

11/004.450

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

13/838

Thème :

---

---

## Synthèse d'un visage expressif pour les appareils mobiles

---

---

Sous la direction de :

Mme. Bordjiba Yamina

Présenté par :

Hamouda Aymen

Khaldoun Messaoud

Juin 2013



# Dédicace



Â ( Mme Borjiba ),

à ( mon binôme),

à tous ceux qui ont semé en moi à tout point de vue,

à mes parents et à tou(te)s les ami(e)s que le destin a arrachés à la vie :

mon père : (Abdelhakim)

ma mère : (Saliha)

Mon frère, mes sœurs

à tous mes amis surtout :

« *Sabrina* »

Morad, Nassim, Tarek, Wassim,

Mehdi, Bouchra, Besma

Mes collègues du notre département

Mes collègues

.....

*je dédie ce travail.*

.... **Aymen**





À ( Mme Bordjiba ),

À (mon binôme),

à tous ceux qui ont semé en moi à tout point de vue,

à mes parents et à tou(te)s les ami(e)s que le destin a arrachés à la vie :

Mon père : (Djahid)

Ma mère : (Fella)

Mes frères Mohamed et Abed

Mes grandes mères, Mes oncles, Mes tantes, toutes la famille

À tous mes amis surtout :

« *Marwa* »

Rachid, Amine, Issak,

Mes collègues du notre département

Mes collègues

.....

*Je dédie ce travail.*

..... **Messaoud**





# Remerciement

# REMERCIEMENT

Ce travail est l'aboutissement d'un long cheminement au cours duquel nous avons bénéficié de l'encadrement, des encouragements et du soutien de plusieurs personnes, à qui nous tenons à dire profondément et sincèrement merci.

À cet égard, nous remercions tout particulièrement Mme ( Séridi-Bordjiba ) pour tout ce qu'elle a fait pour nous encadrer dans ce projet de fin d'études à implémenter. Elle nous a dirigé et accompagné de très près, à vrai dire pas à pas, jour par jour, et avec beaucoup de patience.

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.

nous remercions toutes les personnes et associations qui, d'une quelconque manière, nous ont apporté leur amitié, leur attention, leurs encouragements, leur appui et leur assistance.

# Résumé

## Résumé

La création d'une animation faciale d'un visage humanoïde 3D est un enjeu important et complexe pour la génération des expressions faciales émotionnelles. En effet, les évolutions récentes des travaux en psychologie des émotions, ainsi que la progression des techniques de l'infographie, permettent aujourd'hui d'animer des personnages virtuels réalistes et capables d'exprimer leurs émotions via de nombreuses méthodes.

Deux grandes familles de techniques d'animation faciale existent : la première est le transfert d'animation qui vise à transférer une expression d'un visage source à un autre visage cible. La seconde est la synthèse qui permet de générer directement l'animation sur un visage virtuel.

Le thème traité dans ce mémoire est la synthèse d'un visage expressif pour les appareils mobiles. Nous avons implémenté une application de synthèse d'animation faciale sous Android par la méthode d'interpolation. Nous avons testé trois fonctions d'interpolation : Linéaire, Sinusoïdale et B-Spline. L'interpolation est la méthode la plus utilisée dans la synthèse d'animation à cause de sa simplicité et ces résultats acceptables.

Le développement sous Android été motivé par plusieurs causes : Open source, la publication d'application est gratuite, la disponibilité des tutoriaux, etc.

Malgré les difficultés rencontrées durant l'implémentation, les résultats obtenus acceptable, par rapport aux travaux déjà réalisé les années précédentes, vu que nous avons une contrainte supplémentaire qui est le développement pour appareils mobiles

**Mots clés :** Animation faciale, Expression faciale, Emotion faciale, Smartphone, Android, Interpolation ,ADT,



# Sommaire



2.1.5. Expression « Joie » . . . . .	26
2.1.6. Expression « Colère » . . . . .	26
2.1.7. Expression « Surprise » . . . . .	27
3. Représentation de l'Expression Faciale . . . . .	27
3.1. Système de Codification des Actions Faciales FACS . . . . .	28
• Inconvénients de FACS . . . . .	29
3.2. Élément du standard MPEG4 . . . . .	29
3.3. Candide . . . . .	30
3.3.1. Paramètres de forme (Shape Units) . . . . .	30
3.3.2. Paramètres d'animation (Animation Units) . . . . .	31
• Formalismes de description d'une expression faciale . .	31
Conclusion . . . . .	33

**Chapitre III**            '*Les appareils mobiles & Android*'

I. Les appareils mobiles . . . . .	34
Introduction . . . . .	34
1. Historique . . . . .	34
2. Appareils mobiles . . . . .	35
3. Types d'appareils mobiles . . . . .	35
3.1. Ordinateurs portables . . . . .	35
3.2. Assistant personnel . . . . .	36
3.3. Tablettes . . . . .	36
3.4. Téléphones mobiles . . . . .	37
3.5. Smartphones . . . . .	37
4. Systèmes d'exploitations du Smartphone . . . . .	38
5. Différents systèmes d'exploitation (OS) . . . . .	38
5.1. Système iOS . . . . .	39
5.2. BlackBerry OS . . . . .	39
5.3. Symbian OS . . . . .	40
5.4. Windows Phone . . . . .	40
5.5. Android . . . . .	40
II. Le système d'exploitation Android . . . . .	41
Introduction . . . . .	41
1. Historique . . . . .	41
2. Définition . . . . .	42
3. La philosophie et les avantages d'Android . . . . .	43
4. Les composants d'un system d'exploitation Android . . . . .	44
4.1. Le noyau ( The kernel ) . . . . .	44
4.2. Les bibliothèques (Libraries) . . . . .	45
4.3. La machine virtuel ( Dalvik ) . . . . .	46
4.4. Le Framework . . . . .	46
4.5. La communication inter processus ( IPC) . . . . .	47
4.6. Les applications Android . . . . .	47
5. Android Market (GooglePlay) . . . . .	48

Conclusion . . . . .	49
----------------------	----

**Chapitre VI** ‘ *Conception & implémentation* ’

I. Conception . . . . .	50
Introduction . . . . .	50
1. Architecture général . . . . .	50
2. Les étapes de synthèse d’animation faciale par l’interpolation . . . . .	52
2.1. Chargement des expressions . . . . .	52
2.2. Génération des images clés . . . . .	52
❖ Interpolation linéaire . . . . .	53
❖ Interpolation sinusoïdale . . . . .	53
❖ Interpolation B-Spline . . . . .	54
II. Implémentation . . . . .	55
Introduction . . . . .	55
1. Environnement de développement . . . . .	55
1.1. Environnement matériel . . . . .	55
1.2. Environnement Logiciel . . . . .	56
1.2.1. Java . . . . .	56
1.2.2. Android Developer Tools (ADT) . . . . .	57
1.2.3. Min3D JAR . . . . .	58
1.2.4. XML Android . . . . .	58
1.2.5. FaceGen . . . . .	58
2. Cycle de vie d’une application Android . . . . .	60
3. Implémentation de l’application . . . . .	61
3.1. Génération d’un modèle visage . . . . .	61
3.2. Etapes d’implémentation . . . . .	61
4. Les interfaces graphiques de l’application . . . . .	63
❖ Menu principal . . . . .	63
❖ Chargement des visages 3D . . . . .	64
❖ L’interpolation . . . . .	65
5. Résultats et discussions . . . . .	68
Conclusion . . . . .	69
Conclusion général . . . . .	70
Bibliographie & webographie . . . . .	71



# Liste des figures & tableaux

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Fig.1.1	<i>Animation faciale 3D.</i>	10
Fig.1.2	<i>Interaction homme/machine pour une animation faciale.</i>	11
Fig.1.3	<i>Système de capture d'un mouvement faciale.</i>	16
Fig.1.4	<i>Talking Head d'un agent virtuel.</i>	19
Fig.2.1	<i>Générateurs de l'émotion.</i>	22
Fig.2.2	<i>Générateurs de l'expression faciale.</i>	23
Fig.2.3	<i>Expression « Neutre ».</i>	24
Fig.2.4	<i>Expression « Dégout ».</i>	25
Fig.2.5	<i>Expression « Tristesse ».</i>	25
Fig.2.6	<i>Expression « Peur ».</i>	26
Fig.2.7	<i>Expression « Joie ».</i>	26
Fig.2.8	<i>Expression « Colère ».</i>	27
Fig.2.9	<i>Expression « Surprise ».</i>	27
Fig.2.10	<i>Représentation des points FDP (Modèle Visage MPEG-4).</i>	30
Fig.2.11	<i>Modèle Candide.</i>	31
Fig.3.1	<i>Exemple de laptop et netbook.</i>	35
Fig.3.2	<i>Exemple d'un Assistant personal Acer N10.</i>	36
Fig.3.3	<i>Exemple d'une tablette iPad Touch par Apple.</i>	36
Fig.3.4	<i>Les différents appareils mobiles 'Smartphone'.</i>	37
Tab.3.1	<i>Les différents version de la plate-forme Android.</i>	42
Fig.3.5	<i>L'architecture générale du système d'exploitation Android.</i>	44
Fig.3.6	<i>les principaux bibliothèque utilisé dans le OS Android.</i>	45
Fig.3.7	<i>les principales ressources offertes par le framework Android.</i>	46
Fig.4.1	<i>L'architecture générale de l'application.</i>	51
Fig.4.2	<i>L'interpolation entre plusieurs visages clés.</i>	52
Fig.4.3	<i>Capture d'écran du logiciel Android Developer Tools.</i>	57
Fig.4.4	<i>Exemple d'un code d'une interface Menu réalisé par Android XML .</i>	58
Fig.4.5	<i>Capture d'écran du logiciel FaceGen Modeller.</i>	59
Fig.4.6	<i>Diagramme pour cycle de vie d'une application Android.</i>	60
Tab.4.1	<i>Tableau descriptif de chaque Activité.</i>	61
Fig.4.7	<i>Notre projet Android.</i>	63
Fig.4.8	<i>Capture d'écran pour le menu principal.</i>	64
Fig.4.9	<i>Chargement d'un modèle de visage 3D.</i>	65
Fig.4.10	<i>Exemple d'animation faciale par l'interpolation linéaire.</i>	66
Fig.4.11	<i>Exemple d'animation faciale par interpolation sinusoidale.</i>	67
Fig.4.12	<i>Exemple d'animation faciale par interpolation B-Spline.</i>	68

# Liste des abréviations

<b>Abréviation</b>	<b>Signification</b>
FACS	Facial Action Coding System
UA	Units Action
FFD	Face Form Deformations
RBF	Radial Basis Functions
EMG	L'électromyographie
MPEG-4	Moving Picture Experts Group
FAPU	Facial Animation Parameter Units
FDP	Facial Definition Points
PDA	Personal Digital Assistant
OS	Operating system
iOS	iPhone Operating system
Apps	Applications
IPC	Inter Processus communication
JVM	JAVA Virtual Machine
AIDL	Android Interface Description Language
XML	Extensible Markup Language
ADT	Android Developer Tools



# **Introduction générale**

Le visage humain est un objet extrêmement intéressant, mais très complexe. La complexité n'est pas juste liée à la structure anatomique mais aussi aux actions musculaires, dynamiques, et réactions psychologique et comportementaux de l'être humain. Ainsi, la conception d'un système d'animation faciale comporte plusieurs composants. En outre, ces composants peuvent inclure des informations provenant de différents médias et des ressources.

