



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département du Génie Biomédical

Laboratoire de Recherche du Génie Biomédical

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de

MASTER en GENIE BIOMEDICAL

Spécialité : Instrumentation biomédicale

Présenté par : Kahina HADDADOU

**Etude par éléments finis de l'expression faciale
chez l'humain**

Soutenu le 20 septembre 2017 devant le Jury

M.	DIB Nabil	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Président
M.	TAOULI Sidahmed	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Examinateur
M.	SOULIMANE Sofiane	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire 2016-2017

*A mes chers parents,
A mes deux frères « Said » et « Sofiane »*

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dr Soulimane Sofiane de m'avoir proposé ce sujet de PFE. Je le remercie également pour la pertinence de ses conseils, sa rigueur scientifique et son soutien sans faille. Il a su me guider sans être trop directif tout le long de cette année.

Je remercie également Pr. Berekssi Reguig Fethi, directeur du laboratoire de recherche du génie biomédical et Pr. Choukchou-Braham Asma, du laboratoire TOXIMED de m'avoir permis d'intégrer les deux laboratoires et d'y travailler durant toute cette période.

Si la rédaction d'un mémoire n'est pas une sinécure, il en va de même pour sa lecture approfondie. Je remercie donc chaudement les membres du jury : Dr. Dib Nabil et Dr Taouli Sidahmed.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Résumé

Le domaine médical a connu un grand nombre d'avancées grâce au développement de l'outil informatique, à l'adaptation des méthodes de l'ingénierie traditionnelle et à l'augmentation de la puissance des ordinateurs. Grâce à cela, différents modèles complexes de comportement mécanique de la structure anatomique du visage sont élaborés. Dans ce projet, nous viserons à étudier l'expression faciale grâce à la méthode des éléments finis sous COMSOL Multiphysiques. Cette contribution pourra donner un apport à l'autodiagnostic grâce à l'articulation faciale, la surveillance médicale, la chirurgie plastique...etc.

Mots clés : Structure anatomique du visage, l'expression faciale, la méthode des éléments finis, COMSOL multiphysiques.

Abstract

The development of the computer tool allowed a great advance in medical field. Also, The adaptation of traditional engineering methods and the increase of computer's power contribute in the development of the smart applications. In this study, different complex models and mechanical behavior of face's anatomical structure are elaborated. Here, we focus our study on facial expression by using finite elements method. Where, we are using Comsol multiphysics software. We will aim to study the facial expression to give a contribution to the self-diagnosis that gives access to the facial articulation, the medical supervision, the plastic surgery ... etc.

Keywords : Face's anatomical structure, facial expression, finite elements method, COMSOL multiphysics.

Table des matières

Remerciements	2
Résumé.....	3
Abstract	3
Introduction générale	6
Introduction Générale.....	7
Chapitre I. Etat de l'art de l'expression faciale.	9
I.1. Introduction	10
I.2. Structure du visage	10
I.2.1. Le squelette crânien	10
I.2.2. Les muscles du visage	11
I.2.3. La peau	12
I.2.3.1. Le module de Young E :	13
I.2.3.2. Le coefficient de Poisson ν :	14
I.3. Problématique.....	16
I.4. Conclusion.....	24
Chapitre II. Etude paramétrique de l'expression faciale.	25
II.1. Introduction.....	26
II.2. L'émotion.....	26
II.2.1. L'émotion en psychologie.....	26
II.2.2. L'émotion en informatique.....	26
II.3. L'expression faciale.....	27
II.3.1. Les expressions faciales universelles	27
II.3.2. Les caractéristiques faciales	28

II.3.2.1. La bouche	28
II.3.2.2. Les yeux et les sourcils.....	28
II.3.3. Etude paramétrique	29
II.3.3.1. Système de codification des actions faciales(FACS).....	30
II.3.3.2. Descripteur de visage MPEG-4	30
II.3.3.2.a. Paramètres de description du visage (face definition parameters : FDP)	31
II.3.3.2.b. Paramètres d’animation du visage (Face Animation Parameters : FAP).....	31
II.4. Modélisation biomécanique de la face.....	32
II.4.1. Méthode de modélisation :	32
II.4.2. Outils de modélisation :	33
II.4.2.1. Autodesk 3ds Max :	33
II.4.2.2. COMSOL multiphysiques:.....	33
II.4.3. Modélisation des expressions faciales sous COMSOL multiphysiques	34
II.4.3.1. Géométrie	34
II.4.3.2. Matériaux.....	35
II.4.3.3. Physique	36
II.4.3.3.a. Encastrement	36
II.4.3.3.b. Chargement sur frontières.....	37
II.4.3.3.c. Maillage.....	38
II.4.3.4. Etude	38
II.5. Conclusion	39
Chapitre III. Génération des expressions faciales sur des sujets réels.	40
III.1. Introduction.....	41
III.2. Reproduction des expressions faciales sous Comsol multiphysiques	41
III.3. Etude de l’expression faciale sur des sujets réels.....	44
III.4. Conclusion	49
Conclusions et perspectives.....	52
Références	54

Introduction générale

Introduction Générale

Le visage humain est le site d'entrées sensorielles majeures et de sorties communicatives majeures. Il abrite une partie importante de notre appareil sensoriel ainsi que notre appareil de production de la parole. Il est utilisé pour identifier d'autres membres de notre espèce, pour recueillir des informations sur l'âge, le sexe, l'attractivité, la personnalité et de réguler la conversation en regardant ou en hochant la tête. Sachant que le visage humain est non seulement un outil de communication, il permet aussi de comprendre l'état affectif et les intentions des humains sur le seul critère de l'expression faciale. Compte tenu de l'importance du rôle du visage dans notre vie émotionnelle et sociale, il n'est pas surprenant que l'informatique fasse tant d'efforts visant à automatiser l'analyse des signaux faciaux. Ces expressions sont un canal de communication affective important même sans prononciation verbale. La modélisation de ces expressions est un domaine complexe qui a des liens avec de nombreux autres domaines tels que le graphisme, l'animation, l'ingénierie, la médecine...etc. Parmi les applications les plus marquantes qu'abrite le domaine de modélisation des expressions faciales, nous pouvons citer :

- la biométrie,
- la chirurgie assistée par ordinateur,
- l'étude et la compréhension des expressions chez les autistes,
- la surveillance médicale,
- la création de base données et apprentissage...etc.

Notre projet de fin d'études découle de l'intérêt porté à la reproduction et la reconnaissance de l'expression faciale du visage humain pour des applications médicales. La combinaison entre l'anatomie la biomécanique et l'informatique permet de mettre en œuvre un procédé de reconnaissance des expressions faciales. Nous utiliserons la méthode des éléments finis sous COMSOL Multiphysiques tout en tenant compte des propriétés mécaniques et anatomiques de notre modèle.

Le manuscrit est sous forme de trois grands chapitres:

Le premier chapitre consiste en une étude théorique de la face humaine et un état de l'art exposant les travaux effectués dans le domaine des expressions faciales.

Le deuxième chapitre est dédié à l'étude paramétrique de l'expression faciale. Nous présentons en premier lieu les différents systèmes de codage de l'expression faciale, ensuite, nous exposons les outils et étapes de modélisation sous COMSOLmultiphysiques.

Enfin, le troisième et dernier chapitre sera consacré aux résultats de modélisation des expressions faciales de différents masques sur des sujets réels. Nous terminerons le manuscrit par des conclusions et perspectives.

Chapitre I. Etat de l'art de l'expression faciale.

I.1. Introduction

Le visage est une structure complexe et difficile à modéliser, il est nécessaire de comprendre en premier lieu cette structure afin de pouvoir modéliser ses expressions. Dans ce chapitre, nous allons définir brièvement les composants du visage à l'aide de schémas explicatifs. La suite sera consacrée à l'état de l'art traçant l'évolution du domaine de ces expressions dans la littérature. Ces deux dernières décennies ont été prolifiques, cette partie passera en revue les différents modèles et avancées dans ce domaine.

I.2. Structure du visage

La structure anatomique du visage prend en compte le squelette crânien, les muscles faciaux et la peau dont les tissus épidermiques.

I.2.1. Le squelette crânien

Le squelette crânien est formé d'un ensemble d'os aplatis et irréguliers joints ensemble de manière fixe à l'exception du maxillaire inférieur [01]. Ce squelette est divisé en deux parties :

- la boîte crânienne, partie supérieure qui protège le cerveau et les organes sensoriels pairs,
- le crâne facial, partie inférieure qui soutient les cavités buccale et pharyngienne. Le crâne facial fournit le cadre sur lequel les muscles et la peau sont fixés. Il est constitué de quatorze os : le vomer, les deux os maxillaires, les deux os palatins, les deux os zygomatiques, les deux os nasaux, les deux os lacrymaux, les deux cornets inférieurs et la mandibule et des cavités : cavités orbitaires, fosses nasales et cavité orale.

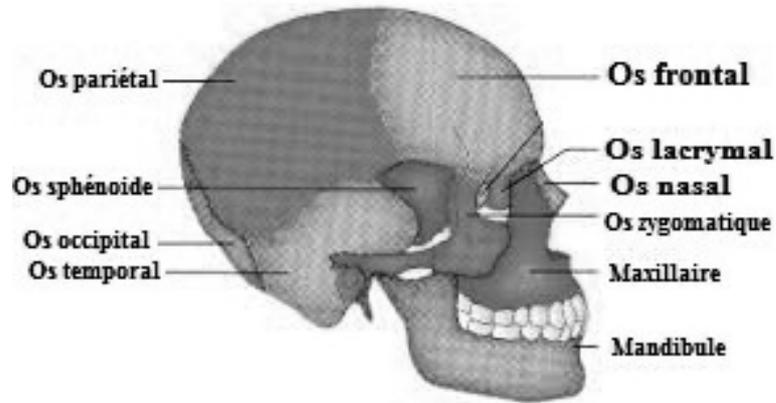


Figure I.1. Le squelette crânien[02].

I.2.2. Les muscles du visage

La mimique faciale est un état du visage composé par un ensemble de configurations des muscles faciaux. Autrement dit, les muscles interviennent directement dans la génération des expressions faciales et de la parole. Ils sont superficiels et tous attachés à un réseau sous cutané constitué de graisse et de peau à leur insertion. Chacun d’entre eux contribue plus ou moins spécifiquement à générer une expression faciale.

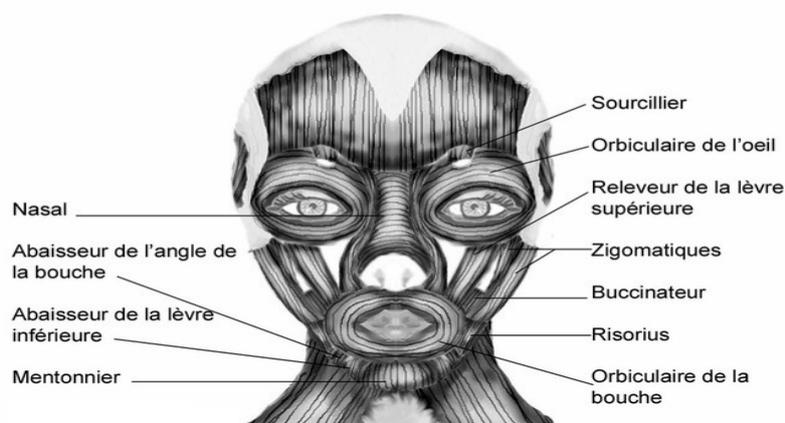


Figure I.2. Les muscles faciaux [02].

Le tableau suivant donne le rôle des différents muscles (voir FIG I.2) dans la génération de l’expression faciale.

Le muscle	Les expressions faciales générées
Corrugateur	Peine, désolation, rage
Occipital frontal	Surprise, admiration, combat, terreur
Temporal	Elévateur de la mandibule inférieure
Masséter	Contrôle sur soi, démission, en avoir marre
Mentonnier	Grimace, indécision
Transverse nasal	Désapprobation, rejet
Muscle de la narine	Gaieté, lascivité
Orbiculaire de la bouche	Détermination
Procérus	Mécontentement, douleur, pleurs
Buccinateur	Garder le calme, démission
Risorius	Sourire, ironie
Abaisseur de la lèvre inférieure	Colère, malheur, mécontentement
Zygomatique majeur	Sourire, joie
Zygomatique mineur	Douleur, découragement
Releveur de la lèvre supérieure	Agressivité, férocité
Abaisseur de l'angle de la bouche	Tristesse
Orbiculaire de l'œil	Médiation, concentration, joie, tristesse
Abaisseur sourcilier	Abaisse et rapproche les sourcils

Tableau I.1. Le rôle des muscles faciaux pour la génération des expressions faciales.

I.2.3. La peau

La peau humaine est un tissu conjonctif complexe. Elle est composée de deux couches principales : l'épiderme, qui est la couche superficielle de la peau et le derme situé juste au-dessus de l'hypoderme. Ce dernier permet de faire la jonction les couches sous-jacentes et les organes internes, classiquement, il n'est pas considéré comme étant une couche de la peau.

