennes méthodes....17
I.2.2.2 Nouvelles méthodes....18
I.2.3 Méthode manuelle....20
I.2.4 Méthode informatisée....22
I.2.4.1 Déformation volumique....22
I.2.4.2 Déformation surfacique....24
I.2.4.3 Base de données....25

II. Le logiciel TIVMI....26
II.1 Principe....26
II.2 L'algorithme HMH....27
II.3 L'AFA3D....27

III. Protocole Expérimental....31
III.1 Protocole....31
III.1.1 Problématique....31
III.1.2 Objectifs....32
III.1.3 Hypothèse....32
III.1.4 Échantillon....32
III.1.5 Méthodologie....33
III.2 Résultats 40
III.2.1 Évaluation des visages réels (TIVMI, Amira, OsiriX)....40
III.2.2 Évaluation Visage réel – Reconstructions....45
III.2.3 Superposition Visages réels - Reconstructions 50
III.2.4 Erreurs intra-opérateur....55
III.3 Discussion....57

CONCLUSION 60

BIBLIOGRAPHIE....62

ANNEXE....65

INTRODUCTION

L'unicité dans la diversité. Ce principe peut résumer l'individualité de l'être humain parmi ses semblables. Rendre aux défunts leur identité dans le but d'offrir aux proches des disparus des certitudes, de résoudre une enquête judiciaire, de conserver leur humanité même dans la mort, c'est l'objectif que s'est fixé l'anthropologie médico-légale depuis maintenant deux siècles (1,2).

L'exigence de l'expertise médico-légale et les progrès de la science ont fait évoluer ce domaine au cours des années et la reconstruction faciale a vu le jour comme technique complémentaire aux méthodes d'identification judiciaire. Son rôle qui ne se limite pas à l'anthropologie médico-légale, mais s'étend à la chirurgie orale ou peut prétendre illustrer l'Histoire (3), satisfaire la curiosité, en rendant un visage à des personnages célèbres (4), a dans le domaine judiciaire dû faire face à de nombreux détracteurs.

La première méthode élaborée, la méthode manuelle, par son côté artistique et son manque d'objectivité n'a pas convaincu (5). La méthode informatique apparaît grâce à l'association d'informaticiens et d'anthropologistes. Si de nets progrès sont encore possibles au niveau de la précision du processus de reconstitution, cette méthode permet d'envisager un bel avenir à la reconstruction faciale (6).

TIVMI (Treatment and Increased Vision for Medical Imaging) est un logiciel développé par Bruno Dutailly (Université Bordeaux 1) dans le cadre de la recherche en anthropologie. Il permet d'effectuer des mesures à partir d'imagerie médicale. Un module complémentaire de reconstruction faciale, l'AFA3D (Anthropological Facial Approximation in 3 Dimensions), mis au point par Pierre Guyomarc'h et intégré au logiciel, a permis d'élargir son champ d'utilisation.

Dans le domaine de la reconstruction faciale et des différentes méthodes informatiques proposées, l'absence d'études venant illustrer l'efficacité des logiciels ou techniques élaborés est flagrante. Il apparaît utile de proposer un travail d'évaluation de la fiabilité du logiciel TIVMI et ainsi fournir une ébauche de méthodologie qui pourrait éventuellement s'appliquer par la suite à d'autres logiciels de reconstruction faciale.

Après avoir positionné l'anthropologie médico-légale et ses différentes techniques d'identification, identifié le lien intime entre reconstruction et reconnaissance faciale et détaillé l'évolution de la reconstruction faciale au fil du temps par le biais des avancées de la science, ce travail proposera d'évaluer le logiciel TIVMI au travers de 7 cas de reconstructions faciales de patients.

I. La reconstruction faciale en Odontologie légale

I.1 Objectif

I.1.1 La reconstruction faciale dans un processus d'identification

Chaque individu est unique au sein de la diversité de l'espèce humaine. Identifier un corps, pour la famille, pour la justice, pour la dignité d'un défunt, c'est établir avec certitude son état civil et ainsi le reconnaître. Les événements actuels, catastrophes naturelles, actes terroristes, accidents ont inévitablement amené le système d'identification des corps à élaborer des moyens efficaces pour identifier chaque victime (7).

L'anthropologie médico-légale ou anthropologie judiciaire concerne la collecte, l'analyse et l'identification de restes humains en continuité et complémentarité de l'autopsie classique lorsque le corps se trouve dans un état d'altération avancé (corps découvert à l'état de squelette, carbonisé, décomposition avancée) (8). En effet l'altération des corps est telle que la reconnaissance visuelle est impossible, et l'absence d'objets personnels empêche d'établir une identité. Pluridisciplinaire, elle fait intervenir médecins légistes, chirurgiens-dentistes et anthropologistes médico-légaux.
Les origines de l'anthropologie judiciaire remontent au 19e siècle en France avec le médecin, anatomiste et anthropologue Paul Broca (1). Dans le but d'appuyer les enquêtes judiciaires, la rigueur exigée de cette science entraîne le développement du système légal, de la place de l'expert et un renforcement des méthodes d'identification.

I.1.1.1 L'identification médico-légale

Il existe deux grands types d'identification en sciences médico-légales, l'identification comparative et l'identification estimative ou évaluative.

René Piedelièvre, médecin légiste, définit les bases de l'identification comparative :
« Identifier une personne, un cadavre, c'est rechercher des indices médico-légaux suffisamment solides pour être comparés aux caractères physiques connus d'un individu

disparu » (9). L'identification comparative est basée sur la notion de similitude entre les renseignements obtenus lors de l'autopsie du corps de l'individu (documents post-mortem) et les renseignements ante-mortem relatifs à la personne disparue. Elle nécessite donc une présomption quant à l'identité de la victime (10).
Sassouni, en 1957 va plus loin en créant l'identification « reconstructive » ou « estimative » qui est basée sur l'apport d'autres indices (9). L'identification estimative consiste à recueillir suffisamment d'éléments pour orienter les enquêteurs grâce à une sorte de fiche signalétique : sexe, âge, taille, antécédents médicaux, population d'origine, habitudes de vie, milieu socioprofessionnel…

La stabilité des structures dentaires, la transmission des caractères anatomiques et leur pérennité expliquent l'importance de l'odontologie dans ce domaine.

I.1.1.2 L'identification comparative

L'identification comparative odontologique se définit par l'étude et la comparaison ante/post mortem des indices thérapeutiques (soins dentaires conservateurs, prothèses...), anatomiques (nombre/forme/position/structure des dents, agénésies dentaires, amélogénèse imparfaite), physiologiques (fluorose) et pathologiques (caries, problème parodontal, traumatisme, tumeur) afin d'établir l'identité «supposée connue» d'un individu (10).

Il s'agit d'établir entre le corps à identifier et l'identité suspectée des points de concordance, de discordance ou encore d'exclusion. Deux études comparatives seront effectuées, celle des relevés post mortem et ante mortem, celle des clichés radiographiques post mortem et ante mortem. L'expert pourra, grâce à ses observations, aboutir à quatre types de conclusions (9) :

- Concordance parfaite : les preuves ante mortem et post mortem rassemblent des détails suffisants pour prouver, sans le moindre doute, qu'il s'agit du même individu.
- Concordance partielle : les preuves ante mortem et post mortem concordent, mais une identification positive avec certitude ne peut être établie à cause de la mauvaise qualité ou de la quantité des preuves ante mortem ou post mortem recueillies.
- Concordance possible : les informations ante mortem ou post mortem sont insuffisantes pour établir la moindre conclusion.
- Exclusion : les données sont manifestement incompatibles.

Il existe quatre catégories de supports qui vont permettre de mener l'enquête :

- Les supports verbaux : résultat de l'interrogatoire des proches et des médecins traitants, transcrits par les enquêteurs dans les procès-verbaux.
- Les supports écrits : dossier médical du patient qui retrace son parcours de santé et sa chronologie. Ces supports tendent à disparaître au profit du support informatique.
- Les supports images : regroupent les radiographies habituelles et spécialisées, les photographies.
- Les supports informatiques : se développent de plus en plus. La radiographie est directement enregistrée grâce au numérique. Il en est de même pour le fichier clinique et les photographies.

Un autre élément intervenant dans un processus d'identification comparative demeure : l'ADN. « L'acide désoxyribonucléique ou ADN est une molécule présente dans toutes les cellules vivantes, et qui renferme l'ensemble des informations nécessaires au développement et au fonctionnement d'un organisme. C'est aussi le support de l'hérédité, car il est transmis lors de la reproduction, de manière intégrale ou non. Il porte donc l'information génétique et constitue le génome des êtres vivants » (Larousse médical).

Il existe deux types d'ADN utilisables pour identifier le génome d'un individu : l'ADN nucléaire et l'ADN mitochondrial. L'ADN nucléaire est composé de deux brins enroulés en double hélice. Il est issu pour moitié du père et pour l'autre moitié de la mère. L'ADN mitochondrial est simple brin et d'origine maternelle, donc moins discriminant que le nucléaire. Cependant, il est plus souvent préservé grâce à la haute résistance de la mitochondrie et il peut être analysé sur des traces anciennes ou fortement dégradées sur lesquelles l'ADN nucléaire n'est plus exploitable.

L'utilisation de l'ADN mitochondrial est une bonne alternative lorsque les échantillons ne permettent pas une analyse de l'ADN nucléaire, mais son origine maternelle empêche d'identifier de manière individuelle les membres d'une même famille du côté maternel.

Les premières études sur la persistance de l'ADN après la mort d'un organisme datent de 1984, à partir d'échantillon de momies égyptiennes.

Il existe plusieurs facteurs extrinsèques pouvant influencer la qualité et la quantité d'ADN :

- L'eau et l'humidité : l'eau va accélérer la putréfaction.
- La carbonisation
- Les sols : selon la composition du terrain (sable, terre…), son acidité ou son alcalinité, la conservation sera plus ou moins longue.

Les investigations par ADN (exemple : pulpe dentaire) servent à obtenir «l'identification génétique» d'un individu par le biais des empreintes génétiques (régions variables d'ADN propres à chaque individu). Il est nécessaire d'avoir un échantillon biologique de référence pour avoir une valeur comparative d'identification.

I.1.1.3 L'identification estimative

L'identification estimative ou évaluative tend à définir l'identité d'un individu, souvent lorsque l'état de dégradation du cadavre est à un stade avancé et qu'aucune présomption d'identité n'est proposée. Une fois les caractéristiques du corps établi, la recherche par rapport à une base de données de personnes disparues permettra d'engager un processus d'identification comparative pour permettre une identification positive et certaine.

L'approche des experts consiste à retracer les étapes de la vie d'un individu à partir des pièces anatomiques qui leur sont confiées. Ceci doit permettre de confirmer l'appartenance à l'espèce humaine lorsque les pièces sont fragmentées ou disparates, mais aussi d'orienter le diagnostic de l'appartenance ethnique, du sexe, de l'âge, de la stature et des éventuelles causes médico-légales de décès (traumatisme, balistique...) (7). Des prélèvements pour l'étude anatomo-pathologique sont systématiquement réalisés ainsi que d'autres pour l'identification génétique.

- Évaluation du groupe ethnique : utilisation d'analyse céphalométrique et d'indices crâniens et faciaux (prognathie/rétrognathie, biproalvéolie...).
- Évaluation du sexe : l'os le plus discriminant est l'os coxal, mais également le crâne, en étudiant certains critères scopiques comme la proéminence des arcades sourcilières, l'inclinaison de l'os frontal, la forme des orbites, la forme du processus mastoïde, la crête occipitale, la forme de la mandibule.
- Évaluation de l'âge : grâce à l'os coxal et à l'étude de la symphyse pubienne et/ou de la surface auriculaire, à la forme de la surface articulaire costo-sternale de la 4° côte, au degré d'oblitération des sutures exo et endo crâniennes, à la maturation de la dentition d'enfants/adolescents, à l'analyse structurale de la sénescence des éléments caractéristiques de la denture adulte (usure, parodontose, dentine secondaire, apposition cément, résorption radiculaire, transparence radiculaire) (10).

Lorsque le cas le permet, il existe un certain nombre d'objets présents sur le corps que l'on peut réunir en un premier groupe d'indices. La description des vêtements et chaussures passe par leur définition (marque, matière, degré d'usure…). Les bijoux peuvent également donner des indications sur le pays d'origine par leur caractère artisanal ou industriel, par le métal, les poinçons et aussi ce qu'ils représentent. Cependant même si tous les objets personnels ont pu être recueillis et étudiés, ils n'en restent pas moins des éléments d'orientation et non de certitudes précises puisqu'ils ne dépendent pas directement du corps mais l'accompagnent seulement.
Le deuxième groupe d'indices est celui des indices corporels qui sont recueillis lors de l'examen externe, interne et radiographique. On étudiera la morphométrie (taille, poids, mensuration), les empreintes digitales, les traits du visage, la couleur des cheveux, des yeux, la pilosité… Tous les tatouages, piercings, cicatrices ou variations anatomiques ou pathologiques externes sont également relevés. A l'examen interne, on recherchera des états antérieurs constitutionnels ou pathologiques, des traces d'interventions chirurgicales, la présence de matériel prothétique...

L'examen en identification estimative se fait impérativement sur des pièces prélevées, car souvent, il est nécessaire de réaliser des examens complémentaires que seul le prélèvement peut autoriser. Il s'agit d'une étape extrêmement importante puisqu'elle ne doit en aucun cas altérer des signes ou indices utiles à la recherche des causes de la mort et de l'identité. En général, elle est le fruit d'une collaboration étroite entre le médecin légiste et l'expert en anthropologie médico-légale. Les pièces sont dès lors préparées de manière rigoureuse de façon à ne perdre aucun élément et à en assurer la meilleure conservation. Lorsque des éléments ne sont plus en connexion anatomique (éléments dispersés), ils doivent être identifiés et repositionnés : il s'agit de la restauration.

Les photographies et les radiographies sont des éléments indispensables d'un point de vue judiciaire. Elles permettent la correction d'erreurs notamment grâce à des protocoles précis et reproductibles, et ainsi l'obtention de documents objectifs et archivables.

En dépit de tous les paramètres recueillis au cours de la mission d'identification estimative ou évaluative, des divers avis de recherche proposés sur différents supports et revues professionnelles, et en l'absence de proposition d'individu par les officiers de police

judiciaire, la dernière solution demeure la mise en œuvre d'un processus de reconstruction faciale.

La reconstruction faciale, en anthropologie médico-légale, ne peut pas être considérée comme une méthode d'identification, c'est une méthode complémentaire aux différentes investigations judiciaires qui a pour objectif de suggérer l'identité de l'individu. Elle s'inscrit dans ce cadre comme une étape possible dans le processus d'identification estimative. Il est nécessaire de noter que la reconstruction faciale ne reproduit pas un portrait précis de la personne à identifier mais peut permettre de stimuler un processus de reconnaissance faciale (11).

Des preuves supplémentaires (ADN, dossier médical) devront être apportées pour identifier formellement l'individu (identification comparative).

I.1.2 Reconstruction Faciale : Principes généraux

La reconstruction faciale consiste à recréer le visage d'un individu, à partir de la morphologie osseuse de son crâne (1). Elle peut être utile en sciences médico-légales, dans le but d'identifier un individu dont les restes osseux ont été découverts, en chirurgie maxillo-faciale, mais aussi en anthropologie pour obtenir l'apparence physique d'un personnage historique (3). Elle est majoritairement utilisée en contexte judiciaire.

La première reconstruction faciale a été réalisée en 1895 par l'anatomiste allemand Wilhelm His. Il reconstitua le visage du célèbre compositeur Jean Sébastien Bach en appliquant sur son crâne des épaisseurs moyennes de tissus mous (indifféremment muscles, graisse, peau) mesurées à partir d'un échantillon de cadavres (4).

La reconstruction faciale implique l'étude de la morphologie faciale. Le développement et la croissance modifient la morphologie faciale de l'individu de la naissance à l'âge adulte. Elle varie selon le sexe. Un crâne masculin présente des insertions musculaires et des reliefs plus marqués. L'âge aura une influence subtile sur l'os mais marquée sur les tissus mous. On constate une masculinisation des crânes de femmes âgées (1). Des processus dégénératifs marqueront directement l'apparence du visage chez les personnes d'âge mûr. La graisse et les muscles sont des tissus mous qui participent à une importante variabilité faciale. La corpulence apparaît comme un paramètre majeur lors de la reconnaissance faciale suite à une reconstruction. La variation de la taille du visage semble plus importante que sa configuration lors d'un processus d'identification (12,13).

I.1.3 Reconstruction Faciale et Reconnaissance Faciale

La reconstruction faciale implique la notion de reconnaissance faciale. Comment reconnaît-on un visage ? Il existe une différence entre ce que nous jugeons important pour la reconnaissance et le véritable circuit de reconnaissance du cerveau. Craig (14) reporte que les chances de succès d'une identification augmentent avec la possibilité pour le témoin d'utiliser son imagination (15). Une reconstruction relativement neutre, sans caractéristiques spécifiques, peut interpeller le témoin qui trouvera une possible ressemblance avec quelqu'un de sa connaissance. Tandis qu'une représentation trop précise pourra amener vers un jugement plus catégorique du témoin qui ne reconnaîtra pas l'individu.

Les recherches sur la reconnaissance faciale ont débuté à la fin du 18e siècle. Les adultes, sains, ont la capacité de discriminer différents visages, malgré la similarité des visages humains.
La « reconnaissance par attribut » repose sur un traitement analytique du visage : certaines caractéristiques telles que la forme de la bouche, la taille du nez peuvent suffirent à la reconnaissance d'un visage. Il est à noter que les yeux referment une part importante de l'identité d'un individu.
Au traitement « par attribut » s'ajoute un traitement « configural » qui analyse les relations spatiales entre les différentes caractéristiques du visage. On distingue la disposition relative des caractéristiques du visage les unes par rapport aux autres (exemple nez au dessus de la bouche) qui définit les relations de premier ordre et qui permet d'inscrire l'entité dans la catégorie « visage » et les relations de second ordre permettant la reconnaissance spécifique d'un visage en fonction des infimes variations de forme ou d'espacement des caractéristiques du visage (exemple distance entre les yeux) (16).

La sensibilité pointue mise en jeu pour distinguer les différences subtiles au niveau de l'espacement des caractéristiques du visage s'acquiert au cours de l'existence. Les enfants de moins de sept ans utilisent préférentiellement les caractéristiques externes (exemple cheveux) dans la reconnaissance des visages familiers. Les adultes utilisent davantage les traits du visage. C'est à l'adolescence qu'un niveau d'expertise comparable à celui d'un adulte est atteint. Avec le vieillissement, le traitement de la distance entre les traits faciaux décline. Vers

l'âge de 50 ans, il existe un déficit des capacités de reconnaissance des visages, qui s'accentue après 70 ans. L'âge de l'observateur est donc une variable essentielle dans le processus de reconnaissance faciale. Lors de la perception d'un visage, le genre et l'ethnicité sont des éléments facilement remarquables (16).