Le fait d'animer un visage manuellement action par action est une tâche très fastidieuse et peut ne pas donner les résultats souhaités. Les visages ont leur propre langue où les actions faciales peuvent exprimer des émotions, illustrer des discours, commenter des sentiments ou montrer de l'attitude. La connaissance de cette langue et son interaction avec le visage est essentiel pour améliorer le système d'animation faciale. En outre, la compréhension des mouvements de geste de la tête et les yeux qui accompagnent la parole et amplifier le processus de communication est très importante.

Il existe plusieurs applications pour l'animation faciales, s'étendant des avatars en 3D dans les différents environnements de communication (chat, téléconférences, etc.) où l'animation des expressions faciales joue un rôle crucial, à la médecine et la simulation des phénomènes scientifiques, le cinéma et la publicité, jeux vidéo, éducation, etc.

Les systèmes d'exploitation (OS) les plus dominants aux marché des Smartphones sont : Android et iOS , comme nous avons choisis le système Android pour développer notre application.

Nous nous intéressons dans ce mémoire à la synthèse d'animation faciale pour les appareils. Notre objectif est de concevoir et d'implémenter une application qui permet de générer des animations faciale sur un visage expressif par déformation du maillage en utilisant l'interpolation avec différentes fonctions.

Le mémoire est constitué de quatre chapitres, présentés comme suit :

- *Chapitre I*

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'animation faciale et son historique et ses approches, ainsi que les différentes techniques de synthèse des animations faciale. Enfin, nous avons survolé quelques domaines d'application.

- *Chapitre II*

Dans ce chapitre, nous avons détailler l'expression faciale d'un visage humain, puis les différents expressions de base avec ses représentations dans le monde virtuel.

- *Chapitre III*

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux différents types d'appareils mobiles, ses caractéristiques, et ses system d'exploitation avec une études bien détaillée sur le système d'exploitation Android OS.

- *Chapitre VI*

Le dernier chapitre du notre mémoire est devisé en deux partie, dans la première nous avons donné les étapes de conception du notre application avec une explication de la méthode d'interpolation.

Dans la seconde partie de ce chapitre, nous avons présenté un aperçu des outils de développement de notre application, ainsi tous les résultats obtenus.

Finalement, ce mémoire termine par une conclusion général qui englobe la problématique du notre projet de fin d'études avec des perspectives.

# Chapitre I

*« L'animation faciale »*

**Mots clés :** *Animation faciale, Visage 3D, Expressions, Simulations physique, Talking Heads .*



## Introduction

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 (Talking Heads) 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.

Le domaine de la modélisation et de l'animation de visages virtuels a été initié par Frederick Parke<sup>1</sup>, en 1972 et en 1974, qui a défini le premier système de paramétrisation de visages humains permettant leur animation.

L'animation par ordinateur de visages parlants peut être décomposée en deux grandes familles les animations faciales non temps réel et celles temps réel.

Les expressions du visage forment un langage particulier dont l'étude est très importante dans le domaine des sciences comportementales, de la psychologie et de la Langue des Signes.

Dans ce chapitre, nous détaillons les deux approches de l'animation faciale : la synthèse et le transfert ainsi que les différents domaines d'application de l'animation faciale.

### 1. Historique

Les expressions du visage humain ont fait l'objet de l'investigation scientifique depuis plus de cent ans. L'étude des mouvements et des expressions faciales a commencé par un point de vue biologique. Après quelques recherches ont été faites tel que : John Bulwer en 1640, le livre de Charles Darwin (*The Expression of the Emotions in Men and Animals*). Ces recherches peuvent être considéré comme une départ majeure pour la recherche moderne en biologie comportementale.

Plus récemment, l'une des tentatives les plus importantes pour décrire les activités du visage (mouvements) a été le système « Facial Action Coding System » (FACS) introduit par

---

<sup>1</sup> Frederick Parke est diplômé de l'Université de l'Utah avec un baccalauréat en physique en 1965. Il était alors un étudiant diplômé de l'Université de l'Utah College of Engineering, où il a obtenu son MS (1972) et un doctorat (1974) en informatique.

*Ekman*<sup>2</sup> et Friesen en 1978, FACS définit 46 unités d'action de base du visage (UA). Un groupe important de ces unités d'action représentent les mouvements des muscles faciaux primitifs dans des actions telles que l'élévation sourcils, clins d'œil, et la parole.

La modélisation par ordinateur basée sur l'expression du visage et de l'animation n'est pas nouvelle. Les premiers travaux avec l'ordinateur basé sur la représentation du visage ont été faits dans le début des années 1970, La première animation tridimensionnelle du visage a été créée par *Parke* en 1972. Le Début des années 1980 a vu le développement du premier modèle visage à base physique musculaire contrôlée par *Platt* et le développement des techniques de caricatures du visage de *Brennan*. En 1985, l'animation courte `` Tony de *Peltrie*<sup>3</sup> était un point de repère pour l'animation faciale (Son succès est dû au fait que pour la première fois le spectateur peut s'identifier à un personnage d'animation, tant la vérité des images et des sons est réussie).

## **2. Animation faciale**

### **2.1. Définition**

L'animation faciale est l'un des domaines les plus intéressants et le thème le plus étudié dans l'animation réalisé par l'ordinateur. Réaliser une animation faciale est une tâche exigeante et bien que des recherches aient été faites pour améliorer et faciliter la création d'animations, il n'existe actuellement aucune norme pour le faire automatiquement.

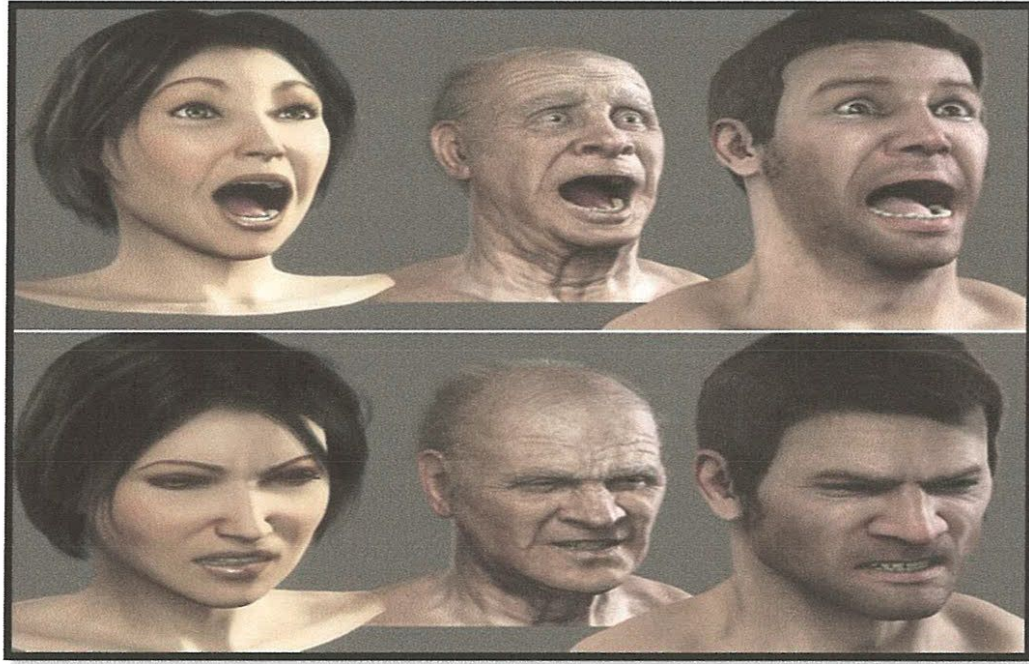
Dans l'animation faciale, il est important de créer des expressions faciales, car elle nécessite de l'animateur de créer, non seulement la forme générale, mais toutes les subtilités qui lui est associé et aussi décrire ses émotions.

---

<sup>2</sup> *Paul Ekman, né le 15 février 1934, est un psychologue américain. Il fut l'un des pionniers dans l'étude des émotions dans leurs relations aux expressions faciales.*

<sup>3</sup> *Tony de Peltrie est un film d'animation créé au Centre de calcul de l'Université de Montréal par un groupe de pionniers groupés autour de Pierre Lachapelle à Montréal en 1985.*





*Fig.1.1 : Animation faciale 3D.*

## 2.2. Objectifs

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.

On peut déduire les objectifs principaux suivants:

- Définir de nouveaux modèles et de nouveaux outils pour l'analyse et la synthèse audio et vidéo, afin de produire les technologies essentielles pour l'utilisation à grande échelle d'environnements virtuels augmentés<sup>4</sup>.
- Rendre les interactions humain/machine les plus naturelles possible, en se basant sur l'ensemble des communications humaines, comme la parole, les expressions faciales et les mouvements du corps.
- Un autre challenge durant ces dernières années a été l'intégration d'animation faciale dans plusieurs applications aux différents plates-formes pour les appareils mobiles tels que (téléphones mobiles, Pockets, tablettes, etc.).

<sup>4</sup> La réalité augmentée désigne les systèmes informatiques qui rendent possible la superposition d'un modèle virtuel 3D ou 2D à la perception que nous avons naturellement de la réalité et ceci en temps réel.



*Fig.1.2 : Interaction homme/machine pour une animation faciale.*

### **3. Types d'animation faciale**

L'animation par ordinateur de visages peut être décomposée en deux grandes familles répondant à des applications et des contraintes radicalement différentes.

#### **3.1. 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 photo-réalistes<sup>5</sup>, et les effets spéciaux, de produire des animations faciales sur des modèles de type dessins animés ou sur des humains virtuels très réalistes.

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

<sup>5</sup> Le photo-réalisme qualifie une œuvre visuelle tellement détaillée, ou « bien faite », qu'elle peut passer pour une photographie. Il s'applique au domaine de l'infographie.



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'interpolation, 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. [bib<sub>01</sub>]

### 3.2. 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 utilisé, 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. 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.

