

17/004.439

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université 08 Mai 1945-Guelma

Faculté des Mathématiques, d'Informatique et des Sciences de la matière

Département d'Informatique



Mémoire de fin d'étude de Master

Filière : Informatique

Spécialité : Ingénierie des Médias

Thème :

13/827

**Transfert d'animation Faciale d'un visage réel
à un visage virtuel**

Sous la direction de :

Mme. Dordjiba Yamina

Présenté par :

Yaiche Amine

Richi M^{ed} Rachid

Juin 2013





*A cœur vaillant rien d'impossible
A conscience tranquille tout est
accessible*

*Quand il y a la soif d'apprendre
Tout vient à point à qui sait
attendre*

*Quand il y a le souci de réaliser un
dessein*

*Tout devient facile pour arriver à
nos fins*

*Malgré les obstacles qui s'opposent
En dépit des difficultés qui
s'interposent*

Les études sont avant tout



Dédicace

Merci « **ALLAH** » (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire : " **Ya Kayoum** "

Je dédie ce modeste travail en premier lieu :

Mme Séridi-Bordjiba pour tous se qu'elle a fait pour nous

A Mon Cher Père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

À celle qui m'a donné la vie, Ma très très cher Mère la ROSE... Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance.

Que dieu les gardes et les protège.

A mes frères,

Surtouts Mon Grand frère rabah qui m'a soutenue Durant toutes mes années d'études, a mouhssin et ses petits enfants Abboud ET Rokkaya, Toto, et mon petit frère Aladin qui j le souhaite que de la réussite durant ces années d'étude.

A mes sœurs Radette, nihad, mounira et ses petits enfants Toutou, Doudou, Arwa. Je vs exprimes à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

A mon binôme Minou

A Imene

A tous mes amies et en particulier Amir khaldoun le lion, bilal djaghout et amir bentboula En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

A tous les membres de ma famille, petits et grands, tous qui me connaît et m'aimait Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

Rachid



Je dédie ce mémoire à ...

Mon dieu, Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire "Ya Kayoum "

A ma très chère mère Fouzia

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon étoile polaire, Toi Papa

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation. Merci Da Moh

A mes très chères sœurs Mimi, Baby et Soumi

Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Je remercie dieu chaque jour de m'avoir donné des sœurs comme vous.

*A mes chers amis Mirou, Pissou, Ilyes, Tarek, Poupousse, Djo, Momo, Walid, Othmen, Amar, Chemsou, et à mon Bi-nome Richi :
Merci à vous d'avoir été toujours présents dans les moments difficiles et de toujours être à mes côtés pour partager mes joies*

A notre encadreur madame Bourdjiba Yamina

Un très grand merci à vous madame d'avoir été aussi patiente avec nous.

Amine

Remerciements

On tien à remercier en premier lieu Dieu tout puissant de nous avoir accordé la puissance et la volonté pour achever ce travail.

On adresse nos sincères remerciements à notre encadreur madame Bourdjiba Yamina, pour son suivi, ses conseils judicieux et ses discussions qui nous ont beaucoup aidé au cours de nos recherches.

Nous remercions tous nos enseignants, collègues et personnels du département d'informatique pour tout ce qu'ils nous ont apporté pour l'avancement et l'aboutissement de ce travail.

Nous remercions tous les membres du jury pour avoir bien voulu donner de leur temps pour lire ce travail et faire partie des examinateurs. Qu'ils en soient particulièrement remerciés.

De même, nous tenons, à remercier toutes les personnes qui nous ont communiqué des idées et des façons d'améliorer notre travail.

Résumé

Résumé

L'animation faciale est l'un des points clés dans le réalisme des scènes 3D qui mettent en scène des personnages virtuels. Ceci s'explique principalement par les raisons suivantes : le visage et les nombreux muscles qui le composent permettent de générer une multitude d'expressions; La complexité de ce domaine se retrouve dans les approches existantes par le fait qu'il est très difficile de créer une animation de qualité sans un long et fastidieux travail manuel.

On peut distinguer deux principales familles de travaux, et qui parfois s'entrecroisent. La première correspond à la synthèse d'animation, c'est-à-dire que chaque animation est produite par des méthodes, demandant plus ou moins d'interventions humaines, qui visent à reproduire les mécanismes visuels ou physiques du visage. La seconde a pour but d'animer un personnage virtuel en transférant des expressions réalisées par un acteur...

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'animation faciale, et en particulier au transfert d'animation faciale qui vise à transférer une expression d'un visage source à un autre visage cible avec une topologie différente. En se basant sur le déplacement des points de contrôle de visage source, nous avons implémenté une méthode basée sur la détection et le suivi d'un ensemble de points caractéristiques, et une interpolation par rotation pour transférer l'animation sur le visage virtuel.

En entrée nous disposons d'une vidéo d'un visage 2D préenregistrée qui sera (la source), et d'un visage virtuel en 3 dimensions qui sera la cible ; et sur lequel nous transférerons les expressions source pour obtenir un visage 3D avec des expressions transférées.

Mots clé :

Animation faciale, Transfert d'animation, expression faciale, visage 3D, Points caractéristiques

Sommaire

Sommaire

Titre	page
Chapitre I Visage et Animation faciale	
Introduction	07
1- Le Visage	07
1-1 Structure anatomique de visage.....	08
a\ Le squelette :	08
• Mouvements verticaux :	09
• Mouvements antéropostérieurs :	09
• Mouvements latéraux (diductions) :	09
b\ Les muscles :	10
c\ La peau :	11
1-2 Caractéristiques faciales :	12
a\ La bouche :	12
b\ Les yeux et les sourcils :	12
c\ Cheveux, plis, rides et éléments colorés :	12
2- Les expressions faciales :	13
2-1 Les émotions :	13
2-2 Visèmes et phonèmes :	14
3- Animation de visage :	14
3-1 Définition :	14
3-2 Historique	15
3-3 Domaines d'application et Objectif :	15
Conclusion :	17
Chapitre II Techniques d'animation faciale	
Introduction :	18
1- Animation faciale :	18
1-2 Animation faciale non temps réel :	18
1-2 Animation faciale temps réel :	20
2- Processus d'animation faciale :	22
3-Les techniques d'animation faciale :	25
3-1 Synthèse d'animation faciale :	26
3-1-1 Approches basées pseudo-muscles :	28
A- Paramétrisation directe :	28
B- Free form deformation (FFD) et Radial Basis Functions (RBF) :	29
3-1-2 Simulations physiques :	30

A- Systèmes masses/ressorts :	30
B- Représentation vectorielle des muscles :	30
3-2 Transfert d'animation :	32
Conclusion	34
Chapitre III Transfert d'animation faciale	
Introduction	36
1-Transfert d'animation	36
1-1 Expression cloning :	37
1-2 Motion cloning :	38
* Comparaison des deux approches	40
2- Transfert d'animation avec les fonctions à base radiale (function radial basis, RBF) :	41
Conclusion	43
Chapitre IV Conception et Implémentation	
I- Conception :	
Introduction:	44
1- Architecture générale:	44
1.1 Chargement de la video :	46
1.2 Détection du visage :	46
1.3 Détection et suivi des point caractéristiques :	47
a\ Localisation des points de caractéristiques :	47
b\ Normalisation :	47
c\ Localisation des points caractéristiques sur le visage virtuel :	48
1.3 Calcul des angles :	48
1.4 Transfert de l'animation sur le visage cible par les matrices de rotation :	50
II- Implémentation :	
Introduction :	51
1- Ressources, langages et environnement de développement :	51
1.1 Système d'exploitation et ressources matérielles :	51
1.2 Environnement logiciel :	51
a\ Eclipse :	52
b\ Java	53
c\ Java 3D :	55
d\ JMF :	56
e\ FSDK :	56
f\ FaceGen :	56

g\ XFACE :	58
2- Interfaces graphique de l'application	59
2.1 La fenêtre principale :	59
2.2- Charger la vidéo	61
2.3- Détection du visage et des points de contrôles :	62
2.4- Localisation des points de contrôles :	63
2.5- Calcul des vecteurs de normalisation :	64
2.6- Listes des points des contrôles du visage virtuel :	64
2.7- Expression transférée sur le visage virtuel :	65
Conclusion :	65
Conclusion général	66
Bibliographie	67

Liste des figures et tableaux

<i>Figure</i>	<i>Pages</i>
<i>Figure 1.1 : Ostéologie du crâne [5].</i>	09
<i>Figure 1.2 : Vue de côté d'une partie des muscles du visage [4].</i>	10
<i>Figure 1.3 : Composition de la peau : (1)-épiderme ; (2)-derme, (3)-hypoderme [6].</i>	11
<i>figure 1.4 : les Emotions de base définie</i>	13
<i>Figure 1.5 : Parke 1972 : Un des premiers modèles d'animation faciale [5].</i>	15
<i>Figure 2.1 – Image extraite de Final Fantasy (Columbia Pictures)</i>	19
<i>Figure 2.2 : Animation [Paramétrisation] Déformation</i>	24
<i>Figure 2.3 : Organisation des différentes techniques d'animation faciale [6].</i>	26
<i>Figure 2.4 : Capture d'écran du logiciel de synthèse d'expressions faciales</i>	28
<i>Figure 2.5 : Application des RBF sur une image [25].</i>	29
<i>Figure 2.6 : Représentation des muscles de la modélisation</i>	31
<i>Figure 2.7: Schéma des différentes étapes de l'algorithme de Noh « clonage » [38].</i>	33
<i>Figure 3.1 : Résultat d'expression cloning [38].</i>	38
<i>Figure 3.2: Vue d'ensemble du processus de clonage d'animations [40].</i>	38
<i>Figure 3.3: Résultats de clonage .</i>	40
<i>Figure 3.4: Vue d'ensemble de notre méthode de transfert .</i>	41
<i>Figure 3.5: Exemple de transfert d'une expression .</i>	42
<i>Figure 4.1 : architecture générale du system</i>	45
<i>Tableau4.1 : Description des FDP utilisées</i>	47
<i>Figure 4.2 : exemple d'angle résultant du déplacement d'un point caractéristique.</i>	49
<i>Figure 4.3 :Matrice de rotation pour les trois coordonnéesX,Y,Z</i>	50
<i>Tableau4.2 : Matériel utilisé.</i>	51
<i>Figure 4.4 : Lancement d'eclipse.</i>	53
<i>Figure 4.5: Exemple de fichier XML exporté par le XfaceEd.</i>	59
<i>Figure 4.6 : fenêtre principale</i>	59
<i>Figure 4.7 : Menu fichier.</i>	60
<i>Figure 4.8 : Menu prétraitement.</i>	61
<i>Figure 4.9 : bouton de chargement de la videos</i>	61
<i>Figure 4.10 : Vidéo charger</i>	62
<i>Figure 4.11 : détection du visage et de ses points de controls</i>	62
<i>Figure 4.12 : panneau d'exécution du composant</i>	63
<i>Figure 4.13 : coordonnées du point de control de chaque image</i>	63
<i>Figure 4.14 : les vecteurs de mouvement normalisés</i>	64
<i>Figure 4.15 : les coordonnées du point control 3D</i>	64
<i>Figure 4.16 : animation transférée</i>	65

Introduction Générale

Introduction Générale

Depuis les débuts de l'informatique graphique, de nombreux travaux visent à reproduire de manière réaliste un visage. En effet, Le visage étant la partie la plus expressive et communicative d'un être humain, notamment par les émotions, les expressions et les sentiments qu'il peut transmettre.

L'animation faciale est un des domaines de l'informatique graphique les plus complexes et les plus vastes. D'abord, parce que la multitude d'expressions réalisables par un visage humain est quasiment infinie, ensuite parce qu'il est très difficile de rendre une animation réaliste. En effet, l'homme est habitué à observer des visages depuis sa naissance et il est très sensible au moindre défaut.

La complexité et la richesse des détails du visage humain ont fait un des composants les plus difficiles à animer dans une scène 3D.

Au début, la recherche s'est surtout intéressée à la synthèse d'animation, c'est-à-dire que tout était créé sur ordinateur. Aujourd'hui, nous pouvons considérer que l'animation faciale a pris deux grandes voies : l'animation par « simulation physique » essayant de modéliser les muscles, la peau et leurs interactions ; et l'animation basée sur des mouvements capturés à partir d'un visage réel qui sont ensuite transférés/adaptés à un visage virtuel.

Le développement des méthodes de l'infographie pour l'animation faciale a commencé dans les années 1970, les principales réalisations dans ce domaine sont plus récentes elles datent depuis les années 1980. Frederic Parke du New York Institute of Technology (NYIT) été le premier qui a fait des recherches sur l'animation de visages en trois dimensions.

Depuis ces travaux, de nombreux efforts ont été fournis pour augmenter le réalisme et satisfaire les yeux critiques de l'homme. Néanmoins, deux aspects de l'animation faciale stimulée encore la recherche active et qui par fois s'entrecroisent. La première correspond à la synthèse d'animation: c'est-à-dire que chaque animation est produite par des méthodes, demandant plus ou moins d'interventions humaines, qui visent à reproduire les mécanismes visuels ou physiques du visage. La seconde a pour but d'animer un personnage virtuel en transférant des expressions réalisées par un acteur réel issues de capture de mouvement.

On s'est intéressé à cette deuxième catégorie, à savoir le transfert des expressions d'un visage réel à un visage virtuel.

Notre mémoire est organisé en quatre chapitres comme suite :

Chapitre I. *Visage et Animation Faciale* : Nous avons présenté la structure anatomique du visage, puis les expressions faciales et les émotions, et enfin, nous avons présenté une vue globale sur le domaine d'animation faciale.

Chapitre II. *Techniques d'animation Faciale* : Dans ce chapitre, nous avons défini le processus et les différentes techniques de l'animation faciale.

Chapitre III. *Transfert d'animation Faciale* : Nous avons consacré ce chapitre au transfert d'animation, ces différentes méthodes, et au transfert par fonction à base radiale avec ses avantages et inconvénients

Chapitre IV. *Conception et Implémentation* : Ce chapitre présente la conception de notre application où nous détaillons les étapes par lesquels elle passe, ainsi que les outils matériels et logiciels utilisés pour le développement, et les résultats obtenus.

Nous avons terminé notre mémoire par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I :

Visage et animation faciale

Introduction :

Le visage est un élément indispensable dans un grand nombre d'applications qui mettent en scène des personnages virtuels, telles que les jeux 3D interactifs, les logiciels et les films. La complexité et la richesse des détails du visage humain en fait un des composants les plus difficiles à animer dans une scène en trois dimensions.

Dans le domaine de l'animation par ordinateur, l'humain virtuel a été le sujet de nombreuses études et recherches. Différents axes ont été exploités concernant les visages parlants allant de la conception de visages réalistes basés sur la morphologie, à la simulation des déformations produites par l'animation des muscles, en passant par son utilisation dans différents domaines tels que les interfaces homme/machine afin de les rendre plus proches de la communication humaine.

On considère que le domaine de la modélisation et de l'animation de visages virtuels a été initié par **F.I. Parke** [1] [2], qui a défini le premier système de paramétrisation de visages humains permettant leur animation.

Depuis, un grand nombre de recherches ont été menées sur différentes techniques d'animation dans le cadre de l'utilisation ou la simulation d'expressions sur des modèles de visage 3d .

1- Le Visage :

Le visage est un moyen de communication important et complexe. Il émet en permanence des signes dont le décodage, non seulement renseigne sur l'état émotionnel de la personne, mais aussi éclaire sur ce qui est dit. Nous sommes très sensibles à son message visuel. Mehrabian [3] a mis en évidence le fait que 55% du message émotionnel soient communiqués par l'expression faciale alors que 7% seulement par le canal linguistique et 38% par le langage. Ainsi, les expressions faciales jouent un rôle important dans une communication humaine mais aussi en interaction homme-machine.

Le visage intervient fortement dans le processus de communication entre êtres humains, ceci sur deux niveaux:

Visage et Animation Faciale

- Au niveau de la parole, pour la quelle la bouche et la mâchoire jouent un rôle important;
- À travers la communication non verbale, réalisable grâce à la multitude de déformations que le visage est en mesure de produire, des plus larges aux plus fines.

Ces deux formes de communications sont rendues possibles grâce à un système biomécanique complexe, composé de trois structures majeures: la peau, les os et les muscles ainsi que d'autres organes comme les yeux, la langue, les oreilles, etc. [4].

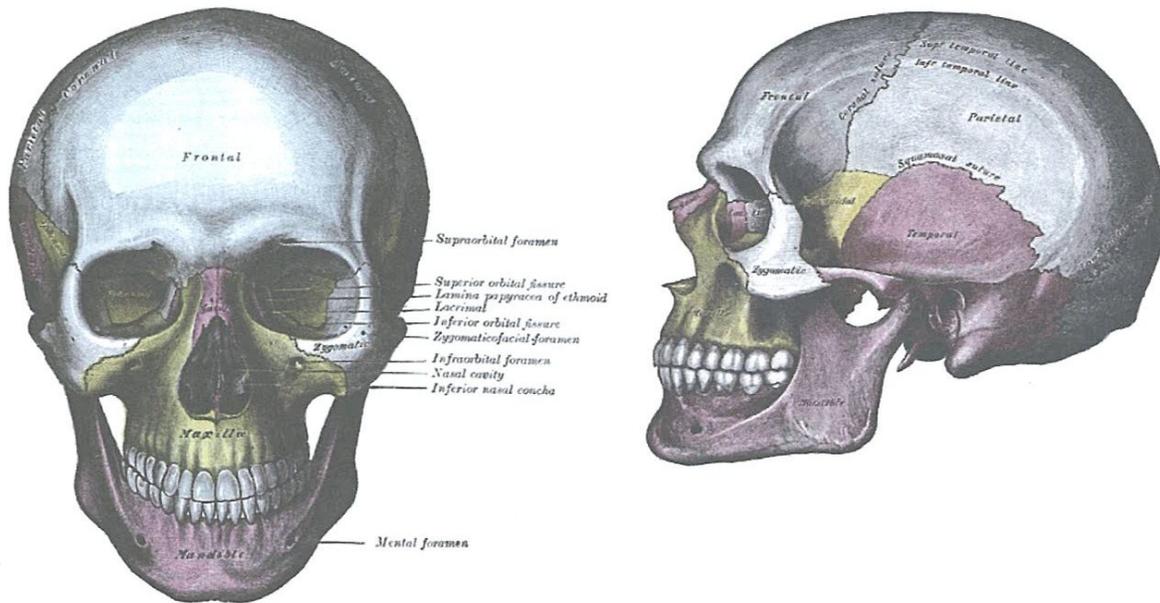
1.1 Structure anatomique de visage :

La structure anatomique du visage, doit prendre en compte le squelette crânien, les muscles faciaux et enfin les tissus épidermiques du visage [5].

a\ Le squelette :

Le squelette du visage est particulièrement intéressant car il fournit le cadre sur lequel les muscles et la peau visibles seront fixés.