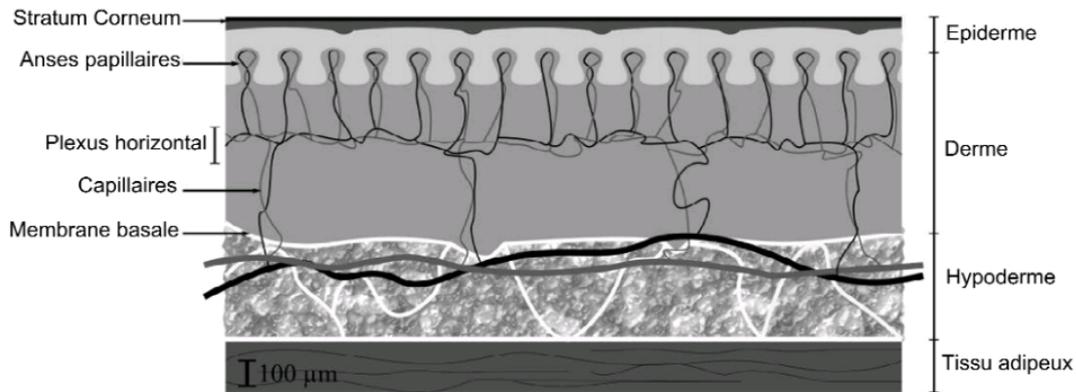


Figure I.3. Structure de la peau humaine [03].

La peau est un matériau non linéaire, anisotrope et viscoélastique. La détermination des propriétés mécaniques de la peau permet d'avoir des informations sur sa réponse aux sollicitations extérieures qu'elle reçoit. Il existe deux constantes d'élasticité à rôle crucial dans la modélisation des tissus peauciers et leur comportement dans la structure éléments finis. Ces constantes sont le module de Young et le coefficient de poisson de la peau. Leurs valeurs doivent être choisies attentivement.

I.2.3.1. Le module de Young E :

Le module d'Young E mesure la façon dont le corps résiste aux déformations induites par des forces extérieures. Il a la dimension d'une force de pression: assez rigide, le corps a un module élevé, tandis qu'un malléable obtient un module inférieur.

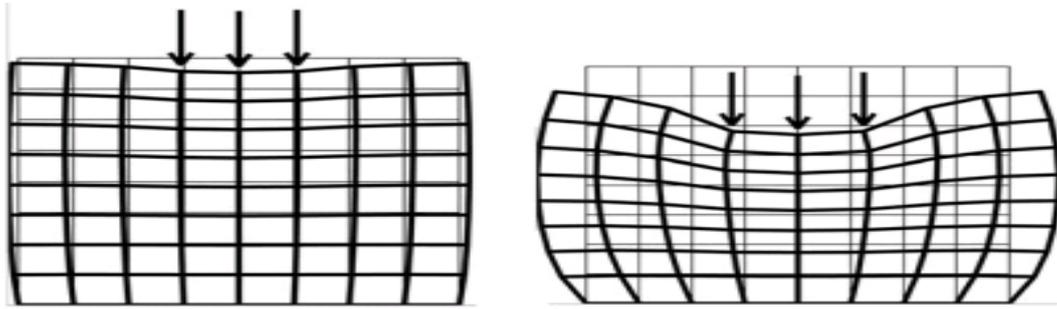
Le tableau suivant montre quelques valeurs approximatives du module de Young attribuées à différents matériaux.

Matériaux	E(GPa)
Tissus biologiques mous	$2 \cdot 10^{-4}$
Caoutchouc	$7 \cdot 10^{-3}$
Fibre de nylon	5.5
Ciment ordinaire	17
Béton	Entre 20 et 50
Os	21
Magnésium	42
Fibre de kevlar 29	62
Alliages d'aluminium	73
Fibre de kevlar 49	130
Fibre de carbone	640
Diamant	1200

Tableau I.2. Modules de Young approximatifs de quelques solides.

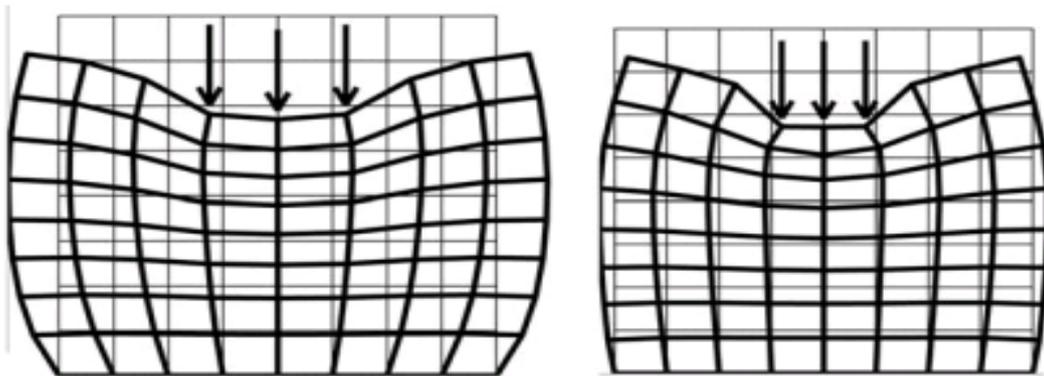
I.2.3.2. Le coefficient de Poisson ν :

Le coefficient de Poisson décrit la manière dont une force de pression est exercée dans une direction spécifique induit des déformations dans d'autres directions. Si sa valeur est proche de zéro, cela signifie que la structure se déforme selon une dimension sans aucune modification par rapport aux autres dimensions du système. Dans le cas d'une structure tridimensionnelle, un coefficient de Poisson proche de 0,5 représente un comportement quasi-incompressible c'est-à-dire avec une conservation du volume [04].



(a) L'influence du module de Young. A gauche $E=60$ kPa, à droite $E=6$ kPa pour

$\nu = 0.49$ [05].



(b) L'influence du coefficient de poisson. A gauche $\nu = 0.49$, à droite $\nu = 0.2$

Pour $E=6$ kPa [05].

Figure I.4. L'influence du module de Young et du coefficient de poisson sur un matériau.

La figure montre les déformations induites par la force verticale pour deux valeurs différentes du module de Young sur un carré éléments finis posé sur un plan horizontal. Aussi, elle déploie les déformations induites Par les forces de pression pour deux rapports de Poisson différents.

I.3. Problématique

Les expressions faciales sont considérées comme l'un des éléments les plus importants dans le processus de communication [6-11]. Elles sont souvent perçues comme étant une source importante d'information concernant l'état émotionnel de l'individu pendant une interaction sociale [12-15]. Les expressions faciales peuvent aussi permettre de distinguer entre certaines émotions spécifiques et procurer de l'information à propos de l'intensité des émotions ressenties [16-19]. L'importance des expressions faciales pour la communication est maintenant reconnue par plusieurs auteurs [7, 09-10]. Plusieurs travaux sont nés à partir de la théorie de Darwin [20] sur l'origine des espèces. Dans ces travaux, la théorie sur l'universalité des émotions chez les animaux et les hommes a été émise en représentant les expressions du visage par des vecteurs d'émotions. Mehrabian [21], psychologue américain, a exposé que dans les situations de communication, 7% du contenu est donné par le sens des mots, 38% par la façon dont les mots sont prononcés et 55% par l'expression du visage. Les travaux de Darwin [20] ont ensuite été repris par Ekman [22] qui a choisi six émotions qui sont : la peur, la surprise, la joie, la colère, la tristesse, et le dégoût. Cet auteur a vérifié que les expressions de certaines émotions sont universellement reconnues. Par la suite, Kelly [23] a proposé une extraction des contours de la tête, une localisation de la bouche, des yeux et du nez à partir de trois images appartenant à un individu (une image de l'arrière-plan, une image du corps, et une image du visage).

En 1978, Ekman et Friesen [24] ont élaboré un système nommé FACS (acronyme de Facial Action Coding System). Ce système décrit exhaustivement les mouvements faciaux. Un code est associé à chaque activation musculaire du visage pouvant être distinguée visuellement. Ces éléments atomiques sont appelés unités d'actions «AU». Puis en 1982, Scherer et Ekman [25] ont observé lors de la production des expressions spontanées l'existence de 7000 combinaisons différentes d'unités d'action (AU). Par la suite, Terzopoulos et Waters [26] ont élaboré un procédé pour tracer des traits de visage linéaires et estimer les paramètres correspondants dans le but de modéliser et reproduire l'expression faciale. Une limitation significative de ce système est qu'il exige que les caractéristiques faciales doivent être mises en évidence avec maquillage pour un suivi réussi.

D'autres méthodes ont pour vocation initiale d'être utilisées en informatique graphique. Nous pouvons citer la norme MPEG-4. Cette norme contient une partie dédiée à l'animation travers un système de codage d'animations faciales [27- 28]. Celui-ci a été créé afin de permettre à différentes implémentations d'utiliser un protocole commun. Dans ce contexte, Ambrosini et al. utilisent les points de contrôle définis par la norme MPEG-4 et les fonctions à base radiale afin de déformer un modèle polygonal vers la forme d'un autre modèle [29].

Selon l'hypothèse de Palo Alto [30], les moyens verbaux ne porteraient que sur 30 à 35% de la signification du message, tandis que les moyens non verbaux véhiculeraient 65 à 70% de l'information. Haibo et al. [31] ont décrit une approche basée sur une boucle de rétroaction de commande entre les processus informatiques et les processus de vision par ordinateur. Elle est utilisée pour un système de codage d'images faciales. Wiskott [32] a utilisé la transformée en ondelettes de Gabon sur une grille de points pour la reconnaissance d'une identité. Lyons [33] l'a utilisée pour la reconnaissance d'émotions. Zhang [34] a utilisé les réseaux de neurones pour la reconnaissance d'émotions. Il conclut que les points les plus importants pour la reconnaissance des émotions sont les points autour des yeux, des sourcils, du menton et de la bouche.

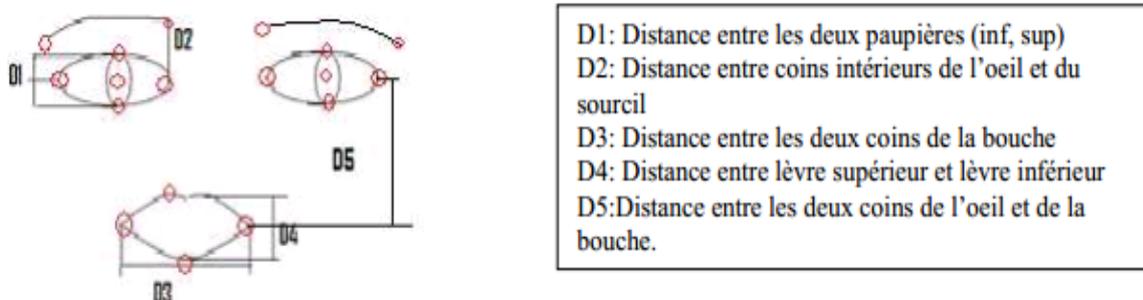
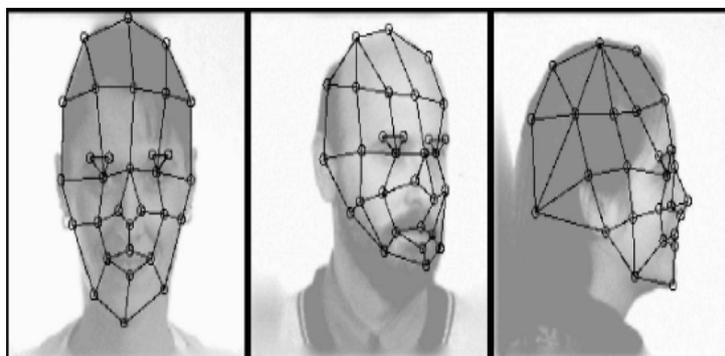
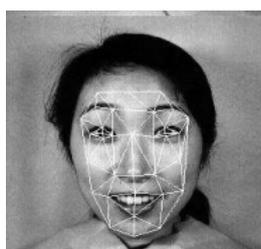


Figure I.6. Les points caractéristiques du visage et les distances biométriques [35].

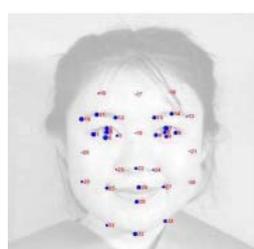
La figure suivante illustre les travaux de Wiskott, Lyons et Zhang [32-34].



(a)Modèle pour la reconnaissance d'identité [32].



(b)Modèle pour la reconnaissance [33].



(c) Importance des points pour la reconnaissance d'émotions [34].

Figure I.5. Modèle de visage avec un maillage de points.

Dans sa thèse de doctorat, Ghanem[35] a abordé la reconnaissance des expressions faciales à base d'informations vidéo. Elle a donné une nouvelle définition simpliste aux expressions faciales. Des traits caractéristiques du visage ont été introduits ainsi que différentes distances faciales. Ces distances remplacent les unités d'action d'Ekman.

Le tableau (I.3) montre la nouvelle définition de chaque expression faciale, la figure (I.6) illustre les points caractéristiques du visage et les distances biométriques.