La technique de déformation la plus utilisée est basée sur l'interpolation par images-clefs (morph-target) 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. [bib<sub>01</sub>]

## 4. Techniques d'animation faciale

L'animation de visage est un des domaines de l'animation en informatique graphique des plus complexes. 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 est très sensible aux moindres défauts. On peut distinguer deux principales familles de techniques d'animation faciale, 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 réel issues de capture de mouvement.

### 4.1. Synthèse d'animation faciale

Parke, au début des années 70, fût le premier à présenter un visage virtuel animé. Le maillage<sup>6</sup> 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. [bib<sub>02</sub>]

La synthèse d'animation faciale peut être séparée en deux classes de méthodes, la première est basée sur des pseudo-muscles, c'est-à-dire que l'on va essayer de reproduire les

---

<sup>6</sup> Un maillage est la discrétisation spatiale d'un milieu continu, ou aussi, une modélisation géométrique d'un domaine par des éléments proportionnés finis et bien définis.



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.

#### **4.1.1. 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 reste 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. [bib<sub>03</sub>]

- **Paramétrisation directe**

La paramétrisation directe consiste à définir un certain nombre de paramètres à faire varier au cours du temps (ouverture des yeux, haussement des sourcils etc.).

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.

De nombreuses méthodes pour déformer un visage et ainsi générer des expressions ont été développées : FFD (Face Form Deformations) consistent à déplacer des points de contrôle répartis dans l'espace sous forme de grille dans le but de déformer un objet volumétrique, RBF (Radial Basis Functions) utilisées pour générer intuitivement les expressions d'un visage. [bib<sub>03</sub>]

#### **4.1.2. 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).

#### ▪ **Systèmes masses/ressorts**

Les systèmes masses/ressorts permettent de simuler l'élasticité de la peau 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.

Kähler et al ont décrit une modélisation polyvalente du visage, leur technique permet de calculer automatiquement les couches du visage à partir des données bruitées 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. [bib04]

#### ▪ **Représentation vectorielle des muscles**

Waters<sup>7</sup> 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. Cette technique offre de bons résultats, cependant, il arrive que certains sommets du maillage appartiennent aux zones d'influence de plusieurs muscles, produisant ainsi des effets non désirés (artefacts, trous dans le maillage etc.). [bib05]

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.

---

<sup>7</sup> Keith Waters a été né en 1962 dans le Kent en Angleterre Ses études requies de nombreux voyages à Bounds Green à utiliser les ressources informatiques au sein de l'école d'ingénieurs.



## 4.2. Transfert d'animation

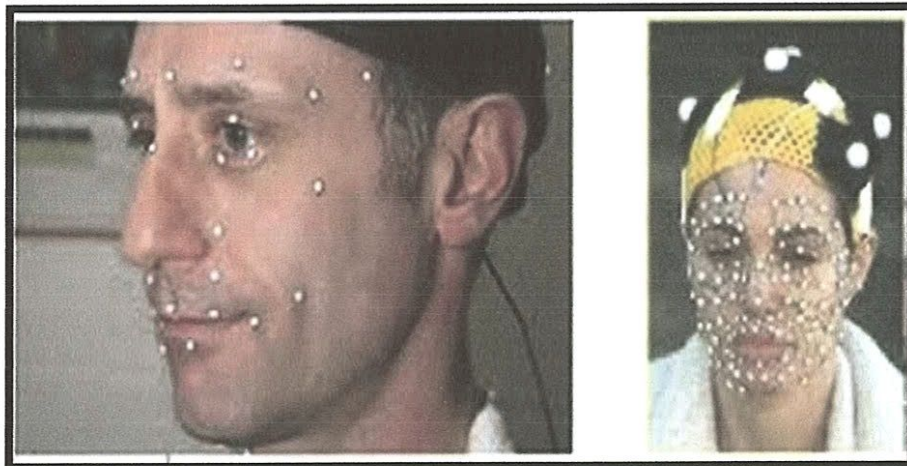
L'alternative à la synthèse d'animation faciale, en essayant de copier le fonctionnement physique et musculaire du visage humain, est de capturer les performances d'un acteur réel. On peut distinguer deux étapes, la capture en elle-même et l'adaptation de cette capture à un visage virtuel.

### 4.2.1. Capture de mouvement

La capture de mouvement, largement utilisée pour l'animation de squelette, a également été adaptée à l'animation faciale.

L'idée générale est de repérer les déplacements d'un certain nombre de points clés représentatifs des mouvements effectués par l'acteur et de les appliquer à un visage virtuel.

[bib<sub>06</sub>]



*Fig.1.3 : Système de capture d'un mouvement faciale.*

### 4.2.2. Réutilisation d'animation existante

L'acquisition d'animation faciale offre de bons résultats lorsqu'il s'agit d'animer un personnage virtuel identique à l'acteur réel (obtenu par scan par exemple). Cependant, un visage virtuel plus allongé, ou ayant les joues plus rondes ou des espacements des yeux différents ne peut être animé de manière réaliste simplement, sans adaptation à sa morphologie. Cette section est consacrée aux nombreux algorithmes de transfert d'animation qui adaptent une animation existante à d'autres visages.

De nombreuses méthodes se basent sur deux ensembles d'expressions clés (un ensemble pour le visage source et un pour le visage cible) représentant les mêmes expressions. Une

nouvelle expression est alors définie comme la pondération de ces expressions clés. Une pondération doit être obtenue à chaque instant de l'animation source pour ensuite être appliquée au visage cible. Ces méthodes (dites de « Cross-mapping ») diffèrent sur les données d'entrée, le nombre d'expressions clés, le choix des expressions clés, les calculs de pondération etc.

## **5. Domaine d'application**

L'animation faciale trouve des applications dans de nombreux domaines. On peut considérer qu'il existe deux familles d'applications : les applications hors-ligne où l'utilisateur n'est que simple spectateur, et celles qui travaillent en temps réel où l'interactivité permet d'accroître l'immersion de l'utilisateur.

### **5.1. Cinéma et télévision**

Soit pour les effets spéciaux où de plus en plus les acteurs sont remplacés par des modèles virtuels pour les scènes coûteuses ou non réalisables directement par l'acteur, soit pour les films d'animation dans lesquels les personnages sont entièrement modélisés et animés par ordinateur.

L'industrie cinématographique a été l'une des premières à utiliser des visages virtuels. Le film *Tony de Peltrie* mis en scène un personnage 3D avec une animation faciale expressive en 1985. L'animation faciale a également été utilisée dans des films « classiques », soit pour réaliser certaines scènes de cascades comme dans *Matrix Reloaded*(2002)<sup>8</sup>, soit pour insérer un personnage virtuel dans des scènes réelles.

Aujourd'hui, de plus en plus de films d'animation sortent chaque année. Les moyens métrages pour enfants, les spots publicitaires ou encore les clips musicaux utilisent aussi abondamment la 3D et les personnages virtuels. Les chaînes de production peuvent cependant varier d'un film à un autre, en effet, certains d'entre eux animent des personnages non-réels, Notamment en terme de temps et de ressources. De plus, la non-interactivité des scènes produites permet aux artistes de travailler sur un socle scénaristique fixe. Cependant, les exigences de certaines productions impliquent des efforts de plus en plus conséquents et le besoin d'outils, à tous les niveaux de la chaîne de production, augmente.

---

<sup>8</sup> *Matrix Reloaded*(*The Matrix Reloaded* en version originale) est un film américain de science-fiction réalisé par les Andy et Lana Wachowski et sorti en 2003.



## 5.2. Jeux vidéo et réalité virtuel

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

Le réalisme d'un personnage joue un rôle primordial dans l'immersion du joueur ou de l'utilisateur. L'animation et le rendu des personnages doivent être réalisés en temps réel, ce qui impose des contraintes importantes, sans oublier le fait que le ou les visages ne constituent qu'une partie minime d'une scène complexe pour laquelle les ressources sont partagées.

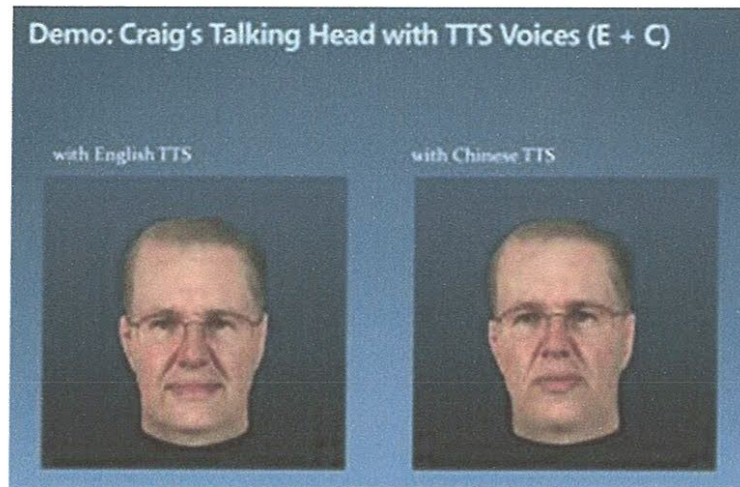
Ces personnages virtuels peuvent être utilisés sous trois formes différentes : le personnage de l'utilisateur, les personnages des autres utilisateurs, qui doivent refléter au mieux les attitudes et émotions pour améliorer l'immersion, ainsi que les personnages non-joueurs, dirigés par l'application, mais agissant tout de même en fonction des utilisateurs. On peut également noter d'importantes différences liées à la nature des personnages qui, comme dans les productions cinématographiques, dans de nombreux jeux-vidéos ou des mondes virtuels.

## 5.3. Têtes parlantes (Talking Head)

Des visages virtuels peuvent également être utilisés dans le cadre de « têtes parlantes» pour lire l'actualité en streaming (flux de données) sur Internet par exemple.

L'animation faciale est alors créée à partir de textes ou de sons et travaille sur la synchronisation des lèvres.

En plus de la parole et de l'animation de la bouche du personnage virtuel qui lui est liée, ils peuvent être dotés d'émotions et d'expressions faciales, permettant de rendre leurs messages et leurs réponses plus humaines. [bib<sub>07</sub>]



*Fig.1.4 : Talking Head d'un agent virtuel .*

#### **5.4. Interaction homme/machine**

L'animation faciale joue un rôle important qui est celui de l'interaction homme/machine. En effet, face à une machine il est plus convivial et moins stressant d'avoir une interaction avec un visage virtuel exprimant des émotions réalistes.

Une autre utilisation d'interaction des dialogues homme-machine : l'avancée des techniques d'intelligence artificielle<sup>9</sup> permet en effet de créer des agents virtuels capables de répondre aux questions d'un utilisateur.