Le squelette est divisé en deux parties : le squelette du crâne (boîte crânienne), qui loge et protège le cerveau et du visage et le squelette du visage. Cette dernière est constituée 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, cavité orale) [5].



A. *Vue frontale.*

B. *Vue laterale.*

Figure 1.1 : Ostéologie du crâne [5].

Dans ce contexte, on peut décrire trois types des mouvements que peut effectuer la mandibule et qui affectent toute la partie inférieure du visage : [5]

- **Mouvements verticaux :**

Constitués de l'abaissement ou de l'élévation de la mandibule, ils conduisent à l'ouverture ou la fermeture buccale. Le point de départ de ce mouvement peut être défini par la position de repos physiologique (bouche fermée).

- **Mouvements antéropostérieurs :**

Formés par la propulsion ou la rétropropulsion de la mandibule, correspondant à une projection du menton en avant ou en arrière. De faible amplitude, ces mouvements sont impossibles si la bouche n'est pas ouverte un minimum.

- **Mouvements latéraux (diductions) :**

Ces mouvements portent le menton latéralement vers la droite ou la gauche. Une ouverture buccale minimale est nécessaire et l'amplitude est rapidement limitée par des tensions musculo-ligamenteuses.

b\ Les muscles :

Les muscles sont présents en grande quantité sur le visage, qui poussent ou tirent la peau de façon différente [4]. On désigne par le terme skeletal muscles les muscles servant à faire bouger les os [6]. Ils interviennent directement dans la création d'expressions faciales ou de la parole mais aussi à la réalisation d'autres fonctions telle que la mastication [5]. Il en existe environ une cinquantaine identifiable; certains d'entre eux peuvent être considérés comme des groupes de plus petits muscles [4]. L'ensemble de ces muscles faciaux travaillent en collaboration et non indépendamment.

Toutefois, il est possible de les grouper en quatre grandes masses musculaires selon des paramètres de localisation, d'orientation ou de forme. On y distingue les muscles de la joue, les muscles de la bouche, les muscles des yeux et enfin les muscles du crâne, chacun intervenant plus ou moins spécifiquement dans la création d'une expression faciale [5].

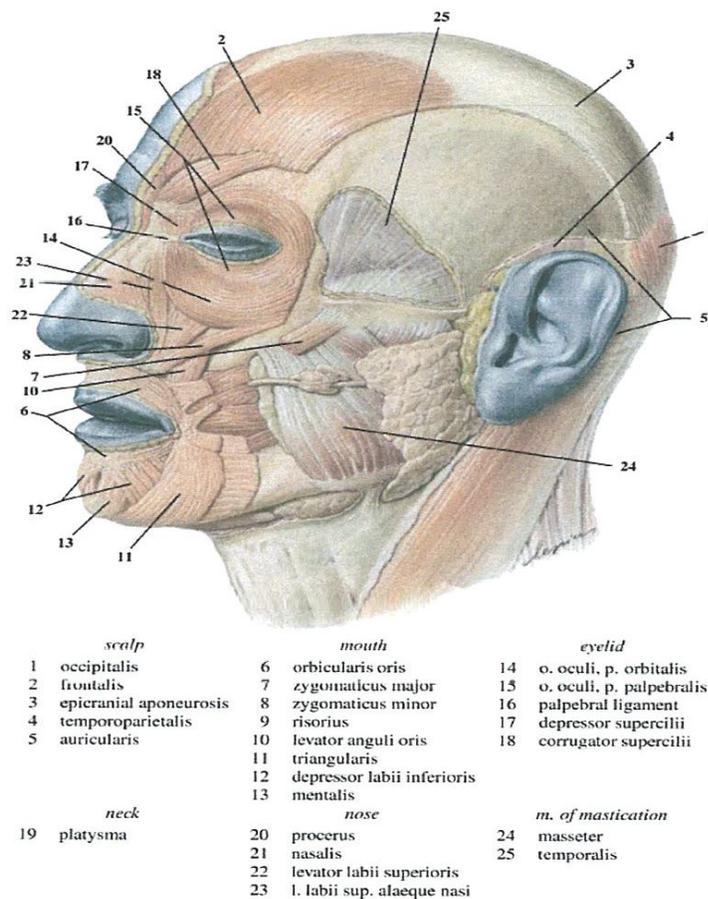


Figure 1.2 : Vue de côté d'une partie des muscles du visage [4].

c\ La peau :

La peau humaine est une surface irrégulière, transparente et composée de trois couches superposées (épiderme, derme, muscle, os) [7]. Elle joue un rôle de protection face aux agressions extérieures (bactéries, substances toxiques, etc.), d'isolation thermique pour réguler la température du métabolisme, et de stockage (d'eau, de graisse et de sang).

De nombreuses terminaisons nerveuses lui confèrent également un rôle prépondérant dans la perception du toucher [4].

La peau est essentiellement élastique et quasi-incompressible (plis). Elle est aussi plastique puisqu'au cours du temps, elle subit aussi des déformations irréversibles (rides) [6].

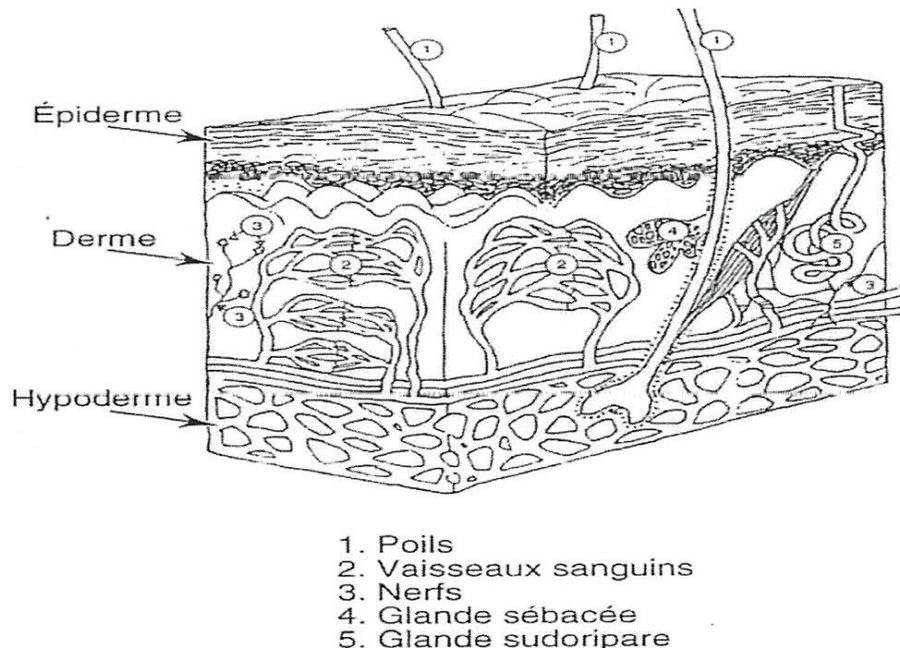


Figure 1.3 : Composition de la peau : [6].

Le derme composé de collagène et d'élastine, est la couche principale de la peau. Le collagène lui confère ses propriétés de résistance à l'étirement, l'élastine est responsable de l'élasticité de la peau.

L'épiderme recouvre le derme et est la couche superficielle de la peau. C'est cette couche qui comporte des irrégularités que l'on peut appeler « rides de petite échelle ».

Enfin, on trouve l'hypoderme en dessous du derme. Il est responsable de la jonction entre le derme et les couches sous-cutanées (muscles, os). Il se compose principalement de tissus

graisseux et d'une couche contenant des vaisseaux sanguins et des nerfs qui permet à la peau de glisser sur les structures sous-cutanées [6].

1.2 Caractéristiques faciales :

Les principaux éléments qui décrivent le visage sont :

a\ La bouche :

La bouche est une des caractéristiques faciales les plus expressives, grâce aux nombreux muscles qui l'entour, et qui permettent de produire des mouvements variés. Les deux lèvres qui la constituent, permettent d'exprimer la parole et les émotions.

Les éléments intérieurs de la bouche, comme les gencives, les dents et la langue peuvent également être visibles dans certaines postures faciales, pouvant aider à augmenter le degré de réalisme. Leur rôle dans l'animation ne reste que secondaire [5].

b\ Les yeux et les sourcils :

Le mouvement des yeux est très important pour transmettre des émotions et créer des expressions. Situés chacun dans une orbite du squelette, ils sont entourés de muscles permettant un positionnement précis de l'axe de vision et aidant à la détermination du rapport nécessaire entre les deux yeux pour la vision binoculaire.

Pour fabriquer un personnage, on doit assurer la convergence des directions de regard pointées par les deux yeux.

Les sourcils peuvent accompagner les mouvements des yeux pour accentuer ainsi l'expression [5].

c\ Cheveux, plis, rides et éléments colorés :

Les cheveux et tous les autres éléments pileux : barbe, moustache, cils, qui peuvent subir de mouvements spécifiques, en fonction de l'expression et du personnage. Les plis et les rides sont utiles pour ajouter une information concernant l'âge du personnage, permettent toujours d'augmenter le degré de réalisme, de même que tout changement de teint (rougeur, pâleur, ton verdâtre...) [5].

1.3 Les expressions faciales :

Le visage est très important dans un processus de modélisation et d'assurer la simulation des expressions faciales.

Une expression faciale est une manifestation visible de l'état émotionnel, de l'activité cognitive, de l'intention, de la personnalité et de la psychopathologie d'une personne.

Chaque élément du visage joue un rôle plus ou moins important dans la réalisation de l'expression faciale finale. Les trois caractéristiques principales de visage qui influent sur la nature de l'expression faciale sont la bouche, les yeux et les sourcils. Les autres comme les plis, rides, les éléments colorés ou les cheveux ne jouent qu'un rôle secondaire [5].

a\ Les émotions :

Le visage constitue une interface pour communiquer une émotion spécifique. Pour faire coïncider expression faciale et émotion, il est donc nécessaire de connaître et de catégoriser les principales familles d'émotions existantes [8].

Les émotions sont au centre de l'explication des expressions faciales. il existe sept émotions de base donc sept expressions faciales universelles:

- La joie,
- La tristesse,
- La colère,
- La peur,
- Le dégoût,
- La surprise,
- L'état neutre.

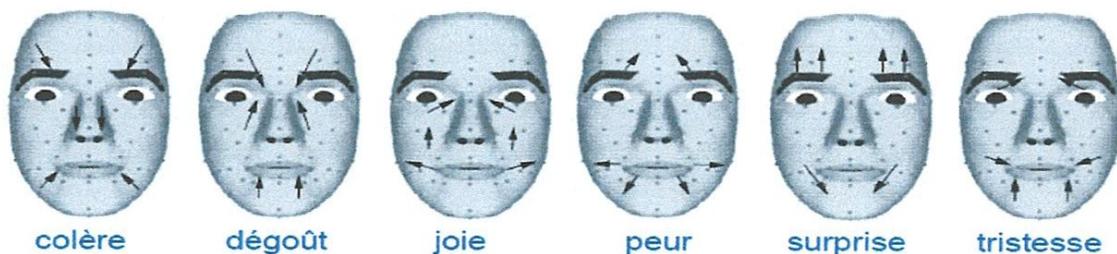


figure 1.4 : les Emotions de base définie

À cela s'ajoute des expressions secondaires, comme la confusion, l'inquiétude, le dédain, la sournoiserie, la rage, la sévérité, l'enthousiasme, la lassitude, la fatigue, le désintérêt, la peine, la terreur...

Notons que les émotions peuvent être aussi nuancées en fonction des personnages et de leur appartenance à des catégories ethnique, d'âge, socio-professionnelles.

b\ Visèmes et phonèmes :

Les mouvements faciaux nécessaires à la simulation de la parole sont décomposés en formes de base appelées 'visèmes'. Ces visèmes correspondent à l'aspect visuel des phonèmes, un phonème étant la plus petite entité que l'on puisse distinguer et segmenter dans le signal audio parlé. Les visèmes reflètent la forme de la bouche, son ouverture, ainsi que la position de la langue, nécessaires pour produire le son correspondant au phonème considéré. Notons que certains visèmes peuvent présenter des similitudes importantes. Cette particularité s'explique par le fait que le son émis peut être produits par le concours de certains éléments anatomiques internes, qui sont donc invisibles sur le visage. Notons enfin que les phonèmes sont propres à une langue. À titre d'exemple, mentionnons qu'on en compte une quarantaine pour l'anglais américain et trente six en français [5].

2- Animation de visage :

2.1 Définition :

L'animation faciale est l'un des points clés dans le réalisme des scènes 3D qui mettent en scène des personnages virtuels [4]. C'est une étape essentielle pour l'ensemble de la scène, et consiste à donner l'illusion d'un mouvement à l'aide d'une suite d'images. Ces images peuvent être dessinées, peintes, photographiées, numériques, etc...

Pour cela, elle s'appuie sur le même principe que celui utilisé en cinématographie : l'illusion de mouvement est créée en faisant succéder des images à des cadences de l'ordre 25-30 images/secondes.

Ainsi, pour obtenir une animation à partir du storyboard, il est nécessaire de dessiner manuellement 25-30 dessins par seconde ! Même pour des courts métrages de quelques dizaines de secondes, cela implique un immense travail effectué en général par de grandes équipes de dessinateurs et cela explique les temps de production importants [5].

2.2 Historique :

Le domaine de la modélisation et de l'animation de visages virtuels a été initié par Frederick Parke, en 1972 et en 1974 [10], qui a défini le premier système de paramétrisation de visages humains permettant leur animation [8]. Dans son travail, il a formalisé les différents aspects du domaine, en proposant des solutions originales.

La variété de ces axes de recherche peut s'expliquer par le grand nombre d'applications impliquant des contraintes technologiques différentes : la chirurgie maxillo-faciale virtuelle dans le domaine médical[11], les outils d'aide pour sourds et malentendants [12], le cinéma, la télévision, les dessins animés, les jeux vidéo ou encore la réalité virtuelle avec la création d'avatars pour la communication à distance [5].

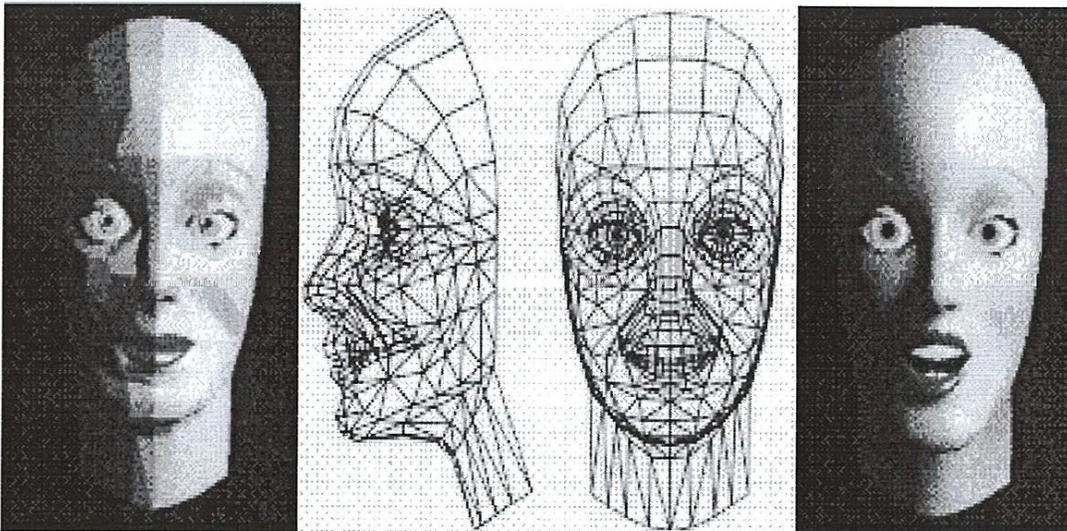


Figure 1.5 : Parke 1972 : Un des premiers modèles d'animation faciale [5].

2.3 Domaines d'application et Objectif :

L'animation faciale peut être utilisée dans de nombreux domaines par exemple : au cinéma, soit pour les effets spéciaux où de plus en plus les acteurs sont remplacés par des modèles virtuels, soit pour les films d'animation dans lesquels les personnages sont entièrement modélisés et animés par ordinateur[13]. Soit pour les avatars en 3D dans les

Visage et Animation Faciale

environnements de communication (chat, téléconférences, ...), à la médecine et la simulation des phénomènes scientifiques.

Le visage a aussi une grande importance dans les jeux vidéos qui sont de plus en plus réalistes, cependant l'aspect temps réel limite la qualité des expressions.

Les animations faciales nécessitent de plus en plus d'outils pour les concevoir, en raison notamment du nombre progressif de leurs utilisations et de l'augmentation de leur complexité [14].

Les principaux domaines de l'application des visages parlants en temps réel vont des interfaces utilisant des personnages virtuels, comme les agents virtuels, ou bien des assistants de navigation sur le Web par exemple. Il est possible de trouver des applications aux têtes parlants « talking heads » dans d'autres domaines comme les applications d'aide aux handicapés (par exemple, utilisation par des malentendants pour transmettre des émotions ou aider à la lecture sur les lèvres), les jeux ou la communication via les réseaux où un clone virtuel représente un interlocuteur distant en reproduisant ses expressions faciales, ses mouvements de lèvres, remplaçant ainsi la transmission de vidéo nécessitant une grande quantité de données à transmettre.

Le fait de pouvoir animer et produire des animations en temps réel apporte les avantages principaux suivants:

- interaction : possibilité d'intervenir pendant le déroulement des animations,
- création d'animation : les animations peuvent être conçues à la volée suivant l'environnement, les désirs des utilisateurs,
- réduction des informations à transmettre et à stocker : un clone est ainsi capable de reproduire les expressions d'un interlocuteur distant en ne transmettant qu'un nombre restreint de paramètres par rapport à une vidéo (systèmes de paramétrisation) [8].

Conclusion :

Nous avons consacré ce chapitre aux principaux éléments de visage. Nous avons survolé sa structure anatomique qui grâce à ses nombreux muscles permet de générer une multitude d'expressions. Ces caractéristiques faciales et ces expressions servent en grande partie à la communication et l'interaction Homme-machine. Aussi, Nous avons présenté une vue globale sur l'animation du visage.

Chapitre II:

Techniques

D'animation Faciale

Introduction :

Les animations de personnages 3D que l'on rencontre au cinéma, à la télévision ou bien dans les jeux vidéo sont de plus en plus réalistes, sans être totalement satisfaisantes. Pour des raisons d'efforts de modélisation trop importants, ou de couts de calculs devant être réduits (temps-réel pour le jeu vidéo par exemple), les modèles et les animations nécessitent d'être simplifiées.

Il y a des techniques exigent un travail considérable afin de reproduire l'anatomie exacte du visage et définir correctement l'ensemble des paramètres pour produire des résultats réalistes par approximation de l'anatomie faciale humaine. Elle doit permettre la mise en œuvre de techniques d'animation, capables de générer des expressions clefs, correspondant à des émotions ou à la parole, à partir d'une expression neutre [8].