I.2 Principes et Méthodes

I.2.1 Généralités

La clef de la reconstruction faciale réside dans la connaissance de l'épaisseur des tissus mous du visage en chaque endroit du crâne et pour chaque individu (17). Le problème de quantifier ces tissus mous est posé, les méthodes élaborées pour y répondre varieront au fil des siècles et des progrès scientifiques. Des mesures sur cadavres à l'aide d'aiguille ou de couteaux aux perspectives ouvertes par l'imagerie médicale, l'objectif commun est d'établir une base de données fiable et exhaustive (13). La mise en œuvre de la reconstruction faciale par méthode manuelle (application d'un tissu modelable sur un crâne à reconstituer) ou informatisée (algorithme de transformation géométrique d'un volume en un autre, déformation d'un visage synthétique sur un crâne cible) s'immisce alors au côté des divers outils utiles à l'identification judiciaire.

I.2.2 L'épaisseur de tissus mous

I.2.2.1 Anciennes méthodes

Broca est l'un des premiers scientifiques à avoir étudié les proportions du visage. Les premières mesures d'épaisseurs de tissus mous ont été réalisées par l'anatomiste allemand Welker en 1883 (18). Il mesura ces épaisseurs en neuf points du visage sur la ligne sagittale médiane en utilisant une lame de couteau.
His poursuivit son travail en mesurant les épaisseurs des tissus mous de la partie latérale du visage de 28 cadavres à l'aide d'une aiguille. Une pièce de caoutchouc se déplaçait le long de l'aiguille déterminant ainsi l'épaisseur des tissus mous (14). C'est le premier à prendre en compte la corpulence lors de ses mesures.

Kollman et Buchly (14) augmentèrent le nombre de points de repères et relevèrent leurs mesures avec précision sur 8 femmes et 45 hommes en utilisant une aiguille chauffée à la flamme d'une bougie. L'aiguille était couverte de suie, la portion propre indiquait l'épaisseur. Ils réalisèrent, grâce aux données collectées, une étude statistique prenant en compte la variation des tissus mous en fonction de la corpulence.
L'anthropologiste, archéologue et sculpteur Gerasimov répertoria les valeurs des épaisseurs de tissus mous sur un large échantillon de cadavres de type Caucasien ou Mongol, en fonction de leur âge et cela dans les 24 heures qui suivirent leur mort. Il mit alors en évidence une faible variation des épaisseurs de tissus mous en fonction de l'âge. Plus récemment (1980), Rhine et Campbell (19) mesurèrent sur une population de 59 Noirs américains, dans les 12 heures qui suivirent leur décès, 10 points de repères frontaux et 22 latéraux. Ils utilisèrent la technique du stop en caoutchouc.

Suite au décès, les tissus se déshydratent et se relâchent par l'absence d'activité musculaire. De ce fait, les mesures obtenues sont toujours légèrement sous évaluées par rapport à la réalité. Par ailleurs, la rigidité cadavérique causée par des transformations biochimiques irréversibles affecte progressivement les muscles lisses et striés au cours des trois premières heures qui suivent le décès en moyenne. Elle est complète dans les 8 à 12 heures puis diminue progressivement au bout de 36 heures. Ces paramètres, qui varient selon l'âge, la température ambiante et la cause du décès, ont une influence sur les mesures réalisées.

Plus récemment, dans le but de s'affranchir de ces biais de mesure, des relevés in vivo ont été réalisés. George (20) réalisa des tracés et des mesures sur des crâniographes latéraux pour obtenir des épaisseurs de tissus mous sur la ligne sagittale médiane. Dumont (21) agrandit la base de données en prenant ces mesures sur des adolescents.

I.2.2.2 Nouvelles méthodes

L'imagerie médicale a contribué à la valorisation de la reconstruction faciale en anthropologie médico-légale (22,23).

Les analyses radiographiques faisant intervenir la tomodensitométrie sont devenues une méthode classique d'imagerie post mortem venant appuyer une enquête judiciaire. Elles sont couramment utilisées lors des méthodes d'identification (24), pour déterminer des

caractéristiques biologiques comme le sexe et l'âge, réaliser des examens post mortem non invasifs, déterminer l'origine humaine ou non des restes découverts, ou encore mettre en évidence un corps étranger, une blessure (25). L'utilisation de la tomodensitométrie lors des enquêtes post mortem a augmenté au cours de ces dernières années avec la diminution du coût de cette technologie.

La tomographie par rayons X a été mise au point par Hounsfield en 1971.
La tomodensitométrie (ou scanner) utilise une source de rayons X en rotation à laquelle est opposée une série de détecteurs. L'atténuation de l'objet scanné variera pour chaque position de la source en fonction des types de tissus traversés. La phase d'acquisition est suivie par un processus de reconstruction d'image de l'objet analysé. L'objet sera divisé en coupes, visualisables en 2D et réorganisées en 3D. Les avancées technologiques ont permis d'accélérer la rotation de la source, de modifier la forme de balayage (spirale, hélicoïdale) et ont finalement abouti à l'élaboration du Cone Beam.
Le Cone Beam utilise une source de rayons X non collimatée en forme de cône sur la zone à étudier et un détecteur plus large. Alors que le scanner conventionnel se contente de petits détecteurs pour construire une image le long de l'axe de la zone à irradier, le Cone Beam permet d'obtenir une image de qualité en une rotation. Les séries d'images 2D obtenues seront assemblées en une image 3D.

L'imagerie médicale a fourni le matériel nécessaire pour les mesures in vivo entre os et tissus mous. Le Cone Beam est maintenant utilisé dans l'étude des épaisseurs de tissus mous. Il offre l'avantage d'être simple d'utilisation et de faible coût (25). Il concentre la zone à irradier au niveau de la tête et du cou en utilisant des doses d'irradiation plus faibles que la tomodensitométrie. Le Cone Beam permet d'obtenir une image des tissus durs et mous de la tête d'un individu en position debout, évitant la distorsion du visage due à la supination (4). La précision des mesures d'épaisseurs de tissus mous obtenue grâce à cet examen se révèle suffisante pour établir une base de données fiable (26).

Lebedinskaya et al. (1) introduisent l'utilisation des ultra-sons. Sans danger, utilisables sur individus vivants, ils sont couramment utilisés comme technique de mesure des épaisseurs de tissus mous. L'imagerie par résonance magnétique en mesurant les différentes densités en eau peut également être utilisée (1).

La technique de reconstruction faciale par les épaisseurs de tissus mous se heurte à deux principaux problèmes : le choix des points de repère et la technique de mesure utilisée au préalable pour constituer la base de données. Les méthodes de mesure in vivo ont supplanté les mesures sur cadavres en raison des problèmes évoqués précédemment. Cependant, il existe un manque de précision pour la localisation des points de repère. En effet, de nombreuses études utilisent des points de repère définis sur les tissus mous, facilitant ainsi les mesures (exemple : milieu du masseter, sillon labio-mentonnier, milieu du sourcil). Il devient alors difficile et imprécis de les replacer sur le crâne sec pour la reconstruction. L'angulation donnée à l'aiguille ou à la sonde à ultra sons fait varier le repère osseux sous-jacent. Cet angle n'est pas toujours indiqué. La répartition éparse des points de repère ne permet pas de retranscrire la complexité des contours du visage. Ces limites expliquent que la reconstruction faciale est encore perçue par certains comme un art plutôt que comme une science.

L'homogénéisation des populations nécessite d'agrandir les bases de données à l'aide de techniques moins invasives. L'imagerie médicale aura permis de mesurer des épaisseurs de tissus mous chez différents groupes ethniques en fonction du sexe, de l'âge, de la masse corporelle (4,23).

Il existe deux principales techniques de reconstruction faciale 3D, manuelle et informatisée.

I.2.3 Méthode manuelle

La méthode manuelle fut la première technique développée. Trois écoles se distinguent. L'école russe s'appuie sur la variabilité musculaire (insertions) de la face et du cou pour ses reconstructions. C'est la méthode anatomique qui fut développée par Gerasimov (27) (ANNEXE). L'école américaine utilise la méthode anthropométrique. Développée par Krogman, elle privilégie l'application de différentes épaisseurs de tissus mous. L'école britannique, dirigée initialement par Neave, combine les deux précédentes méthodes (1,2,4). Ces trois écoles partagent l'idée d'une corrélation entre la surface osseuse crânienne et les tissus mous sus-jacents.

Encore utilisée de nos jours, la méthode manuelle consiste à appliquer sur un duplicata de crâne à identifier, un matériau modelable en fonction des épaisseurs de tissus mous définies

pour des points crâniométriques précis. Dès le début du 20e siècle la plastiline remplace peu à peu l'argile comme matériau de prédilection pour la reconstruction (1). Les valeurs des épaisseurs de tissus mous utilisées pour la reconstruction manuelle sont souvent celles obtenues autrefois sur des cadavres (18).

Quatre étapes peuvent être définies pour réaliser une reconstruction faciale par méthode manuelle (3). L'examen du crâne permet d'en déterminer les dimensions, de noter les caractéristiques de la surface osseuse, des dessins du crâne dans les plans frontal et latéral sont réalisés ainsi que des croquis de simulations de reconstitution des tissus mous.
Ensuite, les informations obtenues suite à la découverte et à l'examen des restes, comme l'analyse dentaire, des éventuels échantillons de cheveux, la détermination du genre, sont réunies et organisées. De même les épaisseurs de tissus mous sont définies en fonction des différents points crâniens. Vient alors l'étape de la sculpture. La forme des muscles masticateurs est modelée sur le crâne avec la plastiline. Les yeux, en verre, sont intégrés à la cire et prennent place dans les cavités orbitaires. Les différentes épaisseurs de tissus mous sont comblées, d'abord sur l'hémiface gauche. Le nez, la bouche et les paupières sont sculptés. Lorsque l'hémiface gauche est achevée, l'hémiface droite est alors réalisée ; puis l'ensemble du visage est retravaillé pour obtenir une apparence naturelle. Les oreilles, le cou et la naissance des épaules peuvent être ajoutés une fois la tête montée sur un support.
La dernière étape est celle du maquillage. Les caractéristiques prédéterminées de la personne à identifier, sourcils, couleur de peau, coupe de cheveux, éventuelle barbe sont ajoutés.

Exemple de reconstruction faciale par méthode manuelle

(Source : https://www.nysm.nysed.gov/research/anthropology/crsp/projects/pearlst/reconstruction/pearl6.html)

Longue à mettre en œuvre, subjective car elle nécessite une intuition artistique dans sa réalisation (5), limitée car elle produit un modèle de reconstruction unique (4), la méthode manuelle est assez critiquée et des efforts sont faits pour développer la méthode informatisée, jugée plus simple, plus rapide et plus objective (6).

I.2.4 Méthode informatisée

La première méthode de reconstruction faciale informatisée 3D fut créée pour des études pré et postopératoires en chirurgie maxillo-faciale par Moss et collaborateurs (1,4). Une collaboration entre mathématiciens et informaticiens a été nécessaire pour élaborer différentes méthodes de reconstruction basées principalement sur la morphologie crânio-faciale.

La reconstruction faciale par méthode informatisée est généralement obtenue en faisant correspondre un modèle de visage sur un crâne à reconstituer. Deux approches principales peuvent être distinguées, la déformation volumique (« the dense approach ») et la déformation surfacique (« the sparse approach »).

I.2.4.1 Déformation volumique

La première approche utilise un modèle de visage et un modèle de crâne. On calculera la déformation nécessaire pour passer du crâne modèle au crâne à reconstituer. Cette déformation sera ensuite appliquée au visage modèle permettant d'obtenir une estimation du visage recherché (18,23).

La technique de reconstruction faciale par déformation volumique a initialement été introduite par Quatrehomme et al (28). Elle reposait sur l'utilisation des lignes de crête (lignes les plus saillantes du crâne). Elle est basée sur le principe suivant : si deux crânes ont des formes similaires alors les visages correspondants auront leurs principales caractéristiques en commun (29).
Deux modèles de visages sont obtenus par imagerie tomodensitométrique à partir de deux cadavres. Après dissection, les crânes de ces deux individus sont scannés. Un algorithme basé

sur la transformation des lignes de crête d'un crâne à l'autre est calculé. La transformation est appliquée à un des visages dans le but d'obtenir le second (29). Depuis, la méthode de Quatrehomme et al a été reprise et améliorée par différents chercheurs.

La méthode proposée par Nelson et Michael (14) implique une transformation géométrique d'un volume donné en un autre faisant intervenir deux ensembles de données.
Chaque ensemble de données équivaut à un nombre de points qui définit une correspondance entre les caractéristiques principales des deux volumes.
La première étape du processus est la digitalisation du crâne cible (Cc) grâce à un scanner puis l'acquisition d'une tête de référence (Tr). Cette dernière est sélectionnée dans une base de données en fonction du sexe, de l'âge estimé et de la forme du crâne Cc à reconstituer.
Une base de données de tête est construite grâce à l'imagerie tomodensitométrique. Les deux branches principales mâle et femelle sont subdivisées en plusieurs catégories en fonction de l'âge des sujets. On cherche donc la catégorie correspondant au sexe et à l'âge du crâne cible. Chaque tête (Tx) dans cette catégorie est associée à un ensemble de données (Dx). Ces données correspondent à des points anatomiques précis positionnés sur le crâne de référence. Il faut maintenant déterminer quelle tête est la plus proche anatomiquement du crâne cible. Les points anatomiques sont positionnés sur ce dernier. Un algorithme basé sur la correspondance volumique entre les têtes de référence Tx et le crâne cible Cc va permettre de déterminer la tête à utiliser. La tête de référence Tr sélectionnée va être déformée en fonction de la forme du crâne Cc à reconstituer grâce aux ensembles de données associés respectivement à la tête (Dr) et au crâne cible (Dc).

Le principe de la reconstruction faciale repose sur la correspondance entre le crâne et les tissus mous sus-jacents. Jusqu'à récemment ce principe a été traduit par l'utilisation d'un ensemble de points de repère crâniens dont les épaisseurs de tissus mous connues ont permis de développer différentes méthodes de reconstruction. Néanmoins, les différents moyens d'acquisition des bases de données des épaisseurs de tissus mous sont contestés de même que le manque de précision dans l'utilisation de points de repère épars pour reconstituer l'ensemble du visage.
La méthode basée sur la déformation de volume permet de prendre en compte les tissus mous de la face dans leur ensemble, c'est à dire qu'ils sont interprétés comme une unité modelable et non pas comme un certain nombre de points répartis à différents endroits. L'individualité du crâne est respectée, par exemple une asymétrie non représentée avec la méthode des points de

repère sera prise en compte dans cette méthode. Cette méthode permet également la préservation du crâne à reconstituer, en effet si certaines méthodes nécessitent de réaliser une copie du crâne (méthode manuelle) ou encore un nettoyage de ce dernier (dans le cas de l'utilisation du laser pour obtenir l'image digitale), l'utilisation du scanner permet d'acquérir l'image tridimensionnelle du crâne indépendamment de l'état des éventuels tissus mous persistants. Cependant, un des inconvénients de cette méthode est l'utilisation d'un unique visage de référence dans la reconstruction finale qui biaise l'aspect du visage obtenu (30,31).

I.2.4.2 Déformation surfacique

La méthode de déformation surfacique est basée sur un nombre défini de points de repères anatomiques placés sur un visage modèle. Ces derniers seront associés à des points équivalents sur le crâne à reconstituer. Des techniques d'interpolation permettront d'étendre la correspondance des points de repère au reste du visage (18,32). Elle a été introduite par Vanezis et al (4).

Tout d'abord, le crâne est étudié pour en évaluer l'âge, le sexe, l'appartenance ethnique, certaines particularités qui aideront à la reconstruction (11). Un des avantages de la méthode informatisée est qu'il n'est pas nécessaire de produire une copie du crâne, puisque les différentes méthodes d'acquisition des données utiles pour la reconstruction sont non invasives, l'objectif étant la digitalisation du crâne.

La tomodensitométrie est une méthode largement employée en sciences médico-légales et en anthropologie (3). Même les formes géométriques complexes seront obtenues sur l'image scanner 3D. Le plan de reconstruction des tissus mous du crâne à identifier se fera à partir d'un modèle de visage issu d'une base de données. Ce modèle sera choisi en fonction des informations récupérées en amont, il doit correspondre anthropologiquement au crâne inconnu, présenter les mêmes caractéristiques standards (33).
Des points de repères vont être positionnés sur le crâne, mais également sur le visage modèle. Ils auront la même localisation sur le crâne et sur le visage. Pour chaque crâne, il existe des points de référence qui déterminent la forme du crâne et dont la distance à la surface du visage (épaisseur de tissus mous) est connue (28,32). La correspondance entre les points de repère du crâne et ceux du visage modèle est cruciale et demande donc une connaissance approfondie des corrélations entre tissus mous et structures osseuses.

Une fois ces repères placés, l'ordinateur va pouvoir adapter le visage sur le crâne en calculant les coordonnées 3D des points de repère du crâne et du visage. Les points du visage seront déplacés vers les points correspondants au crâne en fonction des épaisseurs de tissus mous connues. La surface du visage en dehors des points de repères est obtenue par une extrapolation entre les différents points de référence (34). Plus il y aura de points de repère choisis, plus la reconstruction sera précise. Des recherches sont menées pour déterminer le type et le nombre de points de repère nécessaires pour réaliser une reconstruction optimale (28).

Une fois le visage obtenu, il faudra alors lui donner une apparence réaliste.
Un des problèmes rencontrés lors des reconstructions faciales est la reconstruction de la forme des oreilles, des yeux, des lèvres et du nez. Il est en effet difficile d'évaluer la projection du nez, l'épaisseur des lèvres ou encore l'épaisseur des tissus mous péri-orbitaires (35). Le format d'image obtenue peut permettre d'exporter l'image vers un autre type de logiciel qui permettra d'ajouter des éléments caractéristiques en fonction des informations récupérées lors de l'enquête (style de cheveux, barbe, moustache...). Dans le cas où ces informations n'ont pu être déterminées, il s'agira de conserver une apparence la plus neutre possible. Grâce à la stéréolithographie (technique de prototypage rapide qui permet de fabriquer des objets solides à partir d'un modèle numérique), on peut obtenir un modèle solide qui pourra être remanié par un artiste de façon à lui donner une apparence plus humaine (11).