#### **5.5. Visio-conférence**

Dans le domaine de la visio-conférence, chaque participant peut être incarné par son avatar<sup>10</sup>. Dans ce cadre et en considérant que les utilisateurs sont novices<sup>11</sup> dans le domaine de l'animation faciale, la création de l'avatar et de son animation doit se faire le plus simplement possible. [bib08]

<sup>9</sup> L'intelligence artificielle est la recherche de moyens susceptibles de doter les systèmes informatiques de capacités intellectuelles comparables à celles des êtres humains

<sup>10</sup> Un avatar est un personnage représentant un utilisateur sur Internet et dans les jeux vidéo.

<sup>11</sup> Utilisateur novice est un utilisateur du différents outils informatiques sans grand expérience.



## Conclusion

Plus généralement, l'animation faciale est un point délicat à cause notamment de la complexité de sa création. On peut remarquer qu'un axe principal de la recherche est de proposer des techniques pour faciliter, améliorer, rendre plus accessible et plus rapide le travail du graphiste et/ou de l'animateur.

Dans ce chapitre, nous avons décrit l'animation faciale par l'ordinateur, suivie d'une description détaillée de ses différentes techniques. Et enfin, nous avons présenté ses principaux domaines d'utilisation.

# Chapitre II

## « *L'expression faciale* »

**Mots clés :** *Expressions /Emotion faciales, FACS, FAPU,FFD, RBF, MPEG-4, Candide, Interpolation .*

## **Introduction**

La richesse de l'expressivité faciale provient des multiples canaux de communication qu'elle met en jeu, et l'un des plus connus est porté par ce que l'on appelle les expressions faciales. Plusieurs classifications des expressions faciales existent, mais dans la plupart des contextes applicatifs, on en distingue trois principaux types: les visemes, les expressions conversationnelles et les expressions émotionnelles.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons exclusivement aux expressions faciales émotionnelles (les expressions faciales et les émotions). Sous ce terme, nous regroupons les expressions manifestant des états émotionnels, ou humeurs (joie, tristesse), ainsi que des réactions émotionnelle plus spontanées (surprise, dégoût). Nous nous focalisons sur ce type d'expressions car il est une composante essentielle de la communication non-verbale, et son rôle primordial dans les interactions humaines a été reconnu dans de nombreuses études.

Les expressions émotionnelles aident à sentir le contexte, le ton d'un message et la signification de certains comportements.

## 1. Emotion faciale

Expressions et émotions sont très liées et parfois confondues, l'émotion est un des générateurs des expressions faciales. L'émotion se traduit via de nombreux canaux comme la position du corps, la voix et les expressions faciales. Une émotion implique généralement une expression faciale correspondante (dont l'intensité peut être plus ou moins contrôlée selon les individus), mais l'inverse n'est pas vrai : il est possible de mimer une expression représentant une émotion sans pour autant ressentir cette émotion. Alors que, les expressions dépendent des individus et des cultures, on distingue généralement un nombre limité d'émotions universellement reconnues. [bib<sub>09</sub>]

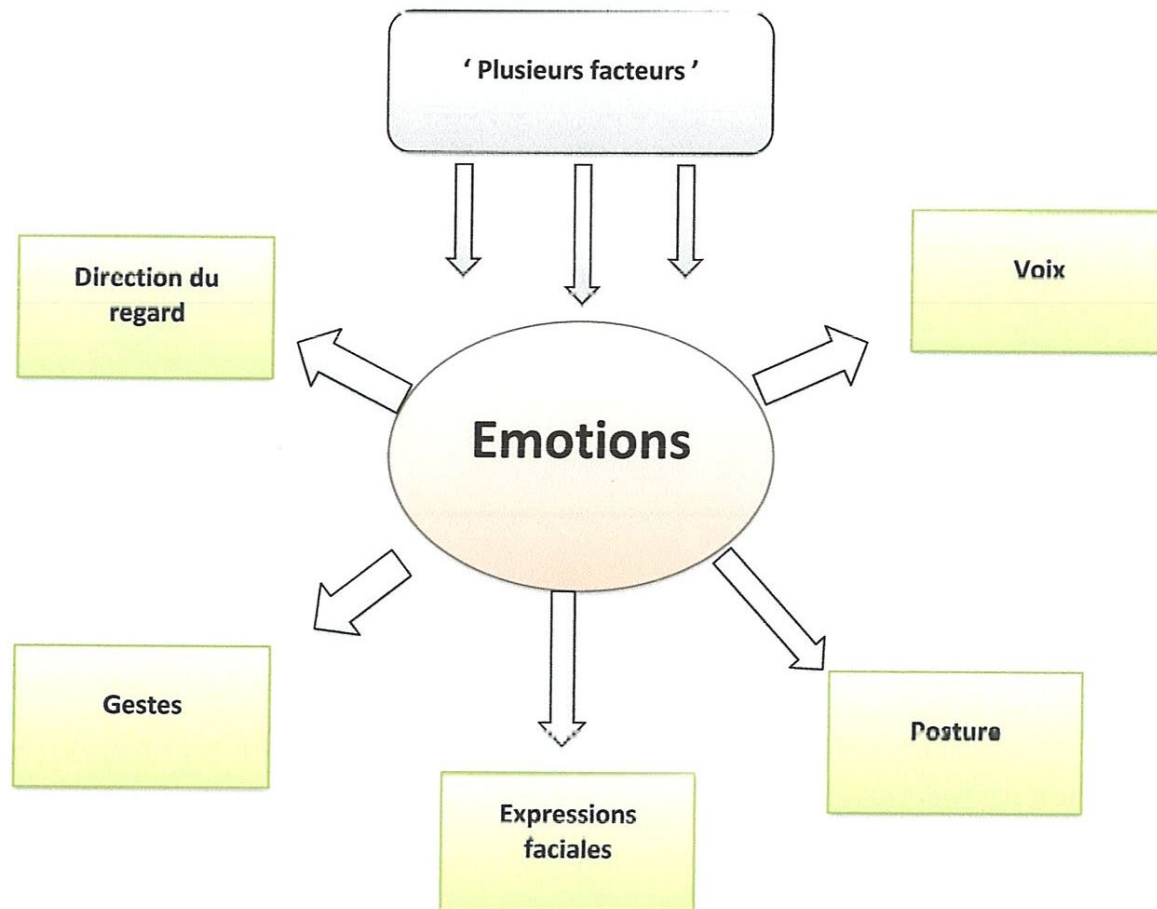


Fig.2.1 : Générateurs de l'émotion.



## 2. Expression faciale

L'expression faciale est une mimique faciale chargée de sens. Le sens peut être l'expression d'une émotion, un indice sémantique ou une intonation dans la Langue des Signes. L'interprétation d'un ensemble de mouvements musculaires en expression est dépendante du contexte d'application. Dans le cas d'une application en Homme-Machine où l'on désire connaître une indication sur l'état émotionnel d'un individu, on cherchera à classifier les mesures en termes d'émotions. [bib<sub>09</sub>]

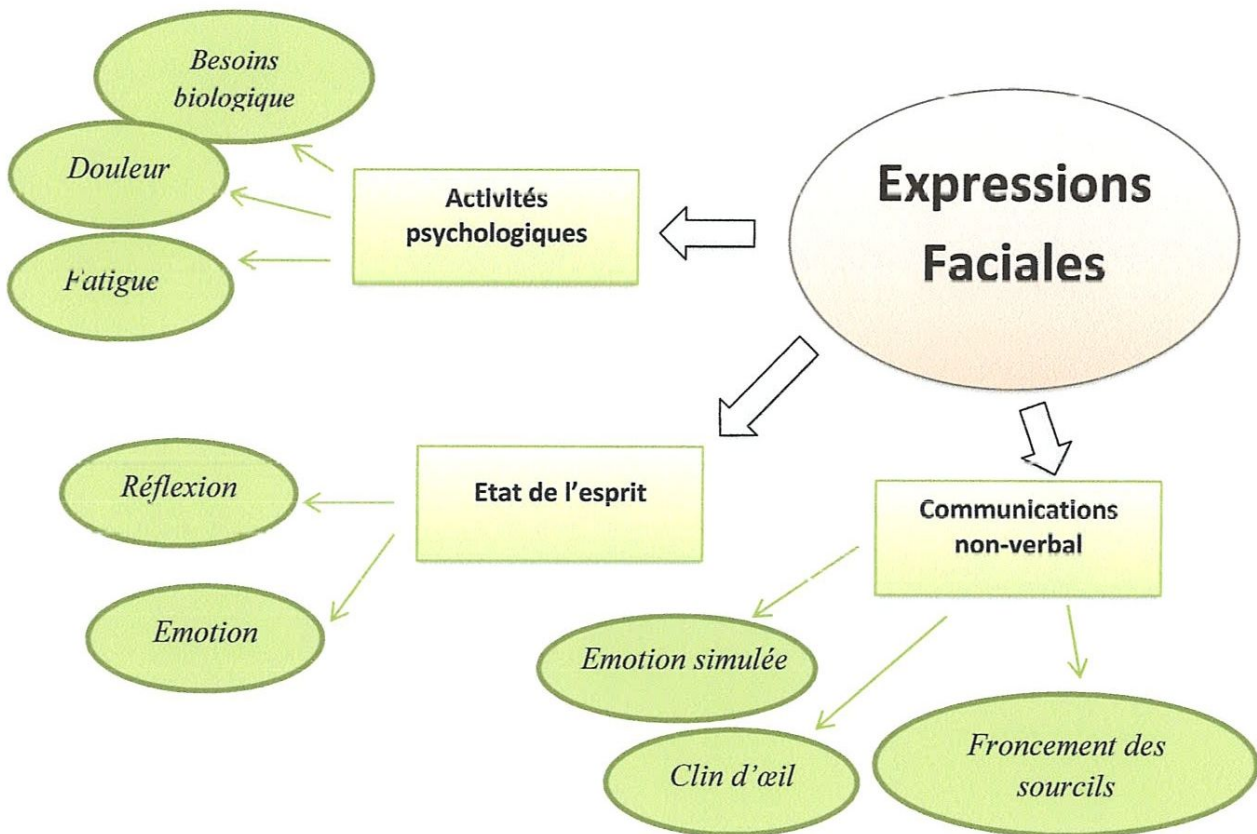


Fig.2.2 : Générateurs des expressions faciales.