	Distance entre paupières	Distance entre œil et sourcil	Distance entre les coins de la bouche	Distance entre lèvre supérieure et lèvre inférieure	Distance les coins de l'œil et de la bouche
Joie	accroît ou décroît	accroît, ne change pas ou décroît	accroît	ne change pas ou accroît	décroît
Surprise	accroît	accroît	ne change pas ou décroît	accroît	ne change pas ou accroît
Dégout	décroît	décroît	accroît, ne change pas ou décroît	accroît	accroît, ne change pas ou décroît
Colère	décroît ou accroît	décroît	ne change pas ou décroît	accroît, ne change pas ou décroît	ne change pas ou accroît
Tristesse	décroît	accroît	ne change pas ou accroît	ne change pas ou accroît	ne change pas ou décroît
Peur	ne change pas ou accroît	ne change pas ou accroît	accroît, ne change pas ou décroît	ne change pas ou accroît	accroît, ne change pas ou décroît

Tableau I.3. Nouvelle description des six expressions faciales [35].

Plusieurs travaux ont notamment vu le jour dans le domaine de la chirurgie assistée par ordinateur. Cette assistance n'est pas unique au chirurgien, mais aide aussi le patient à estimer des conséquences esthétiques et fonctionnelles du geste chirurgical. Plusieurs travaux se sont basés sur le modèle discret de type « masse-ressort » pour la modélisation des tissus mous peauciers [36-40]. Des chercheurs ont ensuite modélisé ces tissus en élaborant des modèles biomécaniques continus. Ils ont pris en compte les lois de comportement des tissus mous peauciers. Ils ont utilisé la méthode des éléments finis pour résoudre des équations aux dérivées partielles de la mécanique des milieux continus [41-48].

Toujours Chabanas [49] a développé un modèle biomécanique générique des tissus mous peauciers. Il a intégré le derme, l'hypoderme et les fibres musculaires. Il a utilisé un maillage de type éléments finis. Le but de ce travail est de prédire les conséquences de la chirurgie esthétique. Cela veut dire que les repositionnements des bases osseuses par le chirurgien seront couplés au modèle biomécanique du patient, ce couplage permettra de simuler les conséquences esthétiques sur le visage. Dans son exposé [50], Payan a posé la question de la pertinence de la caractérisation des lois de comportement des tissus mous biologiques. Ceci est dans le contexte de la modélisation des tissus mous peauciers dans le but de la chirurgie maxillo-faciale. Les lois de comportement sont introduites comme entrées du modèle avec l'implémentation d'un code de calcul éléments finis sous ANSYS. Des études ont aussi été faites sur le comportement fonctionnel post-opératoire du visage du patient. Des conditions aux limites de type « forces appliquées » des modèles éléments finis ont été utilisées. Ces forces permettent de simuler un geste de fermeture/protrusion des lèvres (Nazari et al. [51-52], Stavness et al. [53]).

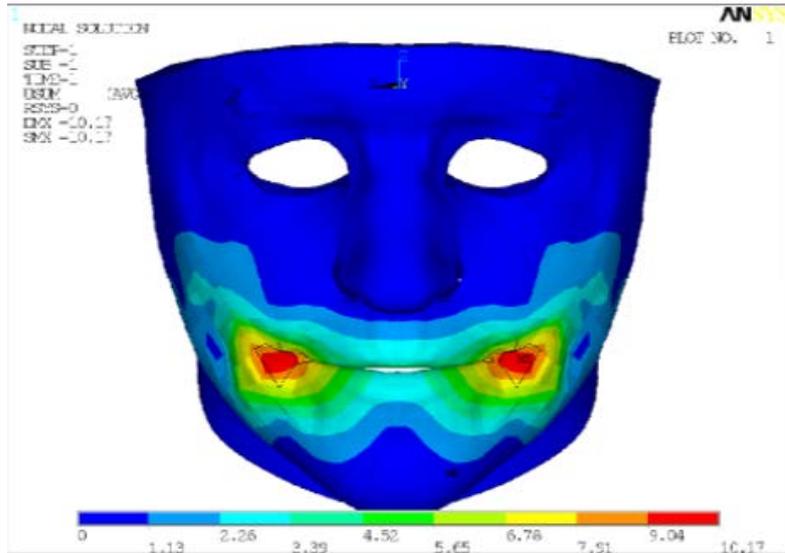


Figure I.7. Mise en forme du visage résultant de l'activation du risorius [52].

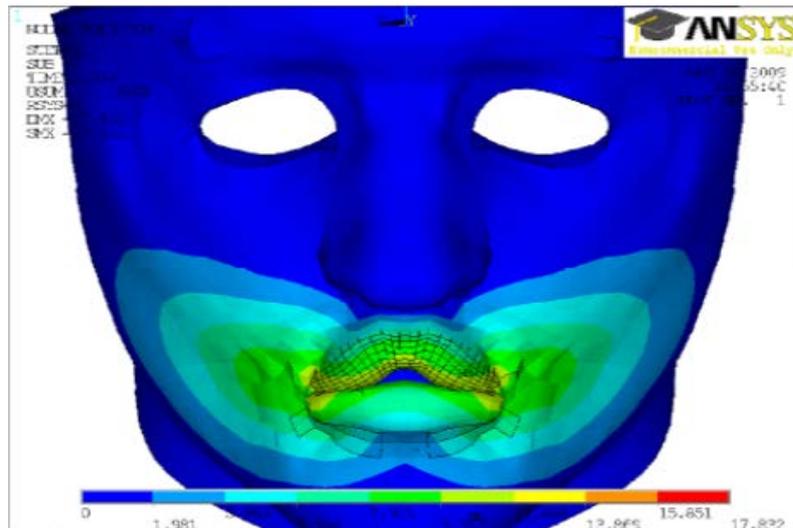


Figure I.8. Activation sans raidissement [52].

Des travaux sont notamment destinés à la mise en œuvre de personnages virtuels.

Dans sa thèse de doctorat [54], Dutrève a abordé trois grands titres. Le premier est l'étude paramétrique qui permet de déterminer les points de contrôle pour la déformation et l'animation d'un visage. Le second s'oriente sur le transfert d'animations. Une méthode a été proposée afin d'animer le visage. Cette méthode utilise des données variées telles qu'un système de capture de mouvement ou bien une animation d'un personnage virtuel déjà existant. Enfin une intention particulière a été portée aux détails fins liés à l'animation. Ce sont les rides. Une technique d'acquisition mono-caméra et une méthode à base de poses références ont été proposées pour synthétiser ces détails. L'objectif principal de la thèse est de

faciliter et d'améliorer le processus de création d'animations faciales dans le cadre d'applications temps réel.

Plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'automatisation de l'étude paramétrique. Toujours Zhang et al. [55] proposent une méthode pour générer facilement l'étude paramétrique par modèle physique d'un nouveau visage. Ils utilisent un scanner pour obtenir la géométrie de ce visage. Kähler et al. [56] utilisent un modèle générique paramétrisé pour l'adapter à un visage scanné dont les données sont incomplètes.

La méthode de transfert proposée par Orvalho et al. [57] permet d'adapter différents types d'attributs d'une étude paramétrique et notamment la modélisation de muscles sur un nouveau personnage. Williams a introduit le concept de capture de mouvement pour le visage [58]. L'idée est d'utiliser l'animation d'un visage réel pour l'appliquer à un visage virtuel. Certains travaux se sont également orientés vers la synthèse d'animation. Notamment pour l'animation de la bouche en fonction de la parole. Et enfin, le transfert d'animation, c'est-à-dire, la réutilisation d'une animation existante sur un nouveau visage, suscite également l'intérêt de la recherche.

Auteurs	Travaux
Darwin	Représentation des expressions du visage par des vecteurs d'émotions.
Albert Mehrabian	Le rôle de l'expression du visage dans les situations de communication.
Ekman	Les six expressions universelles.
Kelly	Extraction des contours à partir d'images différentes d'un individu.
Ekman et Friesen	Elaboration du système FACS.
Sherer et Ekman	Observation de 7000 combinaisons différentes des unités d'action.
Terzopoulos et Waters	Elaboration de procédé pour modeler et reproduire l'expression faciale.
Ambrosini et al	Déformation d'un modèle de visage polygonal en utilisant les points de contrôle définis par la norme MPEG-4.
Haibo et al	Codage d'images faciales par boucle de rétroaction.
Wiskott	Reconnaissance d'identité par transformée en ondelettes de Gabon.
Lyons	Reconnaissance d'émotions par transformée en ondelettes de Gabon.
Zhang	Reconnaissance d'émotions par réseaux de neurones.
KhadidjaGhanem	Reconnaissances d'expressions faciales à base d'informations vidéos.
Chabanas	Modèle biomécanique générique des tissus mous peauciers.
Payan	Etude des lois de comportement des tissus mous biologiques.
Nazari et al, Stavness et al	Comportement fonctionnel post opératoire du visage patient.
Dutrève	Etude paramétrique et animation d'un visage humain.
Zhang et al	Automatisation de l'étude paramétrique par utilisation de scanner.
Kahler et al	Modèle générique paramétrique pour des images de scanner incomplètes.
Orvalho et al	Adaptation de différents types d'attributs d'une étude paramétrique
Williams	Application des animations de visage réel à un visage virtuel.

Tableau I.4. Principaux travaux dans le domaine des expressions faciales.

Nous avons présenté un grand nombre de travaux concernant les expressions faciales. Les principaux travaux cités précédemment sont résumés dans le tableau ci-dessus. Nous les avons classés principalement sous formes de familles : celle des expressions faciales en psychologie et celle en informatique où nous retrouvons la reconnaissance faciale, la chirurgie maxillo-faciale, et enfin l'animation 3D et l'étude paramétrique. Nous avons fait part des différentes méthodes utilisées. Ainsi, nous avons mis en avant les premiers systèmes de codification faciale (FACS) et les méthodes de reconnaissance infographique de type MPEG-4. Le choix de ces méthodes varie selon les applications visées.

I.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'anatomie et la biomécanique du visage. La structure anatomique et les propriétés mécaniques de la face nous aideront à créer la géométrie de notre visage, ainsi qu'à l'insertion des matériaux nécessaires afin qu'il soit semblable au visage humain. Aussi, nous avons cité plusieurs travaux et tracé l'évolution de la recherche dans le domaine des expressions faciales. Les travaux de modélisation biomécanique nous apportent et nous inspirent pour l'élaboration de ce présent travail. Dans le chapitre suivant, nous mettrons en avant les modèles de codages de l'expression faciale ainsi que les outils et méthodes utilisés dans cette étude.

Chapitre II. Etude paramétrique de l'expression faciale.

II.1. Introduction

Les termes émotion et expression faciale sont très liés et parfois confondus. L'expression faciale n'est qu'un canal de traduction d'une émotion parmi tant d'autres. Autrement dit, l'émotion est un générateur d'une expression faciale. A chaque émotion une expression faciale correspondante, mais l'inverse ne peut pas être toujours vrai car on peut mimer une expression représentant une émotion sans pour autant ressentir cette dernière.

Dans ce chapitre, nous allons définir les concepts « émotion et expression faciale », citer les expressions universelles, définir l'étude paramétrique et citer les différents systèmes de codages des expressions faciales. Aussi, nous étudierons la démarche nécessaire pour la génération des expressions faciales sur notre logiciel de modélisation Comsolmultiphysiques.

II.2. L'émotion

Dans la littérature, deux types d'émotions peuvent être référencés ; l'émotion en psychologique et l'émotion en informatique :

II.2.1. L'émotion en psychologie

L'émotion reste une notion difficile à définir d'après les psychologues. Ceci est dû à la complexité de sa nature et les façons par lesquelles elle est exprimée. La réponse peut différer d'un individu à l'autre pour une même émotion ressentie. Par exemple, une personne exprime sa joie par un large sourire tant dis qu'une autre se contente d'élever l'intensité de sa voix.

II.2.2. L'émotion en informatique

L'émotion n'est pas uniquement importante dans le domaine de la philosophie et des sciences cognitives, elle a aussi vu son intérêt en informatique particulièrement dans le champ de l'intelligence artificielle. Ce domaine a été émergent dans le but d'améliorer les interactions homme-machine en proposant différentes applications telles que : la surveillance médicale, la biométrie, les jeux vidéo interactifs...etc.

Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons entre autre à un courant de recherche particulier. Celui-ci est la modélisation de processus émotionnels, c'est-à-dire générer des émotions sur des agents virtuels. .

II.3. L'expression faciale

L'expression faciale est une mimique faciale exprimant l'émotion d'un individu. Elle est donc chargée de sens. Le visage est l'interface de communication d'une émotion à travers l'expression faciale. Il est donc primordial d'assurer la simulation des expressions faciales dans un processus de modélisation. Ceci est dans le but d'offrir à chaque émotion l'expression faciale qu'il faut dans les applications en interaction homme-machine.

Le schéma ci-dessous illustre la relation entre l'émotion et l'expression faciale.