I.2.4.3 Base de données

Les modèles utilisés pour les reconstructions sont généralement issus d'une base de données. On pourra rechercher un individu aux origines ethniques équivalentes, de même âge, de même genre ou une moyenne de plusieurs individus sélectionnés ou encore un modèle statistique obtenu après analyse d'une base de données entière (31). La qualité de la reconstruction dépendra de la qualité de la base de données.

Les bases de données nécessaires pour les méthodes de déformation surfacique et de déformation volumique sont différentes. Pour la déformation surfacique, la base de données doit fournir des visages dont les épaisseurs de tissus mous sont connues aux différents points de repère. Pour la déformation volumique, la base de données doit fournir les visages et les crânes sources. Ces données peuvent être obtenues en utilisant le laser ou les ultrasons,

techniques non invasives, évoquées précédemment, qui permettent de créer de grandes bases de données. Cependant, les images de crâne et de visage sont plus précises avec l'utilisation du scanner qui permet de séparer distinctement les deux structures. Cette technique est cependant invasive et rend difficile, pour des raisons éthiques, la constitution d'une base de données suffisante, composée, de plus, de sujets sains. Pour cette raison, les bases de données utilisées de la déformation volumique sont souvent insatisfaisantes (18). L'utilisation du Cone Beam, moins irradiant, peut être une réponse à ce problème.

La méthode informatisée a permis d'améliorer l'efficacité des reconstructions, d'en diminuer la subjectivité. Cependant un des inconvénients majeurs reste la base de données limitée d'où sera extrait le modèle statistique entraînant un biais dans la reconstruction. En effet, l'aspect du visage obtenu est marqué par le visage source. Des études sont menées pour collecter des informations (sexe, âges, masse corporelle, appartenance ethnique) concernant différentes populations dans le but d'agrandir les bases de données (36).
La méthode manuelle, par son manque de fiabilité et l'impossibilité de quantifier les erreurs, n'est pas la méthode privilégiée dans le domaine judiciaire.

II. Le logiciel TIVMI

II.1 Principe

TIVMI (Treatment and Increased Vision for Medical Imaging) est un logiciel destiné aux chercheurs en anthropologie utilisant l'imagerie médicale et la 3D afin de réaliser des mesures précises et reproductibles. Il a été développé au laboratoire PACEA (de la Préhistoire à l'Actuel, Culture, Environnement, Anthropologie), UMR (Unité Mixte de Recherche) 5199 du CNRS (Centre National de Recherche Scientifique), Université Bordeaux 1 par Bruno Dutailly, ingénieur d'études.
TIVMI est destiné à évoluer grâce à un système de plug-ins (modules d'extension) en fonction des besoins de ses utilisateurs. Ce logiciel traite plusieurs types de fichiers : DICOM (digital imagings and communication in medicine), Analyse, image Raw 3D, obj. TIVMI offre un ensemble de constructions géométriques à partir de points 3D, de plans, de segments, de lignes droites.

Le logiciel TIVMI est gratuit et téléchargeable en ligne après avoir effectué une demande de licence sur le site internet *http://projets.pacea.u-bordeaux.fr/TIVMI/*.

II.2 L'algorithme HMH

TIVMI intègre l'algorithme HMH (Half Maximum Height). Les fichiers DICOM obtenus par tomodensitométrie présentent des tissus de différentes densités dont les niveaux de gris varient. L'interface entre ces différents tissus n'est pas nette mais progressive. Elle est définie en fonction des densités maximum et minimum autour des limites. Il a été démontré (37) que la densité moyenne entre deux matériaux met en évidence une limite optimale. Cette densité peut être évaluée avec TIVMI en créant un segment entre les deux tissus auquel on attribue un histogramme de densité. HMH correspond à la moyenne des valeurs maximale et minimale de cet histogramme (38). En 3D, HMH est calculé à chaque voxel pour reconstruire une surface fidèle et reproductible. Le protocole HMH a été évalué dans une étude de P. Guyomarc'h (37) et permet une plus grande précision et reproductibilité que l'algorithme MC (Marching Cube) utilisé par le logiciel Amira.

II.3 L'AFA3D

AFA3D (Anthropological Facial Approximation in 3 Dimensions) est un module de reconstruction faciale intégré à TIVMI. Il permet d'estimer la forme d'un visage adulte en fonction de coordonnées de points de repère crâniens. Il a été développé à l'Université de Bordeaux entre l'UMR 5199 PACEA et l'UMR 5800 LaBRI (Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique) par Pierre Guyomarc'h.

L'AFA3D demande 4 étapes pour réaliser l'approximation du visage :

- l'acquisition des points de repère osseux
- l'estimation des points de repère cutanés
- l'algorithme de déformation du visage synthétique
- l'habillage : individualisation du visage déformé

Acquisition des points de repère osseux

La première étape consiste à positionner manuellement sur le crâne 78 points de repère osseux. Le module AFA3D contient la liste des 78 points et confirme leur positionnement étape par étape. Si certains points ne sont pas présents sur le crâne cible, leur position devra être estimée par l'opérateur. Le manuel AFA3D (39) indique comment et où placer les points de repère.

Les 78 points de repère crâniens :

- Porion (gauche et droit) : point à l'extrémité supérieure du méat acoustique externe.
- Orbitale (gauche et droit) : le point à l'extrémité inférieure du bord orbitaire.
- Nasion : point à l'intersection des sutures naso-frontale et inter-nasale.
- Glabelle : point médian le plus antérieur entre les arches superciliaires.
- Rhinion : point le plus bas de la suture inter-nasale.
- Midnasal : point entre le Nasion et le Rhinion sur la suture inter-nasale.
- Naso-maxillo-frontale (gauche et droit) : point à l'intersection entre les sutures du frontal, du nasal et du maxillaire.
- Naso-maxillaire (gauche et droit) : point le plus bas de la suture naso-maxillaire.
- Midnaso-maxillaire (gauche et droit) : point entre le Naso-maxillo-frontale et le Naso-maxillaire sur la suture naso-maxillaire.
- Apertion (gauche et droit) : point le plus latéral de l'orifice nasal.
- Naso-spinale supérieur : point au milieu de la suture inter-maxillaire et à l'extrémité inférieure de l'orifice nasal.
- Spinale : point le plus antérieur de l'épine nasale.
- Sous-spinale : point au maximum de la concavité sous l'épine nasale.
- Maxillo-frontale (gauche et droit): point à l'intersection des sutures entre l'os lacrymal, frontal et maxillaire.
- Ectoconchion (gauche et droit) : point le plus latéral du bord de l'orbite définissant, avec le Maxillo-frontale, une ligne bissectrice de l'orbite, parallèle au bord supérieur et inférieur.
- Zygo-orbitale (gauche et droit) : point situé sur le bord orbitaire inférieur, sur la suture zygo-maxillaire.
- Supraconchion (gauche et droit) : point à l'extrémité supérieure du bord orbitaire.

- Superciliaire (gauche et droit) : point le plus proéminent du bord supra-orbitaire situé sur la ligne bissectrice verticale de l'orbite. Si l'os frontal manque de convexité, il sera placé 1 à 2 cm au dessus du bord orbitaire.
- Fronto-malaire orbitale (gauche et droit) : point situé sur le bord latéral de l'orbite sur la suture fronto-zygomatique.
- Fronto-malaire temporale (gauche et droit) : point le plus postérieur de la suture fronto-zygomatique.
- Jugale (gauche et droit) : point le plus bas et le plus antérieur sur la partie postérieure de l'os zygomatique.
- Fronto-temporale (gauche et droit) : point le plus antérieur sur la ligne temporale de l'os frontal.
- Zygo-temporale supérieur (gauche et droit) : point le plus haut de la suture zygo-temporale.
- Zygion (gauche et droit) : point le plus latéral de l'arche zygomatique.
- Mastoïdale (gauche et droit) : point le plus bas du processus mastoïde.
- Condylion (gauche et droit) : point le plus latéral du condyle mandibulaire.
- Midramus (gauche et droit) : point central de la branche montante mandibulaire.
- Gonion (gauche et droit): point le plus bas et le plus postérieur de la branche montante mandibulaire, au maximum de convexité de l'angle goniaque.
- Zygomatique (gauche et droit) : point le plus saillant du zygomatique, à l'insertion du muscle grand zygomatique.
- Zygo-maxillaire (gauche et droit) : point le plus bas de la suture zygo-maxillaire.
- Midphiltrum : point situé sur la suture inter-maxillaire, sur la ligne médiane entre les processus alvéolaires des incisives centrales maxillaires.
- Prosthion : point le plus bas et le plus antérieur sur la ligne médiane entre les processus alvéolaires des incisives centrales maxillaires.
- Infradentale : point le plus haut et le plus antérieur de la ligne médiane entre les processus alvolaires des incisives centrales mandibulaires.
- Labio-mentonnier : point médian au maximum de la concavité du sulcus labio-mentonnier.
- Pogonion : point médian le plus antérieur de la proéminence mentonnière.
- Gnathion : point médian le plus bas du menton.

- Supragnathion : point le plus antérieur et le plus bas situé sur la ligne médiane entre le Pogonion et le Gnathion.
- Concavité sous-maxillaire (gauche et droit) : point le plus haut et le plus médial de la concavité maxillaire.
- Ectomolaire (gauche et droit) : point situé sur le processus alvéolaire de la deuxième molaire mandibulaire.
- Supracanine (gauche et droit) : point dans le processus alvéolaire de la canine maxillaire.
- Fosse canine (gauche et droit) : point le plus postérieur et médial du maxillaire situé dans la fosse canine.
- Infracanine (gauche et droit) : point situé sur le processus alvéolaire de la canine mandibulaire.
- Foramen mentonnier (gauche et droit): point situé dans la partie antérieure du foramen mentonnier.
- Inframolaire (gauche et droit) : point situé sur le processus alvéolaire sous la deuxième molaire mandibulaire.
- Milieu du corps mandibulaire (gauche et droit) : point au centre de la ligne oblique du corps mandibulaire.
- Milieu du bord mandibulaire (gauche et droit) : point du bord mandibulaire situé entre le Gonion et le Gnathion.

Le positionnement de certains points de repère nécessitera l'utilisation des plans de référence, sagittal, frontal et transverse. TIVMI construit ces plans à partir des 5 points Porion (droit et gauche), Orbitale (droit et gauche) et Nasion.

Estimation des points de repère cutanés

Le calcul de la position des points de repère cutanés est automatisé dans le module AFA3D. Ce calcul prend en compte le sexe, l'âge et la corpulence de l'individu. Ces paramètres, lorsqu'ils sont connus, sont à indiquer. On distingue les points cutanés d'épaisseur de tissus mous et les points cutanés sensoriels. L'estimation des points cutanés d'épaisseur de tissus mous se fera en fonction de formule de régression. L'estimation des points cutanés sensoriels se fera par morphométrie géométrique.

Algorithme de déformation du visage synthétique

Le module AFA3D utilise la technique de déformation surfacique en transformant un visage neutre en visage cible. Le visage neutre a été conçu à partir de nombreux visages réels et garde une apparence humaine. Il est extrait du logiciel MakeHuman, outil open source qui permet de modéliser des personnages 3D. L'algorithme va recaler le visage neutre et les points sources sur les points cibles puis appliquer deux transformations en fonction des points cutanés sensoriels et des points cutanés d'épaisseur. Les vecteurs de transformation, du point source au point cible, permettent de déformer le visage neutre. La première transformation s'applique à tous les points (points cutanés d'épaisseur et points cutanés sensoriels) et aboutit à la forme globale du visage. La seconde transformation concerne uniquement les points cutanés sensoriels et permet d'obtenir une individualisation plus marquée du visage.

Habillage

Actuellement, l'individualisation du modèle facial synthétique par l'application d'une couleur de peau, des lèvres, des yeux, d'une pilosité faciale, d'une chevelure ou encore l'expression des effets de l'âge est en cours de programmation. Il est cependant possible d'exporter le visage reconstitué dans un format exploitable par différents logiciels graphiques.

III. Protocole Expérimental

III.1 Protocole

III.1.1 Problématique

Au cours de ces dernières années, dans le but d'appuyer certaines enquêtes judiciaires ou encore la recherche en anthropologie, des méthodes de reconstruction faciale informatisée ont été développées.

Lorsque qu'un processus d'identification thanatologique évaluatif est engagé, lors de la découverte d'un corps et en l'absence d'identité présumée pour le cadavre, le seul recours possible d'identification pour orienter en cas d'absence d'indices complémentaires, demeure celui de la reconstruction faciale.

Cette reconstruction faciale se réalise selon deux méthodes ; soit manuelle en sculptant manuellement le visage avec de l'argile ou de la plastiline, soit par méthode informatique en utilisant des logiciels dédiés à cette utilisation. Que ce soit l'une ou l'autre méthode, de nombreux auteurs ont développés « leur méthodologie », cependant dans la majorité des travaux relatifs à ces protocoles, très peu, pour ne pas dire aucun, concernent l'évaluation de la fiabilité et de la précision de la reconstruction induite.

Au sein du laboratoire PACEA (UMR 5199), une équipe de recherche conduite par Bruno Dutailly élabora un logiciel de reconstruction faciale à partir d'images tomodensitométriques ou surfaciques par acquisition laser. Dès lors , dans le cadre de ce travail il nous sembla utile d'évaluer la fiabilité des reconstructions informatisées par TIVMI en faisant une analyse de la variabilité induite par rapport au visage réel, et ainsi potentialiser la fiabilité de la reconstruction faciale dans tout processus d'identification.

III.1.2 Objectifs

L'objectif primaire de ce travail est de pouvoir quantifier les variations existantes en terme de différence d'épaisseur de tissus mous à partir des reconstructions effectuées grâce au logiciel TIVMI et les reconstructions vraies des acquisitions scanner servant de base pour ce travail.

L'objectif secondaire est d'évaluer dans quel sens évolue la variabilité des différentes régions d'intérêt au niveau de la face (sur ou sous-estimation de l'épaisseur des tissus-mous) en utilisant le logiciel TIVMI.

III.1.3 Hypothèse

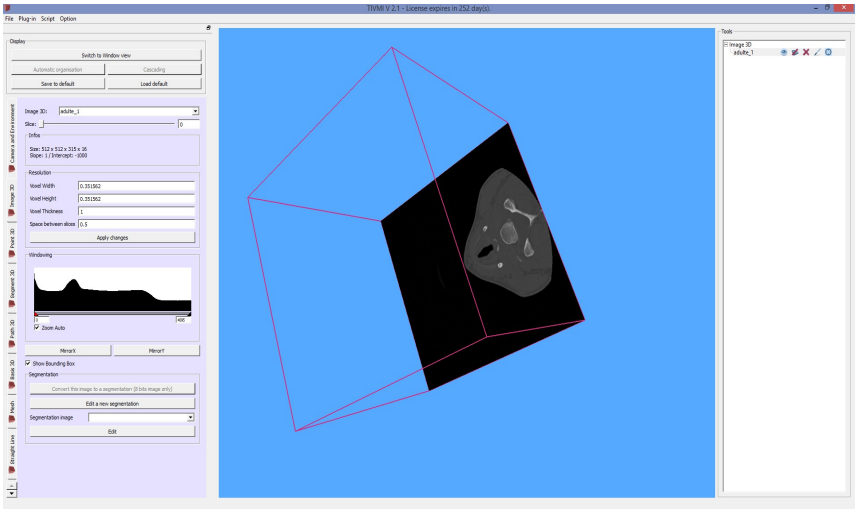
La reconstruction faciale informatisée à l'aide du logiciel TIVMI est une technique complémentaire et utile dans le domaine de l'odontologie légale.

III.1.4 Échantillon

7 patients adultes, sélectionnés de façon aléatoire parmi un ensemble de scanners hospitaliers.

III.1.5 Méthodologie

- Sélection de 7 acquisitions tomodensitométriques « tête entière », c'est à dire présentant l'intégralité des tissus durs et des tissus mous (format DICOM).



Ouverture d'un scanner (fichier DICOM) sur la plateforme TIVMI

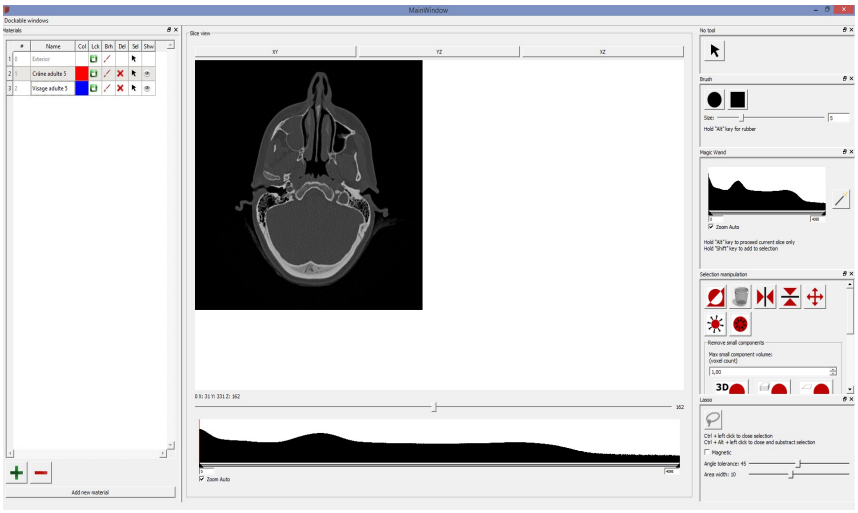
- Reconstruction des visages réels à partir des acquisitions tomodensitométriques « tête entière » par les logiciels TIVMI, Amira et OsiriX.

OsiriX est un logiciel de traitement d'images DICOM obtenues par IRM (imagerie par résonance magnétique), tomodensitométrie, tomographie par émission de positrons ou ultrasons (40). Il est utilisé pour traiter et visualiser des images multidimensionnelles (2D, 3D, 4D (3D avec dimension temporelle), 5D (3D avec dimension temporelle et fonctionnelle). OsiriX est également une base de données de fichiers DICOM pour les logiciels de traitement d'image pour la recherche médicale (radiologie, imagerie nucléaire), imagerie fonctionnelle, imagerie 3D, microscopie confocale et imagerie moléculaire.