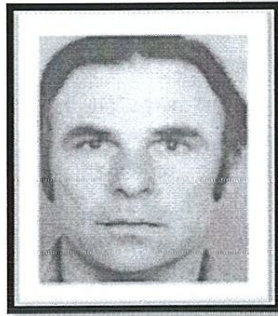
« Une émotion peut causer une expression faciale ou non et une expression faciale peut être causée par une émotion ou non ». [bib<sub>09</sub>]

## 2.1. Expressions faciales de base

Paul Ekman, psychologue, s'intéresse à partir du milieu des années 1960 aux expressions et émotions humaines. Il établit qu'il existe un nombre limité d'expressions reconnues par tous, indépendamment de la culture. Il met donc en évidence l'universalité de certaines émotions innées qui correspondent aux sept émotions suivantes: la neutralité, la joie, la tristesse, la surprise, la peur, la colère et le dégoût. [bib<sub>10</sub>]

### 2.1.1. Expression « Neutre »

Afin d'être le plus neutre possible, les différents muscles du visage doivent être au repos, détendus au maximum. Donc, c'est le visage qui s'appelle « état repère » pour les déformations musculaires.



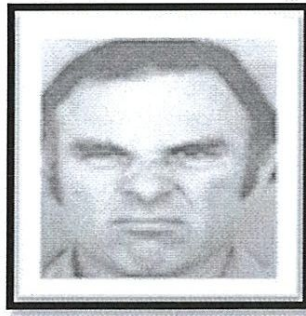
*Fig.2.3 : Expression « Neutre »*

### 2.1.2. Expression « Dégoût »

Le dégoût est l'expression la plus complexe parce que Les déformations survenues sur le visage touchent plusieurs parties :

- La partie intérieure des sourcils est légèrement abaissée.
- Le sillon infra-orbital (partie en dessous de l'œil) est ridé
- Les narines sont étirées et élargies.
- Le menton, quant à lui, remonte quelque peu également.
- Le nez est retroussé, des rides apparaissent ainsi au niveau des joues (le long du nez) et également à sa racine.
- Ce mouvement est réalisé par le triangle infra-orbital <sup>12</sup>, ce qui a d'ailleurs pour effet la réduction du champ de vision : l'œil est à demi ouvert.
- La bouche est fermée mais on peut remarquer que la lèvre supérieure remonte.

<sup>12</sup> Nerf infra orbital : Ce nerf innerve la paupière inférieure, la lèvre supérieure, et une partie du vestibule nasal et sort du trou sous-orbitaire de l'os maxillaire.



*Fig.2.4 : Expression «Dégout»*

### 2.1.3. Expression « Tristesse »

- Les paupières recouvrent une partie du champ de vision.
- La bouche est serrée mais elle descend légèrement.
- Le mouvement principal de cette émotion vient sans nul doute des sourcils. Ceux-ci sont légèrement froncés pour donner cette forme « / \ » ou encore « ) ( ».
- Par ce mouvement, la partie intérieure du front est levée. Des rides y apparaissent, elles sont horizontales au centre et courbées aux extrémités.



*Fig.2.5 : Expression «Tristesse»*

### 2.1.4. Expression « Peur »

- Les yeux sont grands ouverts, écarquillés.
- Ce mouvement des yeux a pour effet le redressement des sourcils.
- La bouche est ouverte mais cela reste néanmoins un mouvement horizontal. Les lèvres sont donc étirées, toujours dans un mouvement latéral.
- La paupière est entièrement levée, elle disparaît totalement. La pupille est visible dans sa totalité. Le champ de vision est au maximum. La personne semble fixer quelque chose comme si elle ne pouvait s'en détacher.
- Les narines sont élargies.



- Le menton est également étiré.



*Fig.2.6 : Expression «Peur»*

### 2.1.5. Expression « Joie »

- Les yeux sont légèrement plissés, c'est-à-dire que la paupière inférieure couvre en partie l'œil.
- La partie basse de la joue (ce que l'on appelle la ride nosolabiale) est levée latéralement.
- Le zygomatique<sup>13</sup> travaille également lors de cette expression : le coin des lèvres est de ce fait remonté.
- Mouvement du triangle infra-orbital : les joues sont remontées, formant des plis en dessous de l'œil.
- La personne peut montrer les dents si elle le désire.



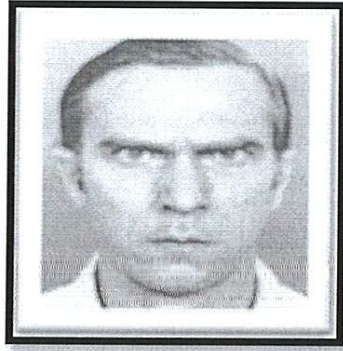
*Fig.2.7 : Expression «Joie»*

### 2.1.6. Expression « Colère »

- On remarque également que, à l'extrémité de la partie intérieure des sourcils, quelques rides se forment comme ceci « / \ » ou encore « ) \ » et atteignent ainsi le milieu du front.

<sup>13</sup> Le muscle zygomatique : est un muscle pair inconstant agissant sur la lèvre supérieure.

- Les sourcils ont tendance à se rejoindre, ils sont froncés, plissés (rides entre les sourcils). De plus, leur partie intérieure est abaissée légèrement ce qui a pour effet de réduire une partie du champ de vision.
- La paupière recouvre une partie de l'œil.



*Fig.2.8 : Expression «Colère»*

#### 2.1.7. Expression « Surprise »

- Les yeux sont grands ouverts.
- La bouche est ouverte verticalement.
- Les sourcils sont soulevés. [bib<sub>10</sub>]



*Fig.2.9 : Expression «Surprise»*

### 3. Représentation de l'Expression Faciale

Le visage est une zone importante du corps humain composée de plusieurs muscles. L'électromyographie<sup>14</sup> (EMG) est une technique permettant de mesurer l'activité musculaire au cours du temps. Les muscles de la zone supérieure du visage n'ont que peu d'influence sur les muscles de la zone inférieure et vice-versa. Il est donc possible de découper l'analyse en deux zones.

Les travaux fondamentaux dans le domaine de l'analyse des expressions du visage sont dus principalement à Charles Darwin, Guillaume Duchenne De Boulogne au XIXème siècle et plus récemment Paul Ekman.

Charles Darwin, est le premier à traiter de l'universalité des expressions du visage et à proposer une théorie évolutionniste sur la formation des expressions. L'argument principal est que les expressions des enfants et des nouveaux nés existent aussi chez les adultes. D'après lui, l'expression des émotions est un processus nécessaire à la survie. Ainsi, les expressions non-verbales sont aussi importantes que les interactions verbales dans le processus de communication humain. [bib<sub>11</sub>]

Au XIXème siècle, Guillaume Duchenne de Boulogne est le premier à localiser individuellement les différents muscles faciaux par activation électrique. Il est un des premiers à livrer à la communauté scientifique un ensemble de photographies montrant l'activation des différents muscles faciaux.

#### 3.1. Système de Codification des Actions Faciales FACS

En 1978, Ekman et Friesen présentent un système de codification manuelle des expressions du visage. Leurs travaux d'observation leur permettent de décomposer tous les mouvements visibles du visage en termes de 46 unités d'Actions qui décrivent les mouvements élémentaires des muscles. N'importe quelle mimique observée peut donc être représentée sous la forme d'une combinaison d'unités d'Actions. Ce système de codage est connu sous le nom de Facial Action Coding System (FACS). FACS s'est imposé depuis comme un outil puissant de description des mimiques du visage, utilisé par de nombreux psychologues.

---

<sup>14</sup>L'électromyographie (EMG) est une technique médicale qui permet d'enregistrer, avec un électromyographe, les courants électriques qui accompagnent l'activité musculaire. Elle permet d'étudier le système nerveux périphérique, les muscles et la jonction neuromusculaire.



- **Inconvénients du FACS**

Bien que FACS soit un système de description bénéficiant d'une grande maturité (plusieurs années de développement), il souffre cependant de quelques inconvénients :

- Complexité: on estime qu'il faut 100 heures d'apprentissage pour en maîtriser les principaux concepts.
- Difficulté de manipulation par une machine: FACS a d'abord été créé pour des psychologues, Certaines mesures restent floues et difficilement évaluables par une machine.
- Manque de précision: les transitions entre deux états d'un muscle sont représentées de manière linéaire, ce qui est une approximation de la réalité. En particulier les mesures temporelles de l'activation des muscles faciaux ne sont pas mises en évidence. [bib<sub>11</sub>]

### 3.2. Élément du standard MPEG4

La norme de codage vidéo MPEG-4 dispose d'un modèle du visage humain développé par le groupe d'intérêt Face and Body Ad Hoc Group<sup>15</sup>. C'est un modèle 3D articulé. Ce modèle est construit sur un ensemble d'attributs faciaux, appelés Facial Definition Points (FDP). Des mesures sur ces FDP sont effectuées pour former des unités de mesure (Facial Animation Parameter Units) qui servent à la description des mouvements musculaires (Facial Animation Parameters - équivalents des Actions Unitaires d'Ekman).

Les Facial Animation Parameter Units (FAPU) permettent de définir des mouvements élémentaires du visage ayant un aspect naturel. En effet, il est difficile de définir les mouvements élémentaires des muscles de manière absolue: le déplacement absolu des muscles d'une personne à une autre change, mais leurs déplacements relatifs à certaines mesures pertinentes sont constants.

C'est ce qui permet d'animer des visages de manière réaliste et peut permettre de donner des expressions humaines à des personnages non-humains. Comme exemples de FAPU, on peut citer la largeur de la bouche, la distance de séparation entre la bouche et le nez, la distance de séparation entre les yeux et le nez, etc. Par exemple, l'étirement du coin de la lèvre gauche (Facial Animation Parameter 6 stretch\_1\_cornerlip) est défini comme le

<sup>15</sup> Groupe ad hoc (FBA) traite la codification du visages et les corps humains, à savoir la représentation efficace de leur forme et le mouvement.

déplacement vers la droite du coin de la lèvre gauche d'une distance égale à la longueur de la bouche. Les FAPUs sont donc des mesures qui permettent de décrire des mouvements élémentaires et donc des animations. [bib<sub>12</sub>]

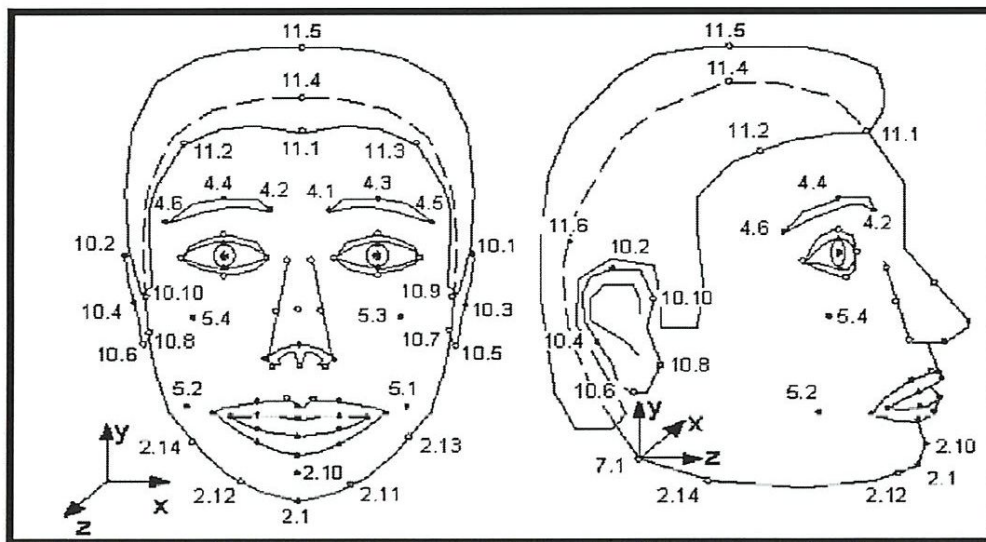


Fig.2.10 : Représentation des points FDP (Modèle Visage MPEG-4).