1- Animation faciale :

En dehors des choix techniques, l'animation par ordinateur de peut être décomposée en deux grandes familles répondant à des applications et des contraintes radicalement différentes : les animations faciales *non temps réel* et celles *temps réel*.

1.1 Animation faciale non temps réel :

Aujourd'hui, des infographistes sont capables, avec des outils informatiques tels que les logiciels de synthèse d'image (3DS Max, Maya), des moteurs de rendu complexes permettant d'obtenir des images photoréalistes, et les effets spéciaux, de produire des animations faciales sur des modèles de type dessins animés ou sur des humains virtuels très réalistes, comme nous pouvons le voir dans les films d'animation tel que *Toy Story* ou *Final Fantasy* par exemple.

Techniques d'animation Faciale



Figure 2.1 – Image extraite de *Final Fantasy* (Columbia Pictures)

L'approche la plus simple (techniquement) et la plus utilisée pour animer des modèles 3D consiste à simuler les déformations du visage en manipulant les modèles 3D point par point, image par image. Ce travail, très complexe, nécessite beaucoup de temps et de grandes qualités infographiques pour produire des animations réalistes.

C'est cette méthode, apparentée à celle du dessin animé, qui a été longtemps utilisée dans le domaine du cinéma.

Cette technique, hormis son inconvénient en termes de ressources nécessaires autant humaines que matérielles, est fort bien adaptée au domaine du cinéma. En effet, le but d'un film n'est pas d'obtenir de l'interactivité sur son déroulement. Une fois les animations produites, celles-ci sont utilisées directement, de façon linéaire.

Néanmoins, en manipulant les modèles et les images *point par point*, cette technique permet énormément de libertés graphiques, laissant toutes les libertés imaginables à l'animateur.

Cette technique a été améliorée en utilisant des calculs d'interpolation³, afin de réduire la charge de travail nécessaire pour concevoir les différentes animations.

D'autres techniques ont été développées en utilisant un système de paramétrage simple et souvent adapté au cas par cas : le but consiste à faire correspondre à un paramètre une expression ou une déformation faciale. Les modèles utilisés dans certains films d'animation possèdent plusieurs centaines de milliers de polygones, plusieurs couches de textures, et des centaines de paramètres permettant d'animer chaque partie du visage indépendamment [15].

Un travail important, souvent manuel, reste toujours à accomplir : définir comment chaque modèle va se déformer suivant un paramètre donné. La construction de ces informations

Techniques d'animation Faciale

d'influence peut prendre plusieurs jours à plusieurs semaines de conception suivant la complexité du modèle, le nombre de paramètres de contrôle et la finesse des animations désirées.

Ces informations sont dépendantes de la topologie de chaque modèle et ne peuvent pas être réutilisées directement.

De plus, du fait de la complexité des modèles, des différentes textures, des jeux de lumière et d'éclairage, le calcul d'une seule image peut prendre plusieurs jours. Par exemple, dans le cas du film *Final Fantasy* produit par Columbia Pictures, l'ensemble des calculs nécessaires uniquement pour le rendu final du film est équivalent à 934 162 jours de calcul (soit environ 2 550 années) pour un seul processeur.

Ces calculs ont été exécutés sur un réseau de machines comprenant 1 200 processeurs [15]

1.2 Animation faciale temps réel :

La deuxième grande famille d'applications est désignée sous le nom d'*animation faciale temps réel*.

Dans ce cas, l'animation n'est plus nécessairement linéaire, mais peut être influencée et/ou modifiée par l'utilisateur ou par des interventions extérieures durant son exécution.

L'emploi d'une telle technique d'animation impose davantage de contraintes que les animations non temps réel, autant sur la complexité du modèle utilisable, que sur les techniques de déformations employées, la production en nombre de modèle animable, la capacité à reproduire des images photo-réalistes utilisant les jeux de lumières et d'ombres, En revanche, elle possède des domaines d'application bien plus vastes que les simples animations pré calculées.

Les principaux domaines de l'application des visages parlants en temps réel vont des interfaces utilisant des personnages virtuels, que ce soit dans le cadre d'applications *stand-alone* (i.e. fonctionnant de façon autonome), comme les agents virtuels, ou bien des assistants de navigation sur le Web par exemple [16].

Il est possible de trouver des applications aux *talking heads* dans d'autres domaines comme les applications d'aide aux handicapés (par exemple, utilisation par des malentendants pour transmettre des émotions ou aider à la lecture sur les lèvres), les jeux ou la communication via les réseaux où un clone virtuel représente un interlocuteur distant en reproduisant ses expressions faciales, ses mouvements de lèvres, remplaçant ainsi la transmission de vidéo nécessitant une grande quantité de données à transmettre.

techniques d'animation Faciale

Le fait de pouvoir animer et produire des animations en temps réel apporte les avantages principaux suivants :

- **interaction** : possibilité d'intervenir pendant le déroulement des animations,
- **création d'animation** : les animations peuvent être conçues *à la volée* suivant l'environnement, les désirs des utilisateurs,
- **réduction des informations à transmettre et à stocker** : un clone est ainsi capable de reproduire les expressions d'un interlocuteur distant en ne transmettant qu'un nombre restreint de paramètres par rapport à une vidéo (systèmes de paramétrisation).

Le fait d'animer un humain virtuel en temps réel, de lui faire reproduire des expressions et de parler, implique beaucoup plus de contraintes techniques que les animations non temps réel. Les principales contraintes du temps réel sont :

- **rapidité des calculs** : dans le cas d'un film, plusieurs heures peuvent être nécessaires pour faire les calculs des déformations, du rendu d'une image...

Dans le cadre d'applications en temps réel, il faut être capable, idéalement, de déformer et d'afficher le modèle et la scène environ 25 fois par seconde ;

- les **ressources matérielles** mises en œuvre, autant du point de vue des calculs nécessaires que de la capacité mémoire, influencent la complexité des modèles déformables utilisables [16].

Chaque plate-forme technologique impose des contraintes différentes (puissance de calcul, mémoire, capacité graphique, etc.). En plus des problèmes de calcul, les ressources pour concevoir des modèles animables et compatibles avec un format de paramètres donné restent une contrainte importante.

Construire les données nécessaires à l'interprétation des paramètres de déformation pour chaque modèle est souvent effectué *à la main* et nécessite beaucoup de ressources humaines.

Dans le cadre des environnements virtuels avec avatars, nous pouvons être amenés à devoir produire beaucoup de visages animables rapidement; il n'est donc pas envisageable de les concevoir de cette manière.

techniques d'animation Faciale

La technique de déformation la plus utilisée est basée sur le *morph-target* (interpolation par images-clefs) qui consiste à définir toutes les déformations possibles et d'appliquer des interpolations entre celles-ci afin de produire des animations.

Ceci implique de définir les informations de déformation pour chaque modèle, qui sont non réutilisables sur d'autres modèles de façon triviale. Différentes recherches ont été menées afin de pouvoir récupérer ces informations de déformation mais nécessitent encore un gros travail de mise en œuvre .

Une technique de conception basée sur un système automatique et sur l'utilisation de la paramétrisation permettrait de s'affranchir de cette contrainte.

Dans le domaine de l'animation, la possibilité de réutiliser facilement les données est par ailleurs tout aussi importante et intéressante ; Contrairement à un système basé sur l'interpolation des modèles dans leur ensemble, le but est de pouvoir réutiliser les données d'animation sur différents modèles.

Pour cela, il est nécessaire d'utiliser un système de paramétrisation dont les principaux sont : les FACS (Système de Codification des Actions Faciales) les MPA () mais surtout le MPEG 4 (Moving Picture Experts Group).

Le choix d'un système de paramétrisation se fait essentiellement en fonction des techniques de déformation utilisées, et des contraintes induites par les domaines d'application.

Par exemple, la paramétrisation à l'aide de FACS est souvent employée dans les domaines d'analyse des expressions faciales, alors que le format MPEG 4, orienté pour des applications en réseau, permet de s'affranchir ou de réduire significativement les contraintes topologiques en fonctionnant sur le principe de points de contrôle. Ainsi les animations deviennent complètement indépendantes de la topologie des modèles et peuvent être reproduites immédiatement sur différents modèles conçus sur le même système de paramétrisation [16].

2- Processus d'animation faciale :

Le but général de l'animation faciale est d'arriver à reproduire sur un modèle géométrique (2D ou 3D) des expressions pour retranscrire des émotions et/ou des animations correspondant au son et à la parole [8].

techniques d'animation Faciale

Il y a de multiples manières d'arriver à ce résultat comme on peut s'en rendre compte dans la littérature, mais chaque technique possède des avantages et des inconvénients suivant le cadre de l'utilisation que nous souhaitons faire de ces animations produites par ordinateur. Le système le plus simple consiste à produire des images-clefs représentant les déformations globales du modèle avec les différentes expressions et déformations pour chaque séquence. Cette technique dite interpolation a l'avantage de laisser une grande liberté aux animateurs, tant sur la conception du modèle lui-même, que sur les animations qu'ils souhaitent reproduire. De plus, l'interpolation utilisée pour définir les images se trouvant entre les images-clefs nécessite peu de calculs.

Les différentes étapes d'un tel système se présentent de la façon suivante:

- 1- Définir un modèle géométrique (maillage, texture, ...).
- 2- Modifier le modèle géométrique afin de définir les différentes expressions nécessaires durant la séquence d'animation.
- 3- Interpoler au cours du temps (linéairement ou pas) entre ces différents modèles pour obtenir une animation.

Cette technique est adaptée à la création de séquences de courte durée. Par contre, elle ne convient pas forcément à la création de séquences en temps réel (en fonction de la complexité des modèles utilisés) permettant l'interactivité avec un modèle virtuel [8].

En effet, si l'on souhaite utiliser cette technique dans le cadre d'applications interactives, ce qui équivaut à ne pas connaître à l'avance le déroulement de l'animation, il est nécessaire de définir toutes les expressions, toutes les images-clefs qui pourraient éventuellement être nécessaires durant ces séquences. Un tel travail n'est pas concevable pour ce genre d'applications, ou nécessiterait de très grandes bases de données d'expressions [8].

Une autre approche consiste non pas à déformer la topologie du modèle directement, mais à utiliser un système de paramètres. Le fait d'utiliser un système de paramétrisation permet de faire abstraction de la topologie du modèle utilisé et ainsi de concevoir des animations indépendantes de celui-ci. Il devient aussi possible de concevoir des expressions ou des animations de façon interactive en produisant les paramètres par différentes approches comme à base de texte, d'audio ou de séquences vidéo [8].

Techniques d'animation Faciale

existe différentes méthodes de déformation qui permettent de faire ce lien. Certaines sont plus ou moins adaptées à tel ou tel système de paramétrisation [8].

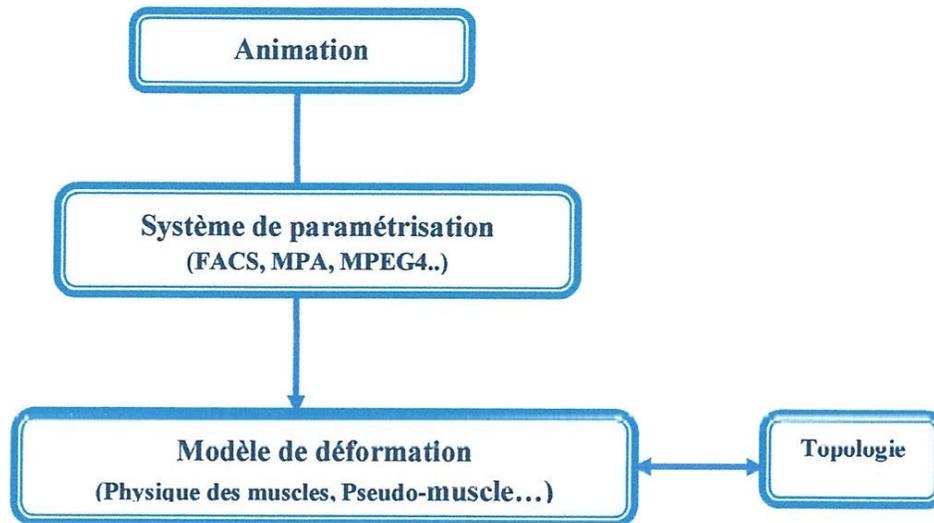


Figure 2.2 : Animation → Paramétrisation → Déformation

D'une façon générale, un système d'animation faciale basé sur un système de paramétrisation comporte les étapes suivantes [17].

- 1- Définir un modèle géométrique correspondant au sexe du modèle (homme/femme) et au contexte de l'application (modèle réaliste / cartoon ...).
 - 2- Définir une structure d'animation pour ce modèle permettant de faire le lien entre le système de paramétrisation et le modèle géométrique.
 - 3- Définir des expressions en fonction de ces paramètres (phonèmes, expressions).
 - 4- Utiliser ces expressions ou phonèmes, ou une combinaison de ceux ci comme images-clé et définir différentes interpolations ou fonctions pour les mélanger.
 - 5- Animer le modèle géométrique en fonction de ces données de paramétrisation en utilisant un moteur de déformation.
- Le premier point concernant uniquement la conception des modèles virtuels, leurs formes ou la topologie du maillage, sa densité, etc.

Techniques d'animation Faciale

→Le deuxième point correspond à la conception du modèle animé et fait l'objet de recherches importantes pour rendre cette étape la plus simple possible.

→Le troisième point correspond à la formulation paramétrique d'un ensemble d'expressions et de phonèmes. Ce travail doit être effectué au moins une fois mais est réutilisable indépendamment des modèles.

→Le quatrième point présente l'utilisation de différents types d'interpolation entre ces combinaisons de paramètres, ou différentes techniques de conception, afin de produire des animations.

→Le cinquième point consiste à trouver un compromis entre la complexité des calculs mis en œuvre et le fait de pouvoir produire des animations en temps réel. Les techniques employées dans ce cas peuvent varier suivant l'environnement d'utilisation choisi (PC, Internet, PDA, mobile).

3- Les techniques d'animation faciale :

Il est illusoire de croire à une organisation nette et précise de l'animation faciale. Beaucoup de techniques d'animation facial en utilisent d'autres partiellement, ou dans un contexte d'utilisation différent. Toutefois, si on parle de techniques de base, on peut arriver à une catégorisation sommaire de ces techniques [18] ; cette catégorisation s'appuie surtout sur le support utilisé pendant l'animation. Ainsi, certaines techniques travaillent sur la géométrie du visage, d'autres travaillent dans l'espace image et texture, d'autres n'animent que certaines parties du visage (lèvres, cheveux,...).

Enfin, certaines techniques sont dédiées à l'adaptation morphologique qui permet de changer la morphologie du visage, ou encore d'appliquer des modèles de vieillissement au visage.

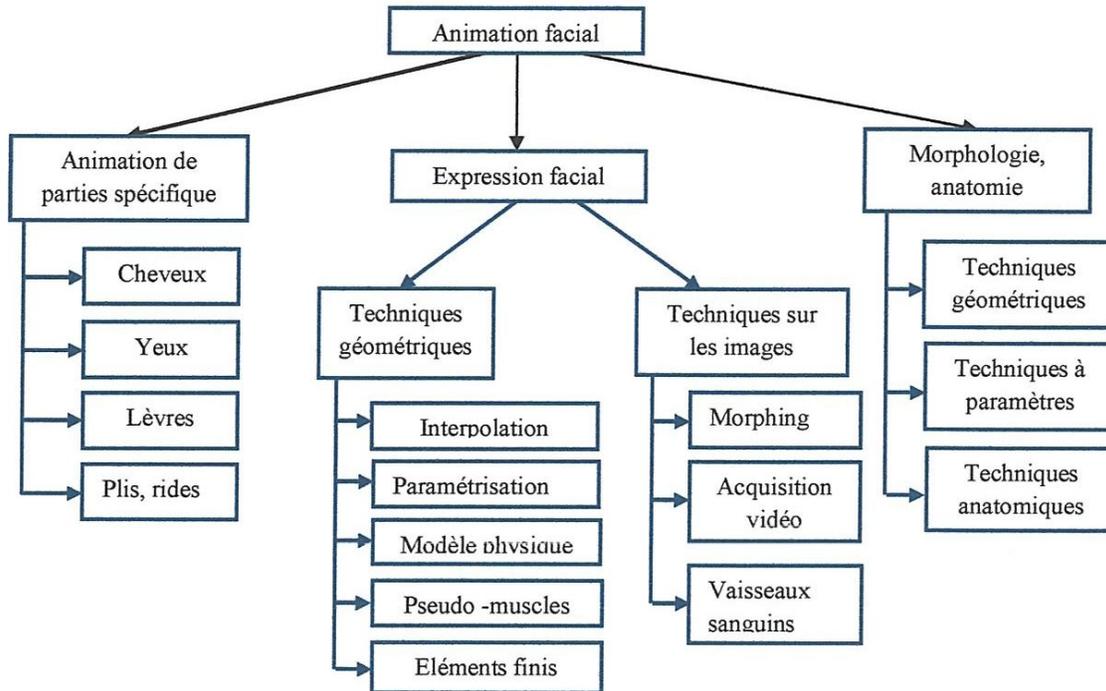


Figure 2.3 : Organisation des différentes techniques d'animation faciale [6].

Ce schéma a été construit à partir des différences entre les outils mathématiques, physiques et informatiques mis en œuvre. Il est aussi important de souligner que ces techniques ne sont pas mutuellement exclusives, bien au contraire. Elles sont très souvent combinées sur un même visage.

Selon les méthodes utilisées, on peut décomposer les techniques d'animation faciale en deux grandes familles de méthode dites Transfert et Synthèse.

3.1 Synthèse d'animation faciale :

La synthèse d'animation faciale est une tâche difficile compte tenu de la complexité de la forme et de la texture des visages. De plus, le visage présente des rides et des plis ainsi que d'autres variations subtiles de forme et de texture qui ont une importance cruciale dans la compréhension et la représentation des expressions faciales [6].

Techniques d'animation Faciale

Dans cette perspective, les techniques d'interpolation et de déformation offrent une approche intuitive pour l'animation de visages. Plusieurs travaux visent à traiter séparément la texture et la forme d'un visage [41].

Parke [43] au début des années 70 fût le premier à présenter un visage virtuel animé. Le maillage du visage est modifié sommet par sommet pour définir chaque expression clé. Les positions intermédiaires sont obtenues par interpolations entre ces expressions clés. Ce travail long et fastidieux sur un maillage grossier ne peut offrir des résultats vraiment réalistes, de plus les modèles 3D d'aujourd'hui sont tellement complexes et précis qu'une telle méthode n'est pas envisageable. Cependant l'interpolation est toujours utilisée, mais les positions clés sont maintenant générées ou obtenues après configuration d'un certain nombre de paramètres. Par exemple Pighin et [44] ont proposé de générer les positions clés du maillage à partir de photos.