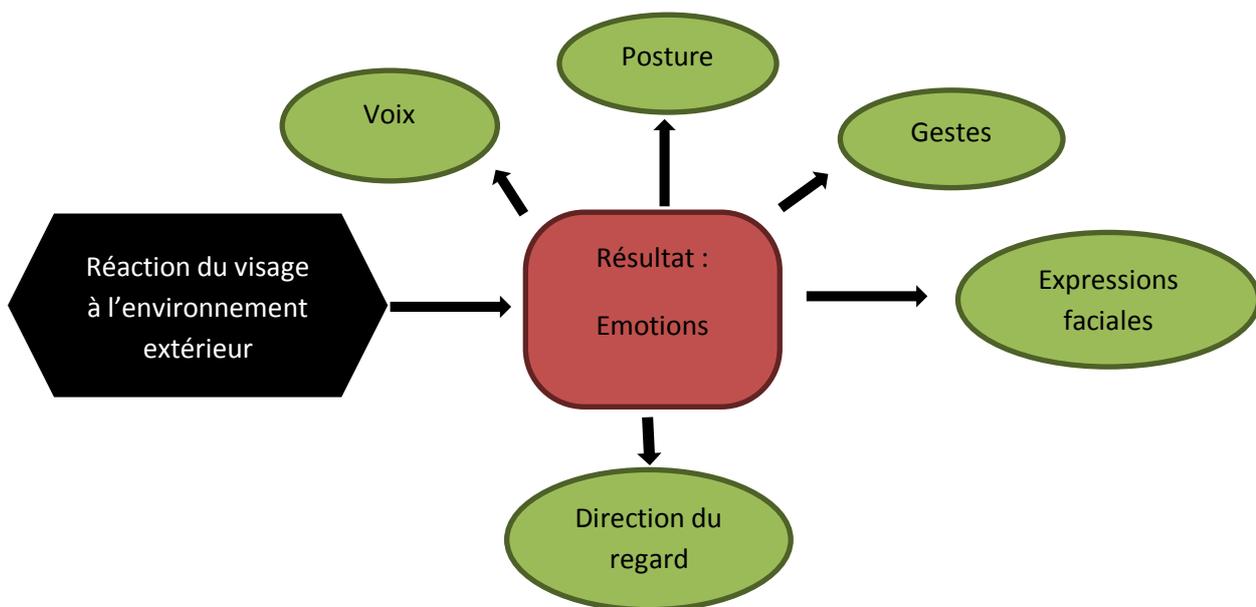


Figure II.1. La relation entre l'émotion et l'expression faciale

II.3.1. Les expressions faciales universelles

Les expressions faciales universelles sont les expressions correspondant aux émotions universelles. Il est important de connaître et catégoriser les familles d'émotions existantes afin de les coïncider aux expressions faciales. Il est difficile de faire cette coïncidence parce que cela dépend des individus et des cultures comme cité précédemment. Pour cela les

psychologues s'accordent sur l'universalité d'uniquement certaines émotions qui sont : La joie, la tristesse, le dégoût, la colère, la surprise et la peur.

La figure suivante démontre les différentes expressions faciales universelles.



Figure II.2. Les six expressions universelles: joie, dégoût, surprise, tristesse, colère, peur.

II.3.2. Les caractéristiques faciales

Les éléments du visage sont plus ou moins importants les uns par rapport aux autres dans la génération de l'expression faciale. On peut distinguer trois caractéristiques principales influant sur la nature de l'expression faciale. Ce sont : la bouche, les yeux et les sourcils.

Les rides et les plis considérés comme des détails fins ainsi que les cheveux et les éléments colorés jouent un rôle secondaire mais contribuent à renforcer l'expression faciale.

Nous allons définir brièvement les principaux éléments de description du visage.

II.3.2.1. La bouche

Constituée de deux lèvres indépendantes l'une de l'autre, la bouche est l'une des caractéristiques faciales les plus importantes. Les nombreux muscles qui l'entourent lui permettent des mouvements variés. Ceci est pour exprimer une émotion ou produire une parole.

II.3.2.2. Les yeux et les sourcils

Les yeux jouent un rôle très important dans la transmission des émotions et la création des expressions faciales. Leur écartement ou leur enfermement peut toujours nous donner une idée sur l'émotion de la personne. Les sourcils accompagnent les mouvements des yeux. Ils aident à accentuer l'expression faciale.

Du point de vue de la modélisation, les rides et les plis que nous avons définis comme étant des détails fins ; sont utiles pour ajouter des informations à notre modèle, par exemple : l'âge de la personne (présence de rides).

Voici un tableau récapitulatif qui démontre que les expressions du visage dépendent réellement de ces trois caractéristiques.

Expression	Description textuelle
joie	Les sourcils sont décontractés. La bouche est ouverte et les commissures des lèvres retirées en arrière, vers les oreilles.
Tristesse	Les coins intérieurs des sourcils sont courbés vers le haut. Les yeux sont légèrement fermés. La bouche est décontractée.
Colère	Les coins intérieurs des sourcils sont abaissés ensemble. Les yeux sont largement ouverts. Les lèvres sont serrées l'une contre l'autre ou ouvertes pour montrer les dents.
Peur	Les sourcils sont levés ensemble et leur partie intérieure est courbée vers le haut. Les yeux sont contractés et en état d'alerte.
Dégoût	Les sourcils et les paupières sont décontractés. La lèvre supérieure est levée et courbée, souvent de manière asymétrique.
Surprise	Les sourcils sont levés. Les paupières supérieures sont ouvertes, les paupières inférieures, décontractées. La bouche est ouverte.

Tableau II.1. Les expressions faciales définies dans la norme MPEG-4 et leur description textuelle [30].

II.3.3. Etude paramétrique

Dans la modélisation 3D, nous commençons toujours avec un modèle de visage statique. Afin de modéliser des expressions faciales sur celui-ci, il faut appliquer des déformations et des animations. Pour cela, il faudrait définir un certain nombre de paramètres qui vont agir sur la géométrie du visage. C'est ce qu'on appelle l'étude paramétrique.

Les systèmes de codage de l'expression faciale présentés ci-dessous sont considérés comme des études paramétriques abstraites de l'animation faciale. Pour comprendre cela, nous allons définir en détail les différents systèmes existants et leur apport vis-à-vis de l'étude des expressions faciales.

II.3.3.1. Système de codification des actions faciales(FACS)

Le système de codification des actions faciales, connu sous le nom de FACS est un système de codage issu du domaine de la psychologie. Il a été présenté par Ekman et Freisen [25]. Dans leurs travaux, ils ont décomposé les mouvements élémentaires du visage en 46 unités d'actions. Ces dernières décrivent les mouvements élémentaires des muscles. FACS est un outil puissant dans la description des mimiques du visage. N'importe quelle mimique peut être représentée grâce à la combinaison d'unités d'actions et de leurs intensités.

La figure illustre les différentes unités d'action relatives aux six expressions faciales.

AU1  Inner Brow Raiser	AU2  Outer Brow Raiser	AU4  Brow Lowerer	AU5  Upper Lid Raiser	AU6  Cheek Raiser	AU7  Lid Tightener
AU9  Nose Wrinkler	AU10  Upper Lip Raiser	AU12  Lip Corner Puller	AU15  Lip Corner Depressor	AU16  Lower Lip Depressor	AU17  Chin Raiser
AU20  Lip Stretcher	AU23  Lip Tightener	AU24  Lip Pressor	AU25  Lips part	AU26  Jaw Drop	AU27  Mouth Stretch

Figure II.3. Liste des unités d'action relatives aux 6 expressions faciales [59].

II.3.3.2. Descripteur de visage MPEG-4

La norme MPEG-4 contient une partie dédiée à l'animation du corps humain. Elle dispose d'un modèle tridimensionnel de visage humain articulé. Ce modèle est construit sur un ensemble d'attributs faciaux. Ce descripteur permet de reproduire une large bande d'expressions faciales, d'émotions et de mouvements oro-faciaux.

Il réunit deux classes de paramètres :

II.3.3.2.a. Paramètres de description du visage (face definition parameters : FDP)

les FDP sont des points caractéristiques du visage. Ils jouent deux rôles principaux : le premier est de permettre la mesure des caractéristiques d'un visage ainsi que le calibrage d'un modèle générique sur un modèle défini par des données obtenues à partir d'un visage réel ; le second rôle est directement lié à l'animation puisque les FDP décrivent les déplacements des FDP. Ces FDP sont au nombre de 84.

II.3.3.2.b. Paramètres d'animation du visage (Face Animation Parameters : FAP)

Ce sont les paramètres d'animation qui décrivent comment le visage se déforme. Ils sont issus d'une étude sur les actions faciales minimales et sont étroitement liés aux actions musculaires. Ils représentent un ensemble complet d'actions faciales de base et, par conséquent, permettent le rendu de la majorité des expressions naturelles. Ces FAP sont au nombre de 68.

Les FAPU sont des unités de normalisation basées sur des distances et des angles entre certains points caractéristiques du visage qui permettent d'interpréter les valeurs des FAP en fonction de la morphologie du visage animé. Les distances, déplacements ou autres paramètres sont alors décrits de façon relative plutôt que de façon absolue [60].

Les FAPU sont au nombre de six on peut citer par exemple la largeur de la bouche, la distance de séparation entre la bouche et le nez, la distance de séparation entre les yeux et le nez...etc.

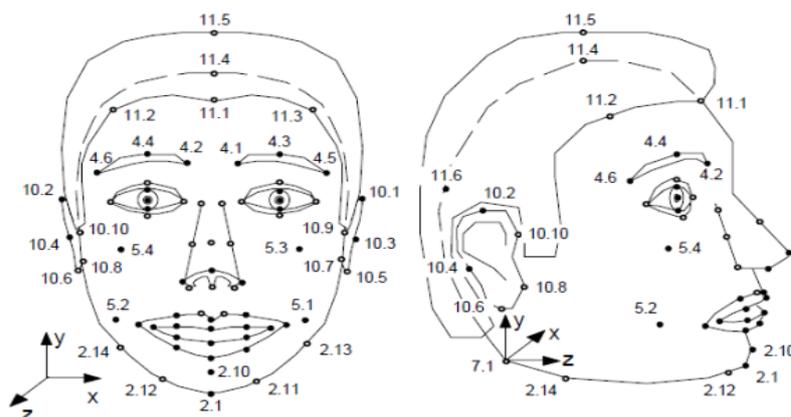


Figure II.4. Les 84 FDP définis par le standard MPEG-4 [61].

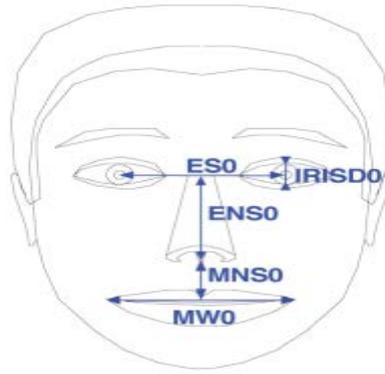


Figure II.5. Caractéristiques faciales de référence pour la définition des Facial Animation ParameterUnits (FAPU) [28].

La figure (12) montre les 84 FDP définis par le standard MPEG-4. Les points pleins sont ceux influencés par les paramètres d'animation *FAP*. Les points creux sont fixes et sont utilisés pour le calibrage des visages. La figure (13) montre les FAPU de références pour la définition des *FAP*.

II.4. Modélisation biomécanique de la face

II.4.1. Méthode de modélisation :

La méthode choisie pour la réalisation de ce travail est celle des éléments finis. Elle est l'outil mathématique qui semble le plus propice pour modéliser les propriétés mécaniques des structures molles. Elle est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles. Celles-ci peuvent par exemple représenter analytiquement le comportement dynamique de certains systèmes physiques. Cela permet de calculer numériquement le comportement d'objets même très complexes, à condition qu'ils soient continus et décrits par une équation aux dérivées partielles linéaire [62].

Cette méthode se caractérise par :

- Une discrétisation des notions d'élasticité.
- Partage du domaine en éléments finis délimités par un certain nombre de nœuds.

- le double avantage de rester fidèle aux propriétés élastiques et continues, tout en Définissant de différentes zones avec des propriétés mécaniques distinctes grâce à la notion d'éléments.
- Prise en compte des propriétés physique du matériau à modéliser. Deux constantes d'élasticité sont utilisées : le module d'Young E et le coefficient de poisson ν [06].

II.4.2. Outils de modélisation :

Pour la modélisation tridimensionnelle, nous avons utilisé les outils suivants :

II.4.2.1. Autodesk 3ds Max :

Autodesk 3 ds Max est un logiciel de modélisation et d'animation en trois dimensions (3D). Il a été développé en 1990 par la société Autodesk. La version 3ds Max est conçu sur une architecture modulaire, compatible avec différentes extensions. Le logiciel s'est développé rapidement, étant utilisé principalement dans les industries vidéoludiques, cinématographiques et automobiles. Actuellement, il est l'un des logiciels de référence dans le domaine de l'infographie 3D [63].