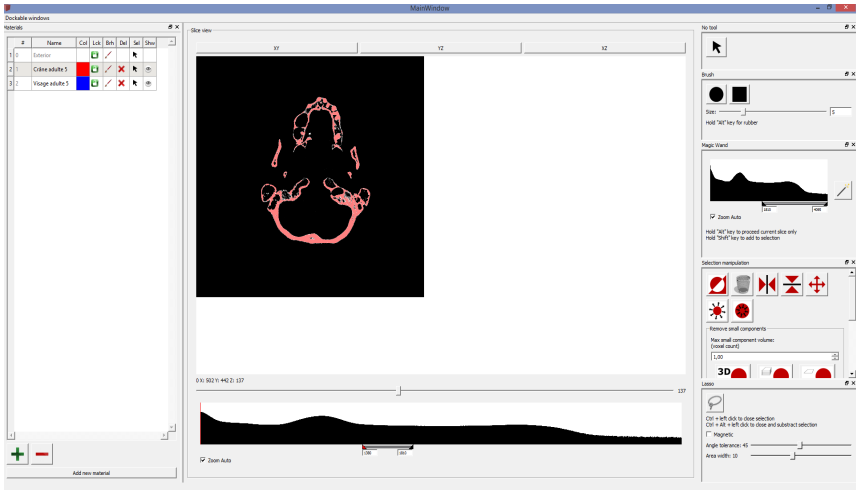
Amira est un logiciel de reconstruction d'images 3D qui permet de visualiser et manipuler des données obtenues par tomodensitométrie, IRM et microscopie.

Il s'agit de comparer les visages obtenus grâce aux trois logiciels à partir d'acquisitions tomodensitométriques identiques pour chacun des 7 cas adultes.

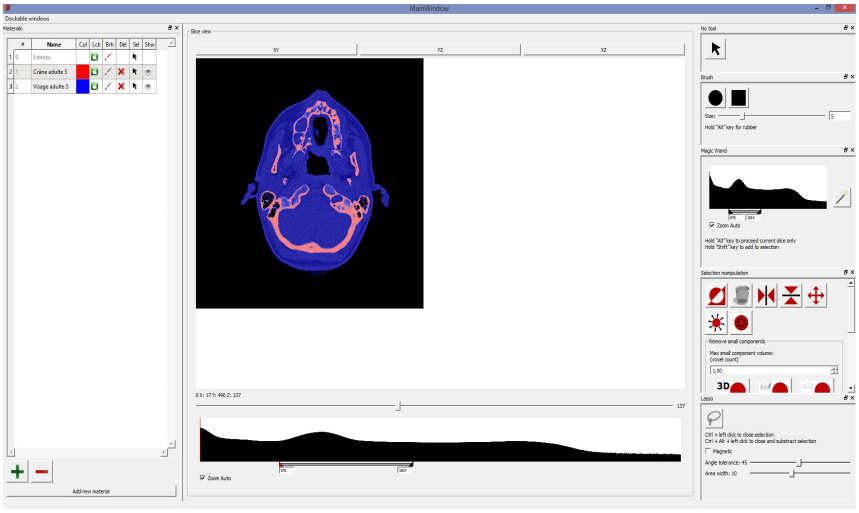
- Segmentation avec le logiciel TIVMI des tissus durs et des tissus mous pour chaque scanner dans le but d'obtenir 7 crânes secs à reconstituer grâce au protocole HMH.



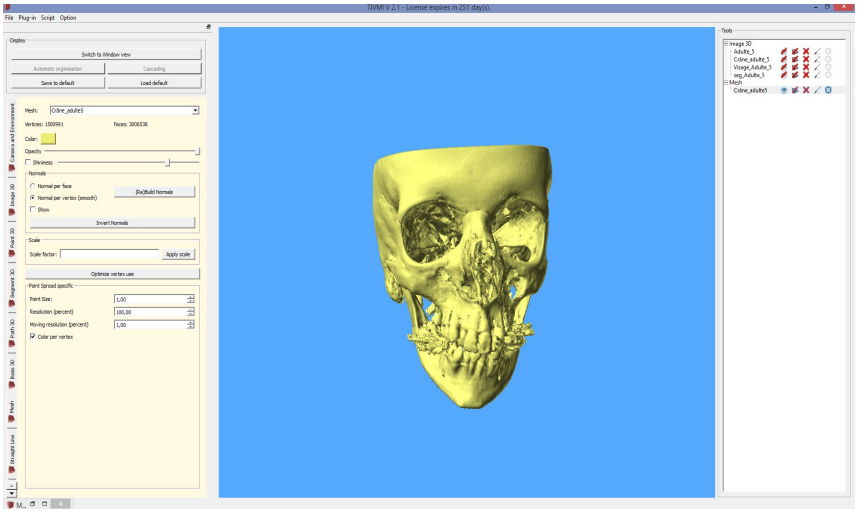
Édition d'une segmentation d'un scanner « tête entière » sur le logiciel TIVMI



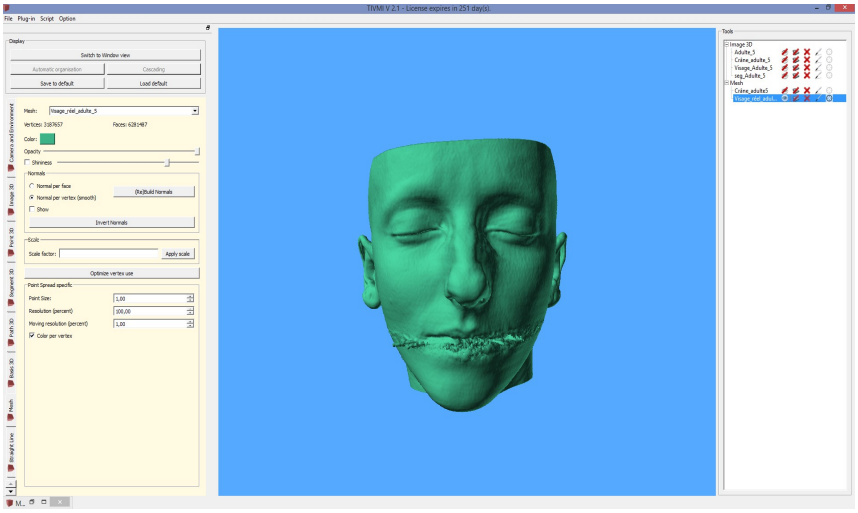
Sélection des tissus durs du crâne (en rouge) lors du processus de segmentation sur le logiciel TIVMI



Sélection des tissus mous du crâne (en bleu) lors du processus de segmentation sur le logiciel TIVMI



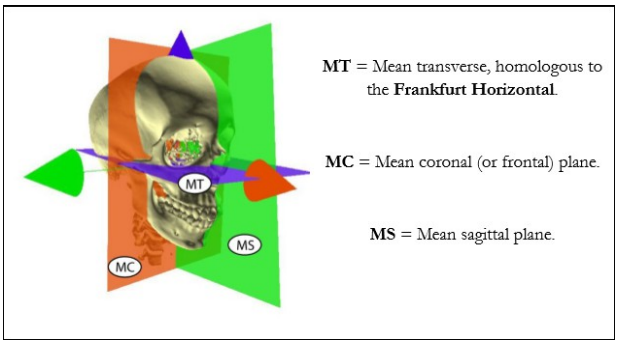
Reconstruction d'un crâne sec à partir d'un scanner par procédé HMH sur le logiciel TIVMI



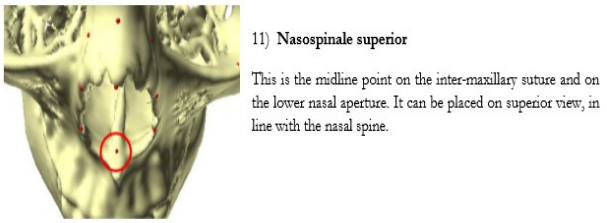
Reconstruction des tissus mous d'un visage à partir d'un scanner par procédé HMH sur le logiciel TIVMI

- Mise en œuvre du processus de reconstruction faciale :

- Localisation sur chaque crâne sec de 78 points crâniométriques en fonction des plans sagittal, frontal et transverse.



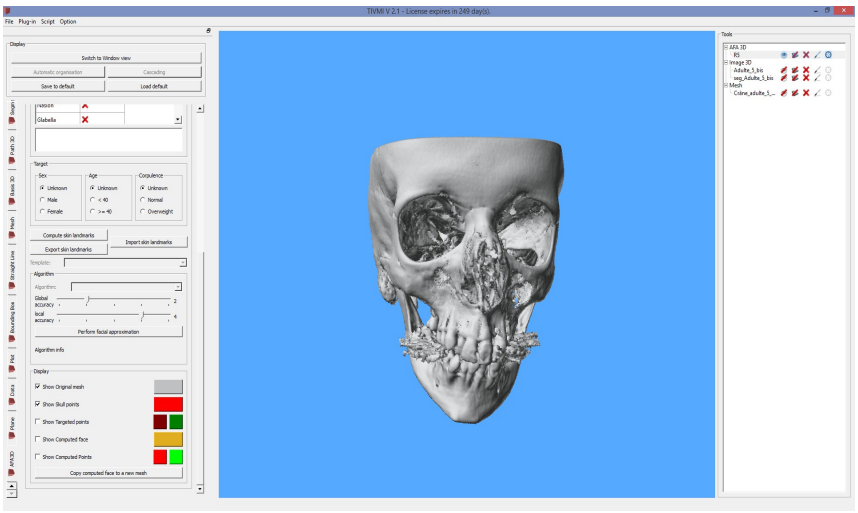
Représentation des plans sagittal, frontal et transverse utilisés par l'AFA3D – Source Manuel AFA3D



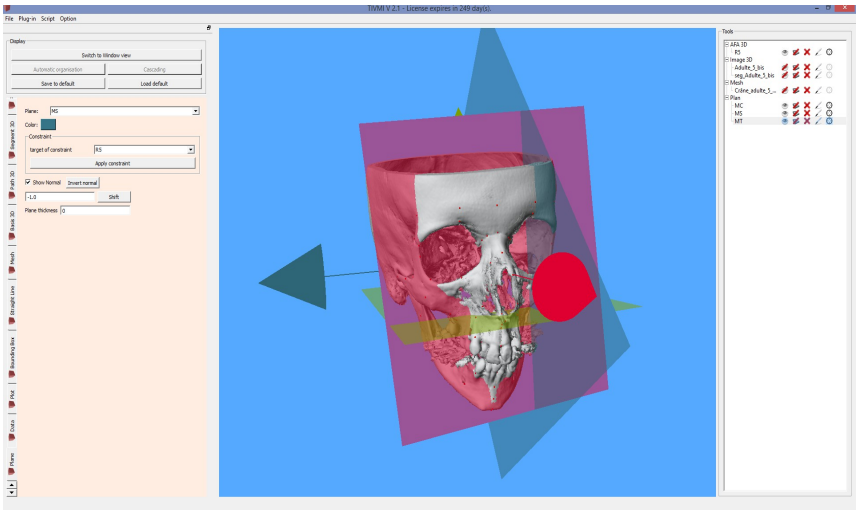
Exemple de point crâniométrique à placer lors du processus AFA3D – Source Manuel AFA3D

- Estimation par TIVMI des points de repère cutanés.
- Déformation du visage synthétique.

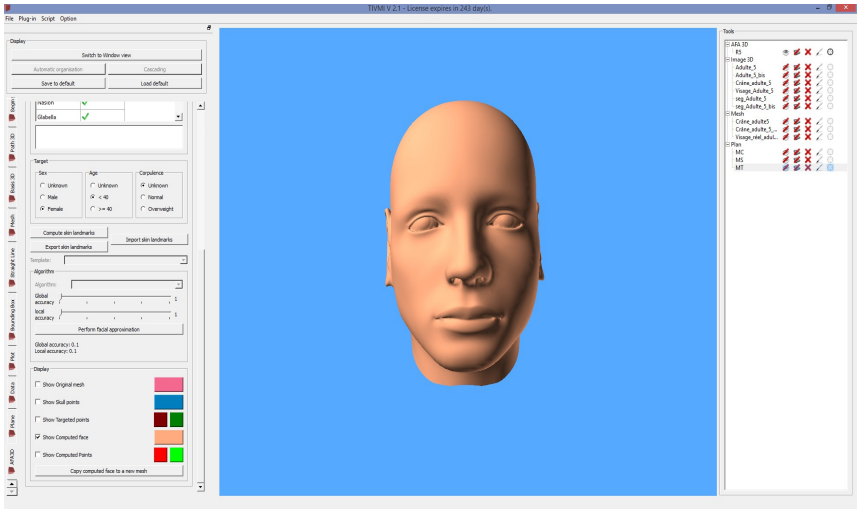
La reconstruction faciale de chaque crâne sec se fera selon deux niveaux de précision globale et locale : une reconstruction faciale avec un niveau de précision globale à 0 et locale à 0 (niveau de précision faible) et une reconstruction avec un niveau de précision globale à 2 et locale à 3. Ces niveaux de précision globale à 2 et locale à 3 sont indiqués pour obtenir une approximation correcte ; augmenter les niveaux de précision au delà de ces valeurs risquerait de ralentir le processus de reconstruction sans pour autant permettre d'augmenter la fiabilité de la reconstruction (39).



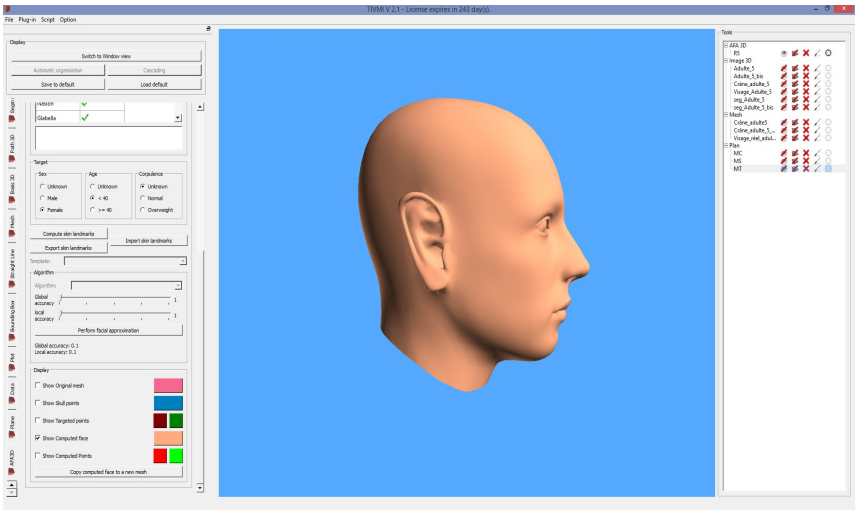
Importation d'un crâne sec à reconstituer dans le module AFA3D sur le logiciel TIVMI



Positionnement des 78 points crâniométriques lors du processus AFA3D en fonction des plans de référence sur le logiciel TIVMI



Reconstruction faciale 3D par AFA3D sur le logiciel TIVMI- Vue de face

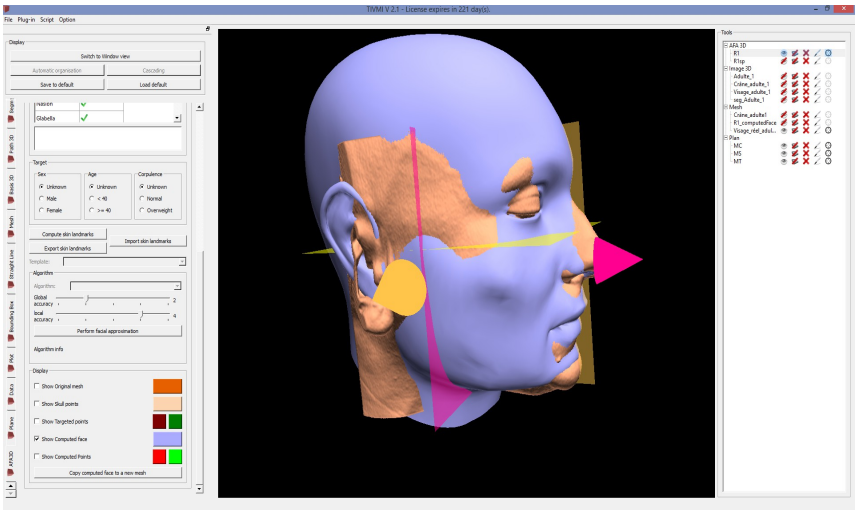


Reconstruction faciale 3D par AFA3D sur le logiciel TIVMI – Vue de profil

- Analyse des résultats :

  - comparaison des visages réels obtenus par TIVMI, Amira et OsiriX.

  - comparaison des visages réels obtenus par TIVMI et des reconstructions effectuées avec différents niveaux de précision, par superposition grâce aux plans de référence .



Superposition d'un visage réel et de sa reconstruction faciale par AFA3D sur le logiciel TIVMI grâce aux plans de référence

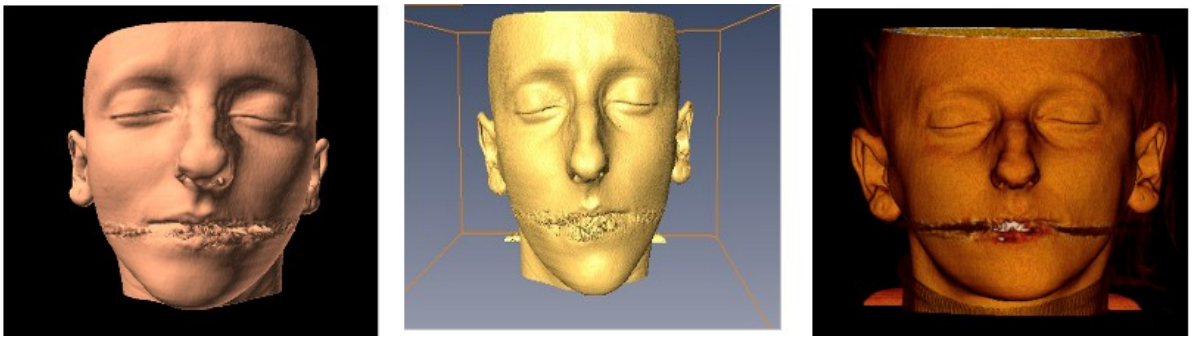
- Prise en compte des erreurs opérateur-dépendant (variabilité intra-opérateur) :

Une seconde reconstruction faciale est réalisée pour 2 des 7 crânes secs avec une précision globale et locale à 0 puis globale à 2 et locale à 3. Chaque nouvelle reconstruction sera superposée à son homologue, la première reconstruction effectuée, pour constater d'éventuelles variations.