En 1978, Paul Ekman et W.V.Friessen psychologie ont proposé une méthode pour décrire les expressions faciales [42], le Système de Codage d'Animation Faciale, celui-ci est basé sur 46 unités d'action, elles représentent les différents mouvements indépendants réalisables par les muscles du visage humain. Une expression est alors décrite comme un ensemble d'unités d'action. Deux autres systèmes reposant sur la même idée, mais dédiés à l'animation faciale en informatique graphique existent, il s'agit du système MPA [46] et du standart MPEG-4 [45]. Bien qu'ils n'agissent pas directement sur un visage pour l'animer, ces systèmes sont souvent utilisés en parallèle d'une technique de synthèse qui permet de modifier et de déformer un objet.

La synthèse d'animation faciale peut être séparée en deux classes de méthode, La première est basée sur des pseudo-muscles, c'est-à-dire que l'on va essayer de reproduire les effets visuels d'une expression faciale. Il s'agit de techniques procédurales : on observe comment agit un vrai visage puis on essaie de le reproduire sur un visage virtuel. La seconde concerne les simulations physiques qui essaient avant tout de modéliser la physique d'un visage pour créer des animations [14].

3.1.1 Approches basées pseudo-muscles :

Les méthodes basées pseudo-muscles offrent la possibilité de déformer plus facilement un visage qu'en déplaçant les sommets d'un maillage un par un. Le principe est identique dans la plupart des méthodes : une série de maillages clés est créée et des interpolations entre ceux-ci permettent de générer l'animation. Un maillage clé est défini comme étant une modification géométrique d'un maillage initial (la connectivité restera la même). On parle de « pseudo-muscles » car il n'y a pas de modélisation des muscles, contrairement aux méthodes de simulations physiques. On essaie simplement de reproduire visuellement les phénomènes produits par les muscles réels.

a) Paramétrisation directe :

La paramétrisation directe consiste à définir un certain nombre de paramètres à faire varier au cours du temps (ouverture des yeux, hauteur des sourcils etc.) [19], [20], [21] de nombreuses expressions peuvent ainsi être représentées. Bien que l'intervention de l'animateur soit moindre que pour une animation créée manuellement, le travail nécessaire est encore trop important. La paramétrisation doit être effectuée sur chaque nouveau visage et de nombreux conflits entre des paramètres agissant sur des sommets communs du maillage peuvent intervenir. De plus les résultats ne produisent pas toujours des expressions naturelles, la Figure 1 présente l'interface d'un logiciel de synthèse d'expressions faciales utilisé dans l'industrie des jeux-vidéos.



Figure 2.4 : Capture d'écran du logiciel de synthèse d'expressions faciales développé par Valve Software (Half-Life 2). La paramétrisation est basée sur le FACS.

Techniques d'animation Faciale

b) Free form deformation (FFD) et Radial Basis Functions (RBF) :

De nombreuses méthodes pour déformer un visage et ainsi générer des expressions ont été développées.

Les FFD consistent à déplacer des points de contrôle répartis dans l'espace sous forme de grille dans le but de déformer un objet volumétrique [22]. Kalra et al. [23] les ont utilisées pour simuler l'aspect visuel de la contraction des muscles du visage, leur approche travaille FFD (Free-Form Déformations) sur un découpage du visage en régions qui correspondent chacune à une déformation anatomique provoquée par un groupe de muscles.

Toujours en manipulant des points de contrôle, mais cette fois sur la surface de l'objet, les fonctions à base radiale ont été utilisées pour générer intuitivement les expressions d'un visage [24].

En jouant avec ces premiers, il est possible d'obtenir la déformation désirée. Arad et al. [25] avaient auparavant proposé d'utiliser les RBF sur des personnages représentés sur des images en deux dimensions (Fig.).

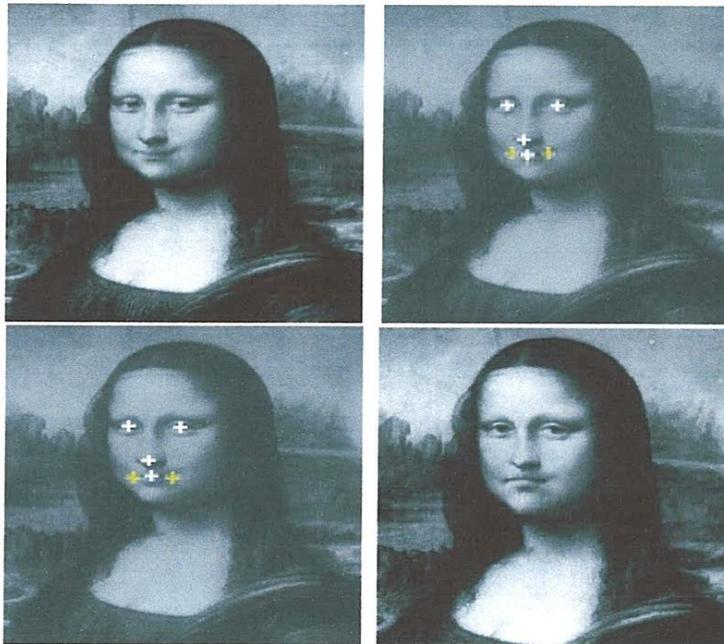


Figure 2.5 : Application des RBF sur une image [25].

Techniques d'animation Faciale

L'image en haut à gauche est l'image initiale. En haut à droite les points de contrôle initiaux, en bas à gauche les points de contrôle déplacés et en bas à droite le résultat. Le simple changement de position de quelques points de contrôle a permis de modifier l'expression de la Joconde.

3.1.2 Simulations physiques :

Contrairement aux techniques présentées auparavant qui travaillent directement sur l'apparence et le résultat final, la modélisation physique a pour but de générer des animations faciales en se basant sur les phénomènes réels produits par les différentes parties du visage (muscles, os, peau).

a) Systèmes masses/ressorts :

Les systèmes masses/ressorts permettent de simuler l'élasticité de la peau [19], [26] et de résoudre certains problèmes comme l'interaction entre les muscles et la peau. Des forces soumises au maillage « élastique » permettent de générer les déformations.

D'autres auteurs [27],[28],[29] ont proposé des modélisations plus proches de l'anatomie du visage en introduisant des couches de ressorts (une couche pour la peau, les tissus mous et les muscles),Kähler et al.[30] ont décrit une modélisation polyvalente du visage, leur technique permet de calculer automatiquement les couches du visage à partir des données brutes d'un visage scanné et ensuite de les déformer, réduisant les interventions de l'utilisateur Les déformations appliquées à leur système masses ressorts permettent aussi bien d'animer le visage que de simuler son vieillissement ou son rajeunissement.

b) Représentation vectorielle des muscles :

Waters [31] a présenté une modélisation vectorielle des muscles du visage, chacun est défini par 3 paramètres :

- Son point d'origine : point fixe lié aux os.
- Sa zone d'influence : zone de la peau subissant la déformation du muscle.
- Une direction : mouvement généré par le muscle.

Les expressions sont générées en appliquant différentes forces aux muscles modélisés, ceux-ci vont alors déformer la peau au niveau de leur zone d'influence.

Techniques d'animation Faciale

Cette technique offre de bons résultats, cependant, il arrive que certains sommets du maillage appartiennent aux zones d'influence de désirés (artefacts, trous dans le maillage etc.).

Il existe d autre représentation qui ont proposé ce qui siut, [32], [33], [34], [35] :

- Muscles plus complexes
- Subdivision du visage en « zones »
- Association avec la capture de mouvement
- Influence différente des muscles sur la peau

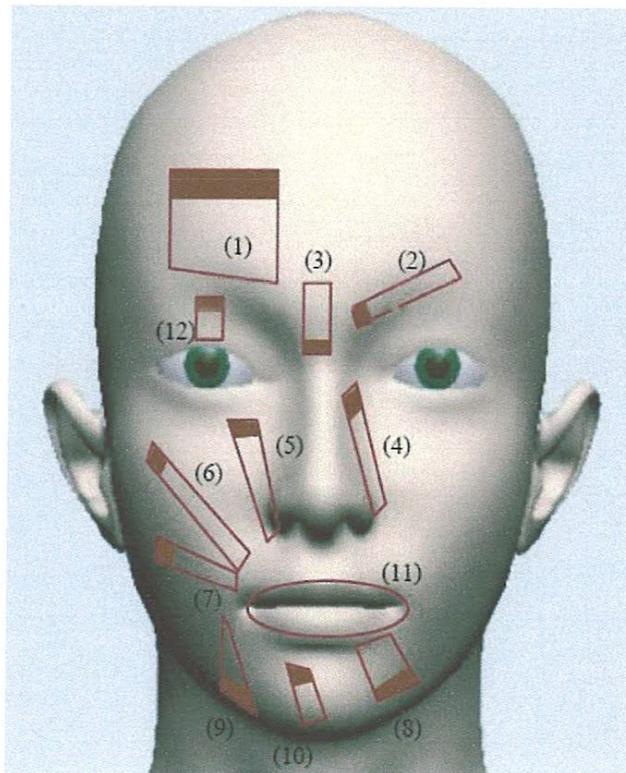


Figure 2.6 . Représentation des muscles de la modèlisation

Techniques d'animation Faciale

Cette technique offre de bons résultats, cependant, il arrive que certains sommets du maillage appartiennent aux zones d'influence de désirés (artefacts, trous dans le maillage etc.).

Il existe d autre représentation qui ont proposé ce qui siut, [32], [33], [34], [35] :

- Muscles plus complexes
- Subdivision du visage en « zones »
- Association avec la capture de mouvement
- Influence différente des muscles sur la peau

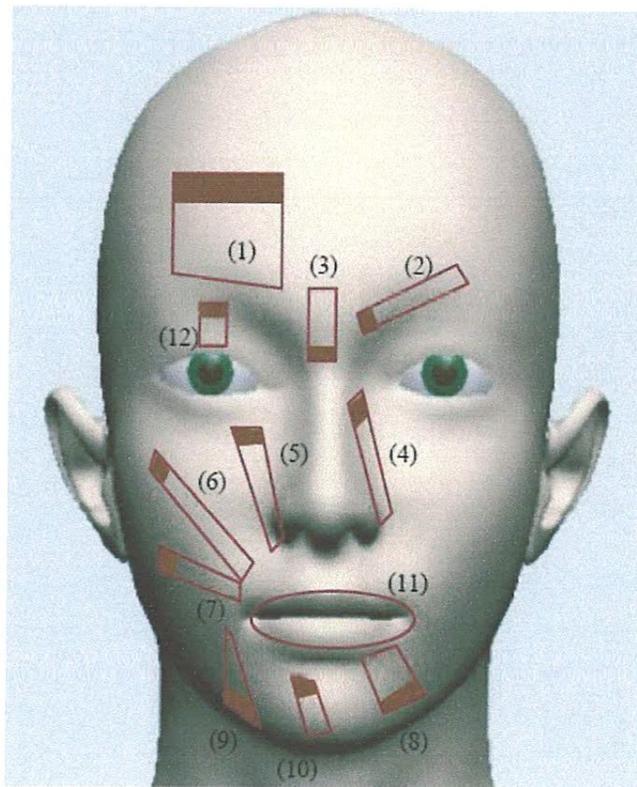


Figure 2.6 : Représentation des muscles de la modélisation

Techniques d'animation Faciale

Les zones sombres correspondent aux points d'origine des muscles. Les zones claires correspondent à leur zone d'influence. Comme beaucoup de méthodes d'animation, le travail manuel à effectuer reste relativement important pour obtenir un résultat réaliste.

En effet, il faut définir les paramètres de chaque muscle pour chaque modèle que l'on souhaite animer, et générer une animation demande beaucoup d'efforts au niveau de la paramétrisation, les simulations physiques offrent des résultats plus réalistes que les approches basées pseudo-muscles, mais la déformation du visage pour obtenir les expressions clés est moins intuitive.

3.2 Transfert d'animation :

Le transfert automatique des mouvements de visage depuis un modèle existant (source) à un nouveau modèle (cible) peut enregistrer significativement des spécifications et animation soignée d'un modèle dans un nouveau modèle de visage. Les mouvements de visage d'une source ont plusieurs formats, comme des vidéos des visages à 2D, Des données 3D capturées d'un mouvement de visage et des maillages des visages animées, tandis que les modèles cibles sont typiquement des maillages statique des visages 3D. [36].

Il existe plusieurs méthodes de transfert d'animation dans la littérature, parmi les quelles nous citons le clonage d'expression proposé par Noh et Neumann [36], l'algorithme fonctionne sur des maillages triangulaires ou non. Il n'est pas nécessaire non plus que le nombre de sommets ou de faces soient identiques d'un modèle à un autre.

De plus, seule la géométrie du maillage cible sera modifiée. Il s'agit uniquement de déplacements de sommets, ainsi sa topologie originale reste inchangée et permet à l'utilisateur d'obtenir un résultat correspondant à l'animation directe de son maillage. Ceci a l'avantage de déformer la texture sans travail additionnel [14].

L'idée principale est de construire des traces de mouvement de sommet entre les modèles par les morphing des fonctions de base radiales (RBF) [36].

Sumner et Popovic [37] ont généralisé la méthode de Noh à tous types d'animation et de maillage, ne se limitant plus seulement aux visages. En mettant en correspondance deux séries de

Techniques d'animation Faciale

points de contrôle, leur méthode peut se passer d'avoir une topologie de maillage commune, une seule contrainte est d'avoir deux maillages ayant un rapport sémantique identique [14].

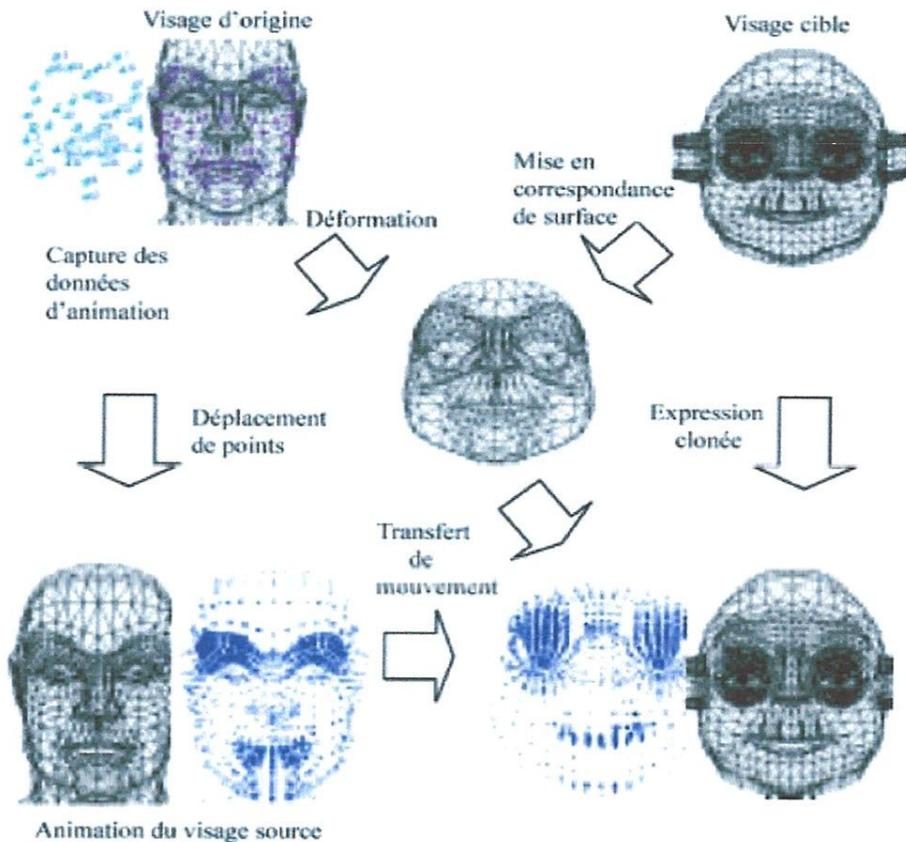


Figure 2.7: Schéma des différentes étapes de l'algorithme de Noh « clonage » [38].

Le visage central correspond au maillage source déformé pour prendre la forme du maillage cible. Les traits bleus en bas représentent les vecteurs d'animations de chaque sommet, ceux appliqués à la cible ont été adaptés en taille et en orientation [14].

Le transfert d'expression qui est basée sur la géométrie [6], produit des résultats plus réalistes que pour les méthodes de synthèse et reproduisent parfaitement les mouvements réalisés par l'acteur [14].

Techniques d'animation Faciale

Conclusion :

Vue son ancienneté et sa complexité, Tant de pistes et de recherches ont été menées et développées sur les différentes techniques utilisées dans le domaine de l'animation faciale.

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux deux grandes familles de l'animation du visage par ordinateur qui sont la synthèse et le transfert de l'animation faciale

Nous allons porter un intérêt particulier au transfert d'animation dans le chapitre qui suit, et nous présenterons un état de l'art sur les différentes méthodes de ce dernier.

Chapitre III:

Transfert

D' animation Faciale

Introduction

Après avoir cité les différentes techniques d'animation facial dans le chapitre précédent, nous allons, dans ce chapitre, s'approfondir sur le transfert d'animation faciale et ses méthodes même si elles ne sont pas nombreuses vu que grand nombre de recherches menées dans cet axe sont plus portées vers la synthèse d'animation facial plutôt que sur le transfert.

1-Transfert d'animation :

S'il est possible maintenant d'obtenir des animations de qualité, l'idée principale est d'économiser du temps et des ressources en réutilisant l'animation existante pour un visage donné sur un nouveau visage. Les différences de morphologie entre les visages, les modèles dont les traits sont parfois exagérés (caricatures, cartoons, etc.) font que le transfert n'est pas trivial et nécessite des techniques particulières. Le transfert d'animation peut parfois être confondu avec les techniques d'adaptation de données. Bien que certaines méthodes puissent s'adapter à ces deux applications, le transfert consiste à réutiliser des données d'animation existantes alors que l'adaptation consiste à adapter des données de MoCap (Capture de mouvement.) sur un visage donné et sa méthode de paramétrisation [38].

La première technique proposée pour le visage consiste à transférer les vecteurs d'animation d'un maillage à un autre maillage, possédant à la fois une géométrie et une topologie différentes [38]. Un vecteur d'animation correspond au déplacement d'un sommet au cours de l'animation. Après avoir positionné des points de contrôle sur les deux visages, une mise en correspondance entre les deux maillages est effectuée. La position des points de contrôle permet d'initialiser une transformation, qui est ensuite appliquée à chacun des sommets du maillage source. Celui-ci va approximer la forme du maillage cible, une projection permet de plaquer les sommets cibles déformés sur la surface du maillage source. Une fois la correspondance est obtenue, les vecteurs d'animation sont adaptés en orientation et en amplitude puis appliqués au maillage cible. Na et al. ont étendu cette méthode pour l'appliquer de façon hiérarchique, offrant la possibilité d'effectuer le transfert avec un certain degré de précision [39]. Les détails fins d'animation comme les rides peuvent ainsi être transférées en plus de la déformation globale du visage [4].