### 3.3. Candida (Active appearance model)

Candida est un modèle du visage. Il est composé d'un modèle en fil de fer représentant un visage générique et d'un ensemble de paramètres :

#### 3.3.1. Paramètres de forme (Shape Units)

Ces paramètres permettent d'adapter le modèle générique à un individu particulier. Ils représentent les différences inter-individus et sont au nombre de 12 :

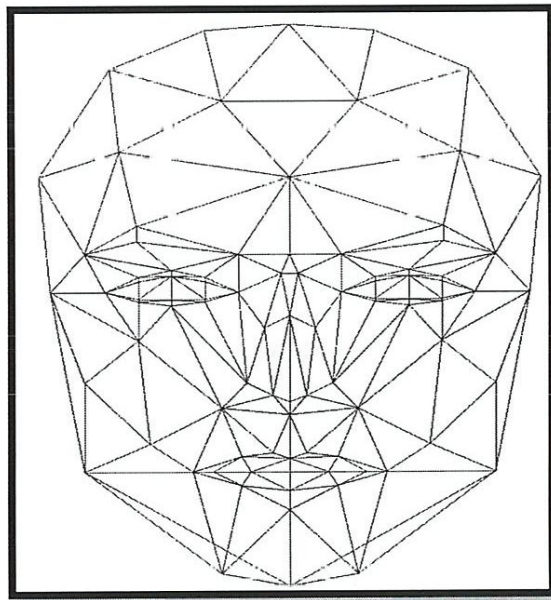
1. Hauteur de la tête,
2. Position verticale des sourcils,
3. Position verticale des yeux,
4. Largeur des yeux,
5. Hauteur des yeux,
6. Distance de séparation des yeux,
7. Profondeur des joues,
8. Profondeur du nez,
9. Position verticale du nez,

10. Degré de courbure du nez (s'il pointe vers le haut ou non),
11. Position verticale de la bouche,
12. Largeur de la bouche.

### 3.3.2. Paramètres d'animation (*Animation Units*)

Ces paramètres représentent les différences intra-individus, i.e. les différentes actions faciales. Ils sont composés d'un sous-ensemble de FACS et d'un sous-ensemble des FAPs de MPEG-4. Les FAPs sont définis par rapport à leur FAPU correspondant. Ces paramètres, qu'ils soient d'animation ou de forme, sont représentés sous forme d'une liste de points du modèle de fil de fer à mettre à jour.

Candide permet de voir clairement la différence entre les AUs de FACS et les FAPs de MPEG-4: les AUs de FACS sont exprimées de manière absolue, à la différence des FAPs qui sont exprimés par rapport à des mesures du visage (les FAPUs).



*Fig.2.11 : Modèle Candide.*

- **Formalismes de description d'une expression faciale**

La description des expressions du visage est un ensemble d'interprétations successives d'indices visuels. Un sens (dépendant du domaine d'application) est construit à partir de mesures de bas niveaux (présence ou non d'une composante, position éventuelle). Ces mesures sont combinées successivement spatialement, puis de manière temporelle pour



former le sens attendu (émotion sous-jacente par exemple). On introduit ici un vocabulaire nécessaire à la description.

- a. **Attribut facial** : un attribut facial est une propriété élémentaire centrée objet caractérisant un visage.

La position des yeux est un attribut facial. La présence de barbe est un autre attribut. Les attributs faciaux directement visibles sont dits de premier ordre. Les attributs qui ne peuvent être mesurés qu'à partir d'autres attributs de premier ordre, sont des attributs de second ordre et ainsi de suite.

- b. **Indice visuel** : un indice visuel est une propriété élémentaire centrée observateur du visage : c'est un attribut facial qui est observé et visible. Certains attributs ne sont pas visibles chez certaines personnes (barbe, moustache, sourcils); certains ne sont visibles qu'à certains moments

- c. **Action faciale** : une action faciale est un ensemble d'indices visuels intégrés de manière temporelle. Le relèvement des sourcils est par exemple une action faciale composée d'un ensemble de positions successives des sourcils. Une action faciale est généralement décrite par sa dynamique : le relèvement des sourcils consiste en une position actuelle des sourcils plus haute que sa position précédente.

- d. **Composante faciale** : une composante faciale est une partie du visage. Le découpage en composantes est celui du langage naturel : les yeux, le nez, la bouche, les joues, les sourcils, la barbe, etc. Bien que certaines puissent être entièrement caractérisées par un ensemble d'attributs faciaux (les yeux peuvent être caractérisés par leur forme, leur couleur, la présence et la longueur des cils, etc.), d'autres ne sont que des mesures floues et sont difficiles à caractériser à partir d'indices visuels objectifs élémentaires
- [bib<sub>13</sub>]

## Conclusion

Les expressions faciales et les émotions sont deux notions extrêmement liées, et très importantes dans le domaine de l'animation faciale.

Dans ce chapitre, nous avons décrit amplement ces deux notions de base ainsi de leurs représentations.

# Chapitre III

## « *Les appareils mobiles & Android* »

### **Mots clés :**

*Appareils mobiles, Smartphone, Os, iOs, Android, Linux, Kernel, Dalvik, FrameWork, IPC.*



## I. Les appareils mobiles

### Introduction

La vie de tous les jours est envahie par les gadgets de la société de l'information. Les appareils mobiles (téléphones intelligents, tablettes numériques, ordinateurs portables, livres numériques) sont les vecteurs de l'Internet pour faire sentir l'humain toujours disponible sur le réseau mondial quelque soit sa position ou son temps. L'importance de ces périphériques est très évolutif avec le temps et la vie quotidienne, donc il a besoin d'être liés avec le monde numérique.

### 1. Historique

Il a fallu pourtant attendre encore plusieurs années pour que les téléphones soient suffisamment miniaturisés pour pouvoir être qualifiés de "mobiles".

C'est en 1983 que Motorola a lancé aux États-Unis le premier véritable Téléphone portable : le Motorola DynaTAC 8000X. Ce Téléphone extrêmement léger pour l'époque a nécessité 15 années de développement avec l'aide du Dr Martin Cooper et plus de 100 millions de dollars en coûts de recherche.

A partir des années 1990, les modèles de Téléphone portable sont considérés comme étant de seconde génération (2G). Ils étaient déjà beaucoup plus petits que leurs prédécesseurs, grâce aux progrès de la technologie des batteries et de la puce informatique. Ces innovations sont à l'origine d'un véritable boom de la téléphonie mobile auprès du grand public.

Ces téléphones mobiles utilisaient notamment la norme GSM (Global System for Mobile Communications) établie en 1982 par la CEPT, « Conférence des Administrations Européennes des Postes et Télécommunications ».

Les téléphones mobiles actuellement disponibles sont dits "de troisième génération" ou plus communément appelés 3G. Ils intègrent de nombreuses innovations dans la technologie et les services et permettent d'envoyer des SMS, mais aussi des images, des photographies, des sons et des vidéos. [web02]

## 2. Appareils mobiles

Les appareils mobiles, en anglais «mobile devices» sont des ordinateurs portatifs utilisables de manière autonome lors d'un déplacement. L'appareil est de taille et de poids réduits pour un usage mobile. Il est doté d'une batterie et bénéficie aussi souvent d'une connexion pour fonctionner de manière autonome. Il se présente typiquement comme un écran possédant une interface tactile ou un clavier miniaturisé. [web03]

## 3. Types d'appareils mobiles

Les appareils mobiles peuvent être des tablettes tactiles, de Smartphones, de téléphones mobiles, de phablettes, d'assistants personnels, de liseuses, d'assistants de navigation personnel, etc.

### 3.1. Ordinateurs portables

Les ordinateurs portables sont des ordinateurs spécialement conçus pour être portables et pouvoir fonctionner pendant de longues durées sans connexion directe à une source de courant alternatif.

Les ordinateurs portables sont de nos jours de plus en plus performants. Non seulement, ils sont pratiques pour la mobilité mais en plus il peuvent maintenant facilement remplacer les stations de travail grâce à leur puissance en sans cesse évolution. Les ordinateurs portables contiennent un concentré de multimédia pouvant satisfaire tous les goûts et les besoins (Laptop, NetBook, ProBook etc.).[web03]



*Fig.3.1 : Exemple de laptop et netbook*

### 3.2. Assistant personnel

Au sens plus large, un assistant personnel est avant tout une personne qui vous aide quotidiennement dans divers domaines. Il peut s'agir par exemple d'un assistant de direction ou d'une assistante maternelle. L'intérêt d'un assistant personnel est de pouvoir déléguer.

Nous citons : pocket PC, un agenda électronique ou un assistant numérique personnel est un appareil numérique portable, souvent appelé par son sigle anglais « PDA » pour « Personal Digital Assistant ». [web<sub>04</sub>]



*Fig.3.2 : Exemple d'un Assistant personal Acer N10*

### 3.3. Tablettes

Une tablette tactile, tablette électronique, ardoise électronique ou bien encore tablette numérique est un ordinateur mobile en forme de tablette ayant pour principale interface un écran tactile et qui intègre plusieurs applications permettant, entre autres, d'accéder à des contenus multimédias .



*Fig.3.3 : Exemple d'une tablette iPad Touch par Apple .*



### 3.4. Téléphones mobiles

Un téléphone mobile, ou téléphone portable, est un appareil électronique offrant une fonction de téléphonie mobile.

En 2010, une partie des téléphones mobiles vendus dispose de nombreuses fonctions supplémentaires, rendues possibles grâce à l'intégration d'un système d'exploitation évolué dans le téléphone : ce sont les Smartphones.