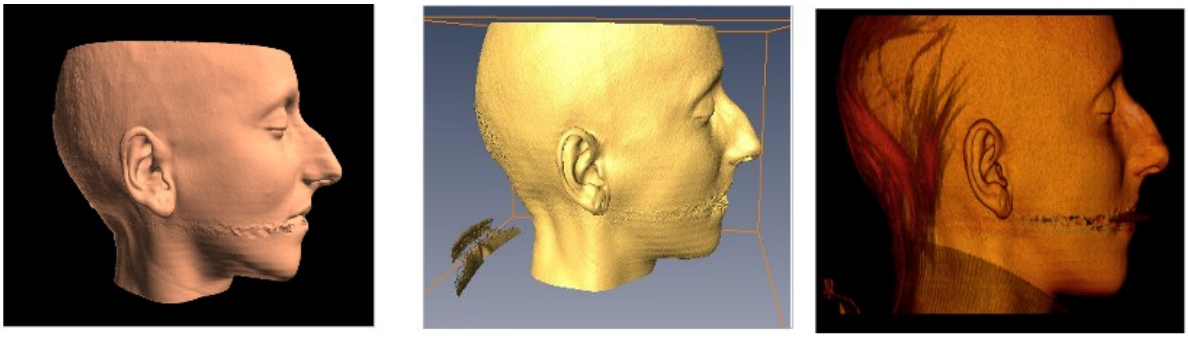
III.2 Résultats

III.2.1 Évaluation des visages réels (TIVMI, Amira, OsiriX)

ADULTE 1

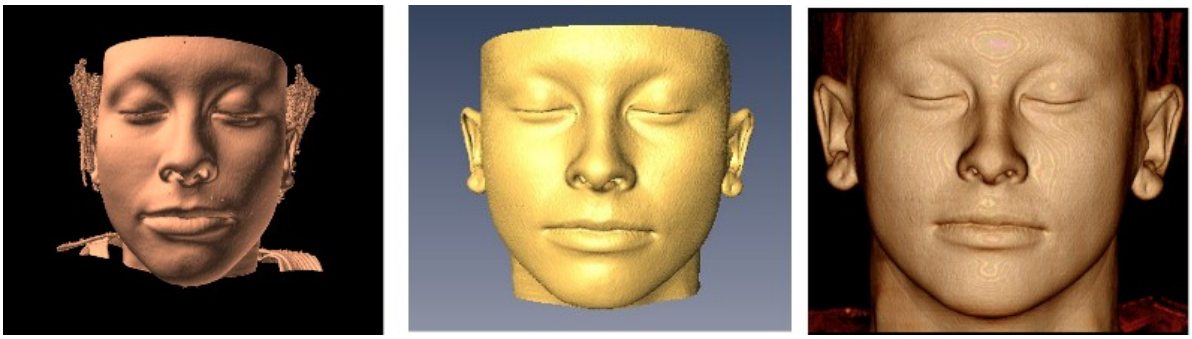


Adulte 1 – Vue de face – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

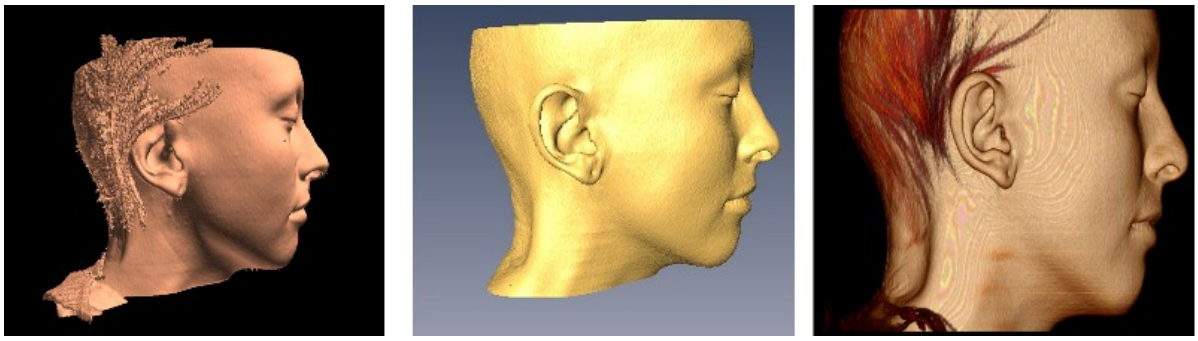


Adulte 1 – Vue de profil – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

ADULTE 2

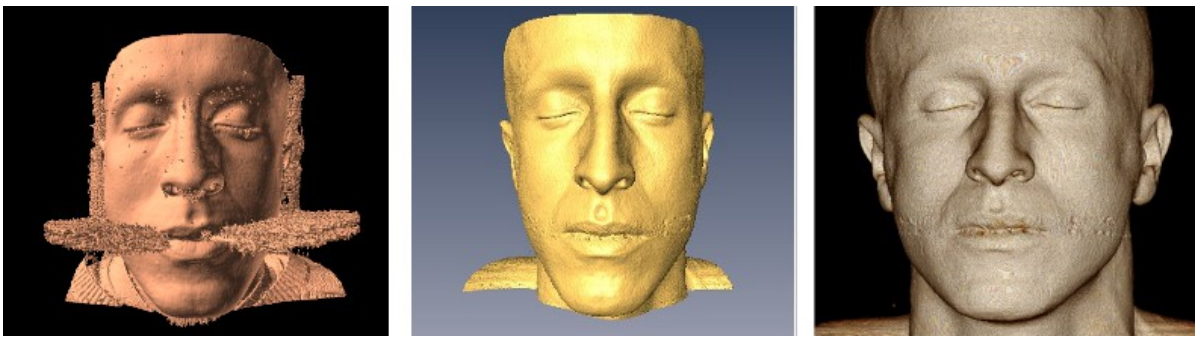


Adulte 2 – Vue de face – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

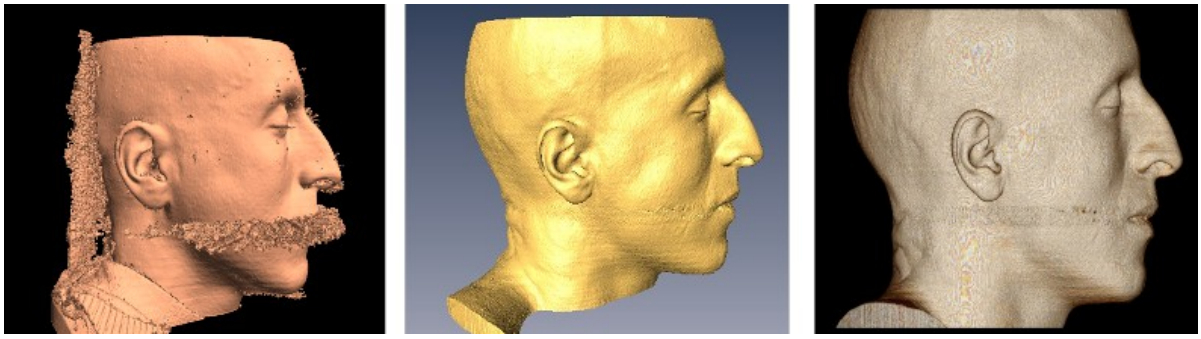


Adulte 2 – Vue de profil – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

ADULTE 3

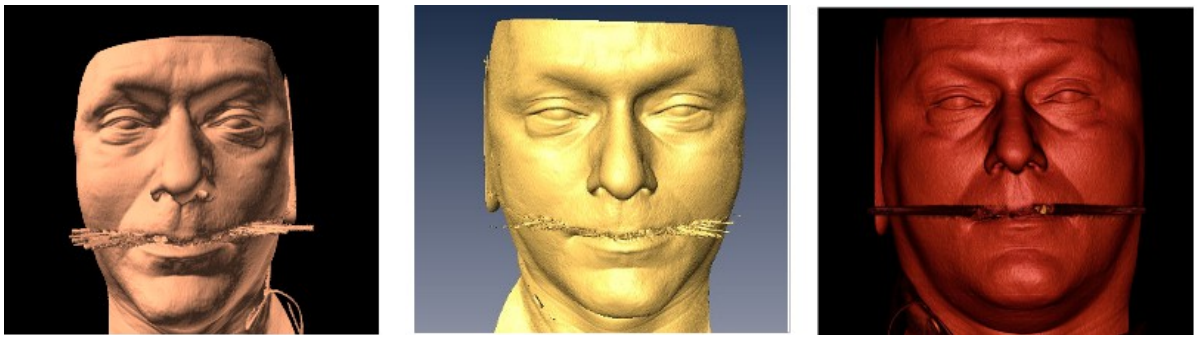


Adulte 3 – Vue de face – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

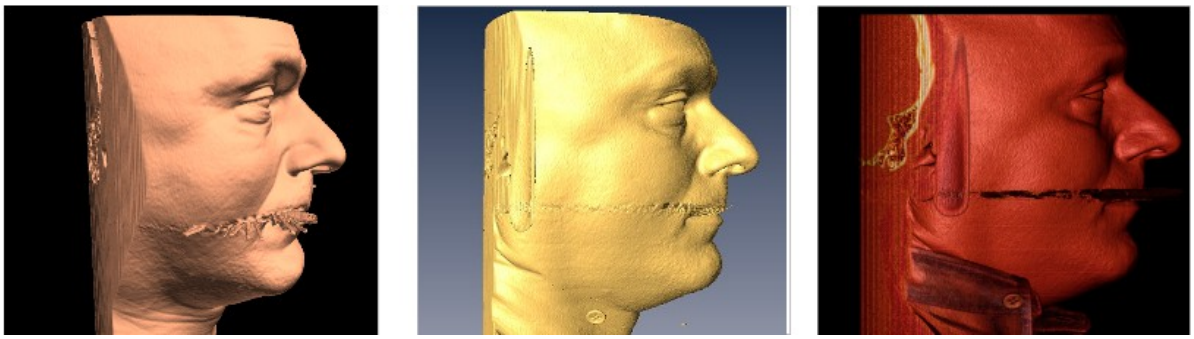


Adulte 3 – Vue de profil – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

ADULTE 4

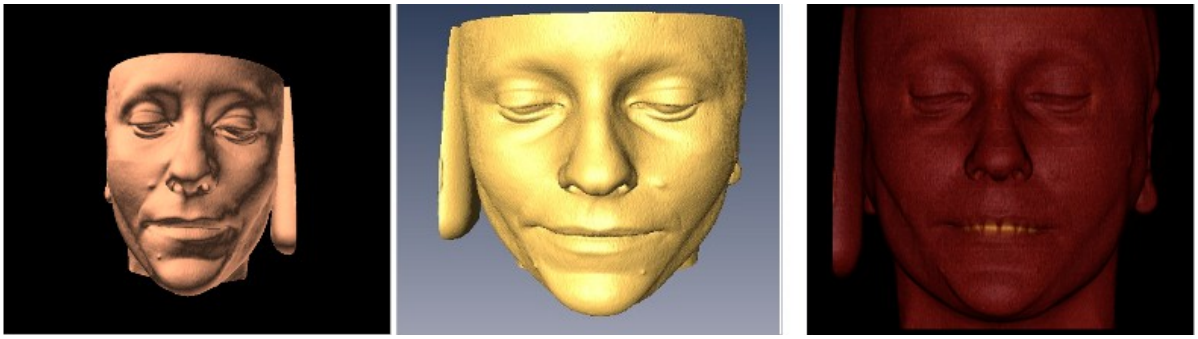


Adulte 4 – Vue de face – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

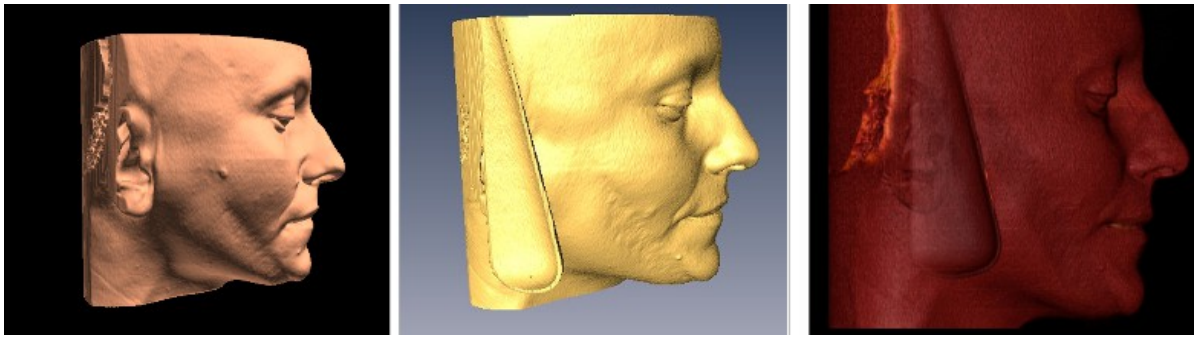


Adulte 4 – Vue de profil – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

ADULTE 5

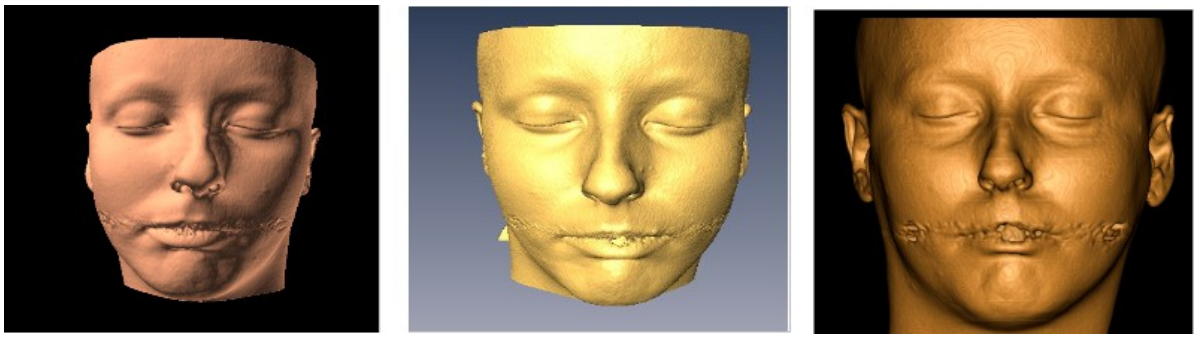


Adulte 5 – Vue de face – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)



Adulte 5 – Vue de profil – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

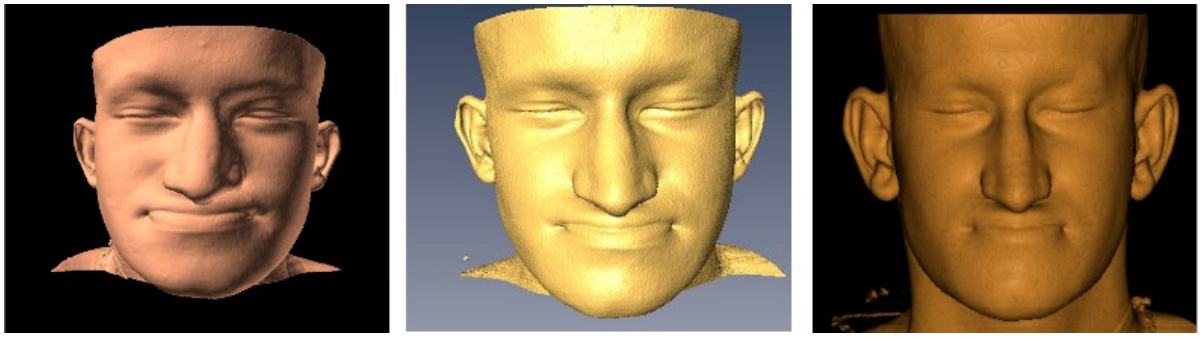
ADULTE 6



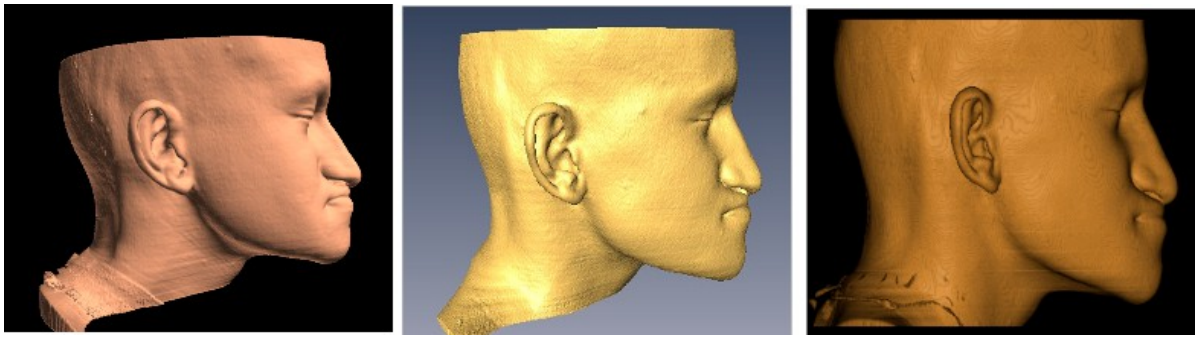
Adulte 6 – Vue de face – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

Adulte 6 – Vue de profil – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

ADULTE 7



Adulte 7 – Vue de face – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

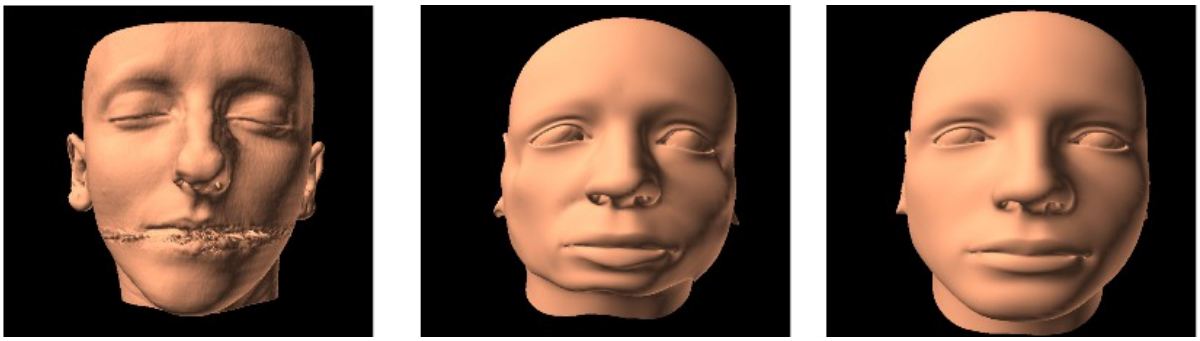


Adulte 7 – Vue de profil – Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI (à gauche) – Amira (au centre) – OsiriX (à droite)

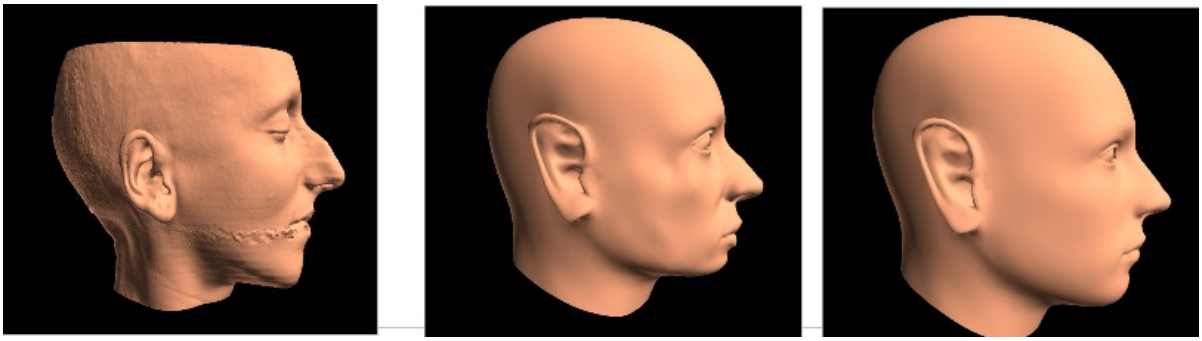
Les visages obtenus par TIVMI, Amira ou OsiriX, à partir d'une même acquisition tomodensitométrique et pour chacun des cas, ne sont pas parfaitement identiques. Les disparités notables concernent majoritairement la forme du visage, mais aussi le traitement des artéfacts radiologiques qui jouent sur la qualité du résultat final.