1.1 Expression cloning :

L'approche proposée par Noh et al. [38] consiste à produire des animations faciales par réutilisation de données. Des animations faciales de haute qualité sont créées à partir de n'importe quelle méthode (à la main, utilisation de modèle musculaire, etc), l'expression cloning (EC) réutilise les vecteurs de déplacement des points du maillage du modèle source pour appliquer les animations similaires sur un nouveau modèle (figure 2.10). Si les animations du modèle source sont expressives et de bonne qualité, les animations du modèle cible devraient aussi disposer des mêmes qualités.

La première étape consiste à déterminer la correspondance entre les points de la surface des modèles source et cible. Aucune contrainte n'est imposée quant au nombre de points du maillage et la topologie des modèles utilisés. À partir d'un ensemble de paramètres sélectionnés à la main sur les deux modèles, Noh calcule une correspondance pour tous les points des maillages. La correspondance initiale nécessite la sélection manuelle d'une dizaine de points afin de calibrer les deux modèles, par la suite une recherche automatique (règles heuristiques) des autres points caractéristiques est appliquée. Sans recherche automatique, les expérimentations ont montré qu'une vingtaine de points étaient nécessaires pour obtenir une bonne correspondance [8].

La seconde étape consiste à transférer les vecteurs de déplacement du modèle source vers le modèle cible. L'amplitude et la direction des déformations sont ajustées afin de correspondre à la surface du modèle cible. Utilisant le calcul des correspondances de la première étape, le transfert de déformations est effectué par interpolations linéaires utilisant les coordonnées barycentriques. L'EC ne prend pas en compte les animations des yeux, de la langue et des dents des modèles [8].

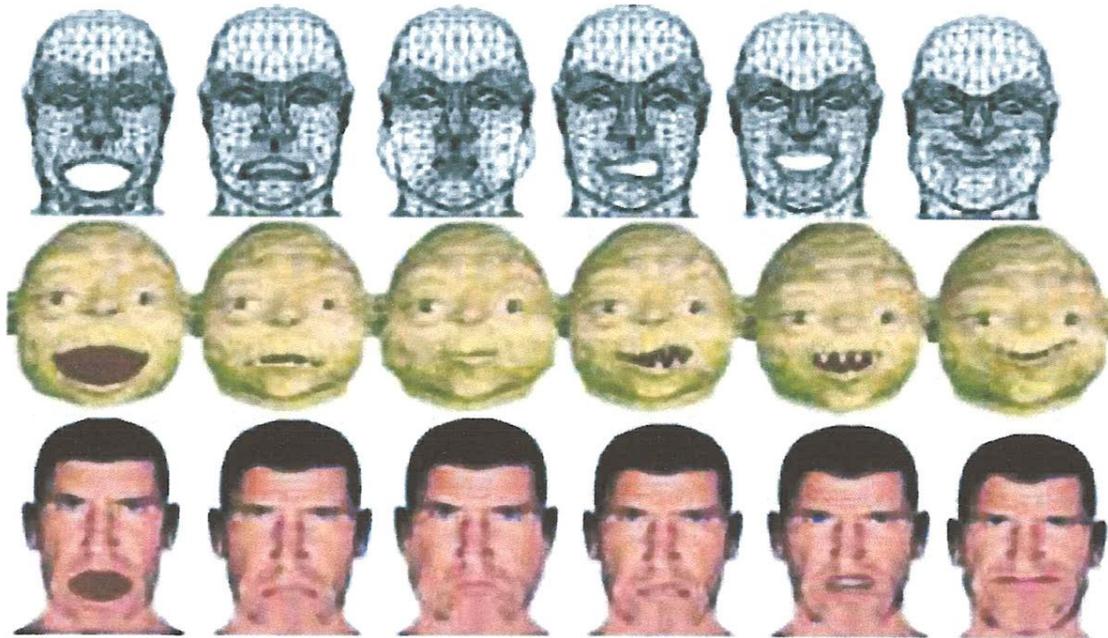


Figure 3.1 : Résultat d'expression cloning [38].

1.2 Motion cloning :

La figure 3.2 représente le processus de clonage proposé par Pandzic [40]. Les entrées du processus sont les modèles source et cible. Le modèle source est fournie au système en position neutre ainsi que dans des positions contenant différentes déformations que l'on souhaite copier. Le modèle cible existe uniquement en position neutre. Le but est d'obtenir pour le modèle cible, les déformations équivalentes du modèle source [8].

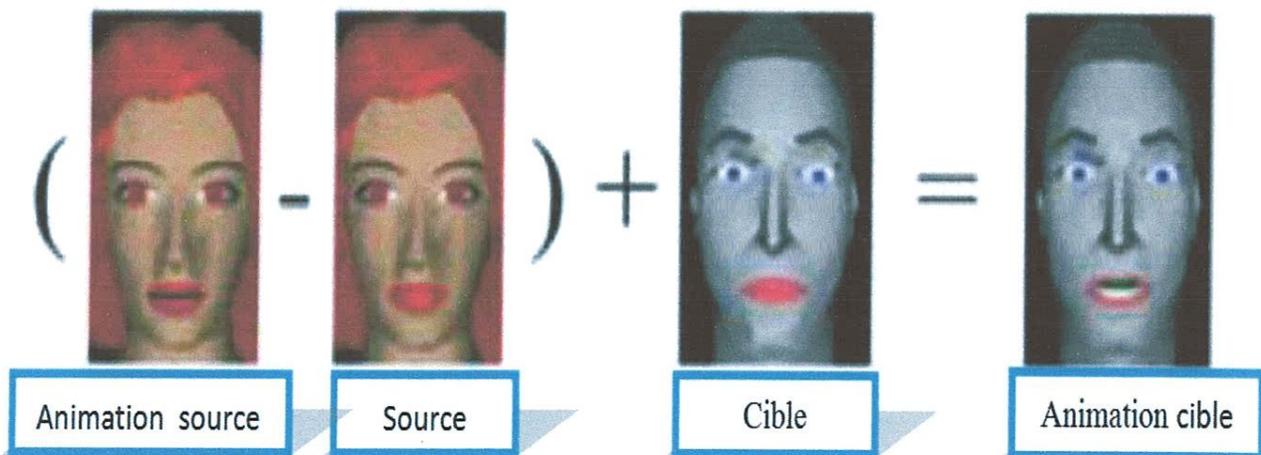


Figure 3.2: Vue d'ensemble du processus de clonage d'animations [40].

Le processus se déroule de la façon suivante :

➤ Normalisation du modèle

Le but de la normalisation est de transformer le modèle dans un nouvel espace 3D, dans lequel tous les modèles disposent des mêmes proportions. Ce transfert a pour conséquence de normaliser les déplacements pour l'ensemble des modèles. Pandzic utilise la paramétrisation MPEG 4 (FAPU <Paramètre Unité Animation faciles> et FDP <Paramètre Déformation facial>) comme paramétrisation et normalisation de ses modèles. Il est nécessaire de définir préalablement les points caractéristiques sur chaque modèle, et utiliser ces informations pour normaliser les modèles [08].

➤ Calcul des déplacements faciaux

Les déplacements faciaux sont définis comme la différence de position des points du maillage entre l'état neutre et une expression. Ceux-ci sont exprimés par un tableau de vecteurs où chaque vecteur correspond à un point du maillage du modèle. Ces vecteurs sont calculés dans l'espace normalisé (FAPU).

➤ Alignement des modèles source et cible

Pandzic utilise une correspondance spatiale basée sur les points caractéristiques des modèles pour transférer les régions de déformations d'un modèle source sur un modèle cible.

➤ Copie des déplacements

Cette étape consiste simplement à transférer les régions d'un modèle sur l'autre en fonction de la normalisation, des régions définies précédemment et de l'alignement des modèles.

➤ Corrections par anti-aliasing

Les régions étant différentes entre le modèle source et cible, certains points du maillage n'ont pas les mêmes déplacements sur le modèle cible. Un processus de lissage des déformations sur le modèle cible permet de réduire les cassures dans les régions clonées [08].

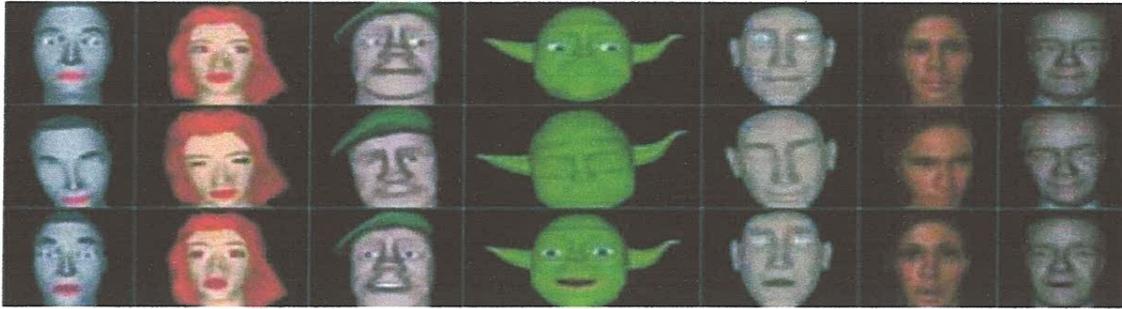


Figure 3.3: Résultats de clonage .

➤ Traitements spéciaux

Les lèvres disposent de régions de déformation difficiles à cloner. Ceci est dû au fait que les lèvres sont jointes dans la position neutre. Pandzic applique un traitement spécifique par projection des régions dans un espace 2D. Les autres parties du modèle comme les yeux, les dents ou la langue, sont traitées par déplacement ou rotation des parties spécifiques de la structure du modèle. La figure 3.3 présente les résultats du clonage de déplacements faciaux sur différents modèles [08].

Comparaison des deux approches :

Les deux approches présentées ci-dessus sont basées sur le même concept. Bien que la comparaison soit difficile, car les modèles sont différents, Pandzic [38] propose de comparer ces deux approches de clonage d'expression [08]:

- La méthode Motion Cloning préserve la compatibilité des animations MPEG 4 contrairement à l'Expression Cloning (due au fait du manque de normalisation)
- Le Motion Cloning traite les déplacements liés aux yeux, les dents et la langue
- l'Expression Cloning utilise des fonctions radiales pour aligner les points en 3D. Le Motion Cloning aligne les points en 2D par simple interpolation
- l'Expression Cloning propose des règles heuristiques pour identifier la correspondance entre deux modèles. Motion Cloning peut utiliser ces règles mais nécessite au moins la définition des points caractéristiques MPEG 4 (FDP). D'autres points de correspondance peuvent être ajoutés pour affiner la correspondance.

En conclusion, les deux méthodes présentées ci-dessus utilisent le même concept de clonage, et fournissent des résultats proches. Elles semblent équivalentes sauf dans le cadre

d'une utilisation de la paramétrisation MPEG 4 favorisant les Motion Cloning par conservation de la compatibilité avec la normalisation [08].

2- Transfert d'animation avec les fonctions à base radiale (function radial basis, RBF) :

Cette méthode de transfert est basée sur l'interpolation par des RBF. Elle se décompose en deux étapes, la première est une phase d'initialisation et la seconde est une phase de transfert qui est calculée en temps réel pour chaque image de l'animation. La Figure 3.4 illustre le schéma général de la technique [04].

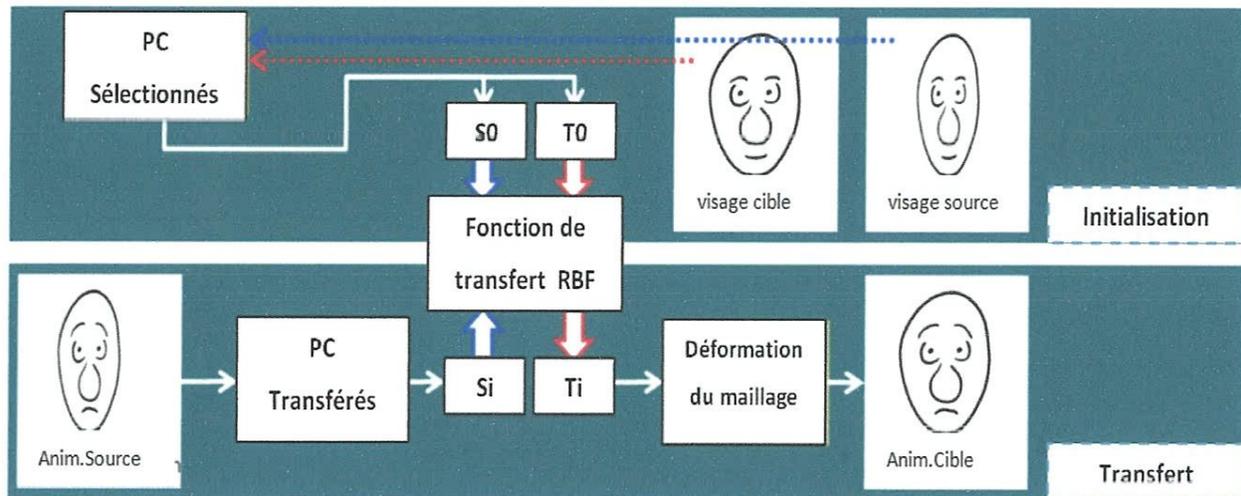


Figure 3.4: Vue d'ensemble de transfert par RBF.

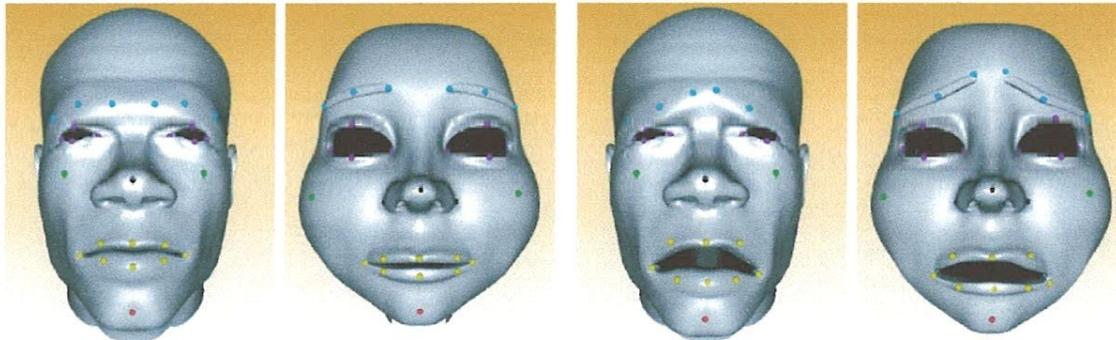
Une première phase d'initialisation effectue l'initialisation d'une interpolation par RBF à partir des points de contrôle sources et cibles. Puis, en temps réel et pour chaque frame de l'animation, les points de contrôle sources sont transformés pour obtenir les nouveaux points de contrôle cibles, et ainsi, déformer le visage cible .

Les modèles RBF permettent de calculer une approximation qui permet de situer un point de l'espace du visage source dans l'espace du visage cible. Chacun des espaces est défini par les points de contrôle qui représentent les points caractéristiques liés à l'animation faciale [04].

Pour transférer une expression. Il faut travailler sur la position des points de contrôle, le but étant de transférer leurs déplacements du visage source au visage cible. La phase

d'initialisation de l'interpolation par RBF est calculée sur les points de contrôle des visages en position neutre, c'est-à-dire sans expression (voir la Figure 3.5). Cette étape n'est réalisée qu'une seule fois pour les deux visages. Pour transférer une expression, nous appliquons l'interpolation aux points de contrôle déformés pour obtenir leurs positions dans l'espace du visage cible (voir la Figure 3.5) [04].

Les sommets du maillage sont alors déplacés en fonction des mouvements des points de contrôle grâce à la paramétrisation par skinning (Appellation qui désigne l'ensemble des techniques de déformation de maillage à partir d'un squelette ou d'une hiérarchie d'articulations..). L'interpolation est appliquée à chaque frame de l'animation et permet ainsi d'obtenir l'animation du visage cible dont le déplacement des points de contrôle a été adapté à sa propre morphologie. L'initialisation du transfert ne nécessite pas beaucoup de ressources, le calcul le plus important consiste à inverser une matrice carrée de dimension le nombre de points de contrôle. Pendant l'animation, la complexité est linéaire et les calculs limités permettent d'animer plusieurs visages en temps réel ce qui est important dans une application dont les ressources sont partagées comme les jeux vidéo [04].



(a) Initialisation
(visage source à gauche et visage cible à droite)

(b) Transfert d'expression

Figure 3.5: Exemple de transfert d'une expression .

À gauche, les deux visages avec des expressions neutres utilisées pour l'initialisation du transfert. À droite, le visage source est doté d'une expression qui est transférée au visage cible par notre technique.

➤ **Avantages et Inconvénients :**

- Rapide, une fois que le pré calcul des RBF est effectué.

Transfert d'animation Faciale

- Automatique, ou presque : il suffit de définir quelques paires de points en correspondance pour que le modèle fonctionne.

En revanche, il y a quelques défauts :

- Le modèle se comporte assez mal au niveau des yeux et des lèvres.
- L'expression est copiée telle qu'elle. On ne peut pas modifier ou amplifier l'expression faciale du visage source.
- La mise en correspondance devient difficile si les deux visages sont très différents [06].
- L'acquisition des données nécessite un matériel coûteux et une longue mise en place [14].

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons détaillé plusieurs travaux concernant le Transfert d'animation de visage en trois dimensions.

Pour la suite de notre travail, on a choisi la méthode des Interpolations par rotation

Chapitre IV:

Conception et Implémentation

Conception

I- Conception

Introduction:

Notre projet consiste en la mise en œuvre d'un logiciel qui permet d'animer un visage virtuel à partir de données extraites d'une vidéo. Ces données sont obtenues à partir d'un visage réel source (Capture vidéo) et un visage virtuel (cible). Nous nous sommes intéressés à la détection et suivi des points caractéristiques puis le transfert par Interpolation par rotation. Dans ce chapitre, nous détaillons les différentes étapes de la conception de notre application.

1- Architecture générale:

Les données d'entrées de notre projet son :

- Une vidéo d'un visage réel avec différentes expressions, mais avec état neutre de la première frame.
- Un modèle de visage virtuel 3D.

En sortie, on doit obtenir une vidéo du visage virtuel présentant les mêmes expressions du visage réel.

Notre travail passe par les étapes suivantes:

1. Chargement de la vidéo 2D du visage réel.
2. Détection du visage dans la vidéo 2D
3. Détection et suivi des points caractéristiques dans le visage 2D.
4. Chargement du modèle de visage 3D et localisation des points de caractériqtiques.
5. Transfert de l'animation.
 - Calcul des angles
 - Transfert par Matrices de rotation

Le schéma suivant illustre les étapes de notre conception.