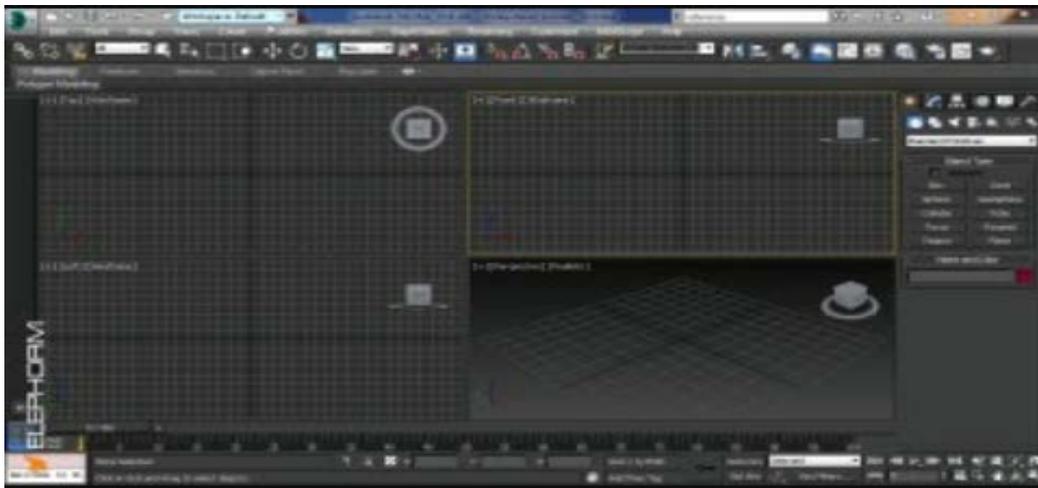


Figure II.6. Interface graphique de 3ds Max

II.4.2.2. COMSOL multiphysiques:

Le logiciel COMSOL a été créé en 1986 par des étudiants de GermundDahlquist. Leurs travaux étaient consacrés à la simulation numérique à l'institut royal de technologie (KTH) en suède. La première version de COMSOL Multiphysiques est sortie en1998. Ce logiciel de modélisation ou de simulation par éléments finis avait comme avantage d'utiliser

plusieurs physiques différentes. Ce logiciel dispose d'une interface graphique qui permet l'affectation directe des matériaux et des conditions aux limites. Aussi, il dispose d'une bibliothèque de matériaux où on peut trouver les propriétés de quelques organes ou parties du corps humain. COMSOL multiphysiques peut directement être lié à un programme établie sous Matlab ou Java en terme de compatibilité ce qui fait de lui une des méthodes numériques les plus avancées, où, il permet de coupler des physiques simples ou d'étudier plusieurs phénomènes physiques à la fois [62].

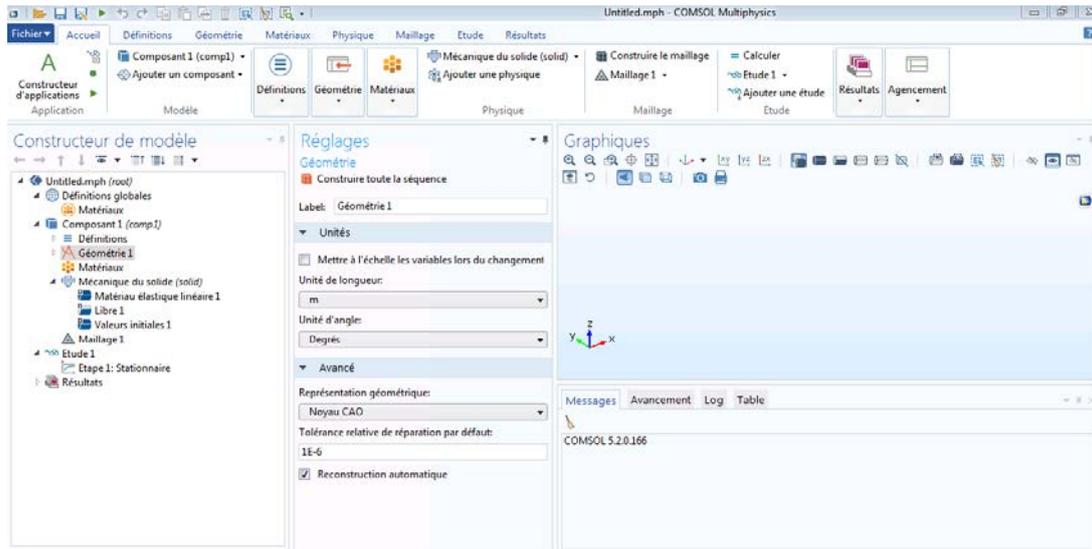


Figure II.7. Interface graphique de COMSOL multiphysiques.

II.4.3. Modélisation des expressions faciales sous COMSOL multiphysiques

II.4.3.1. Géométrie

Du point de vue modélisation, le visage est une tâche très complexe et exigeante à réaliser. Pour cela nous avons suivi la démarche suivante :

- Exporter un modèle de visage tridimensionnel de la bibliothèque de 3ds Max vers COMSOL multiphysiques.
- Apporter quelques modifications à ce modèle. Ceci est afin de reconnaître cette géométrie autant que domaine 3D.
- La figure suivante montre le visage à l'état neutre importé depuis 3dsMax vers COMSOLmultiphysiques.

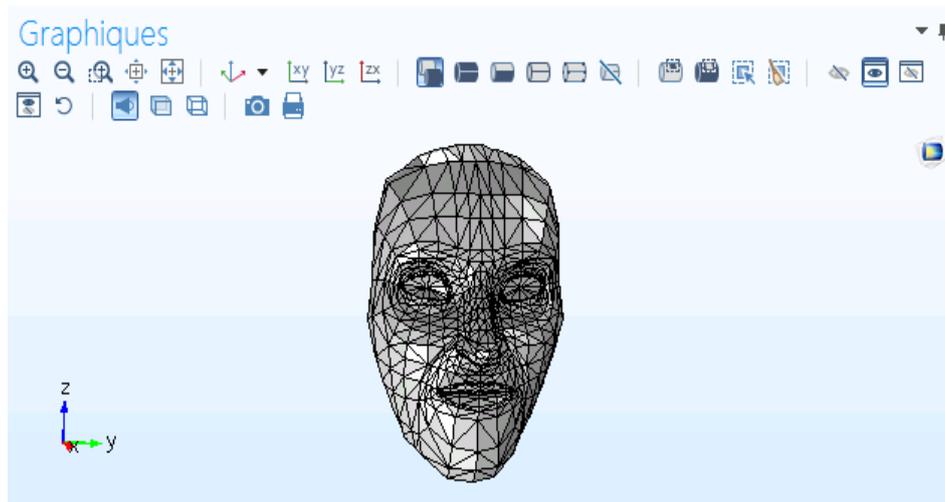


Figure II.8. Géométrie de visage importée vers COMSOL multiphysiques.

II.4.3.2. Matériaux

La bibliothèque de COMSOLmultiphysiques contient des matériaux constituant le corps humain.Parmi ceux-là, nous retrouvons la peau et les muscles que nous allons introduire à notre géométrie, étant donné que le visage est constitué de muscles et recouvert par une peau.

Ces matériaux sont caractérisés par des propriétés. Celles-ci sont données par défaut par le logiciel COMSOLmultiphysiques. Nous avons inséré uniquement le modèle de Young et le coefficient de Poisson.

Pour cela, nous avons utilisé des valeurs définies dans des travaux de modélisation des tissus mous peauciers [06].

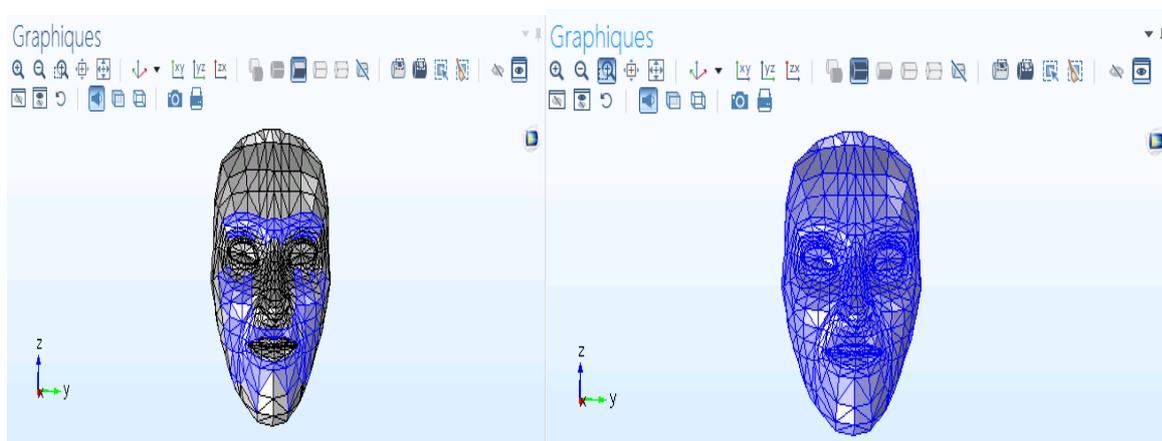


Figure II.9. Application de matériaux à la géométrie : les muscles (à gauche), la peau (à droite).

Propriété	Variable	Expression	Unité
Capacité thermique à pression constante	Cp	3421[J/(kg·K)]	J/(kg·K)
Masse volumique	rho	1090[kg/m ³]	kg/m ³
Conductivité thermique	k; kii = k,...	0.49[W/(m·K)]	W/(m·K)

Tableau II.2. Propriétés des muscles.

»	Propriété	Nom	Valeur	Unité	Groupe de propriétés
<input checked="" type="checkbox"/>	Masse volumique	rho	1109[kg/...	kg/m ³	Basique
<input checked="" type="checkbox"/>	Coefficient de Poisson	nu	0.49	1	Basique
<input checked="" type="checkbox"/>	Module d'Young	E	600	Pa	Basique

Tableau II.3. Propriétés de la peau humaine.

La figure (II.9) illustre la façon dont les matériaux sont appliqués à la géométrie. Les tableaux (II.2) et (II.3) montrent les propriétés de nos matériaux. La masse volumique, la capacité et conductivité thermiques sont introduites par défaut par le logiciel COMSOL multiphysiques, tant dis que le coefficient de poisson et le module de Young sont fournis par l'utilisateur.

II.4.3.3. Physique

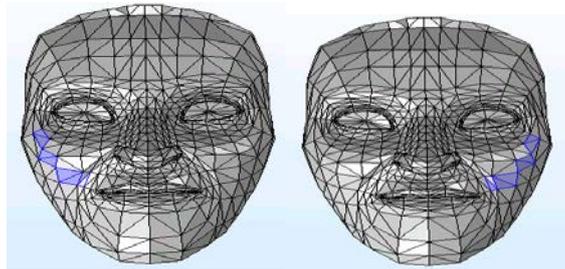
La physique utilisée dans ce travail est la mécanique du solide. D'abord, l'hypothèse de modélisation simple est supposée. L'élasticité est linéaire, la déformation est petite et l'anisotropie est prise en compte. Les propriétés biomécaniques sont choisies en fonction des mesures de rhéologie des tissus mous peauciers disponibles en littérature.

II.4.3.3.a. Encastrement

Dans notre cas, l'encastrement est le maintien d'une partie de notre géométrie immobile. Dans notre géométrie, nous avons besoin de la face du visage. Pour cela, un encastrement a été appliqué à la partie postérieure. Ceci engendre un calcul plus rapide.

II.4.3.3.b. Chargement sur frontières

Dans notre travail, les muscles sont les générateurs des expressions faciales. Pour cela, toute force est appliquée au muscle afin de générer l'expression voulue. L'action de sélectionner le muscle et lui appliquer une force s'appelle : chargement sur frontière. La contrainte peut être appliquée suivant trois axes X, Y, Z. elle peut être appliquée dans la direction de l'axe ou dans le sens opposé. Pour modéliser un sourire par exemple, un chargement sur frontière est appliqué aux muscles zygomatiques.



a- Application d'une contrainte sur les deux zygomatiques
selon l'axe Y.

$$F1=1N, F2= -1N$$



b- L'état neutre (à gauche), le sourire (à droite)

FIG.II.10-L'influence de la contrainte sur l'état initial

II.4.3.3.c. Maillage

La méthode des éléments finis repose sur un découpage de l'espace selon un maillage. C'est donc découper notre espace en petits éléments. Les intersections entre ces éléments sont appelées «nœuds». Dans la modélisation tridimensionnelle, nous retrouvons plusieurs types de maillages tels que le maillage exahédral ou tétraédral. Plus ce maillage est resserré, plus le nombre de nœuds augmente et plus la solution que l'on obtient par la méthode des éléments finis sera précise et proche de la véritable solution de l'équation aux dérivés partielles. Le maillage est donc une étape fondamentale qui conditionne tout le reste du calcul. Le temps de calcul, la précision des résultats, la stabilité du modèle dépendent de ce premier.

Dans notre cas, nous avons utilisé un maillage tétraédral libre, extrêmement fin. Celle-ci est la raison pour laquelle les résultats sont d'une grande précision.

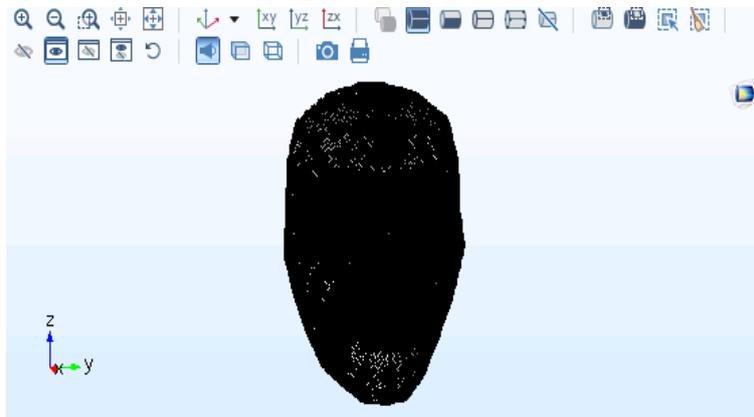


Figure II.11. Maillage tétraédral extrêmement fin.

Le maillage est surfacique et extrêmement fin. Cette taille de maillage est celle qui contient le plus grand nombre de nœuds.

II.4.3.4. Etude

Dans un premier temps, nous avons choisi l'étude stationnaire. Dans ce cas, les résultats ne sont ni temporels ni fréquentiels. En perspective et après le contrôle de tous les

paramètres, une étude temporelle peut être envisagée pour modéliser une animation réelle du visage.