III.2.2 Évaluation Visage réel – Reconstructions

ADULTE 1



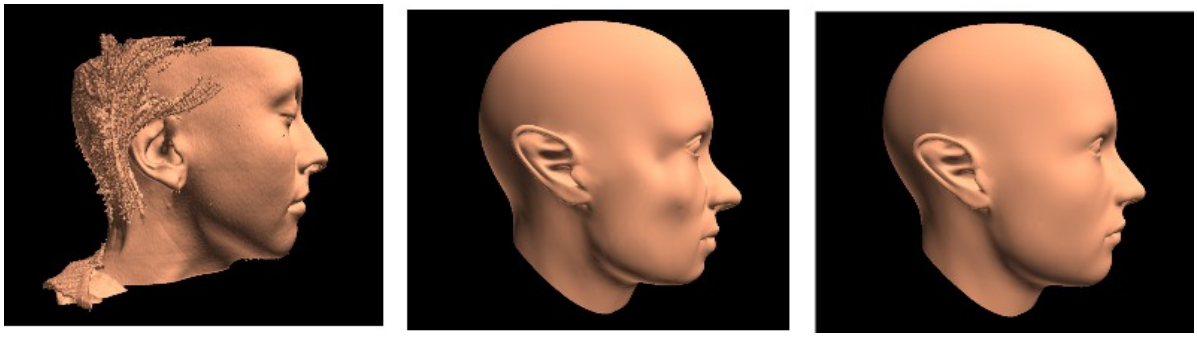
ADULTE 1 - Vue de face - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)



ADULTE 1 - Vue de profil - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)

ADULTE 2

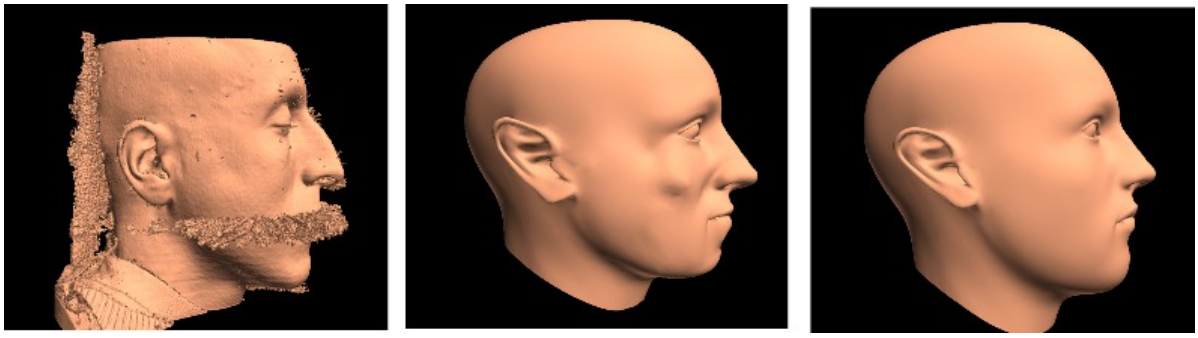
ADULTE 2 - Vue de face - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)



ADULTE 2 - Vue de profil - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)

ADULTE 3

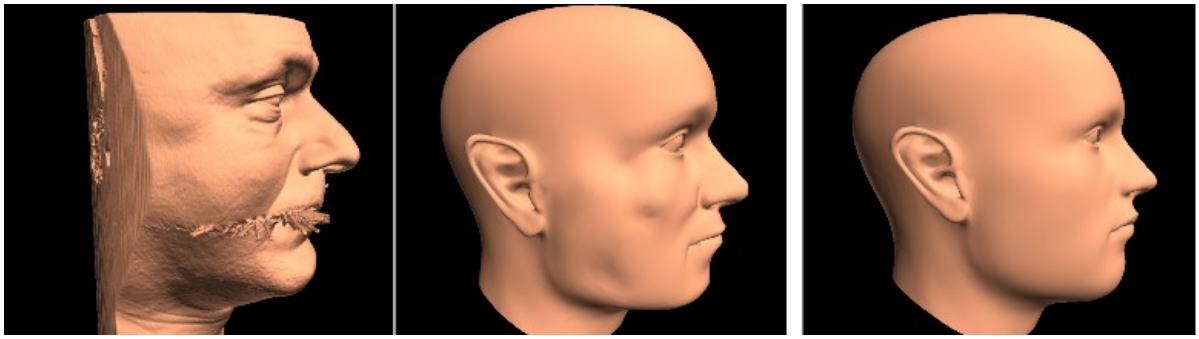
ADULTE 3 - Vue de face - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)



ADULTE 3 - Vue de profil - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)

ADULTE 4

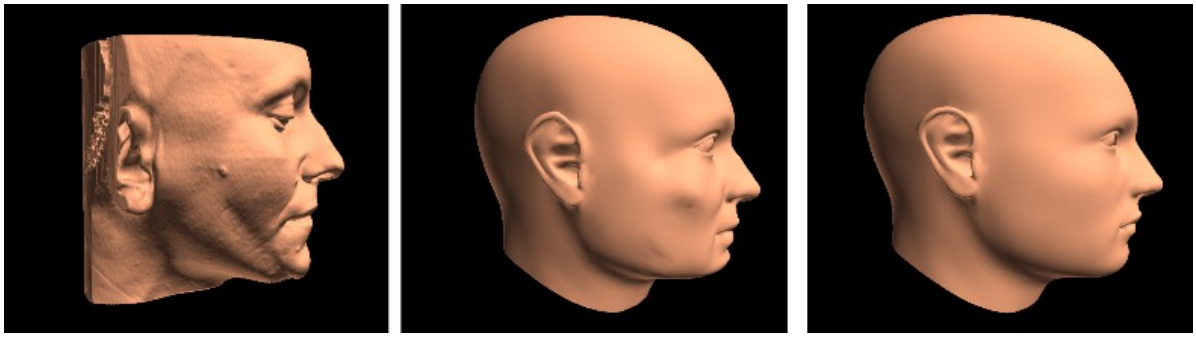
ADULTE 4 - Vue de face - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)



ADULTE 4 - Vue de profil - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)

ADULTE 5

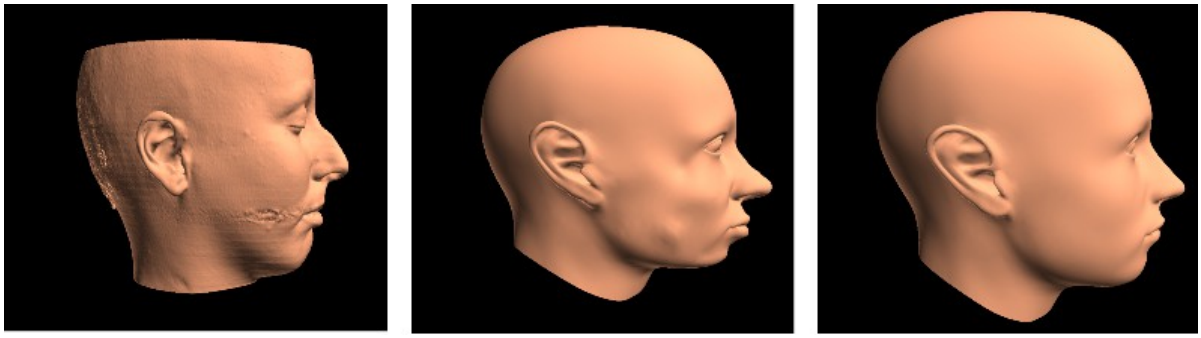
ADULTE 5 - Vue de face - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)



ADULTE 5 - Vue de profil - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)

ADULTE 6

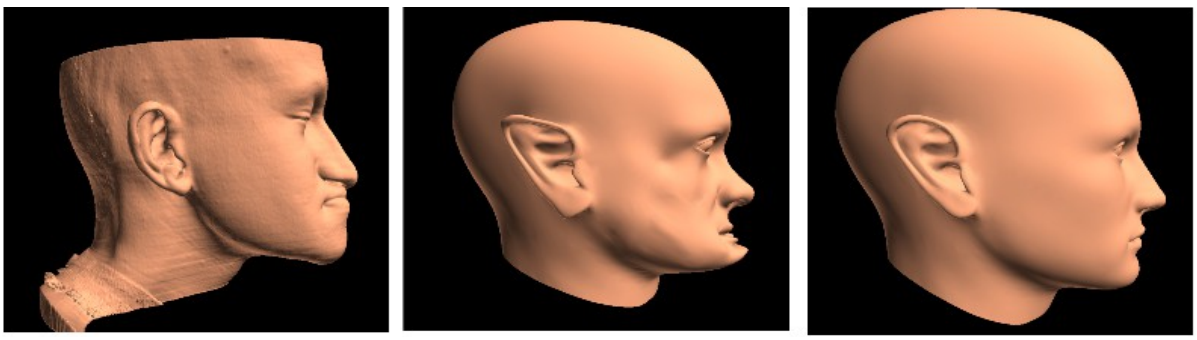
ADULTE 6 - Vue de face - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)



ADULTE 6 - Vue de profil - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)

ADULTE 7

ADULTE 7 - Vue de face - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)

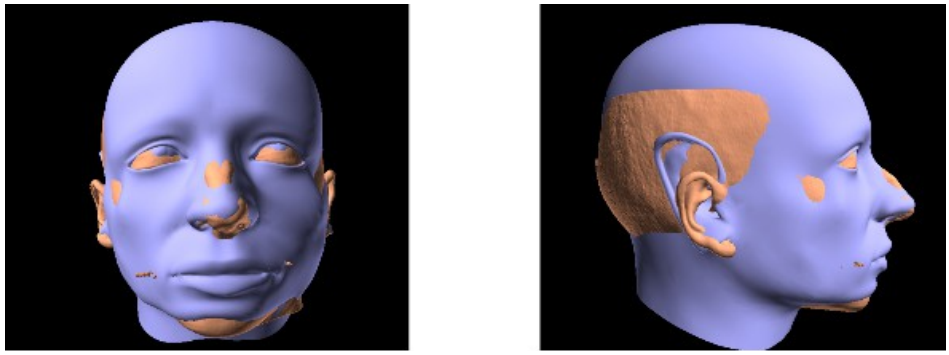


ADULTE 7 - Vue de profil - Reconstruction du visage réel (à gauche) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (au centre) - Reconstruction AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (à droite)

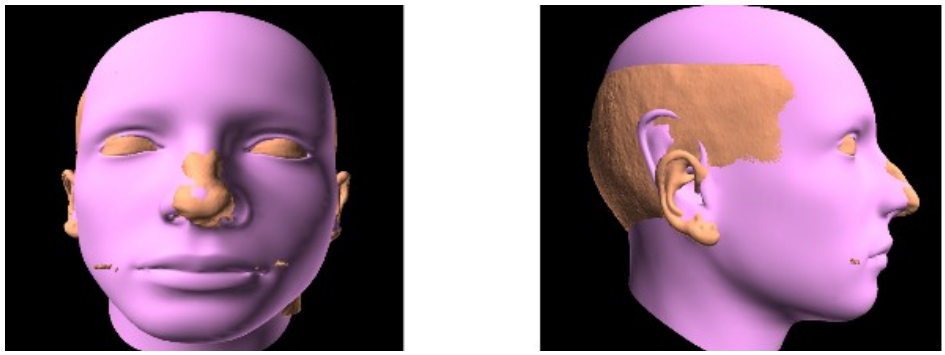
Si les reconstructions avec le niveau de précision globale à 2 et locale à 3 sont plus satisfaisantes au point de vue de la reconnaissance faciale que celle avec le niveau de précision globale et locale à 0, la ressemblance avec le visage réel reste floue. Les cas présentant des dysmorphoses importantes mettent en avant les difficultés du logiciel à reconstruire les cas en marge de la base de données.

III.2.3 Superposition Visages réels - Reconstructions

ADULTE 1

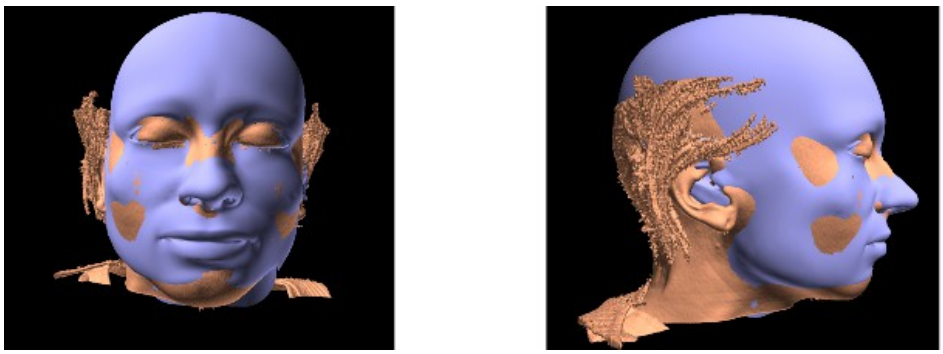


ADULTE 1 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (en bleu) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

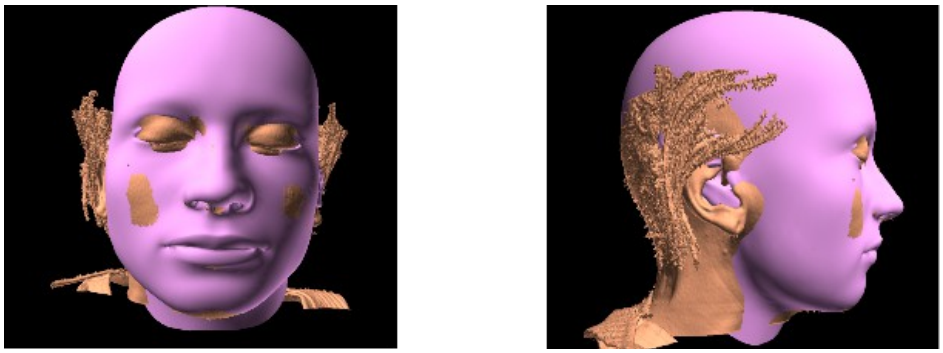


ADULTE 1 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (en rose) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

ADULTE 2

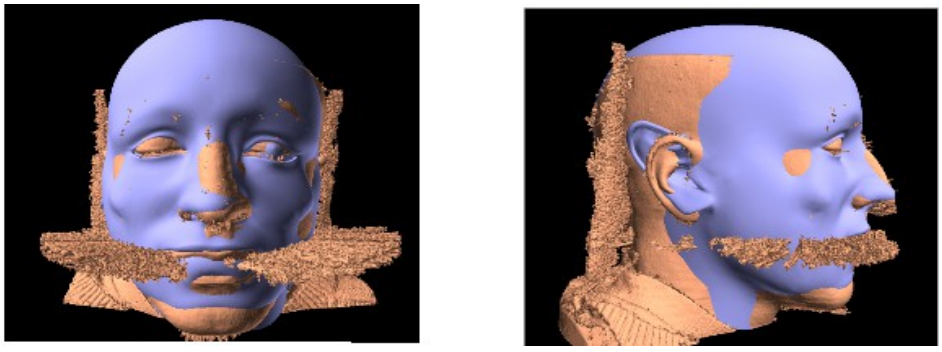


ADULTE 2 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (en bleu) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

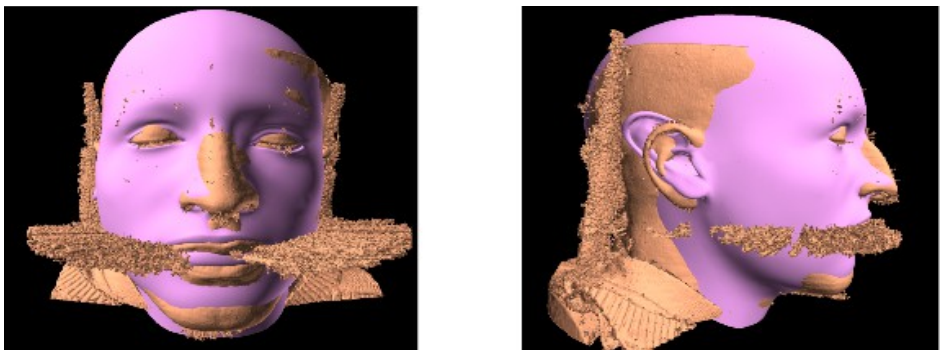


ADULTE 2 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (en rose) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

ADULTE 3

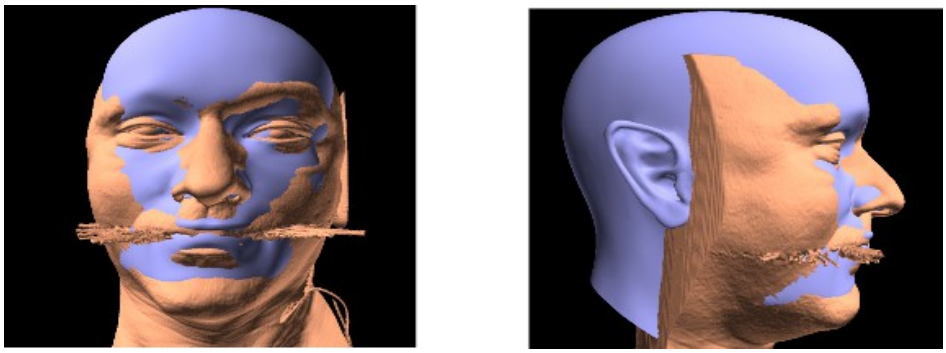


ADULTE 3 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (en bleu) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