### 3.5. Smartphones

Un Smartphone, Ordiphone ou téléphone intelligent, est un téléphone mobile disposant aussi des fonctions d'un assistant numérique personnel. La saisie des données se fait par le biais d'un écran tactile ou d'un clavier. Il fournit des fonctionnalités basiques comme : l'agenda, le calendrier, la navigation sur le web, la consultation de courrier électronique, de messagerie instantanée, le GPS, la photographie numérique, etc. À partir de fin 2007, le marché des Smartphones s'étend considérablement jusqu'à dépasser en quelques années celui des téléphones mobiles classiques.[web05]

Il existe plusieurs systèmes d'exploitation spécifiques aux Smartphones (Android , iOS , Windows Mobile , Symbian , Linux ).



*Fig.3.4 : Les différents appareils mobiles 'Smartphone'.*

## 4. Systèmes d'exploitations du Smartphone

Rarement un objet technologique n'aura autant fasciné. Le Smartphone est passé en l'espace de quelques années d'un outil professionnel à un objet de divertissement grand public, emportant avec lui un secteur mobile en pleine reconversion. Ces nouveaux téléphones et les tablettes qui ont suivi fonctionnent avec des systèmes d'exploitation (OS Operating system) nouveaux, désormais partie intégrante de notre quotidien.

Les ventes de Smartphones dépassent déjà depuis 2011 celles des téléphones mobiles classiques. iOS, Android, Windows Phone ou Symbian en sont les systèmes les plus populaires, à la fois les plus utilisés et ceux pour lesquels les applications sont les plus nombreuses. Chaque système a sa philosophie et ses objectifs propres. Apple, Google, Microsoft ou Samsung suivent des objectifs bien différents dans la conception de tels systèmes, pour des modèles économiques autant fondés sur la vente de matériel que de contenus dématérialisés.

Ces systèmes sont surtout amenés à dépasser le cadre strict du Smartphone et de la tablette. Les plus ouverts de ces systèmes sont déjà envisagés dans nos montres, nos appareils photo ou nos voitures, avec pour objectif d'unifier toutes nos interactions quotidiennes. Cette évolution vers des plateformes ubiquitaires ne date pas d'hier et les premiers systèmes pour Smartphone ne sont pas obligatoirement ceux qu'on croit. [web06]

## 5. Différents systèmes d'exploitation (OS)

Un système d'exploitation mobile est un système d'exploitation conçu pour fonctionner sur un appareil mobile. Ce type de système d'exploitation se concentre entre autres sur la gestion de la connectivité sans fil et celle des différents types d'interface. [web06]

On va présenter quelques systèmes d'exploitation avec un descriptif permettant de faire une idée de son utilisation mais on va baser sur le système Android car c'est celui que nous utiliserons pour notre application.



### 5.1. Système iOS

iOS, anciennement iPhone OS, est le système d'exploitation mobile développé par Apple pour l'iPhone, l'iPod touch, et l'iPad. Il est dérivé de Mac OS X dont il partage les fondations (le kernel hybride XNU basé sur le micro-noyau Mach, les services Unix et Cocoa, etc.).

iOS comporte quatre couches d'abstraction, similaires à celles de Mac OS X : une couche « Core OS », une couche « Core Services », une couche « Media » et une couche « Cocoa ». Le système d'exploitation occupe moins d'un demi-gigaoctet (Go) de la capacité mémoire totale de l'appareil.

Ce système d'exploitation n'avait aucun nom officiel avant la publication du kit de développement iPhone (SDK) le 6 mars 2008. Jusqu'à cette date, Apple se contentait de mentionner que « l'iPhone tourne sous OS X », une référence ambiguë au système d'exploitation source d'iOS, Mac OS X. Ce n'est qu'à cette occasion que Scott Forstall présenta l'architecture interne du système d'exploitation, et dévoila alors le nom d'iPhone OS. Ce nom a été changé le 7 juin 2010 pour iOS. [web06]

### 5.2. BlackBerry OS

BlackBerry a depuis toujours su marquer la différence, notamment grâce à ses solutions intégrées, spécialement créées pour ceux qui veulent garder contact avec leur réseau en temps réel. Vous gérez vos e-mails et contacts professionnels directement depuis votre Smartphone. Equipé de BlackBerry Messenger, vous contactez facilement vos amis en leur envoyant des messages instantanés. Cette solution de messagerie a révolutionné les rapports au sein de votre réseau : jamais vos contacts n'ont été aussi proches !

Comme pour les différents systèmes d'exploitation, BlackBerry a développé un portail d'applications qui permet de mettre toujours plus de vie dans votre Smartphone mais malheureusement, la plupart des applications sont en Anglais.

BlackBerry App World offre ainsi la possibilité de travailler, de jouer et de rester connecté aux réseaux sociaux. Ce système est exclusif aux Smartphones BlackBerry. [web06]



### 5.3. Symbian OS

Nokia dispose d'un système d'exploitation intelligent, présent sur un grand nombre de ses mobiles. Il est réputé pour sa simplicité d'utilisation, et par son menu intuitif. Multitâches, il permet de faire fonctionner plusieurs applications en même temps et d'accéder à tout moment à un contenu remis à jour en temps réel. Il dispose également d'un portail qui permet de télécharger des milliers d'applications, l'OVI Store, et donne l'accès à un contenu multimédia très riche, même si le nombre d'applications disponibles et en dessous de celui fournit par Android et Apple. [web<sub>06</sub>]

### 5.4. Windows Phone

Windows Phone intègre en version mobile la plupart de vos logiciels Microsoft. Tout ce que vous adorez dans votre ordinateur sera dans votre téléphone : naviguer sur Internet via Internet Explorer Mobile, travailler avec les outils de Microsoft office, consulter ses messages électroniques ou encore envoyer un message instantané à vos amis via Windows Live.

Le système d'exploitation Windows Phone est disponible chez de nombreux constructeurs comme Htc, Samsung et LG. [web<sub>07</sub>]

### 5.5. Android

Android est un système d'exploitation open source utilisant le noyau Linux, pour Smartphones, tablettes tactiles, PDA et terminaux mobiles conçu par Android, une startup rachetée par Google, et annoncé officiellement le 5 novembre 2007. D'autres types d'appareils possédant ce système d'exploitation existent, par exemple des téléviseurs, des radioréveils, des autoradios et même des voitures. [web<sub>07</sub>]

## II. Le système d'exploitation Android

### Introduction

Depuis quelques années, le marché des Smartphones ne cesse de croître. Ce type d'appareils est vendu en plus grande quantité que les ordinateurs et le nombre de téléphones mobiles intelligents devrait bientôt dépasser le nombre d'appareils classiques. Android semble être le système le plus prometteur dans ce marché.

### 1. Historique

Android doit son nom à la startup du même nom spécialisée dans le développement d'applications mobiles que Google a rachetée en août 2005, nom qui vient lui-même d'« androïde » qui désigne un robot construit à l'image d'un être humain. Le logiciel, qui avait été surnommé gPhone par les rumeurs de marchés, est proposé de façon gratuite et librement modifiable aux fabricants de téléphones mobiles, ce qui facilite son adoption. Le gPhone a été lancé en octobre 2008 aux États-Unis dans un partenariat de distribution exclusif entre Google et T-Mobile. [web<sub>07</sub>]

## 2. Définition

Android est une couche logicielle qui inclut un système d'exploitation, un middleware et des applications clés. Google est le principal acteur, qui vient à l'esprit pour cette plateforme, mais d'autres acteurs comme les membres de l'Open Handset Alliance<sup>16</sup> collaborent au développement. Le système d'exploitation est basé sur le noyau Linux.

Android est donc sur des Smartphones, des tablettes, des TV, des baladeurs numériques, des autoradios, dans la domotique, la cuisine... c'est un système ouvert et très flexible. Techniquement, il est basé sur des éléments open source (code ouvert) , ainsi que des composants propres à Google. Android est supporté par un consortium composé d'entreprises très diverses, des opérateurs (T-Mobile, Bouygues Telecom, etc.), des constructeurs (Samsung, LG, HTC, etc.) .

Les différentes versions d'Android :

Numéro de la version	Pseudo	Date de sortie
1.5	Cupcake	avril 2009
1.6	Donut	septembre 2009
2.0	Eclair	janvier 2010
2.2.2	FroYo	mai 2010
2.3.4	Gingerbread	décembre 2010
3.0	Honeycomb9	janvier 2011
4.0	Ice Cream Sandwich	janvier 2012
4.1 & 4.2	Jelly Bean	novembre 2012

*Tab.3.1 : Les différentes versions de la plate-forme Android. [web08]*

<sup>16</sup> Open Handset Alliance (abrégé OHA) est un consortium de plusieurs entreprises dont le but est de développer des normes ouvertes pour les appareils de téléphonie mobile.



### 3. La philosophie et les avantages d'Android

Le système d'exploitation Android donne des grands avantages par rapport aux autres systèmes du Smartphones, on peut citer ses avantages comme suit [web09] :

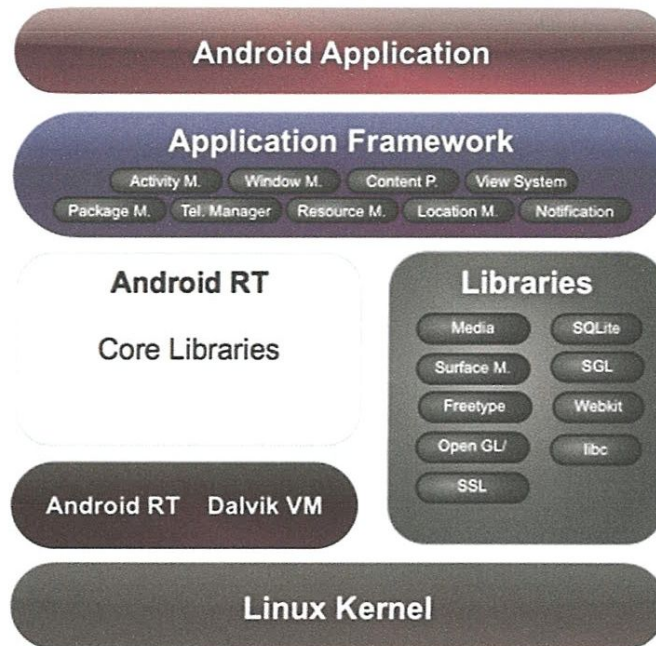
- Le contrat de licence pour Android respecte l'idéologie open-source, c'est-à-dire que vous pouvez à tout moment télécharger les sources et les modifier selon vos besoins, il faut noter qu'Android utilise des bibliothèques open-sources puissantes comme par exemple SQLite pour les bases de données et OpenGL pour la gestion d'images 2D et 3D.
- Android est gratuit, sauf si on veut avoir légalement les Google Apps, tels que Google Maps ou l'Android Market par exemple.
- Toutes les API mises à disposition facilitent et accélèrent grandement le travail .
- L'Android Market est un endroit immense avec beaucoup de visites et de possibilités pour améliorer la visibilité d'une application.
- Le système est extrêmement portable, il s'adapte à beaucoup de structures, toutes énormément différentes : Les Smartphones, les ardoises, la présence ou l'absence de clavier ou de boule de commande (trackball) , différents processeurs, différents écrans.
- L'architecture d'Android est inspirée par les applications composites<sup>17</sup>, et encourage leur développement. Ces applications se trouvent essentiellement sur internet et leur principe est que vous pouvez combiner plusieurs composants totalement différents pour obtenir un résultat surprenant. Par exemple, si on combine l'appareil photo avec le GPS, on peut poster les coordonnées GPS des photos prises.