Conception et implémentation

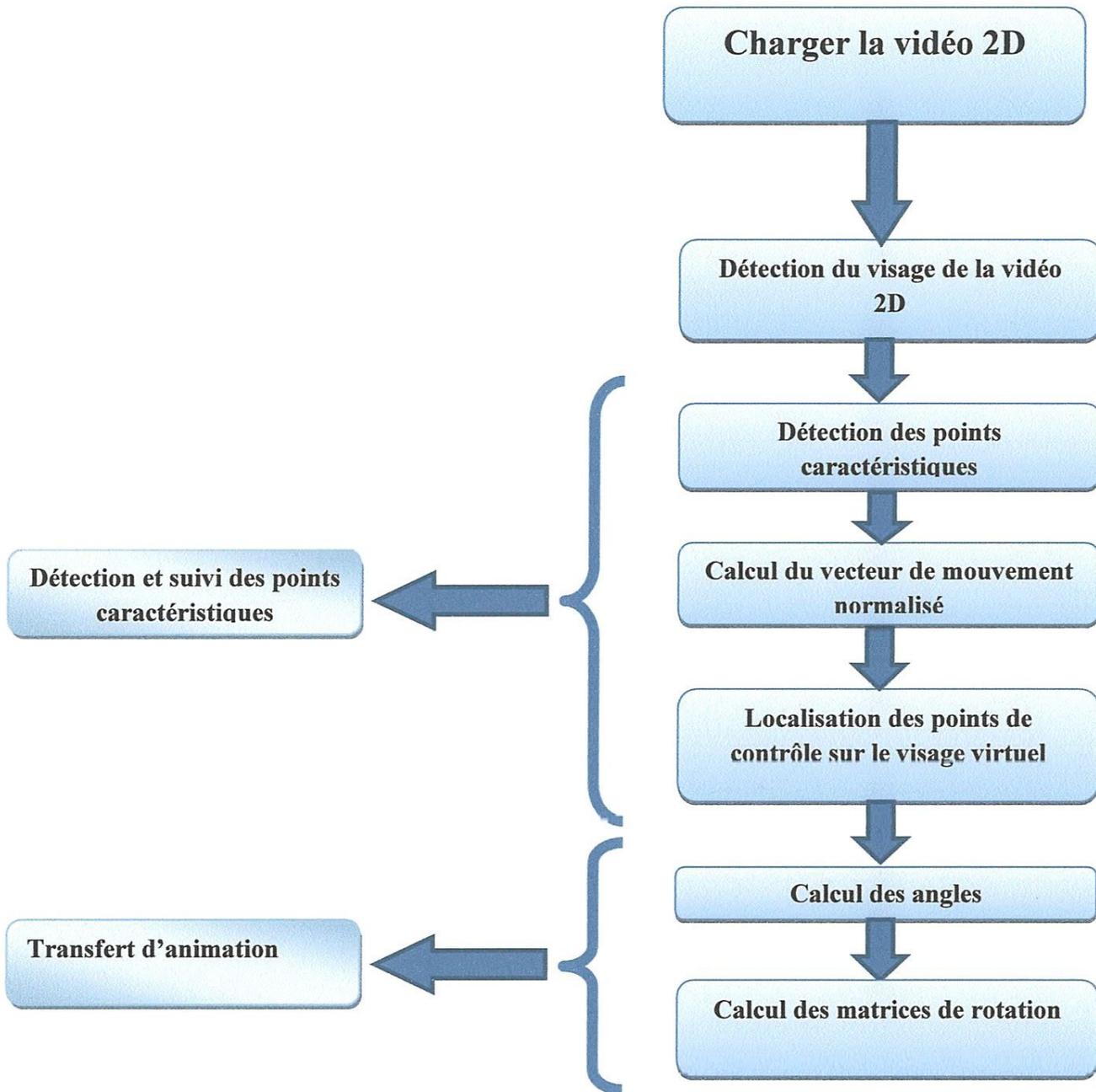


Figure 4.1 : architecture générale du système.

Conception et implémentation

1.1 Chargement de la video :

Notre projet débute par le chargement d'une vidéo 2D d'un visage réel qui est segmentée en plusieurs images (frames).

1.2 Détection du visage :

Cette étape consiste à détecter le visage dans vidéo préenregistrée et chargée. Pour cela on a utilisé la bibliothèque Facesdk.jar qui détecte automatiquement les visages, et les points caractéristiques dans une vidéo.

On a travaillé sur les 16 points caractéristiques qui sont jugés être les plus influents pour le transfert d'animation vu leurs emplacement sur le visage [48]

Le tableau ci-dessous contient la liste des 16 points caractéristiques choisis

Le point	Description
9.1	Frontière narine gauche
9.2	Frontière narine droite
8.1	Point milieu de la lèvre supérieure extérieure contour
8.2	Point milieu de contour des lèvres inférieures extérieures
8.3	Coin supérieur gauche de contour des lèvres extérieures
8.4	Le coin supérieur droit du contour lèvre extérieure
4.1	Coin supérieur droit de sourcil gauche
4.2	Coin supérieur gauche de sourcil droit
3.7	Coin gauche de l'œil gauche
3.11	Coin droit de l'œil gauche

4.5	Coin supérieur gauche de sourcil gauche
4.6	Coin à supérieur droite du sourcil droit
3.8	Coin gauche de l'œil droit
3.12	Coin droit de l'œil gauche
3.13	Coin supérieur de l'œil gauche
3.14	Coin supérieur de l'œil droit

Tableau 4.1 : *description des FDP utilisées.*

Pour détecter et suivre ces points on passe par les étapes suivantes :

1.3 Détection et suivi des point caractéristiques :

a\ Localisation des points de caractéristiques :

On calcule les points de contrôles sur toutes les frames de la vidéo par rapport à la première frame (frame initiale). Les points caractéristiques sont calculés à partir de la frame de référence. Après, les positions des 16 points caractéristiques qui sont : $P_i = (p_0, p_1, \dots, p_{15})$ de la frame i de la vidéo sont suivis, nous calculons l'ensemble des vecteurs de mouvement 2D, $E_i = (E_0, E_1, \dots, E_{15})$ des points dans la frame i comme étant la différence des positions correspondants entre les points des images qui diffèrent de la première a savoir l'état i neutre $E_i = P_i - P_0 \dots \dots (I)$

b\ Normalisation :

Cette section explique comment transférer l'expression du visage par l'ensemble des points E_i extrait de la Frame i d'une vidéo sur un modèle de visage 3D. Contrairement aux vidéos 2D, les points caractéristiques sur un modèle 3D devraient se déplacer en trois dimensions dans l'espace. Cependant, il a été constaté que, pour la plupart des expressions du visage, les mouvements des points caractéristiques 3D dans le Direction Z sont beaucoup plus petits par rapport à ces mouvements dans les directions X et Y [48]. C'est pourquoi nous supposons que les points caractéristiques 3D ne se déplacent que dans le plan XY .

Conception et implémentation

Avec cette hypothèse, on peut cartographier l'ensemble des vecteurs de mouvement E_i de trame i d'une vidéo sur un modèle de visage 3D.

Etant donné que la taille d'un visage dans une vidéo 2D et la taille d'un visage 3D ne sont généralement pas les mêmes, nous normalisons les vecteurs de mouvement en fonction des distances entre les deux coins de la bouche dans l'image de référence (première frame) et le modèle 3D neutre. f_2 et f_3 désignent la distances sur l'image de référence et le modèle 3D neutre, respectivement. Ensuite, l'ensemble des vecteurs de mouvement normalisés :

$M_i = (m_0, m_1, \dots, m_{15})$ les vecteur de normalisation de chaque points à partir de la frame i est :

$M_i = (f_3/f_2) * E_i \dots (II)$ F_2 : la distance entre les deux coins de la bouches du visage 2D.

F_3 : la distance entre les deux coin de la bouches du visage cible 3D.

c\ Localisation des points caractéristiques sur le visage virtuel :

On a détecté les points caractéristiques du visage virtuel en utilisant le logiciel XFace et manuellement, on fait la correspondance avec les 16 points qu'on a détecté sur le visage de la vidéo 2D.

Soit $d_j = (x_j, y_j, z_j)$ indiquent la position du point caractéristique j sur le visage de référence 3D. Après avoir normalisé le vecteur de mouvement $m_j = (a_j, b_j)$ du visage réel 2D caractéristique pour un point J d'une frame à un point caractéristique correspondant dans le visage virtuel 3D, on calcule la nouvelle position des points caractéristiques dans le visage virtuel par la fonction: $d_j = (X_j + a_j, b_j + X_j, Z_j)$.

1.4 Calcul des angles :

La correspondance entre les points caractéristiques dans le visage 2D et le visage 3D est systématique par le choix des points.

Dans cette phase, et après avoir eu les nouvelles coordonnées du visage virtuel et les vecteurs normalisés, on prend le point caractéristique du coin supérieur gauche de l'œil gauche α (3.7) comme étant un point de repère vu que le changement des valeurs de ses coordonnées est presque nul pour calculer les angle de déplacement de chaque point caractéristique par rapport à l'état initial par la fonction :

$$U * V = \|U\| * \|V\| * \text{Cos}(\square) \dots (III)$$

Conception et implémentation

coordonnées est presque nul pour calculer les angle de déplacement de chaque point caractéristique par rapport à l'état initial par la fonction :

$$U \cdot V = \|U\| \cdot \|V\| \cdot \cos(\Theta).$$

Tel que :

a_0 un des points caractéristiques a de la première frame

a_{50} : la nouvelle position du point a dans la 49^{ème} frame

$$\vec{U} = \| \alpha, a \|, \vec{V} = \| \alpha, b \|,$$

Θ = angle entre les vecteur \vec{U} et \vec{V}

De là, on aura calculé les angles Θ_i résultants des déplacements de tous les points caractéristiques par rapport au point α .

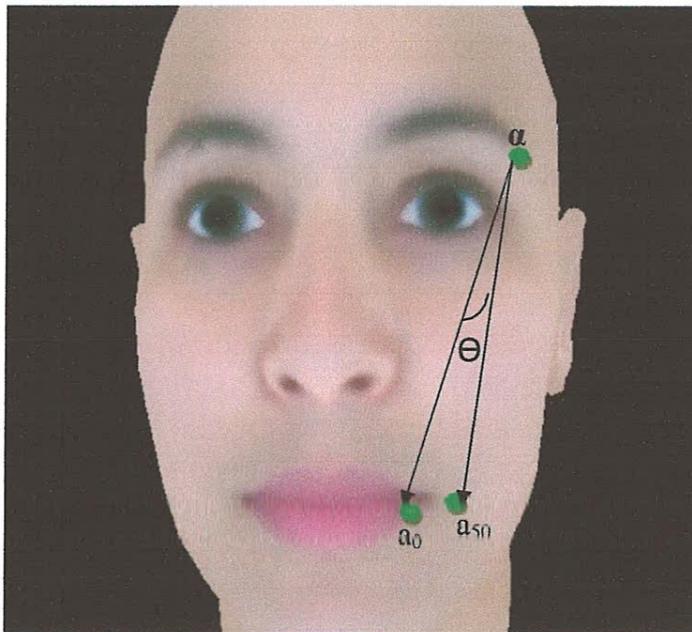


Figure 4.2 : exemple d'angle résultant du déplacement d'un point caractéristique.

$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Comme on a tous les angles Θ , des points caractéristiques on pourra alors calculer les nouvelles coordonnées de tous les points sur le visage 3D et de la, transférer l'animation.

Implémentation

II- Implémentation

Introduction :

L'objectif de ce projet est de concevoir et d'implémenter une application qui permet de transférer une animation d'un visage réel dans une vidéo 2D vers un visage virtuel 3D.

Par ce qui suit nous présentons les différentes étapes de l'implémentation.

1- Ressources, langages et environnement de développement :

1.1 Système d'exploitation et ressources matérielles :

L'environnement de base qui a constitué le support de notre travail est le système d'exploitation Windows 7 qui offre les fonctionnalités pour obtenir d'excellentes performances de façon aisée sur un ordinateur portable dont les caractéristiques sont décrites dans le tableau 5.1 :

Micro ordinateur portable	Caractéristiques
Processeur	Intel(R) Core(TM) I5 M460 (@2,53 GHZ 2,53 GHZ).
Carte graphique	1Go.
Capacité de disque dur	640Go.
Capacité du RAM	une barrette de 4 .00 Go.
Camera professionel	Sony HDRCX410VE.CEN

Tableau4.2 : Matériel utilisé.

1.2 Environnement logiciel :

Lors de l'implémentation de notre application, nous avons utilisé plusieurs logiciels, que nous présentons dans ce qui suit:

a) Eclipse :

Eclipse est un environnement de développement intégré (Integrated Development Environment) dont le but est de fournir une plate-forme modulaire pour permettre de réaliser des développements informatiques.

I.B.M. est à l'origine du développement d'Eclipse qui est d'ailleurs toujours le coeur de son outil Websphere Studio Workbench (WSW), lui même à la base de la famille des derniers outils de développement en Java d'I.B.M. Tout le code d'Eclipse a été donné à la communauté par I.B.M afin de poursuivre son développement.

Les principaux modules fournis en standard avec Eclipse concernent Java mais des modules sont en cours de développement pour d'autres langages notamment C++, Cobol, mais aussi pour d'autres aspects du développement (base de données, conception avec UML, ...). Ils sont tous développés en Java soit par le projet Eclipse soit par des tiers commerciaux ou en open source [47].

Eclipse possède de nombreux points forts qui sont à l'origine de son énorme succès dont les principaux sont :

- Une plate-forme ouverte pour le développement d'applications et extensible grâce à un mécanisme de plug-ins
- Plusieurs versions d'un même plug-in peuvent cohabiter sur une même plate-forme.
- Un support multi langage grâce à des plug-ins dédiés : Cobol, C, PHP, C# , ...
- Support de plusieurs plate-formes d'exécution : Windows, Linux, Mac OS X, ...

Malgré son écriture en Java, Eclipse est très rapide à l'exécution grâce à l'utilisation de la bibliothèque SWT

- Les nombreuses fonctionnalités de développement proposées par le JDT (refactoring très puissant, complétion de code, nombreux assistants, ...)
- Une ergonomie entièrement configurable qui propose selon les activités à réaliser différentes « perspectives »
- Un historique local des dernières modifications
- La construction incrémentale des projets Java grâce à son propre compilateur qui permet en plus de compiler le code même avec des erreurs, de générer des messages d'erreurs

personnalisés, de sélectionner la cible (java 1.3 ou 1.4) et de mettre en oeuvre le scrapbook (permet des tests de code à la volée)

- Une exécution des applications dans une JVM dédiée sélectionnable avec possibilité d'utiliser un débogueur complet (points d'arrêts conditionnels, visualiser et modifier des variables, évaluation d'expression dans le contexte d'exécution, changement du code à chaud avec l'utilisation d'une JVM1.4, ...)
- Propose le nécessaire pour développer de nouveaux plug-ins
 - Possibilité d'utiliser des outils open source : CVS, Ant, Junit La plate-forme est entièrement internationalisée dans une dizaine de langue sous la forme d'un plug-in téléchargeable séparément
 - Le gestionnaire de mise à jour permet de télécharger de nouveaux plug-ins ou nouvelles versions d'un plug-in déjà installées à partir de sites web dédiés (Eclipse 2.0) [47].

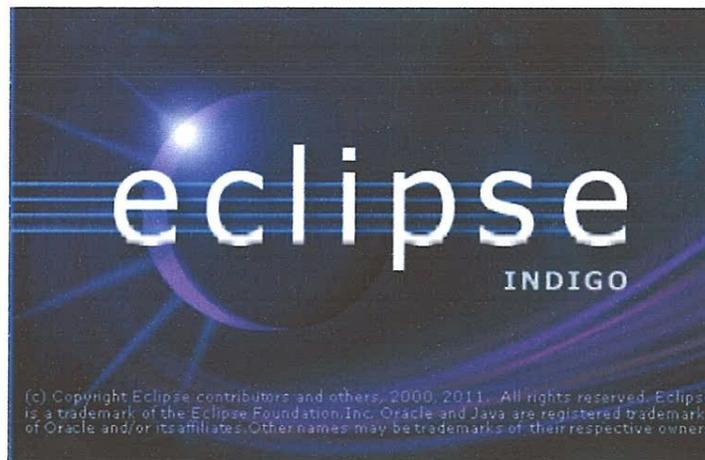


Figure 4.4 : Lancement d'eclipse.

b\ Java :

C'est un langage très utilisé, notamment par un grand nombre de programmeurs professionnels, ce qui en fait un langage incontournable actuellement.

Java est un langage de programmation moderne développé par Sun Microsystems (aujourd'hui racheté par Oracle), une fois votre programme créé, il fonctionnera automatiquement sous Windows, Mac, Linux, etc.

On peut faire de nombreuses sortes de programmes avec Java :

- des applications, sous forme de fenêtre ou de console.
- des applets, qui sont des programmes Java incorporés à des pages web.
- des applications pour appareils mobiles, avec J2ME.
- Et bien d'autres ! J2EE, JMF, J3D pour la 3D...

Il possède de nombreuses caractéristiques : [47]

Les principales caractéristiques qui ont largement contribué à son énorme succès :

- Java est interprété : la source est compilé en pseudo code ou byte code puis exécuté par un interpréteur Java : la Java Virtual Machine (JVM).
- Java est indépendante de toute plate-forme : il n'y a pas de compilation spécifique pour chaque plateforme. Le code reste indépendant de la machine sur laquelle il s'exécute. Il est possible d'exécuter des programmes Java sur tous les environnements qui possèdent une Java Virtual Machine.
- Java est orienté objet : comme la plupart des langages récents, Java est orienté objet. Chaque fichier source contient la définition d'une ou plusieurs classes qui sont utilisées les unes avec les autres pour former une application.
- Java assure la gestion de la mémoire : l'allocation de la mémoire pour un objet est automatique à sa création et Java récupère automatiquement la mémoire inutilisée grâce au garbage collector qui restitue les zones de mémoire laissées libres suite à la destruction des objets.
- Java est multitâche : il permet l'utilisation de threads qui sont des unités d'exécution isolées. La JVM, elle-même utilise plusieurs threads.

➤ Pourquoi utiliser Java ?