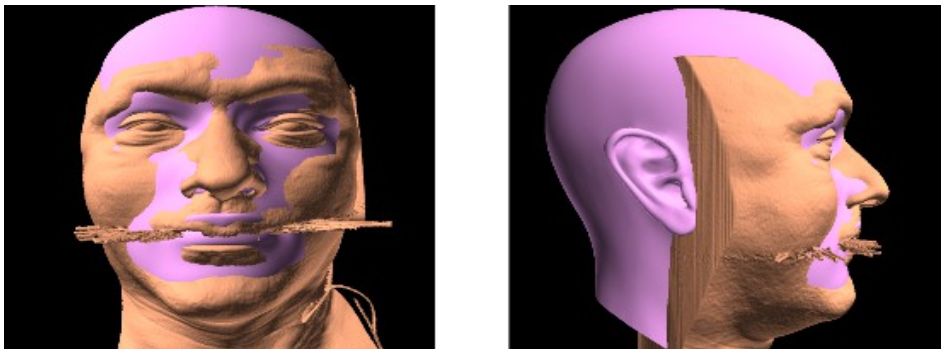


ADULTE 3 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (en rose) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

ADULTE 4

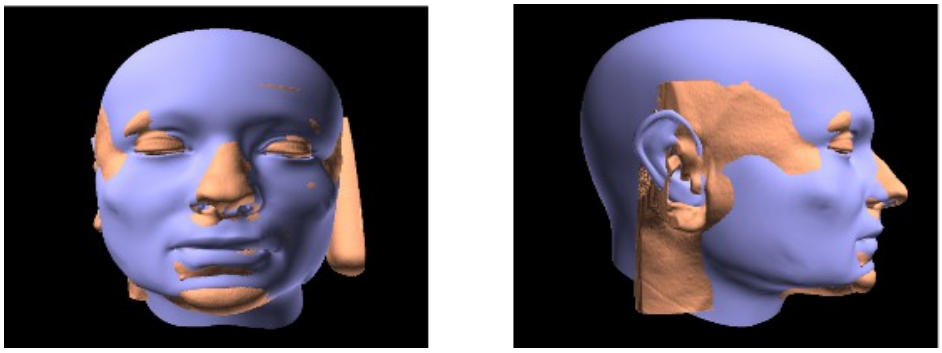


ADULTE 4 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (en bleu) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

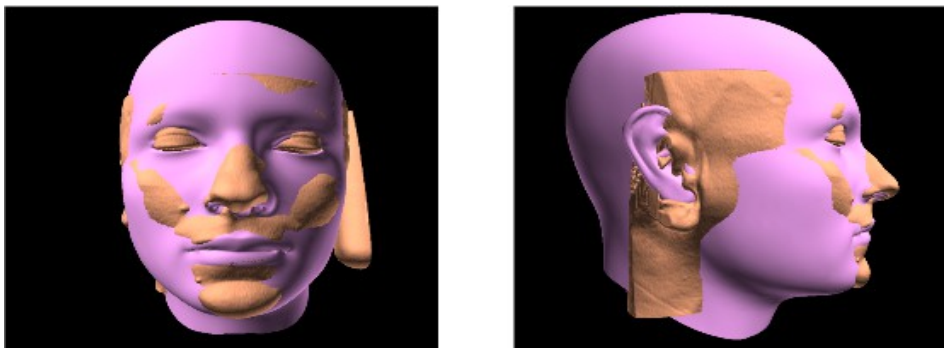


ADULTE 4 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (en rose) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

ADULTE 5

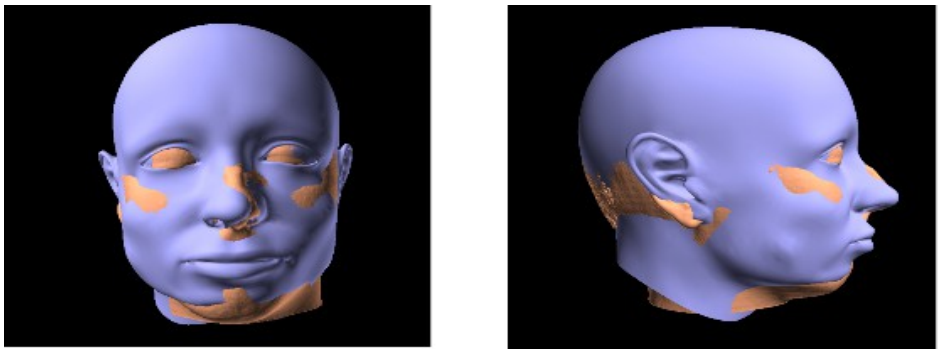


ADULTE 5 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (en bleu) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)



ADULTE 5 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (en rose) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

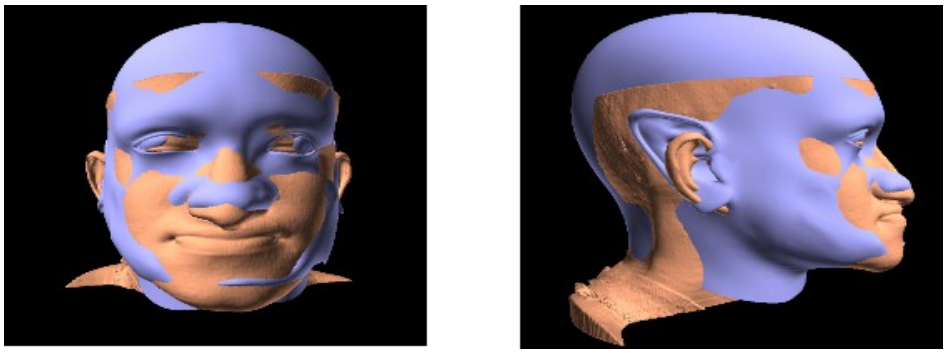
ADULTE 6



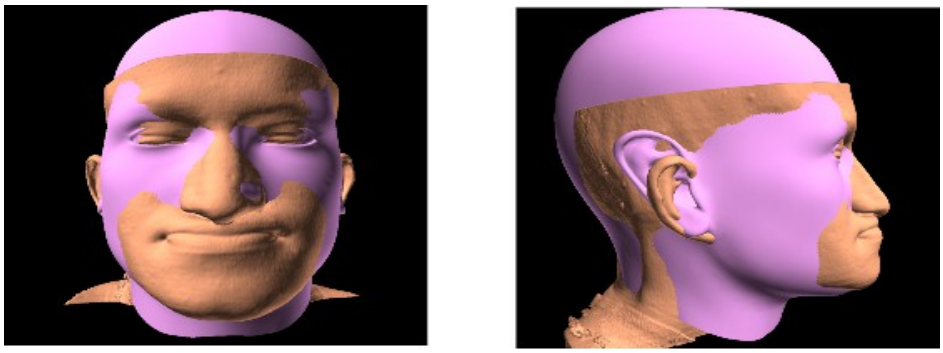
ADULTE 6 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (en bleu) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

ADULTE 6 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (en rose) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

ADULTE 7



ADULTE 7 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 (en bleu) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

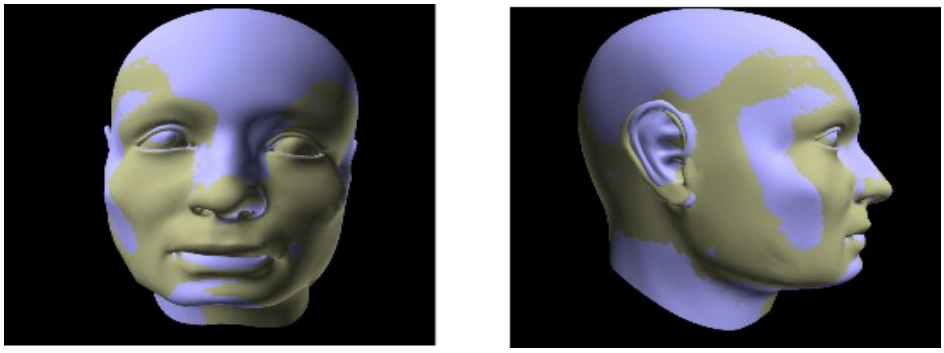


ADULTE 7 - Superposition visage réel (en beige) / Reconstruction faciale AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 (en rose) - Vue de face (à gauche) - Vue de profil (à droite)

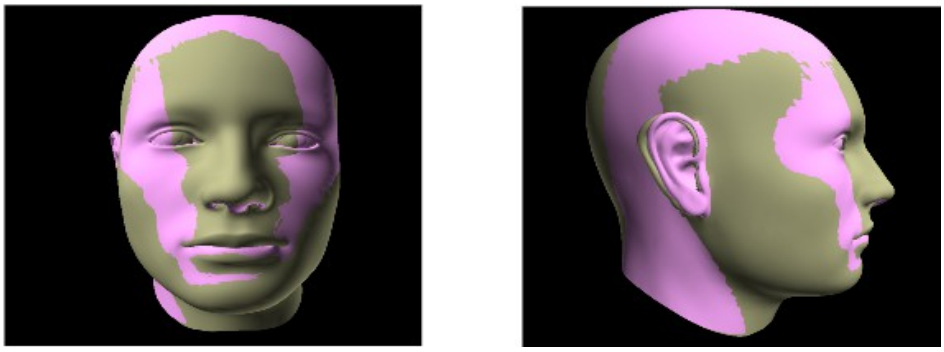
La superposition des reconstructions faciales AFA3D, quel que soit le niveau de précision utilisé, avec les visages réels permet de mettre en évidence une surestimation de l'épaisseur des tissus mous excepté pour les régions nasale, mentonnière et temporale, sous évaluées.

III.2.4 Erreurs intra-opérateur

ADULTE 5

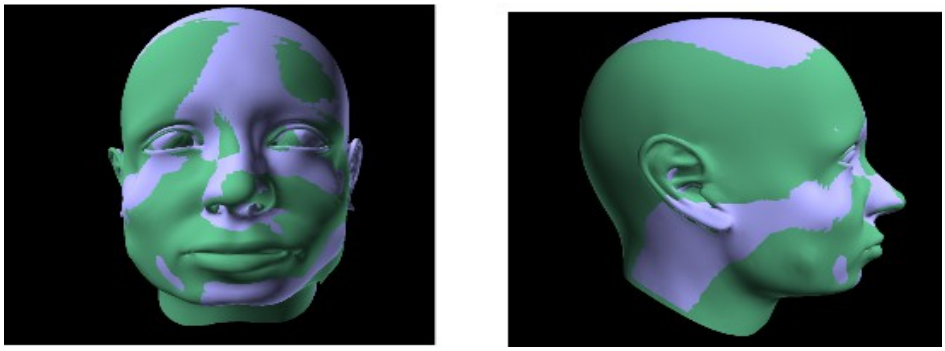


Adulte 5 : Superposition des reconstructions faciales AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 – Première reconstruction en vert / Seconde reconstruction en bleu – Vue de face (à gauche) – Vue de profil (à droite)

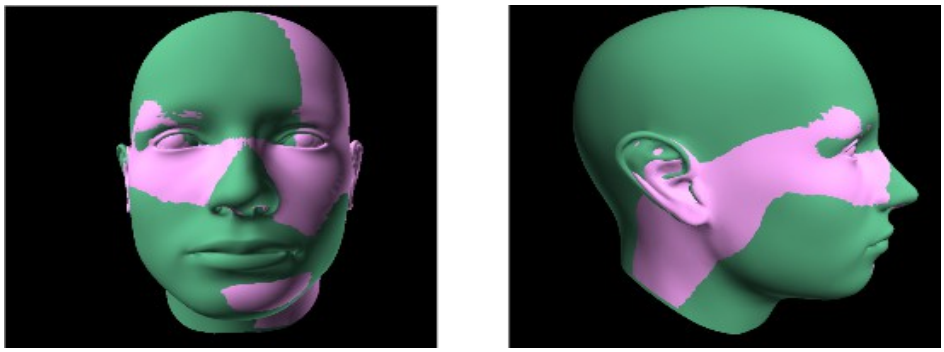


Adulte 5 : Superposition des reconstructions faciales AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 – Première reconstruction en vert / Seconde reconstruction en rose– Vue de face (à gauche) – Vue de profil (à droite)

ADULTE 6



Adulte 6 : Superposition des reconstructions faciales AFA3D avec précision globale à 2 et locale à 3 – Première reconstruction en vert / Seconde reconstruction en bleu – Vue de face (à gauche) – Vue de profil (à droite)



Adulte 6 : Superposition des reconstructions faciales AFA3D avec précision globale à 0 et locale à 0 – Première reconstruction en vert / Seconde reconstruction en rose– Vue de face (à gauche) – Vue de profil (à droite)

Dans les deux cas, quel que soit le niveau de précision utilisé, la seconde reconstruction faciale par l'AFA3D est identique à la première reconstruction réalisée.

III.3 Discussion

- ***Reconstruction des visages réels par les logiciels TIVMI, Amira et OsiriX :***

À partir des mêmes scanners, présentant l'ensemble des tissus mous et des tissus durs de la tête, des différences apparaissent entre les reconstructions des visages réels en fonction des logiciels utilisés. La forme du visage, qui joue un rôle important dans la reconnaissance faciale, chez les Adultes 1, 4 et 6 est similaire sur les visages obtenus par TIVMI et Amira mais diffère sur les visages obtenus par OsiriX sur une vue de face. Chez l'Adulte 3, c'est la forme du visage obtenu par TIVMI qui s'éloigne des visages Amira et OsiriX. Sur les vues de profil, les résultats sont globalement identiques sauf pour la reconstruction OsiriX de l'Adulte 1. Il est à noter cependant que l'orientation donnée au visage pour obtenir l'image en deux dimensions peut jouer sur la perception de la forme.
Les artéfacts radiologiques dus aux amalgames dentaires nuisent aux résultats obtenus pour les Adultes 1 et 4 reconstruits par les trois logiciels alors que chez l'Adulte 3, seul le cas de TIVMI présente une forte altération de l'image.

Si les cas de reconstructions de visages réels sont majoritairement similaires, il est intéressant de remarquer qu'il existe tout de même, en partant d'une base identique d'informations (acquisitions tomodensitométriques « tête entière »), des variations pouvant jouer sur la reconnaissance faciale selon le processus utilisé par les logiciels TIVMI, Amira et OsiriX pour la reconstitution.

- ***Reconstructions des crânes secs avec variabilité du niveau de précision :***

Pour un crâne sec, deux reconstructions faisant varier les paramètres de précision globale et locale de l'extension AFA3D du logiciel TIVMI ont été réalisées. Dans la pratique, le niveau de précision choisi fait varier la durée de la reconstruction, cette dernière s'allongeant pour un niveau de précision élevé. Ce paramètre se révèle cependant non négligeable compte tenu des différences obtenues entre les deux visages reconstruits.
Avec une précision globale et locale à 0, les visages obtenus restent fortement marqués par le visage source synthétique utilisé et une similarité est à noter entre les reconstructions alors que les visages réels ne présentent initialement aucune ressemblance.

Avec une précision globale à 2 et locale à 3, la reconstruction prend un aspect « plus humain » avec des tissus mous plus marqués, moins lisses sur l'ensemble du visage. Les zones de variations sont identiques et évoluent dans le même sens sur les différentes reconstructions. Les sillons naso-géniens apparaissent plus nettement, ainsi que le sillon labio-mentonnier. La région zygomatique se dessine sous les tissus mous. La partie inférieure du menton, sur une vue de face, affiche une concavité systématique mais non représentative de la réalité ; en résulte une forme carrée du visage. En effet, la forme du visage reste invariablement carrée pour les reconstructions à haut niveau de précision et ovalaire pour les reconstructions à faible niveau de précision. Si la région nasale reste peu caractérisée et influencée par le visage modèle, notamment sur une vue de face, l'arête nasale se courbe, la forme du nez devient moins droite, plus irrégulière, la précision augmentant.

- ***Superposition des visages réels avec les visages reconstruits :***

Les superpositions des reconstructions avec les visages réels mettent en évidence une surévaluation globale du visage par le logiciel de reconstruction. La forme du visage évoquée précédemment, carrée ou ovalaire, donne un aspect trop large au visage et s'éloigne de la réalité. Certaines zones, néanmoins, sont elles généralement sous-évaluées. Il s'agit des régions nasale, temporale et mentonnière. La région nasale formée principalement de cartilage pose problème dans les reconstructions. Alors que l'on constate d'assez grandes disparités concernant la forme du nez des différents sujets, les nez obtenus pour les différentes reconstructions présentent seulement de légères variations. La région auriculaire, certes très variable selon les cas et par rapport à la réalité, ne présentant que peu d'intérêt dans la reconnaissance faciale. Cette zone étant difficile à obtenir dans son intégralité sur le crâne sec à partir de la segmentation HMH, le positionnement des points crâniométriques dans cette région a manqué de précision et constitue un biais pour l'évaluation du logiciel.

- ***Cas de dysmorphoses prononcées :***

La difficulté d'établir une base de données représentative de l'ensemble de la population évoquée précédemment prend toute sa mesure dans le cas des dysmorphoses prononcées. Concernant le logiciel TIVMI et l'extension AFA3D, les cas de déformations faciales majeures pathologiques, traumatiques ou chirurgicales ont été exclus de la base de

données (1). Les limites du logiciel se lisent à travers l'aspect original des visages reconstruits pour des individus aux dysmorphoses importantes (Adulte 7, Adulte 6). La ressemblance des reconstructions avec les visages réels reste très limitée.

- ***Erreurs opérateur-dépendant (Variabilité intra-opérateur) :***

Deux cas ont été refaits pour évaluer le biais dû à l'opérateur lors de la reconstruction avec le logiciel. Les reconstructions obtenues se confondent excepté au niveau de la zone auriculaire qui présente peu d'intérêt pour la reconnaissance. Les erreurs intra-opérateur sont donc négligeables.