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une idée générale sur les expressions faciales universelles ainsi que les systèmes de codages. Ceci nous a permis de connaître les règles nécessaires pour la modélisation d'expressions faciales. Aussi, nous avons exposé la procédure générale utilisée pour la génération de ces expressions. Dans ce chapitre, nous avons démontré un type d'expression faciale qui est le sourire. Cette étape est la même pour toutes les autres expressions, à condition de sélectionner les muscles générateurs pour chacune d'entre elles. Pour ce faire, le chapitre suivant s'étalera sur la modélisation de ces expressions sur des sujets réels.

Chapitre III. Génération des expressions faciales sur des sujets réels.

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la modélisation par la méthode des éléments finis des expressions faciales sur des sujets réels. Pour cela, nous avons commencé par montrer que la méthode des éléments finis sous COMSOL Multiphysiques peut reproduire toute les expressions faciales. Cette modélisation permettra de mettre en forme et généraliser les conditions aux limites utilisées dans les simulations suivantes. Après cela, nous nous étalerons sur l'étude de la génération de toutes ces expressions faciales sur des sujets réels. Cette étude vise à monter si le rapport de déformation pour chaque expression par rapport à l'état neutre est indépendant ou non des visages de la forme des sujets différents.

III.2. Reproduction des expressions faciales sous COMSOL multiphysiques

Afin de modéliser les expressions faciales, nous avons en premier lieu utilisé un masque de visage 3D de la bibliothèque de 3dsMax. Le modèle est importé avec son maillage surfacique 3D sous COMSOL multiphysiques en utilisant l'extension DXF. Les conditions aux limites de type « chargement sur frontières » sont appliquées aux muscles générateurs de l'expression faciale. La figure suivante illustre la manière dont les muscles faciaux sont sélectionnés sur le modèle.

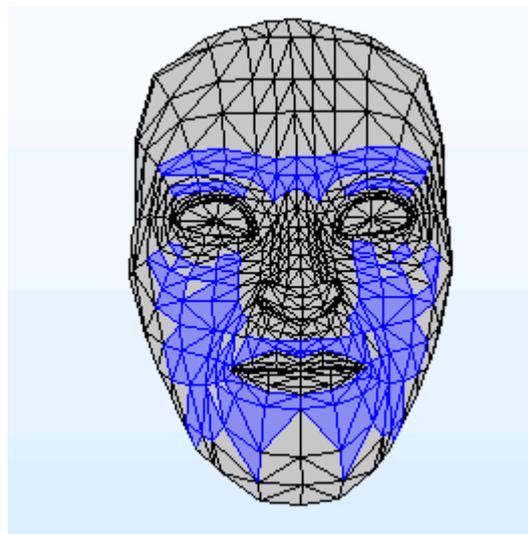


Figure III.1. Les muscles faciaux.

Les muscles sélectionnés sont :

- l'abaisseur sourcilier,
- les deux orbiculaires de l'œil,
- les deux zygomatiques majeurs,
- les deux zygomatiques mineurs,
- l'éleveur de la lèvre supérieure,
- l'abaisseur de la lèvre inférieure,
- et les deux abaisseurs de l'angle de la bouche.

L'expression faciale	Les chargements sur frontières	Les valeurs attribuées
La joie	Les zygomatiques majeurs	$F= 1N$ et $F= -1N$.
La surprise	L'abaisseur sourcilier Les deux orbiculaires L'éleveur de la lèvre supérieure	$F= 1N$ $F= 0.5N$ $F=0.6N$
La tristesse	L'abaisseur sourcilier Les deux orbiculaires Les deux abaisseurs de l'angle de la bouche L'abaisseur de la lèvre inférieure	$F= 1N$ $F= -0.5N$ $F= -0.6N$ $F= 2N$
Le dégoût	L'abaisseur sourcilier Les deux orbiculaires L'éleveur de la lèvre supérieure	$F= -1$ $F= -0.5$ $F= 0.4$
La peur	L'abaisseur sourcilier Les deux orbiculaires	$F= 1.75N$ $F= 0.8N$
La colère	L'abaisseur sourcilier Les deux orbiculaires Les deux zygomatiques majeurs	$F= -1.5N$ $F= 0.75$ $F=1N$ et $F= -1N$

Tableau III.1. Les conditions aux limites appliquées aux muscles faciaux.

Il faut noter que les muscles sont sélectionnés manuellement avec une précision qui dépend non seulement du manipulateur mais aussi de l'affinement du maillage. Pour cela, nous nous sommes basés sur la structure du visage et essayé de reproduire les mêmes emplacements de ces muscles. Le tableau ci-dessus résume les valeurs données aux chargements sur frontières pour chacun des muscles influant sur la génération de l'expression faciale. Afin de simuler les six expressions de ce visage, nous avons établis les forces nécessaires et leurs points de chargement. La figure III.2 montre Les six expressions faciales universelles : la joie, la surprise, la tristesse, le dégoût, la peur et la colère :

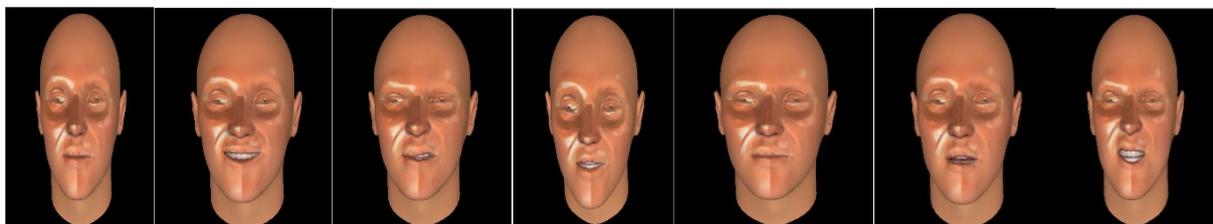
- (a) photos réelles d'un sujet réel (déjà données dans le chapitre 1),
- (b) sous Comsolmultiphysiques en utilisant les chargements sur frontières donnés sur le tableau ci-dessus,
- (c) sous le logiciel FaceGen logiciel professionnel utilisé pour la création de visages humanoïdes à partir d'images photographiques.



(a)



(b)



(c)

Figure III.2. Les six expressions faciales universelles : la joie, la surprise, la tristesse, le dégoût, la peur et la colère ; (a) photos réelles, (b) sous Comsolmultiphysique, (c) sous le logiciel FaceGen.

Comme pour les photos du sujet réel, nous avons montré que la méthode des éléments finis sous COMSOL multiphysiques peut être utilisée pour reproduire toute les expressions faciales. En comparant ces résultats aux expressions reproduites par FaceGen Modeler, nous remarquons une ressemblance notable entre les images. Il est à noter que ce logiciel nous a permis d'exporter les images obtenues sous différentes extensions vers différents logiciels de modélisation 3D tels que : 3dsMax, Maya, Meshlab, COMSOL Multiphysiques, Blender...etc. Nous avons choisi le format STL afin de l'exporter dans un logiciel d'extraction intitulé Meshlab (logiciel open-source utilisé pour le maillage) pour l'étude des sujets réels.

III.3. Etude de l'expression faciale sur des sujets réels

Pour cette étude, nous nous sommes basés sur le modèle MPEG-4 ainsi que les travaux de thèse de Ghanem [35]. Sur ce modèle exposé dans le chapitre 1, le tableau I.3 définit des distances biométriques qui caractérisent l'expression faciale par rapport à l'état neutre, nous pouvons définir :

- D1 : distance entre les deux paupières.
- D2 : distance entre le coin intérieur de l'œil et des sourcils.
- D3 : distance entre les coins de la bouche.

Comme nous l'avons cité précédemment, l'expression faciale peut être générée de manière différente d'un individu à l'autre. Donc, ceux sont ces distances qui indiquent l'état émotionnel de l'individu.

	Etat neutre	Joie	Surprise	Tristesse	Dégout	Peur	Colère
D1	9.50 mm	X	9.56 mm	9.4 mm	9.4 mm	9.54	X
D2	15.90 mm	X	15.95 mm	15.94 mm	11.58 mm	15.90 mm	15.7 mm
D3	30.90 mm	32 mm	31 mm	X	X	X	30.7 mm

Tableau III.2. Distances biométriques calculées sur COMSOL multiphysiques.

Il est à noter que nous avons uniquement calculé les distances qui caractérisent une expression des cinq autres expressions. Par exemple, pour la joie, nous avons calculé uniquement la distance D3 car c'est celle-là qui la caractérise de la surprise ou de la colère.

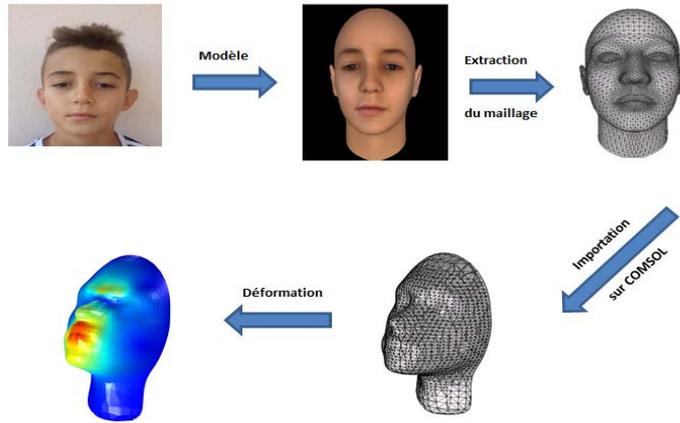
Pour la tristesse, dégoût et la peur, la personne peut agir et exprimer la même mimique au niveau de la bouche, c'est pour cela que nous nous sommes intéressés uniquement à D1 et D2.

Le tableau suivant résume les principales différences potentielles entre les expressions universelles.

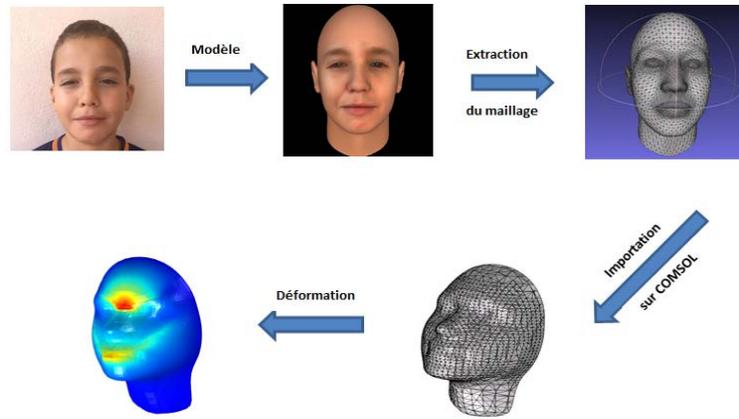
Expressions	Différences	
Joie/Surprise	Joie: D3 ↗	Surprise : D3 ↘
Joie /Colère	Joie : D3 ↗	Colère : D3 ↘
Surprise / Dégoût	Surprise : D1 ↗	Dégoût : D1 ↘
Surprise /Colère	Surprise : D2 ↗	Colère : D2 ↘
Surprise /Tristesse	Surprise : D1 ↗	Tristesse : D1 ↘
Dégoût /Tristesse	Dégoût : D2 ↘	Tristesse : D2 ↗
Dégoût /Peur	Dégoût : D1 ↘ , D2 ↘	Peur : D1 ↗ D2 ↗
Colère /Tristesse	Colère : D2 ↘	Tristesse : D2 ↗
Colère /Peur	Colère : D2 ↘	Peur : D2 ↗
Tristesse/Peur	Tristesse : D1 ↘	Peur : D1 ↗

Tableau III.3. Différences potentielles entre les expressions universelles.

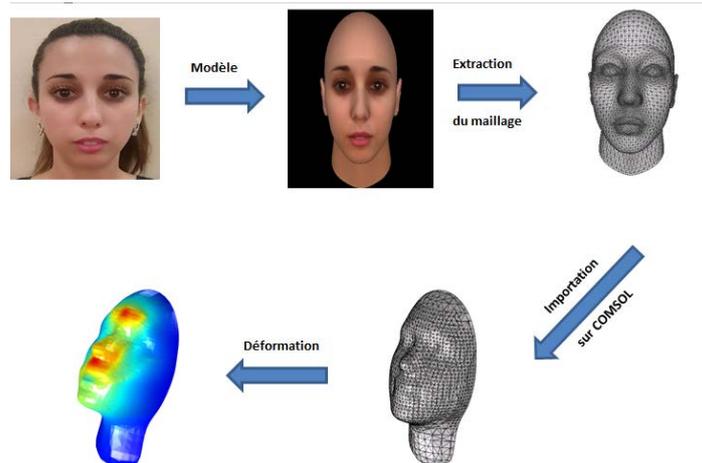
Nous remarquons que cette tendance est respectée pour ce premier sujet. Pour étendre cette étude, nous nous sommes intéressés à trois sujets réels. La différence majeure entre ce premier sujet étudié et ceux données sur la figure III.3 réside dans le maillage. Pour cela, les images au format JPEG est importé vers Meshlab puis vers Comsolmultiphysiques grâce aux formats STL et DXF. Nous avons reproduit la même opération que pour le premier masque sur trois sujets réels différents. L'importation de ces sujets a été possible qu'avec un maillage volumique en utilisant un filtre de poisson. Ce maillage a un inconvénient majeur qui est le nombre drastique de nœuds de calcul et par conséquent augmente le temps de calcul. En perspective de notre travail, nous espérons passer à un maillage surfacique pour réduire le temps de calcul.