- ✓ Le monde sans Java

Avec les langages évolués courant (C++, C, etc.) nous avons pris l'habitude de coder sur une machine identique à celle qui exécutera nos applications ; la raison est fort simple : à de rares exceptions près les compilateurs ne sont pas multi-plateformes et le code généré est spécifique à la machine qui doit accueillir. Nous devons alors utiliser n compilateurs différents sur n machines. Aujourd'hui, la généralisation des interfaces graphiques et l'usage de langage plus évolués compliquent encore d'avantage le problème. Ainsi pour développer une application destinée à plusieurs systèmes d'exploitation avec ses différentes couches de bibliothèques et d'interfaces ; les API de ces interfaces étant toutes différentes. Ainsi nos

applications sont fortement dépendantes des ressources (y compris graphique) du système hôte, dépendantes des API des interfaces utilisées, et le code produit ne peut s'exécuter que sur le système pour lequel il a été initialement produit [47].

✓ Le monde avec Java

Tout d'abord, Java simplifie le processus de développement : quelle que soit la machine sur laquelle on code, le compilateur fournit le même code. Ensuite, quel que soit le système utilisé cet unique code est directement opérationnel. En effet, la compilation d'une source Java produit du pseudo-code Java qui sera exécuté par tout interpréteur Java sans aucune modification ou recompilation. Ce « interpréteur » est couramment dénommé « machine virtuelle Java » [47].

c\ Java 3D :

Java 3D est une bibliothèque de classes d'extension Java destinée à créer des scènes 3D en réalité virtuelle (avec utilisation de formes complexes, d'éclairages, de textures, d'animations, de sons,...). Il donne aux développeurs des constructions de haut niveau pour la création et la manipulation de la géométrie 3D et pour construire les structures utilisées dans le rendu que la géométrie. Les développeurs d'applications peuvent décrire très grands mondes virtuels en utilisant ces constructions, Java 3D offre Java :

- De bénéficier aux développeurs d'applications graphiques 3D.
- Fait partie de la suite Java Media d'API.
- Le rendant disponible sur une large gamme de plates-formes.

→Installation :

Il est conseillé d'installer Java 3D dans le même répertoire que le JDK, pour simplifier l'arborescence de l'installation de votre JDK.

Java 3D installe essentiellement :

- Des DLLs (Dynamic Link Library) dans le répertoire bin du JRE (Java Runtime Environment).
- Les fichiers vecmath.jar, j3dcore.jar, j3daudio.jar et j3dutils.jar dans le répertoire lib/ext du JRE. Selon l'environnement de programmation utilisé vous devrez peut-être rajouter ces fichiers *JAR* dans votre CLASSPATH (essayez d'abord sans modification car les extensions sont normalement automatiquement importées).

- Un ensemble d'exemples disponibles dans le répertoire demo/java3d du JDK. Les plus intéressantes :
 - FourByFour (fbf.html)
 - GearTest (GearBox.class)
 - Morphing

d\ JMF :

JMF est une large et transparente API (Application Programming Interface) utilisée pour les applications multimédia (Son/Vidéo).

La version actuelle de JMF est 2.1.1e, cette dernière est une initiative de Sun qui souhaite apporter une solution « processeur de média basé sur un time line » à Java.

e\ FSDK :

FaceSDK est une solution de haute performance pour la détection des visages et des points caractéristiques. Elle sert les développeurs de logiciels à travers le monde. Compatible avec les environnements 32 et 64 bits, FSDK est facile à intégrer aux nouveaux projets ou, aux projets existants, ce qui permet aux développeurs de créer une grande variété d'applications. Le système détecte les visages entiers dans des images fixes et des flux vidéo en temps réel, et permet la création d'une large gamme d'applications à partir d'outils de suppression automatique des yeux rouges, ou à des solutions de connexion biométrique. FSDK peut aider à la construction de systèmes complexes d'animation du visage pour les portraits de divertissement, morphing etc.

f\ FaceGen :

FaceGen Modeler permet de créer rapidement de visages humanoïdes réalistes à partir de photographies ou d'un modèle de référence. Le visage choisi est modifiable à travers une série de contrôleurs, avec une cinquantaine de paramètres liés à l'âge, le sexe, l'appartenance à un groupe ethnique ainsi que la forme des traits faciales [5].

FaceGen crée ses modèles en utilisant des polygones à 3 et 4 côtés pour faire un maillage, il peut enregistrer en suite le modèle comme un fichier Wavfront (.obj) que nous avons utilisé pour importer un modèle de visage 3D dans notre application.

- Format «.obj »

Le format OBJ a une syntaxe particulière. Il se divise en deux fichiers : un fichier .OBJ qui donne toutes les informations sur les sommets et les faces, et un fichier .mtl (comme Material Template Library) qui contient les données sur les matériaux.

On peut décomposer un fichier .OBJ de cette manière :

- Indication du fichier .MTL
- Définition des sommets
- Attribution des faces.

L'indication du fichier .MTL se fait comme ceci : `mtllib mon_fichier.mtl`.

C'est donc cette ligne qui permet de déterminer où se trouve le .mtl à charger. Ensuite vient la définition des sommets en position, coordonnées de texture et en normales. Chaque ligne de définition de sommets commence par un "v" comme "vertex", "sommet" en Anglais. La position se note comme ceci

`v X Y Z`

Où X, Y et Z sont respectivement les coordonnées X, Y et Z du sommet. Par exemple :

`v 0.532 1.265 0.273`

Cette ligne permet d'indiquer que l'on crée un sommet de coordonnées (0.532 ; 1.265 ; 0.273).

Pour les coordonnées de texture, la ligne sera similaire sauf qu'on mettra un "t" (comme "texture") après le "v" et que nous n'avons que deux axes :

`vt X Y`

Même principe pour les normales, mais avec "vn" ("n" comme "normal") et trois axes :

`vn X Y Z`

Il regroupe toutes les faces d'un même matériel. Grâce à leur nom :

`usemtl nom_du_materiau`

Pour définir une face, on va assembler les numéros des sommets concernés comme ceci :

f V1/T1/N1 V2/T2/N2 V3/T3/N3 V4/T4/N4

Les V1, V2, V3, V4 sont les numéros des positions. les T1, T2, T3, T4 sont les numéros des coordonnées de texture, et les N1, N2, N3, N4 sont les numéros des normales. Par exemple:

f 1/2/3 4/5/6 7/8/9

g\ XFACE :

La phase de préparation d'un modèle virtuel pour notre application se trouve réduite à la simple définition des points caractéristiques, cette opération est effectuée à l'aide d'un outil nommé XFACE.

Xface est un ensemble d'outils open source pour la création des têtes parlantes basé sur l'interpolation de formes et le standard MPEG-4 [S1]. Il se compose d'outils suivants : Xface, XfaceEd, XfacePlayer, XfaceClient.

Dans notre application, nous n'avons utilisé que XfaceEd; qui fournit une interface facile à utiliser pour produire des fichiers FDP (stocke toute l'information qu'on place en employant XfaceEd. Nous pouvons placer les points de contrôle du standard MPEG-4 (FDP) et les unités faciales de paramètre d'animation (FAPU), définir la zone de l'influence de chaque FDP, et comment cette influence est propagée. Nous pouvons également spécifier les images clés pour les visèmes, les émotions et les expressions. Dans notre cas, nous nous intéressons à la sélection des points de contrôles, qui offre la possibilité de sélectionner les points de contrôle (FDP) et les exporter en format XML (Figure 5.2).

```
<!--Header information for the model-->
<head>
  <!--Version of the FDP specification file (this file)-->
  <file version="0.2"/>
  <!--FAPU (Facial Animation Parameter Units) for the model-->
  <fapu ENS0="0" ES0="0" IRISD0="0" MNS0="0" MW0="0"/>
  <!--Global Translation info for the whole face-->
  <translation x="0" y="-1" z="-659"/>
  <!--Global Rotation info for the whole face-->
  <rotation axis_angle="0.407589" axis_x="-0.999632" axis_y="-0.0154467" axis_z="0.0223226"/>
</head>

<!--3D model files (mesh) configuration-->

<source>
  <entity alias="Rest" category="Expression">
    <mesh file="Jane_lo_all_obj.obj" format="obj"/>
  </entity>
</source>
<fdp affects="skin_lo" index="130" name="2.4">
  <indices>479 600 641 </indices>
</fdp>

  <fdp affects="skin_lo" index="58" name="3.4"/>

  <fdp affects="skin_lo" index="19" name="3.5"/>

  <fdp affects="skin_lo" index="63" name="3.6"/>
</fdp>
```

Figure 4.5: Exemple de fichier XML exporté par le XfaceEd.

2- Interfaces graphique de l'application :

Dans cette section nous allons présenter la réalisation de notre application, et ceci par un ensemble d'illustration graphique suivi d'explication textuelle.

2.1 La fenêtre principale :

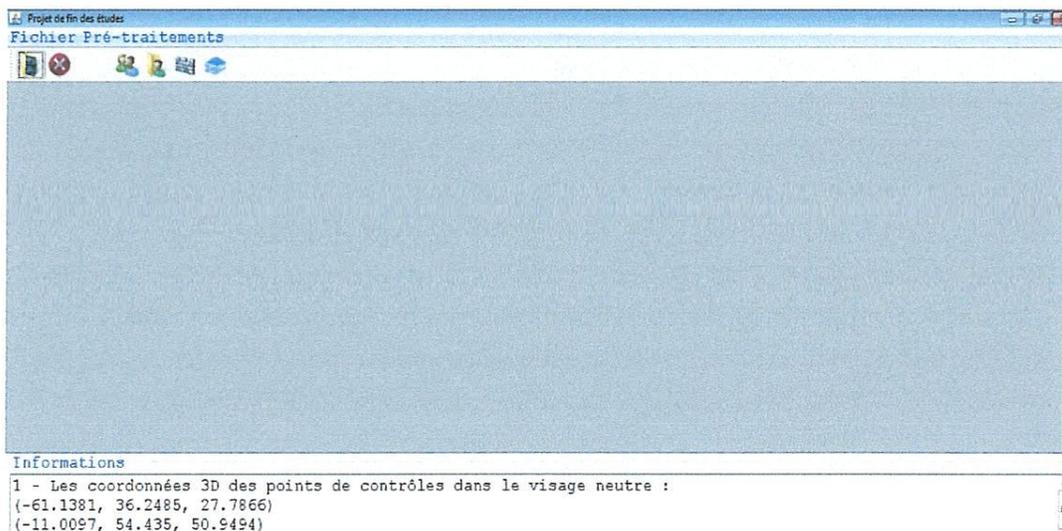


Figure 4.6 : fenêtre principale

La Fenêtre principale Contient :

- Un titre : projet de fin d étude.
- Deux menus avec des boutons:

➔ menu Fichier : pour le chargement d une vidéos et la fermeture de l application.

➔ menu prétraitement : pour la détection des points de contrôle et le transfert d'animation.

➔ Une Console pour afficher les informations sur les résultats après traitement

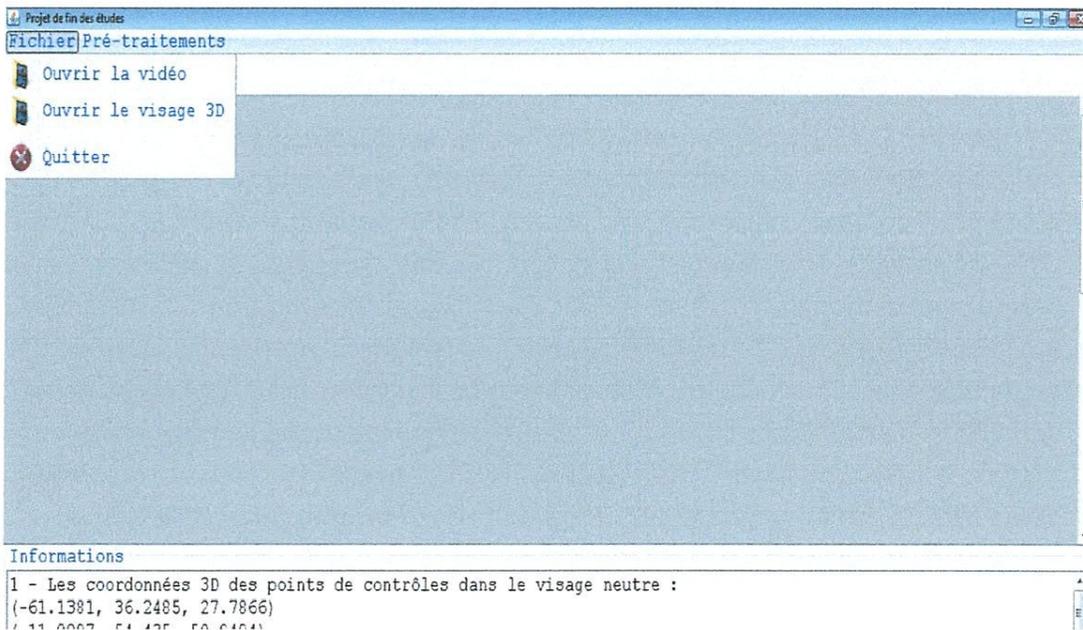


Figure 4.7 : Menu fichier.

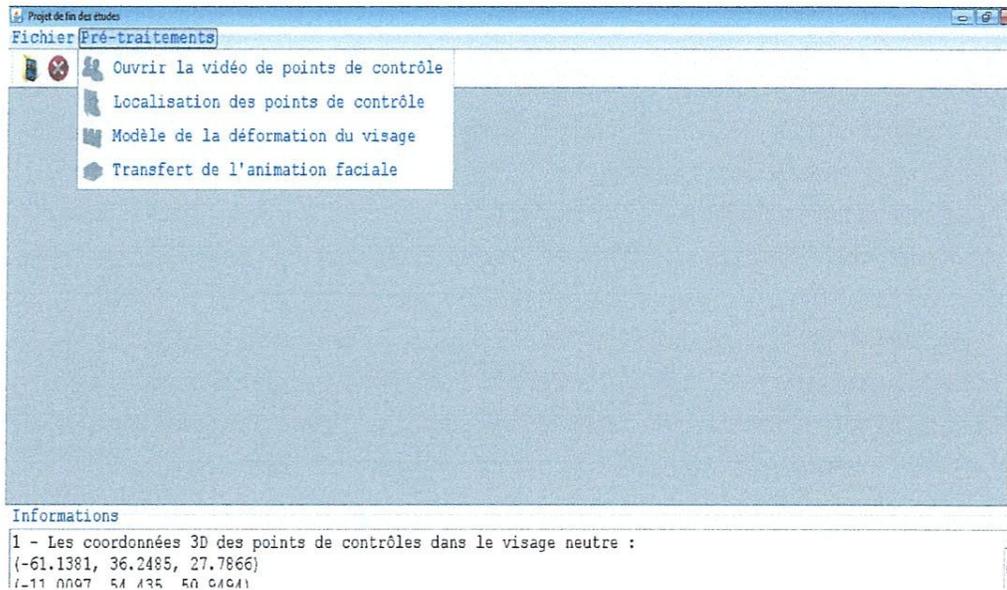


Figure 4.8 : Menu prétraitement.

2.2 Charger la vidéo :

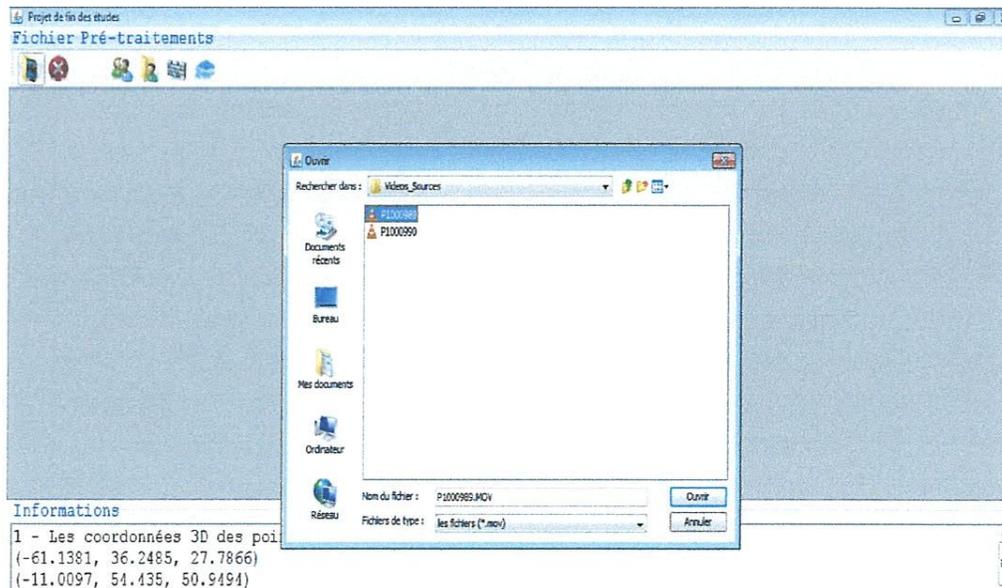


Figure 4.9 : bouton de chargement de la vidéo

La première opération à effectuer est le chargement d'une vidéo.

Le bouton ouvrir la vidéo permet de sélectionner et charger une vidéo préenregistrée au format (.MOV) qui subira les traitements par la suite.