Dans le cadre d'une reconnaissance faciale formelle, les visages reconstruits par TIVMI présentent certaines lacunes. Les régions d'intérêts (nez, bouche, menton) ne sont pas reconstituées de manière assez précise pour permettre d'identifier un individu avec certitude. La forme des visages obtenue est stéréotypée et manque de réalisme. La base de données semble trop restrictive pour prétendre reconstituer tout type de physionomie et élimine les cas les plus importants de dysmorphoses. La comparaison entre visage réel et visage reconstruit, même avec une précision optimale, peut laisser le spectateur perplexe. Il convient alors de rappeler que la reconstruction faciale n'a jamais prétendu fournir un visage parfaitement fidèle au visage recherché, l'objectif étant d'orienter la reconnaissance faciale, d'inspirer le spectateur. Les reconstructions faciales réalisées par le logiciel TIVMI et l'extension AFA3D sont obtenues par la technique de déformation surfacique d'un visage synthétique. L'agencement des 78 points crâniométriques nécessaires à la reconstruction est unique pour chaque crâne sec et va permettre de modéliser le visage synthétique source, initialement commun aux reconstructions, en un visage propre à chaque sujet. La familiarité constatée sur l'ensemble des visages reconstruits met en évidence l'influence du visage source sur le résultat final et les limites du logiciel. Le nombre de points de repères doit-il être augmenté pour améliorer la caractérisation du visage reconstruit ? Les variations constatées sur les résultats obtenus par les logiciels TIVMI, Amira et OsiriX pour les reconstructions de visages réels, réalisées avec tous les éléments à disposition (tissus durs et mous dans leur intégralité), montrent qu'il est nécessaire de travailler sur le niveau de précision de la reconstruction.

CONCLUSION

Bien qu'ayant déjà plus d'un siècle d'existence, la reconstruction faciale n'a pas encore réussi à convaincre de son extrême rigueur scientifique et reste une technique de second plan, utilisée plutôt « par défaut » en anthropologie médico-légale. La méthode manuelle et sa touche artistique laissent sceptiques les esprits cartésiens et refroidit les plus courageux par sa longue mise en œuvre. Cependant, les progrès technologiques ont permis de développer sa cousine, la méthode informatique. Plus rapide et plus objective, son principe repose sur la déformation d'un visage source de manière à le faire correspondre à un crâne cible, le crâne de l'individu à identifier. Que ce soit par déformation volumique (algorithme de transformation géométrique d'un visage associé à un crâne) ou par déformation surfacique (ensemble du visage source déformé sur le crâne cible), techniques relatives à la méthode informatisée, ou l'application d'un matériau modelable sur un crâne dans la méthode manuelle, le problème majeur de la reconstruction faciale reste la constitution de la base de données. L'imagerie médicale, notamment la tomodensitométrie, en offrant des découpes précises entre tissus mous et tissus durs et un nombre important de cas à étudier, a détrôné les premières techniques de mesures réalisées à l'aiguille et au couteau sur cadavre et a permis d'étoffer les bases de données constituées.

Dans ce cadre, le logiciel TIVMI destiné initialement aux chercheurs en anthropologie, s'est vu complété d'un module de reconstruction faciale 3D, l'AFA3D. Basé sur le principe de déformation surfacique, il permet à partir d'un crâne sec de reconstituer le visage correspondant. Les 7 cas étudiés au cours de ce travail ont permis de mettre en évidence les atouts, mais aussi les limites du logiciel. Rapide d'exécution, simple d'utilisation, les résultats obtenus sont cependant marqués par le visage synthétique source utilisé. Le logiciel marque une tendance à surévaluer les tissus mous du visage. Certaines zones, comme le menton et le nez, présentent des similarités au niveau des reconstructions qui ne sont pas en lien avec la réalité. Les cas de dysmorphoses importantes étudiés montrent la nécessité d'élargir la base de données utilisée par le logiciel pour étendre son utilisation à l'ensemble de la population adulte.

Le logiciel TIVMI avec l'extension AFA3D contribue aux progrès scientifiques en matière de reconstruction faciale et tend à simplifier, démocratiser l'utilisation de la méthode informatique dans le cadre d'enquêtes judiciaires et de l'identification médico-légale.

Cependant, pour prétendre répondre à l'exactitude scientifique, indispensable en anthropologie médico-légale, des améliorations doivent être apportées au niveau de la précision de la déformation du visage source en fonction du crâne cible.

Loin de ses premiers balbutiements, le domaine de la reconstruction faciale a évolué de concert avec les progrès informatiques. L'imagerie médicale a un rôle capital à jouer dans l'amélioration des bases de données, et au vu de la rapidité de l'évolution technologique, ce domaine peut espérer devenir un acteur majeur de l'anthropologie médico-légale.

BIBLIOGRAPHIE

1. Guyomarc'h P. Reconstitution faciale par imagerie 3d : variabilité morphométrique et mise en oeuvre informatique [Internet] [Thèse de doctorat]. Bordeaux 1; 2011. 354 p. Disponible sur : http://www.theses.fr/2011BOR14354

2. Wilkinson C. Forensic Facial Reconstruction. Cambridge University Press ; 2004. 306 p.

3. Buzug TM. Special Issue on Computer-Assisted Craniofacial Reconstruction and Modeling. Journal of Computing and Information Technology. 2006 ; 1–6.

4. Lee W-J, Wilkinson CM, Hwang H-S. An accuracy assessment of forensic computerized facial reconstruction employing cone-beam computed tomography from live subjects. J Forensic Sci. 2012 Mar ; 57(2):318–27.

5. Stephan CN. Anthropological facial 'reconstruction--recognizing the fallacies, "unembracing" the errors, and realizing method limits. Sci Justice J Forensic Sci Soc. 2003 Dec ; 43(4):193–200.

6. Vanezis P, Blowes RW, Linney AD, Tan AC, Richards R, Neave R. Application of 3-D computer graphics for facial reconstruction and comparison with sculpting techniques. Forensic Sci Int. 1989 Jul ; 42(1–2):69–84.

7. Astier C, Maret D. Identification estimative en odontologie médico-légale: contribution à l'intégration d'un nouveau type de données épidémiologiques [Thèse d'exercice]. Toulouse, France: Université Paul Sabatier, Toulouse 3 ; 2013. 146 p.

8. Işcan MY, Quatrehomme G. Medicolegal anthropology in France. Forensic Sci Int. 1999 Mar 15 ; 100(1-2):17–35.

9. Ravello C. L'importance de l'odontologie médico-légale dans l'identification judiciaire [Thèse d'exercice]. Henri Poincaré Nancy 1 ; 2011. 170 p.

10. Bou C, Benali L. Identification et Odontologie légale. Cours en Médecine légale. Attachés de justice ENM ; 2015.

11. Vanezis P, Vanezis M, McCombe G, Niblett T. Facial reconstruction using 3-D computer graphics. Forensic Sci Int. 2000 Feb 14 ; 108(2):81–95.

12. Starbuck JM, Ward RE. The affect of tissue depth variation on craniofacial reconstructions. Forensic Sci Int. 2007 Oct 25 ; 172(2–3):130–6.

13. Guyomarc'h P, Santos F, Dutailly B, Coqueugniot H. Facial soft tissue depths in French adults: Variability, specificity and estimation. Forensic Sci Int. 2013 Sep 10 ; 231(1–3):411.e1–411.e10.

14. Nelson LA, Michael SD. The application of volume deformation to three-dimensional facial reconstruction: A comparison with previous techniques. Forensic Sci Int. 1998 Jun 22 ; 94(3):167–81.

15. Atkinson GA, Farooq AR, Smith ML, Smith LN. Facial Reconstruction and Alignment Using Photometric Stereo and Surface Fitting. In: Araujo H, Mendonça AM, Pinho AJ, Torres MI, editors. Pattern Recognition and Image Analysis [Internet]. Springer Berlin Heidelberg; 2009. p. 88–95. Disponible sur : http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-02172-5_13

16. Chastang C. Analyse discriminante des différentes parties d'un visage dans un processus de reconnaissance faciale : étude évaluative [Internet] [thèse d'exercice]. Bordeaux 2 ; 2013. 81 p. Disponible sur: http://babordplus.univ-bordeaux.fr/notice.php?q=id:1869597

17. Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A, Marks MK, Hart R, et al. Concordance of traditional osteometric and volume-rendered MSCT interlandmark cranial measurements. Int J Legal Med. 2013 Mar ; 127(2):505–20.

18. Tilotta F, Richard F, Glaunès J, Berar M, Gey S, Verdeille S, et al. Construction and analysis of a head CT-scan database for craniofacial reconstruction. Forensic Sci Int. 2009 Oct 30 ; 191(1–3):112.e1–112.e12.

19. Rhine JS, Campbell HR. Thickness of facial tissues in American blacks. J Forensic Sci. 1980 Oct ; 25(4):847–58.

20. George RM. The Lateral Craniographic Method of Facial Reconstruction. J Forensic Sci. 1987 Sep 1 ; 32(5):11181J.

21. Dumont ER. Mid-facial tissue depths of white children: an aid in facial feature reconstruction. J Forensic Sci. 1986 Oct ; 31(4):1463–9.

22. Greef SD, Willems G. Three-dimensional Cranio-Facial Reconstruction in Forensic Identification: Latest Progress and New Tendencies in the 21st Century. J Forensic Sci. 2005 ; 50(1):1–5.

23. Vandermeulen D, Claes P, Loeckx D, De Greef S, Willems G, Suetens P. Computerized craniofacial reconstruction using CT-derived implicit surface representations. Forensic Sci Int. 2006 May 15 ; 159 Suppl 1:S164–74.

24. Hatch GM, Dedouit F, Christensen AM, Thali MJ, Ruder TD. RADid: A pictorial review of radiologic identification using postmortem CT. J Forensic Radiol Imaging. 2014 Apr ; 2(2):52–9.

25. Sarment DP, Christensen AM. The use of cone beam computed tomography in forensic radiology. J Forensic Radiol Imaging. 2014 Oct ; 2(4):173–81.

26. Fourie Z, Damstra J, Gerrits PO, Ren Y. Accuracy and reliability of facial soft tissue depth measurements using cone beam computer tomography. Forensic Sci Int. 2010 Jun 15 ; 199(1–3):9–14.

27. Ullrich H, Stephan CN. On Gerasimov's Plastic Facial Reconstruction Technique: New Insights to Facilitate Repeatability. J Forensic Sci. 2011 Mar 1 ; 56(2):470–4.

28. Knyaz VA, Abramov SS, Zheltov SY, Stepanyants DG, Saltykova EB. An Approach for Unknown Human Face 3D reconstruction basing on skull 3D model. GraphiCon. 2001 ; 106-110.

29. Quatrehomme G, Cotin S, Subsol G, Delingette H, Garidel Y, Grévin G, et al. A Fully Three-Dimensional Method for Facial Reconstruction Based on Deformable Models. J Forensic Sci. 1997 ; 42(4):649–52.

30. Wilkinson C. Computerized forensic facial reconstruction. Forensic Sci Med Pathol. 2005 Sep ; 1(3):173–7.

31. Claes P, Vandermeulen D, De Greef S, Willems G, Suetens P. Craniofacial reconstruction using a combined statistical model of face shape and soft tissue depths: methodology and validation. Forensic Sci Int. 2006 May 15 ; 159 Suppl 1:S147–58.

32. Vignal J-N. Reconstitution faciale assistée par ordinateur: données tomodensitométriques, déformation d'image ou "warping" [Thèse de doctorat]. Bordeaux 1 ; 1998. 192 p.

33. Berar M, Desvignes M, Bailly G, Payan Y. 3D Semi-Landmarks Based Statistical Face Reconstruction. CIT J Comput Inf Technol. 2004 Oct 5 ; 14(1):31–43.

34. Vandermeulen D, Claes P, Suetens P, De Greef S, Willems G. Volumetric deformable face models for cranio-facial reconstruction. In: Proceedings of the 4th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, ISPA . 2005 ; p. 353–8.

35. Phillips VM, Smuts NA. Facial reconstruction: utilization of computerized tomography to measure facial tissue thickness in a mixed racial population. Forensic Sci Int. 1996 Nov 11 ; 83(1):51–9.

36. De Greef S, Claes P, Vandermeulen D, Mollemans W, Suetens P, Willems G. Large-scale in-vivo Caucasian facial soft tissue thickness database for craniofacial reconstruction. Forensic Sci Int. 2006 May 15 ; 159 Suppl 1:S126–46.

37. Guyomarc'h P, Santos F, Dutailly B, Desbarats P, Bou C, Coqueugniot H. Three-dimensional computer-assisted craniometrics: A comparison of the uncertainty in measurement induced by surface reconstruction performed by two computer programs. Forensic Sci Int. 2012 Jun 10 ; 219(1–3):221–7.

38. Dutailly B, Coqueugniot H, Desbarats P, Gueorguieva S, Synave R. 3D surface reconstruction using HMH algorithm. In: 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). 2009 ; p. 2505–8.

39. Guyomarc'h P. AFA3D Manual. 2012 ; 1-14.

40. OsiriX - DICOM Viewer [Internet]. Disponible sur : http://www.osirix-viewer.com/

ANNEXE

Méthode de Gerasimov (1,27)

Pour Gerasimov, père de la reconstruction faciale, l'individualité d'un visage se retrouve sur le crâne osseux. Il établira de nombreuses règles de reconstruction faciale encore utilisées aujourd'hui notamment pour la méthode manuelle.

Région oculaire

Les coins de la fissure des yeux (canthi) se situent sur une ligne droite joignant le tubercule malaire à la crête lacrymale antérieure. Sa longueur est de 60 à 80 % celle de l'orbite. Le centre de la pupille doit être au centre de la hauteur orbitaire. Le globe oculaire est positionné latéralement et supérieurement dans l'orbite. Le point le plus supérieur du sourcil (superciliaire) est majoritairement latéral à l'axe de la pupille.

Région nasale

La région nasale, majoritairement formée de cartilage pose encore aujourd'hui beaucoup de problèmes pour la reconstitution. La plus grande largeur des ailes du nez est définie comme égale à la distance entre les points situés au centre des alvéoles des canines maxillaires. Pour Fedosyutkin et Nainys, étudiants de Gerasimov, la hauteur du nez est obtenue en partant du nasion jusqu'à 1-2 mm sous l'épine nasale.

Région buccale

Pour Gerasimov, la fissure buccale se positionne au niveau du bord occlusal des dents mandibulaires antérieures. La distance entre les deuxièmes molaires mandibulaires définira sa largeur. Par ailleurs selon Stephan, la largeur buccale sera définie par la largeur inter-canines ou par la distance entre les foramens infra-orbitaires si l'individu est édenté. La hauteur de l'émail des incisives maxillaires et mandibulaires définira la hauteur des lèvres.
La largeur du menton est définie par la largeur de la symphyse et la largeur mandibulaire.

Région auriculaire

Peu d'études ont été réalisées sur la région auriculaire. L'axe principal de l'oreille est parallèle à la partie postérieure de la branche montante mandibulaire. Il faut rajouter 2mm à la hauteur glabelle/épine nasale pour obtenir la hauteur de l'oreille. La largeur de l'oreille est égale à la moitié de sa longueur. Les oreilles seront petites et collées au crâne si le processus mastoïde et petit et dirigé médialement. Les oreilles seront décollées si le processus est proéminent et la crête supramastoïdienne marquée.

Vu, La Présidente du Jury,

Date, Signature :

Vu, la Directrice de l'UFR des Sciences Odontologiques,

Date, Signature :

Vu, le Président de l'Université de Bordeaux,

Date, Signature :

université de BORDEAUX

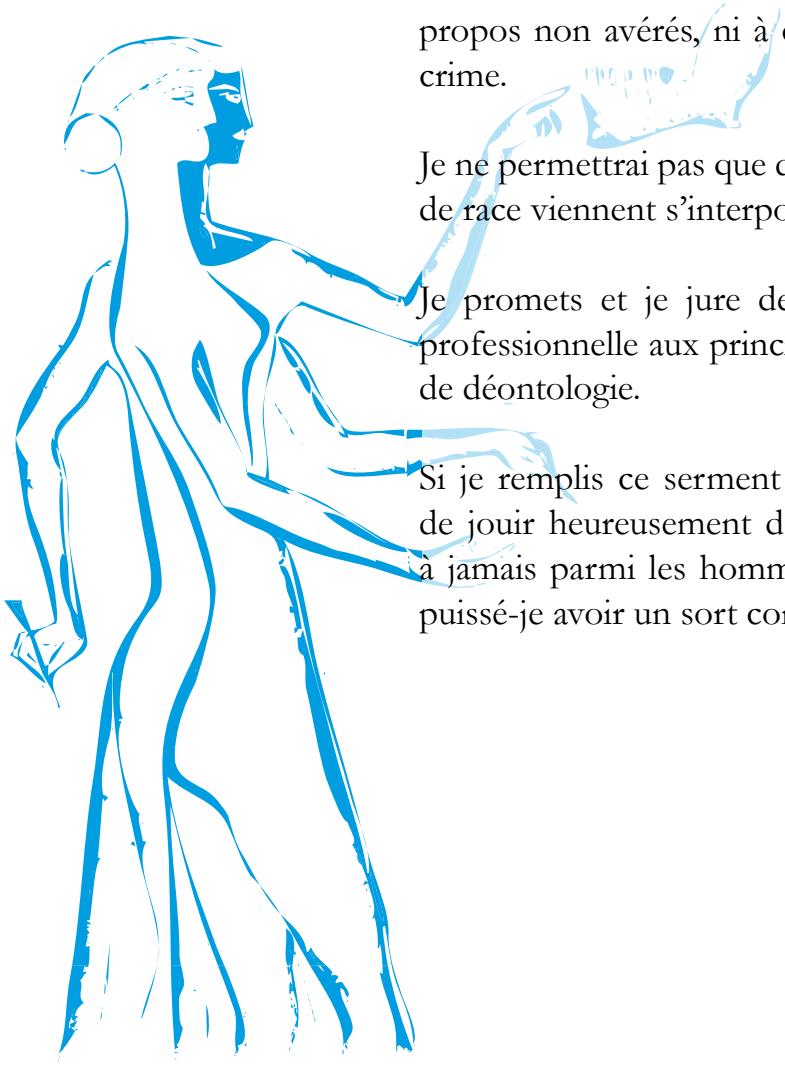
Collège des Sciences de la Santé

UFR des Sciences Odontologiques

Serment

En présence de mes Maîtres et de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de l'art dentaire.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un honoraire au-dessus de mon travail. Ma langue taira les secrets qui me seront confiés. Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe.
Mes connaissances et mon état ne serviront ni à diffuser des propos non avérés, ni à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.



Je ne permettrai pas que des conditions de croyance, de nation et de race viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je promets et je jure de conformer strictement ma conduite professionnelle aux principes et aux règles prescrites par le code de déontologie.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir heureusement de la vie et de ma profession, honorée à jamais parmi les hommes. Si je le viole et que je me parjure, puissé-je avoir un sort contraire.