(a) –Modélisation d’une expression faciale sur le sujet 1.



(b) –Modélisation d’une expression faciale sur le sujet 2.



(c) –Modélisation d’une expression faciale sur le sujet 3.

Figure III.3. Processus de modélisation d’une expression faciale à partir d’une image photographique des trois sujets étudiés.

Il est à noter qu'une image réelle au format JPEG ne donne pas accès aux dimensions réelles du sujet comme c'était le cas du sujet extrait de 3dsMax. Donc, nous ne pouvons comparer ces trois sujets réels à celui-ci. Pour représenter les distances du modèle MPEG-4, nous nous baserons sur les pourcentages de déplacements des points caractéristiques faciaux par rapport à l'état neutre calculés pour chaque expression. Les tableaux III.4 à III.6 représentent ces distances biométriques D1, D2 et D3, respectivement pour les sujets 1 à 3 représentés sur la figure III.3.

	Joie	Surprise	Tristesse	Dégout	Peur	Colère
D1	X	12.66%	3.8%	7.46%	18.4%	X
D2	X	19.33%	10.66%	7.53%	29.33%	18%
D3	89.33%	32%	X	X	X	30.66%

Tableau III.4. Variation des distances faciales pour le sujet 1.

	Joie	Surprise	Tristesse	Dégout	Peur	Colère
D1	X	14.33%	4%	8.4%	20.24%	X
D2	X	21.06%	10.66%	9.06%	30.33%	18.66%
D3	89.33%	30.66%	X	X	X	27.66%

Tableau III.5. Variation des distances faciales pour le sujet 2.

	Joie	Surprise	Tristesse	Dégout	Peur	Colère
D1	X	14.06%	4.3%	7.66%	19.4%	
D2	X	20.4%	10.33%	8.33%	30%	18.4%
D3	89%	31.33%				29.33%

Tableau III.6. Variation des distances faciales pour le sujet 3.

Les histogrammes représentés sur les figures III.4 à III.6 représentent respectivement la comparaison des distances biométriques D1, D2 et D3 pour les trois sujets. Ces derniers illustrent la manière dont les distances D1, D2 et D3 varient lors de la génération des différentes expressions faciales.

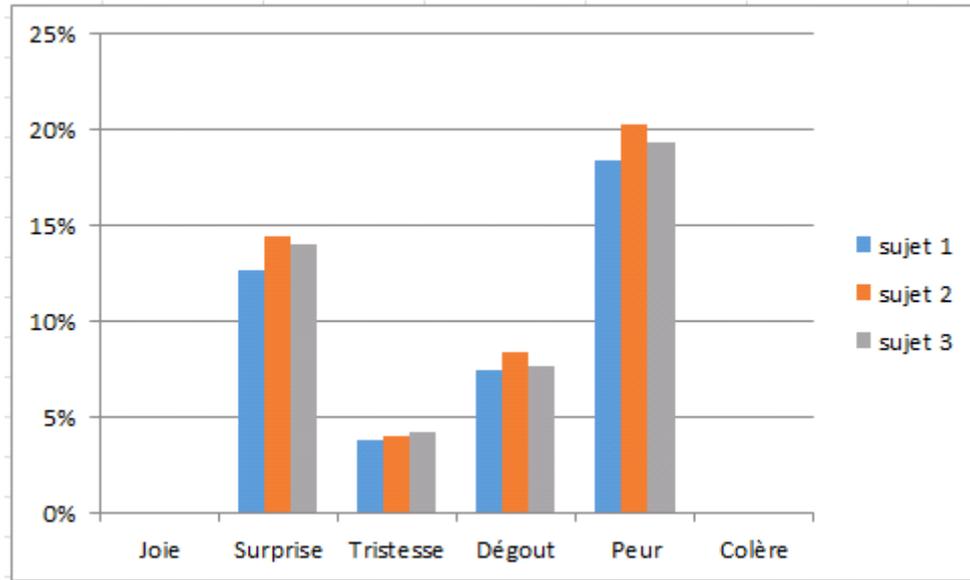


Figure III.4. Histogramme de variations de D1 pour les expressions faciales.

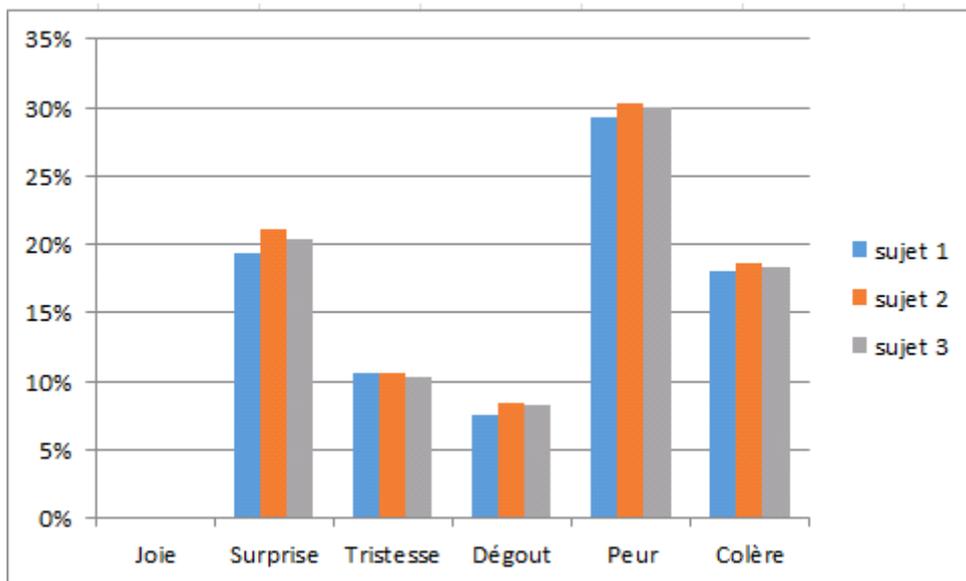


Figure III.5. Histogramme de variations de D2 pour les expressions faciales.

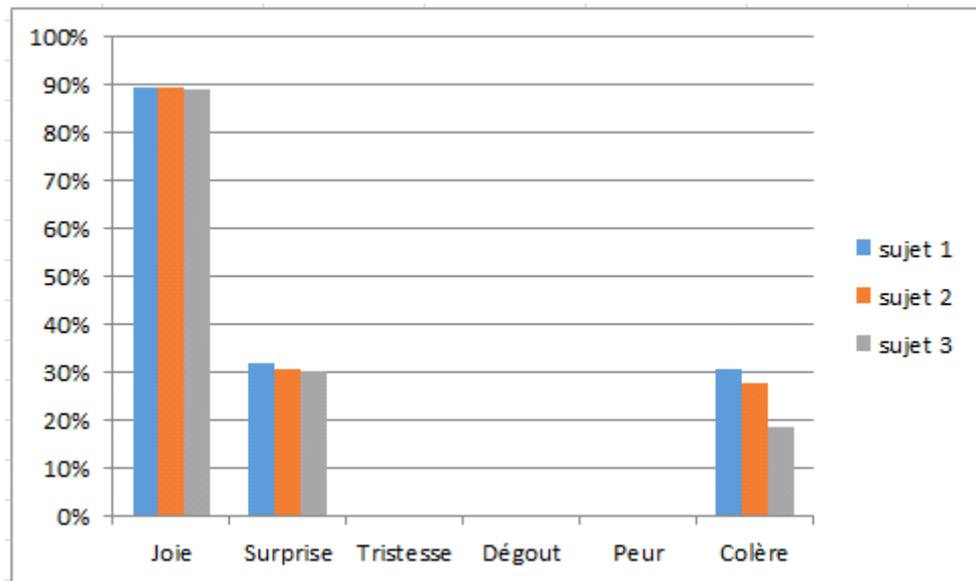


Figure III.6. Histogramme de Variations de D3 pour les expressions faciales.

Dans cette étude, nous avons constaté que pour des sujets de différentes morphologies, les variations des distances biométriques D1, D2 et D3 sont pratiquement les mêmes chez les trois sujets. La marge d'erreur peut être due à l'imprécision incarnée lors de la manipulation manuelle à la fois des masques, de la sélection des muscles ainsi que les sondes sur frontières. Pour s'affranchir de ces erreurs, nous pouvons imaginer un système automatique avec un programme d'importation des données entre les différents outils utilisés.

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné quelques résultats de la modélisation d'expressions faciales par la méthode des éléments finis. Nous avons démarré le travail avec un masque de visage référence de bibliothèque du logiciel 3dsMax. Les résultats de modélisation des expressions faciales ont pu être confondus avec celles générées par FaceGen Modeler logiciel professionnel dans l'expression faciale. Ces résultats ont permis en premier à valider la modélisation par la méthode des éléments finis en utilisant la méthode des éléments finis sous Comsol Multiphysiques. Ensuite, nous avons comparé la génération d'expressions faciales sur des sujets réels. Les distances biométriques calculées sont très comparables pour les trois sujets étudiés. Donc, la variation de ces distances biométriques en fonction du type de

l'expression faciale sont indépendantes de la forme du visage. Ces résultats laissent envisager la création d'une base de données des expressions faciales de chaque personne à partir d'une photo traditionnelle du sujet pouvant servir pour la biométrie, la télémédecine, l'intelligence artificielle, etc...

Conclusions et perspectives

Conclusions et perspectives

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'expression faciale du visage humain. Ce domaine a fait l'objet de plusieurs travaux réalisés par des chercheurs dans différents domaines tels que la psychologie et l'informatique. Certains de ces chercheurs ont développé des systèmes de reconnaissance et classification des expressions faciales, d'autres ont modélisé ces expressions, les ont animées, ...Dance cette étude, ous nous sommes focalisé sur un courant de recherche particulier, qui est la modélisation du processus émotionnel en utilisant la méthode des éléments finis sous ComsolMultiphysiques. Poucela, plusieurs outils informatiques ont été nécessaires comme Meshlab ou 3ds Maxpour l'extraction des masques des visagesde sujets étudiés.

Ce type de modélisation nous a permis de générer des émotions sur des agents virtuels. Nous nous sommes basé en premier lieu sur un modèle simpliste de visage, puis nous avons créé différents modèles à partir d'images photographiques de sujets réels. Chaque expression faciale générée est accompagnée par des déformations, ce qui induit à la variation des valeurs des distances faciales. Pour cela, nous nous sommes basés sur les cinq distances caractéristiques définies depuis les points caractéristiques du visage figurants dans le modèle MPEG.

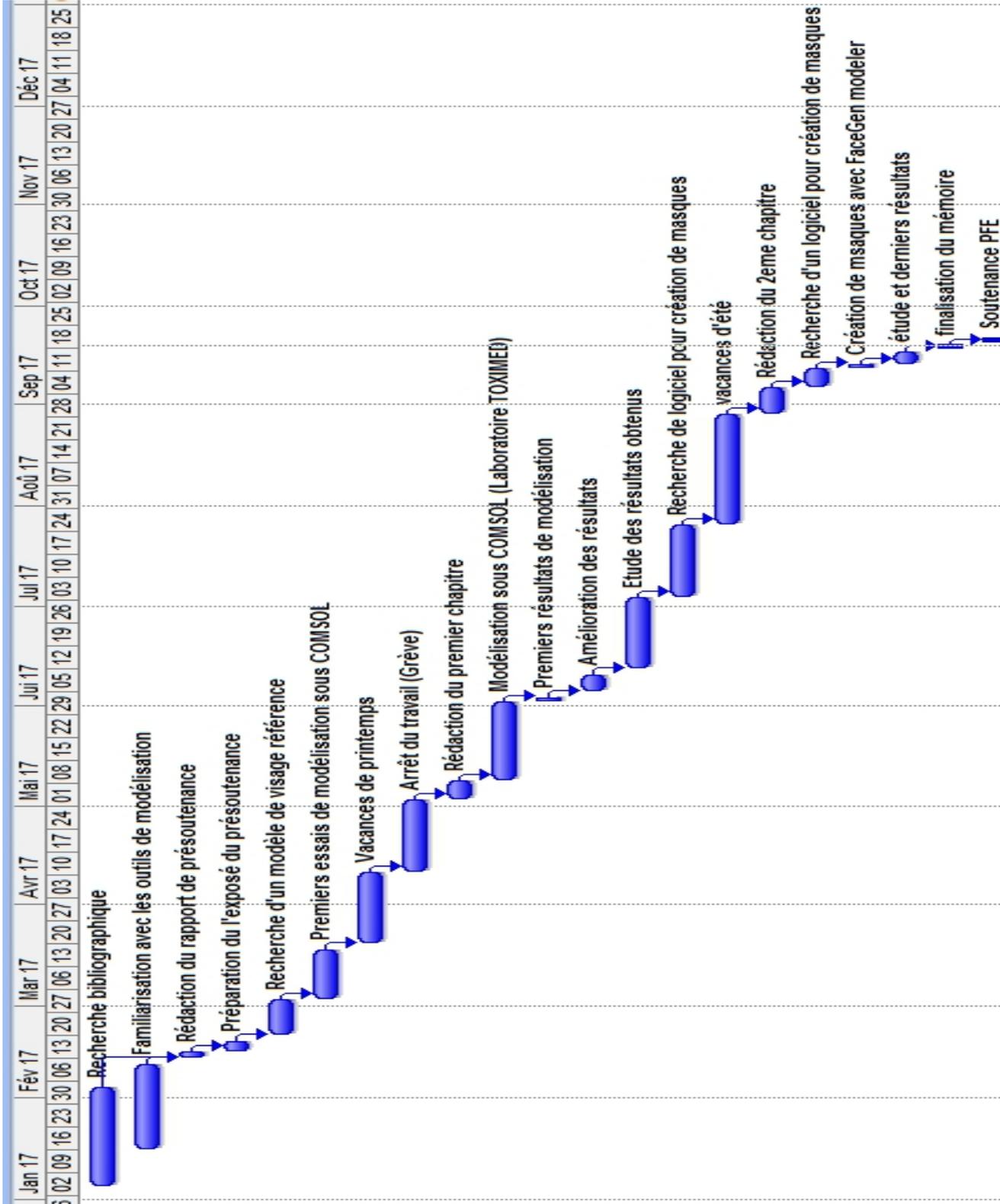
Les résultats de ces variations ont donné lieu à une comparaison entre les différentes expressions faciales. En comparant la génération d'expressions faciales sur des sujets réels, les distances biométriques calculés sont très comparables. OÙ, la variation de ces distances biométriques en fonction du type de l'expression faciale sont indépendantes de la forme du visage.