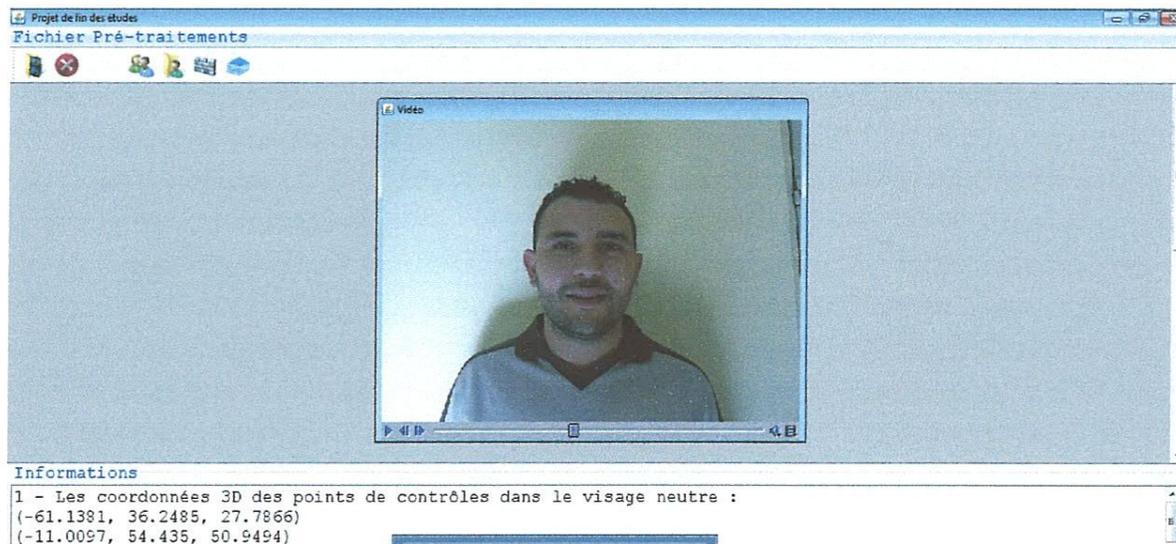


Figure 4.10 : Vidéo charger

2.3 Détection du visage et des points caractéristiques :

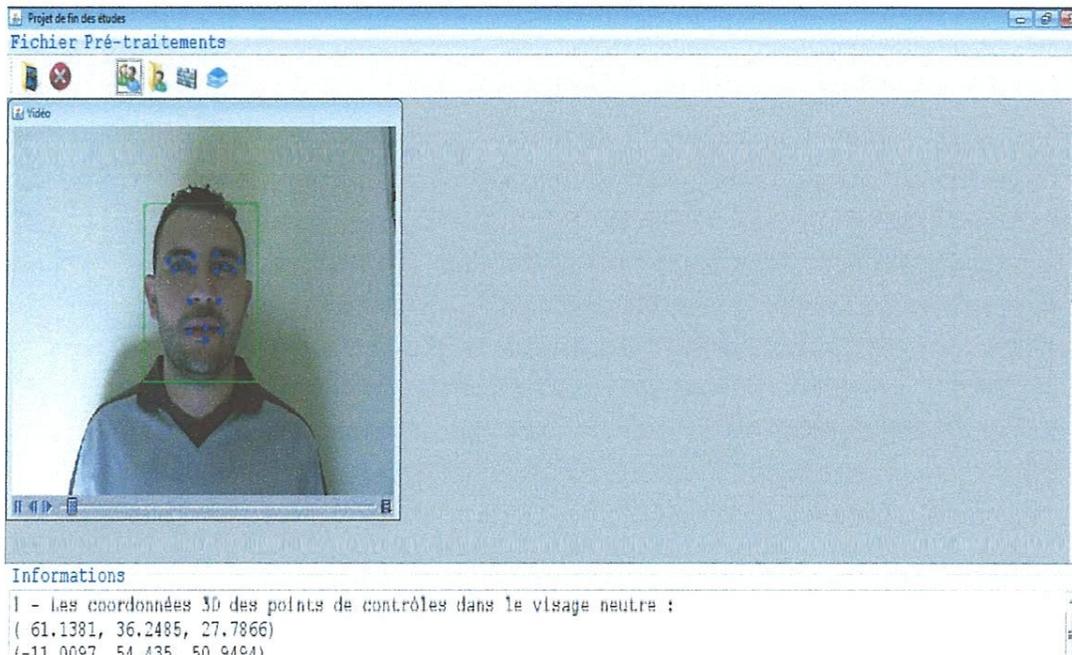


Figure 4.11 : détection du visage et de ses points caractéristiques

La deuxième opération à effectuer est la détection du visage et de ces points caractéristiques.

Pour cela, on a utilisé la bibliothèque *FSDK* qui s'exécute dans un panneau a part, et qu'on a intégré à notre classe et paramétré pour n'utiliser que 16 points de contrôles illustrés dans la figure (4.11).



Figure 4.12 : *panneau d'exécution du composant.*

2.4 Localisation des points de contrôles :

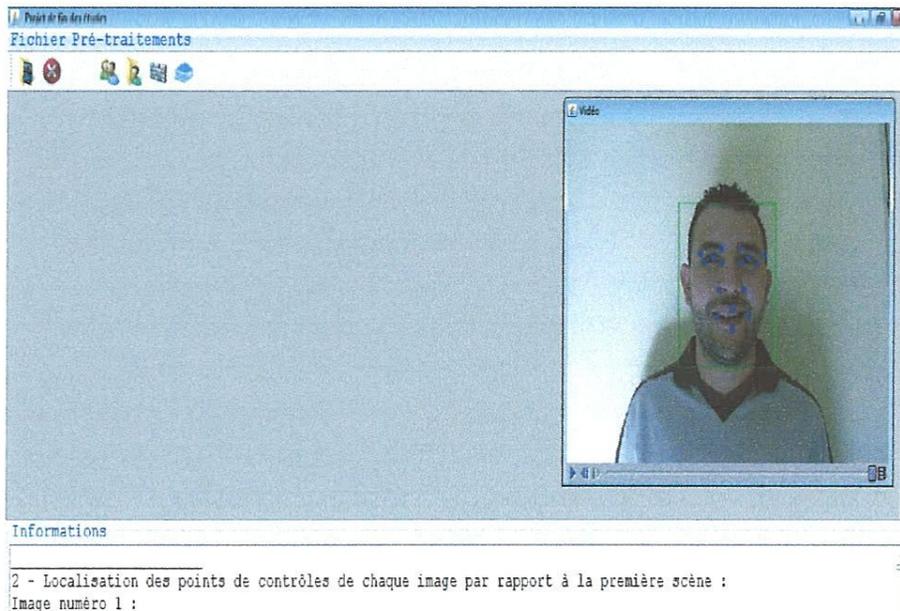


Figure 4.13 : *coordonnées du point de control de chaque image.*

Ce panel affiche les nouvelles coordonnées des points de controles de chaque images de la video par rapport aux coordonnées de l'image intiale (état neutre).

2.5 Calcul des vecteurs de normalisation :

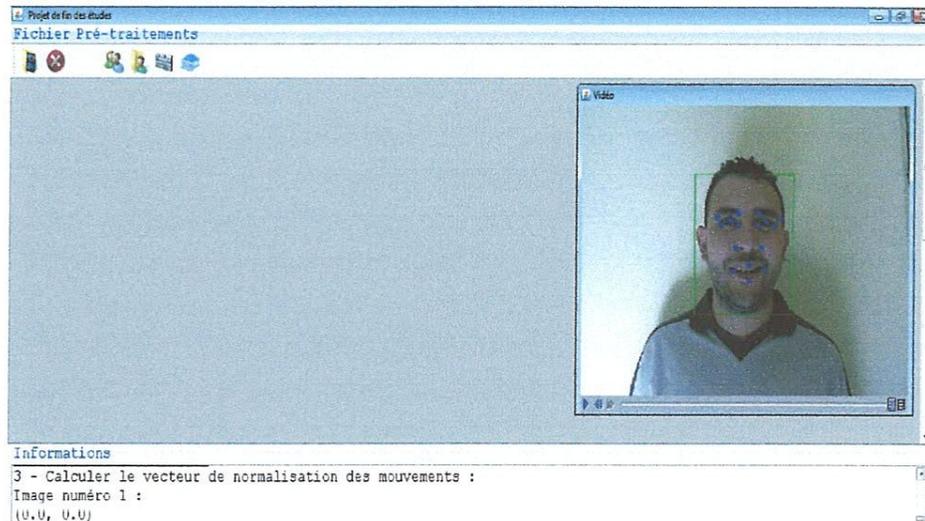


Figure 4.14 : les vecteurs de mouvement normalisés

Ce panel affiche les vecteurs de mouvements normalisé des points de contrôles des images de la vidéo (visage source).

2.6 Listes des points des contrôles du visage virtuel :

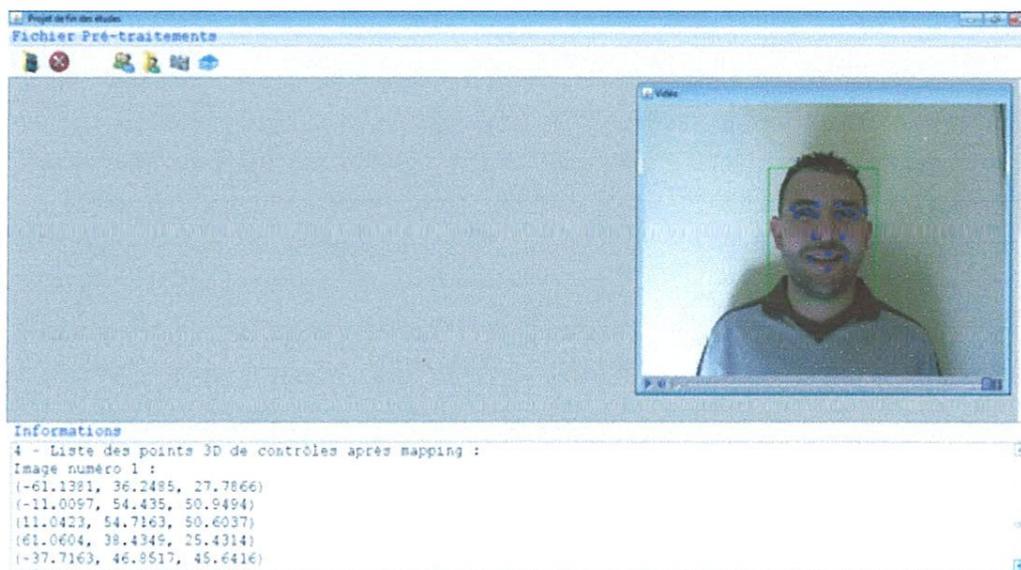


Figure 4.15 : les coordonnées du point control 3D

Ce panel affiche la liste des coordonnées des points de contrôles des images virtuelles.

2.7 Expression transférée sur le visage virtuel :



Figure 4.16 : *animation transférée*

Ce dernier panneau affiche le transfert de l'animation produite par le visage réel 2D sur notre visage cible 3D.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté d'une manière approfondie la conception et la réalisation de notre application, nous avons présenté l'architecture générale de notre système, puis nous avons expliqué chacune de ses étapes. Par la suite, nous avons présenté les aspects matériels et logiciels utilisés pour le développement. Enfin, nous avons présenté quelques interfaces graphiques de l'application réalisée.

Conclusion générale et discussions

Conclusion générale et discussions

L'animation faciale est un domaine récent et très important dans l'infographie. Dans ce mémoire de fin d'étude, nous avons présenté les différentes techniques existantes de ce domaine, qui sont regroupées en deux grandes familles : la synthèse et le transfert d'animation. Nous nous sommes intéressés à cette deuxième famille.

Le transfert d'animation faciale consiste à transférer des expressions d'un visage source à un visage cible, dans notre cas, le visage source est un visage réel 2D, le visage cible est un visage virtuel 3D.

Les démarches suivies dans notre travail passent par deux principales étapes qui sont la détection du visage et de ses points caractéristiques. Pour cela nous avons utilisé une méthode basée sur un algorithme qui nous offre des avantages considérables, et le transfert de l'animation basé sur la méthode des interpolations par rotation.

Lors de la réalisation de ce travail, nous avons appris beaucoup de choses comme : la programmation en Java, la manipulation des interfaces graphiques, et l'utilisation de différents logiciels comme FaceGen ou encore XFaceD mais aussi l'intégration des jars.

Durant la conception de ce projet, on a rencontré plusieurs difficultés et les principaux problèmes que nous avons affrontés sont :

- La correspondance entre les points de contrôle du visage source 2D et ceux du visage Cible 3D
- Les pertes de texture du visage 3D dues aux fluctuations des images de la vidéo

On peut conclure que les résultats obtenus sont acceptables mais pas optimaux, et cela pour des contraintes de temps, et de divergences de méthodes utilisées (transfert par la méthode RBF, Interpolation linéaire) pendant l'élaboration de notre travail.

Notre travail ouvre plusieurs perspectives pour des futurs travaux parmi lesquelles :

- La réalisation d'une application sous Android pour le transfert des animations faciales à partir d'un visage réel.
- Passer par des états intermédiaires pour pallier aux contraintes des coordonnées.
- Rendre le visage 3D plus réaliste en ajoutant et animant les cheveux.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] : F.I. Parke. Computer generated animation faces. In *Proc. ACM annual conf.*, 1972.
- [2] : F.I. Parke. *A Parametric Model for Human Faces*. PhDthesis, University of Utah, Salt Lake City, Utah, 1974. UTEC-CSc-75-047.
- [3] : P. Ekman, Facial Expression, the Handbook of Cognition and Emotion, 1999
- [4] : L. Dutreuve, Paramétrisation et Transfert d'Animations Faciales 3D à partir de Séquences Vidéo: vers des Applications en Temps Réel, Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, 2011.
- [5] : P. Monjaux, Modélisation et animation interactive de visages virtuels de dessins animés, Thèse de Docteur, l'Université René Descartes– Paris, 2007.
- [6] : S. Akkouche, A. Barbier, F. Bertails et al, L'humain virtuel thème 1 : modélisation, Rapport, 13 décembre.
- [7] : M Courgeon, MARC : Modèles Informatiques des Emotions et de leurs Expressions Faciales pour l'Interaction Homme-Machine Affective Temps Réel, Thèse de doctorat, 2010
- [8] : S. Garchery, Animation Faciale Temps Réel Multi Plates-formes, Thèse de doctorat, Université de Genève, 2004.
- [9] : France Laliberté, Introduction aux expressions faciales – Prélude au projet MONNET,
- [10] : F.I. Parke. A Parametric Model for Human Faces. These de doctorat (PhD), University of Utah, Salt Lake City, 1974.
- [11] : Gladilin, E. Zachow, S. Deuffhard et al, H.-C. 2004. Anatomy and Physics-Based Facial Animation for Craniofacial Surgery Simulations. In *Medical & Biological Engineering & Computing*, 2005.
- [12] : www.labiao.org. MAIS 2013.
- [13] : D. Bennett, The faces of the polar express. In *SIGGRAPH '05: ACM SIGGRAPH 2005 Courses*, page 6, New York, USA, ACM Press, 2005.
- [14] : L. Dutreuve, A. Meyer, S. Bouakaz, Transfert d'Animation Faciale, Mémoire de Master, Université de Claude Bernard, 2007.
- [15] : J. Stokes and J. Ragan-Kelly. Final fantasy : The technology within. <http://www.arstechnica.com/wankerdesk/01q3/ff-interview/ff-interview-1.html>.
- [16] : D. Terzopoulos, 1997. Siggraph : Panel on Facial Animation : Past, Present and

Future.

[17] : P. Kalra, A. Mangili, N. Magnenat-Thalmann et al. Smile: Multi layered facial animation system. In IFIP WG 5.10, Tokyo, 1991.

[18] : Noh, J.yong, U. Neumann, A Survey of Facial Modeling and Animation Techniques, USC Technical Report 99-705, 1998.

[19] : S.M. Platt. A structural model of the human face (graphics, animation, object representation).PhD thesis, 1985.

[20] : F.I. Parke. Parameterized models for facial animation. volume 2, november 1982.

[21] : N. Magnenat-Thalmann, E. Primeau, and D. Thalmann. Abstract muscle action procedures 2010

[22] : T.W. Sederberg and S.R. Parry. Free-form deformation of solid geometric models. In SIGGRAPH '86 : Proceedings of the 13th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, New York, NY, USA, 1986. ACM Press.

[23] : P.K. Kalra, A. Mangili, N. Magnenat-Thalmann, and D. Thalmann. Simulation of facial muscle actions based on rational free form deformations. Comput. Graph. Forum, 1992.

[24] : J.-Y. Noh, D. Fidaleo, and U. Neumann. Animated deformations with radial basis functions. In VRST '00 : Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, New York, NY, USA, 2000. ACM Press.

[25] . N. Aïad, N. Dyu, D. Reissfeld, and Y. Yeshurun. Image warping by radial basis functions: applications to facial expressions. CVGIP : Graph. Models Image Process., 1994.

[26] : 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. IEEE Computer Society.

[27] : D. Terzopoulos and K. Waters. Techniques for realistic facial modeling and animation. These de doctorat Geneva, Switserzerland, 1991.

[28] ; Y. Wu, N. Magnenat-Thalmann, and D. Thalmann. A plactic-visco-elastic model for wrinkles in facial animation and skin aging. 1994.

[29] : Y. Lee, D. Terzopoulos, and K. Waters. Realistic modeling for facial animation. In SIGGRAPH, 1995.

[30] : K. Kähler, J. Haber, H. Yamauchi, and H.-P. Seidel. Head shop : generating animated head models with anatomical structure. In SCA '02 : Proceedings of the 2002 ACM SIGGRAPH/ Eurographics symposium on Computer animation, New York, NY, USA, 2002. ACM Press.

[31] :] K. Waters. A muscle model for animation three-dimensional facial expression. In M.C. Stone, editor, SIGGRAPH, ACM, 1987.

- [32] : B. Choe, H. Lee, and H.-S. Ko. Performance-driven muscle-based facial animation. *The Journal of Visualization and Computer Animation*, May 2001.
- [33] : S. Pasquariello and C. Pelechaud. Greta : a simple facial animation engine. In *6th On-Line World Conference on Soft Computing in Industrial Applications, Session on Soft Computing for Intelligent 3D Agents*, september 2001.
- [34] :] T.D. Bui, D. Heylen, and A. Nijholt. Improvements on a simple muscle-based 3d face for realistic facial expressions. In *CASA*, pages 33–40. IEEE Computer Society, 2003.
- [35] : E. Sifakis, I. Neverov, and R. Fedkiw. Automatic determination of facial muscle activations from sparse motion capture marker data. In *SIGGRAPH '05 : ACM SIGGRAPH 2005 Papers*, New York, NY, USA, 2005. ACM Press.
- [36] : Z. Deng et J. Noh, *Computer Facial Animation: A Survey*, Université d’Houston.
- [37] : R.W. Sumner et J. Popovic. Deformation transfer for triangle meshes. In *SIGGRAPH '04: ACM SIGGRAPH 2004 Papers*, New York, NY, USA, ACM Press, 2004.
- [38] : J.Y. Noh et U. Neumann. Expression cloning. In *SIGGRAPH '01: Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, New York, NY, USA ACM Press, 2001.
- [39] : M. Jung et K. Na. Hierarchical retargetting of fine facial motions. *Computer Graphics Forum (Proceedings of EUROGRAPHICS '04)*, 2004.
- [40] : I.S. Pandzic. *Facial motion cloning*. Graphical Models, Elsevier, 2003.
- [41] : F. Davoine, B. Abboud et V. M. Dang, *Analyse de visages et d’expressions faciales par modèle actif d’apparence*, 2004.
- [42] : P. Ekman, W.V. Friesen. *Facial Action Coding System (Investigator’s Guide)*. Consulting Psychologists Press, Inc., Palo Alto, California, USA, 1978.
- [43] : F. I. Park, Computer generated animation faces. In *ACM '72: Proceedings of the ACM annual conference*, 1972.
- [44] : Pighin, J. Hecker, D. Lischinski et al. Synthesizing realistic facial expressions from photographs. In *SIGGRAPH '98: Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, New York, NY, USA, ACM Press, 1998.
- [45] : J. Ostermann, Animation of synthetic faces in mpeg-4. In *CA '98: Proceedings of the Computer Animation*, Washington, DC, USA, IEEE Computer Society, 1998.
- [46] : K.P. Kalra, An interactive multimodal facial animation system. *These de doctorat (PhD)*, Lausanne, 1993.

Bibliographie

[47] : J. M.Doudoux, www.DéveloppeenJavaavec.com Eclipse en 15/12/2008

[48] : Hui Zhao, Chiew-Lan Tai. Subtle Facial Animation Transfert from 2D to 3D Faces with Laplacian deformation. Hong Kong University of Science and technology 2009.