Plusieurs champs de perspectives auxquels nous portons un vif intérêt pour la suite de l'étude, dont :

- la biométrie dynamique,
- la création de base de données et apprentissage,
- la télésurveillance médicale.

Nous pouvons dire que ces résultats laissent envisager la création d'une base de données des expressions faciales de chaque personne à partir d'une photo traditionnelle du sujet pouvant servir pour la biométrie, la télémédecine, l'intelligence artificielle, etc...

Ce rapport s'achève par un diagramme de Gant établi sur Ms Project afin d'exposer la gestion des tâches durant la réalisation de ce tra



Références

- [1] P. Monjaux. Modélisation et animation interactive de visages virtuels de dessins animé. *these de doctorat*. Université Paris V, 2007.
- [2] www.pinterest.com
- [3] M. Kiss, T. Varghese, and T. Hall. Viscoelastic characterization of in vitro canine tissue. *Phys Med Biol*, 49(18) :4207–18, Sep 2004.
- [4] H.R. Schwartz, *Finite Element Methods*, Academic Press, London, 1984
- [5] Y. Payan, M. Chabanas, X. Pelorson, C. Vilain, P. Levy, V. Luboz et P. Perrie. Biomechanical models to simulate consequences of maxillofacial surgery. *C. R. Biologies* 325 (2002) 407–417, 2002.
- [6] G. Collier. *Emotional Expression*. Lawrence Erlbaum Publisher, Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Publisher, 1985.
- [7] P. Ekman. Asymmetry in facial expression. *Science*, 209 :833–834, 1980
- [8] N. L. Etcoff and J. J. Magee. Categorical preception of facial expressions. *Cognition*, 44 :227–240, 1992.
- [9] A. Kappas. The illusion of the neutral observer : On the communication of emotion. *Cahiers de linguistique française*, 12 :153–168, 1991.
- [10] W. E. Rinn. Neuropsychology of facial expression. In *Fundamentals of Nonverbal Behavior*, pages 3–30. Cambridge University Press, 1991.
- [11] C. A. Smith and H. S. Scott. A componential approach to the meaning of facial expressions. *The psychology of facial expression*, pages 229–254. Cambridge University Press, 1997
- [12] S. Coren and J. A. Russell. The relative dominance of different facial expressions of emotion under conditions of perceptual ambiguity. *Cognition and Emotion*, 6 :339–356, 1992.
- [13] P. Ekman, W. V. Friesen, and P. Ellsworth. Research foundations. *Emotion in the human face*, pages 1–43. Cambridge University Press, 1982.

- [14] U. Hess, A. Kappas, and K. Scherer. Multichannel communication of emotion : Synthetic signal production. *Facets of emotion*, pages 161–182. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Publisher, 1988.
- [15] P. Noller. Video primacy - a further look. *Journal of Nonverbal Behavior*, 9 :28–47, 1985
- [16] J. D. Boucher and P. Ekman. Facial areas and emotional information. *Journal of Communication*, 25: 21–29, 1975.
- [17] P. Ekman and M. O’Sullivan. Facial expression : Methods, means and moeurs. *Fundamentals of nonverbal behavior*, Cambridge University Press, 1991.
- [18] A. J. Fridlund, P. Ekman, and H. Oster. Facial expression of emotion : Review of the litterature, 1970-1983. *Nonverbal behavior communication*, Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 1987
- [19] A. Tremblay, J. Deschênes, B. Poulin, J. Roy, G. Kirouac, and A. Kappas. Identification de régions faciales critiques dans le jugement d’authenticité d’un sourire d’expressions de joie véritablement ressentie. *XVIe Congrès annuel de la SQRP*, Québec, Canada, Octobre 1993
- [20] C. Darwin .L’expression des émotions chez l’homme et les animaux. *RivagesPoche*, 2001.
- [21] A. Mehrabian. Communication without words. *PsychologyToday*, pages 53–55, September 1968.
- [22] P. Ekman , E. R. Sorenson and W. V. Friesen. PanCultural Elements in Facial Displays of Emotion. *Science*, pages 86 –88, Avril 1969.
- [23] M.D. Kelly. Visual identification of people by computer. *Rapport Technique AI-130*, Stanford AI Project, Stanford, CA, 1970.
- [24] P. Ekman et W. V. Friesen. Facial action coding system (FACS). *Manual. Palo Alto : Consulting Psychologists Press*, New-York, 1978.
- [25] K. R. Scherer and P. Ekman. Handbook of methods in nonverbal behavior research. *Cambridge University Press*, 1982.

- [26] D. Terzopoulos and K. Waters. Analysis and synthesis of facial image sequences using physical and anatomical models. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15: 569-579, June 1993.
- [27] MPEG4. Iso/iec 14496-2 - mpeg-4 - coding of audio-visual objects - part 2 - visual, 2001. 14, 15, 16
- [28] J. Ostermann. Animation of synthetic faces in mpeg-4. In *CA '98 : Proceedings of the Computer Animation*, page 49, Washington, DC, USA, 1998. IEEE Computer Society. 15
- [29] L. Ambrosini, M. Costa, F. Lavagetto, and R. Pockaj. 3d head model calibration based on mpeg-4 parameters. *The 6th ISPACS – IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing and Communication Systems*, pages 626–630, 1998. 13, 16
- [30] P. Vayer and C. Roncin. Le corps et les communications humaines : l'animation des groupes adultes. *Vigot*, 1986
- [31] H. Li, P. Roivainen, and R. Forchheimer. 3-d motion estimation in model-based facial image coding. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pages 545-555, June 1993.
- [32] L. Wiskott, J.M. Fellous, N. Kruger and C.V.D Malsburg. Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pages 775–779, 1997.
- [33] M. Lyons, S. Akamatsu, M. Kamachi and J. Gyoba. Coding Facial Expressions with Gabor Wavelets. *Proceedings of the Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pages 200–205, Nara, Japan, avril 1998.
- [34] Z. Zhang. Feature-based facial expression recognition : Experiments with a multi-layer perceptron. *Rapport Technique 3354*, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, Février 1998.
- [35] K. Ghanem. Reconnaissance des Expressions Faciales à Base d'Informations Vidéo ; Estimation de l'Intensité des Expressions Faciales. *Thèse de doctorat*, Constantine, 2010.
- [36] H. Delingette, G. Subsol, S. Cotin and J. Pignon. A Craniofacial Surgery Simulation Tested. *Technical Report 2199, INRIA*, 1994.

- [37] K.Waters. Synthetic muscular contraction on facial tissue derived from computer tomography data. *Computer Integrated Surgery*, MIT Press, Cambridge, MA, pages 191–200, 1996.
- [38] E.Keeve, S. Girod and B. Girod. Computer-aided craniofacial surgery. *Computer Assisted Radiology*, pages. 757–763, 1996.
- [39] M. Teschner, S. Girod and B. Girod. Optimization approaches for soft-tissue prediction in craniofacial surgery simulation. *2nd International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention, MICCAI'99. LNCS*, 167: 1183–1190, 1999.
- [40] S.Barré, C. Fernandez, P. Paume, G. Subrenat. Simulating facial surgery. *Proc. IS&T / SPIE Electron, Imaging 3960*, pages 334–34, 2000.
- [41] R.M. Koch, M.H. Gross, F.R. Carls, D.F von Büren, G.Frankhauser and Y.I.H Parish. Simulating facial surgery using finite element models. *Proceedings of SIGGRAPH*, ACM Press, pages 421 ---428, 1996.
- [42] E. Keeve, S. Girod, R. Kikinis and B. Girod. Deformable modelling of facial tissue for craniofacial surgery simulation. *Computed Aided Surgery*, pages 228–238, 1998
- [43] R.M. Koch, S.H.M. Roth, M.H. Gross, A.P. Zimmermann and H.F. Saile. A framework for facial surgery simulation. *CS Technical Report 326*, ETH Zurich, Switzerland, 18 June 1999.
- [44] S. Zachow, E. Gladiline, H.C Hege and P. Deuflhard. Finite element simulation of soft tissue deformation, *Proceedings of CARS*, pages 23–28, 2000.
- [45] E. Gladilin, S. Zachow., H.C Hege and P. Deuflard. FE-based heuristic approach for the estimation of person-specific facial mimics. *5th International Symposium on Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, Rome, Italy, November 2001.
- [46] M.Teschner. Direct Computation of Soft-tissue Deformation in Craniofacial Surgery Simulation. *PhD Thesis*, Shaker Verlag, Aachen, Germany, January 2001.
- [47] M. Chabanas, V.Luboz and Y. Payan. Patient specific Finite Element model of the face soft tissue for computer-assisted maxillofacial surgery, *Medical Image Analysis*, 7:131-151, 2003.

- [48] W. Mollemans, F. Schutyser, N. Nadjmi, F. Maes and P. Suetens. Predicting soft tissue deformations for a maxillofacial surgery planning system: From computational strategies to a complete clinical validation, *Medical Images Analysis*, 11: 282–301, 2007.
- [49] M. Chabanas. Modélisation des tissus mous de la face pour la chirurgie orthognatique assistée par ordinateur. *Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier*, Grenoble 1, 2002.
- [50] B. Couteau, Y. Payan, S. Lavallée, The Mesh-Matching algorithm : an automatic 3D mesh generator for finite element structures, *J. Biomech.* 33 (8) (2000) 1005–1009.
- [51] M.A. Nazari, P. Perrier, M. Chabanas, and Y. Payan. Shaping by stiffening: A modeling study for lips. *Motor Control*, pages 141–168, 2011.
- [52] M.A. Nazari, P. Perrier, M. Chabanas, and Y. Payan. Simulation of dynamic orofacial movements using a constitutive law varying with muscle activation. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 13(4):469–482, 2010.
- [53] I. Stavness, M. A. Nazari, P. Perrier, D. Demolin and Y. Payan. A Biomechanical Modeling Study of the Effects of the Orbicularis Oris Muscle and Jaw Posture on Lip Shape. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 56: 878-890, 2013.
- [54] L. Dutrève. Paramétrisation et Transfert d'Animations Faciales 3D à partir de Séquences Vidéo : vers des Applications en Temps Réel. *Thèse de doctorat*, Université de Lyon, 2006.
- [55] Y. Zhang, T. Sim, and C. L. Tan. Rapid modeling of 3d faces for animation using an efficient adaptation algorithm. In *GRAPHITE '04 : Proc, International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australasia and Southeast Asia*, pages 173–181, June 2004. 26
- [56] K. Kähler, J. Haber, H. Yamauchi, and H.-P. Seidel. Head shop : generating animated head models with an anatomical structure. In *SCA '02 : Proceedings of the 2002 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation*, pages 55–63, New York, NY, USA, 2002. ACM. 13, 21, 26
- [57] V. C. Orvalho, E. Zacur, and A. Susin. Transferring a labeled generic rig to animate face models. In *AMDO '06 : 4th International Conference on Articulated Motion and Deformable Objects*, pages 223–233, 2006. 26, 47, 56

[58] L. Williams. Performance-driven facial animation. In *SIGGRAPH'90 : Proceedings of the 17th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 235–242, New York, NY, USA, 1990. ACM. 27, 29, 71

[59] Y. Zhang, E. C. Prakash, and E. Sung. Real-time physically-based facial expression animation using mass-spring system. In *CGI '01 : Proceedings of the International Conference on Computer Graphics*, Washington, DC, USA, 2001

[60] B. Ben Amor. Contributions à la reconstruction, la reconnaissance et l'authentification faciale 3D. *Thèse de doctorat, Université de Lyon, 2006*.

[61] B. BenAmor, M. Ardabilian et L. Chen . Efficient and low-cost 2.5D and 3D face photography for recognition. *International Conference On Signal-Image Technology and Internet-based Systems, Yaounde, Cameroun*. November 2005

[62] <https://www.comsol.fr>.

[63] www.autodesk.com