---

<sup>17</sup> Une application composite est une application qui combine du contenu ou du service provenant de plusieurs applications plus ou moins hétérogènes.

## 4. Les composants d'un système d'exploitation Android

L'architecture d'Android est structurée en cinq parties. un noyau, des bibliothèques, un environnement d'exécution, un framework et enfin, des applications. [web<sub>10</sub>]



*Fig.3.5 : L'architecture générale du système d'exploitation Android.*

### 4.1. Le noyau (The kernel)

Android repose sur la **version Linux 2.6** pour les services système de base tels que la sécurité, la gestion de la mémoire, la gestion des processus, la pile réseau, et les pilotes. Le noyau agit aussi comme une couche d'abstraction entre le matériel et le reste de la pile logicielle.

Mais l'utilisation de linux est modifiée. Un des changements fondamentaux est le remplacement des *IPC (Inter Processus communication) SysV*<sup>18</sup>. C'est un module qui permet les communications interprocessus. Ce module se voit remplacé par *Binder*, qui a été initialement développé pour *BeOS*. *Binder* est plus économique en ressources système, tout en assurant les mêmes fonctions.

<sup>18</sup> System V est une version du système d'exploitation d'origine UNIX, dévoilée par l'entreprise AT&T en janvier 1983.



## 4.2. Les bibliothèques (Libraries)

*Android* possède de nombreuses bibliothèques natives (comparables au DLL sous *Windows*). Elles fournissent un accès direct aux ressources du système et forment une couche d'abstraction permettant le fonctionnement du *framework* d'*Android*. C'est en quelque sorte la « base » de l'ensemble du système au niveau supérieur.

Ces bibliothèques sont codées en C/C++. Une des plus importantes est la bibliothèque nommée *Libc*, Celle-ci n'a rien avoir avec la GNU *Libc* que les utilisateurs de *Linux* connaissent. *Google* a développé sa propre bibliothèque C appelée *Bionic Libc*. Elle n'intègre pas l'ensemble des fonctions POSIX<sup>19</sup>. Ils ont donc « allégé » cette bibliothèque. Ainsi, elle ne prend en charge que l'architecture processeur x86 et ARM<sup>20</sup>. En outre, elle possède des spécifications propres à la machine virtuelle *Dalvik* qui est incompatible avec la norme POSIX.

Les autres bibliothèques sont moins importantes pour la compréhension de ce dossier. *Google* en a implémenté certaines comme *SQLite*, *FreeType*, ou *Webkit*, et en a créé d'autres plus spécifiques à *Android* en particulier le *Media Framework*. Cette bibliothèque gère tout ce qui se rapporte aux données multimédia.

Le *Surface Manager* consiste en un ensemble de fonctions permettant d'afficher des éléments à l'écran. C'est l'équivalent d'un serveur X pour un système *Linux*.

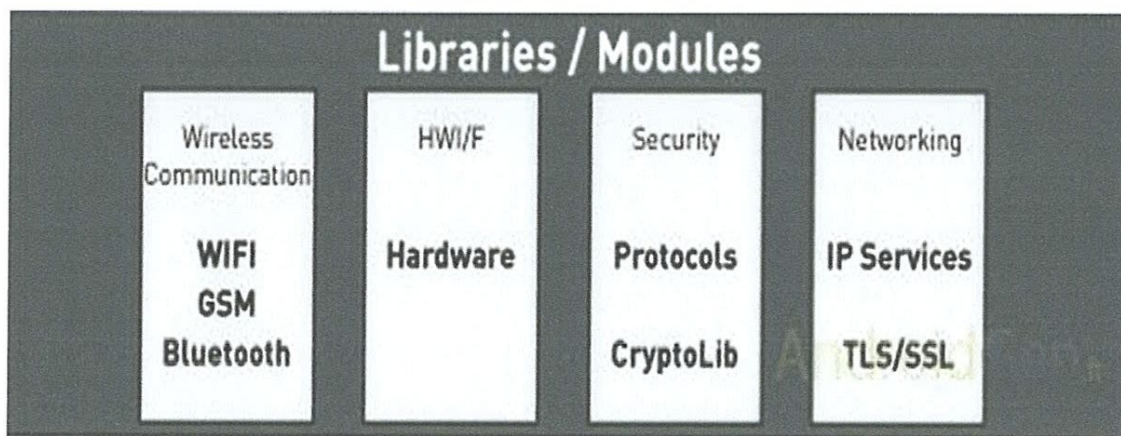


Fig.3.6 : les principales bibliothèques utilisées dans le OS Android.

<sup>19</sup> POSIX est l'acronyme de Portable Operating System Interface dont le X exprime l'héritage UNIX.

<sup>20</sup> Les architectures ARM, développées par ARM Ltd, sont des architectures RISC 32 bits (ARMv3 à ARMv7) et d'ici 2014, 64 bits (ARMv8)1 introduite à partir de 1983.



### 4.3. La machine virtuel (Dalvik)

Entre les bibliothèques et le *framework* se situe la machine virtuelle « *Dalvik* ». Attention, il ne s'agit pas d'une machine virtuelle Java. *Dalvik* exécute du *bytecode* qui est créé à partir de programmes écrits en Java. Les programmes compilés sont créés au format *Dalvik exécutable* (.dex) via l'outil *directX* intégré au *SDK*<sup>21</sup>.

*Dalvik* propose 30 % d'instructions en moins qu'une JVM classique, mais avec des instructions 35 % plus grandes. Il en résulte une charge de travail moins importante, et le temps d'exécution est deux fois plus rapide qu'avec des machines Java standard. Pour économiser aussi de la mémoire, *Dalvik* a été conçu pour gérer plusieurs processus et partager la bibliothèque principale entre ces processus. Tout est fait pour économiser le plus de cycles processeur.

### 4.4. Le Framework

Voici la partie la plus importante de tout le système *Android*. Tout est lié. Tout passe par le *framework*. C'est lui qui permet aux « briques » mis en place de fonctionner ensemble. Ce *framework* est écrit entièrement en Java. Il fournit tout ce dont les applications peuvent avoir besoin.

Ces besoins sont de différentes natures. Voici les principales ressources offertes par le *framework* :



**Fig.3.7 :** les principales ressources offertes par le framework Android.

<sup>21</sup> Le SDK Android est composée d'ensembles modulaires que vous pouvez télécharger séparément en utilisant le gestionnaire de SDK Android.

Le *framework* est une partie d'*Android* très complexe, il « englobe » et lie beaucoup d'autre composant. Grâce au mécanisme IPC, il peut communiquer avec presque tout le système. Avec les applications pour leur créer leur environnement d'exécution (*Dalvik*), avec le noyau *Linux* (via le processus *SystemService*), avec les bibliothèques et avec les différentes interfaces (*ADB*, *AIDL*, *etc.*).

#### 4.5. La communication inter processus (IPC)

IPC ou la communication inter processus. C'est sans doute la partie la plus inconnue d'*Android*, car peu de développeurs s'y intéressent. C'est pourtant une pièce maîtresse de tout le *framework*.

Pour permettre une communication entre les processus ou entre les applications et le cœur de *framework* (*SystemService*), un mécanisme est proposé : *Binder*. Conçu initialement pour le système *BeOS*, il permet de décrire une interface entre deux processus. Cette interface est codée dans fichier AIDL (*Android Interface Description Language*) avec une syntaxe très proche du *Java*. À partir de ce fichier, l'utilitaire AIDL génère une interface Java et deux implémentations. La première permet la propagation des invocations des méthodes vers un autre processus avec séquence de tous les paramètres. La deuxième effectue l'opération inverse. Elle reçoit les invocations d'un autre processus et les transforme en invocations sur une classe Java d'implémentation.

#### 4.6. Les applications Android

Les applications se divisent en deux catégories. Les services qui sont des codes fonctionnant en arrière-plan, non interactif, et les activités qui prennent la forme d'écrans. Les activités fonctionnent suivant un principe de pile . C'est un fonctionnement similaire aux technologies Web. Les activités sont comme des pages Web, et l'utilisateur peut naviguer à sa guise d'une page à l'autre .

Donc, Une application Android est un assemblage de composants liés grâce à un fichier de configuration (*AndroidManifest*).

Concepts fondamentaux sont à préciser les activités , les vues et contrôles et leur mise en page , les ressources, le fichier de configuration :

## Conclusion

Il existe sur le marché, différents types d'appareils mobiles, dont l'utilisation est devenue presque inévitable.

Nous avons consacré ce chapitre à la présentation de ces appareils et leurs systèmes d'exploitation, où nous nous sommes intéressés plus précisément au système Android, qui est utilisé pour notre projet.



# Chapitre IV

## « *Conception & Implémentation* »

### **Mots clés :**

*ADT, Layout, SDK, Android, Eclipse, FaceGen, Interpolation, XML, OBJ.*

# I. Conception

## Introduction

Notre projet a pour but d'implémenter une application sous Android qui permet de synthétiser une animation faciale d'un visage expressif et de concevoir différentes expressions faciales d'un visage virtuel, Soient des expressions de base ou d'autres secondaires (expressions intermédiaire). Nous nous sommes intéressés à la méthode d'interpolation (interpolation linéaire) et d'autres types d'interpolation : (sinusoïdale, B-Spline).

Dans ce qui suit, nous détaillons les différentes étapes de la conception du notre projet.

### 1. Architecture générale

L'idée principale de notre projet consiste à générer deux expressions de visage 3D comme des données d'entrée. La première expression est choisie comme un visage source et la deuxième expression comme un visage cible.

Les principales étapes de notre application sont :

- Chargement des expressions du visage 3D (choisir différentes expressions faciales de base).
- Calcul des images clés intermédiaires entre le visage source et visage cible selon la fonction d'interpolation.
- Génération d'une animation faciale.

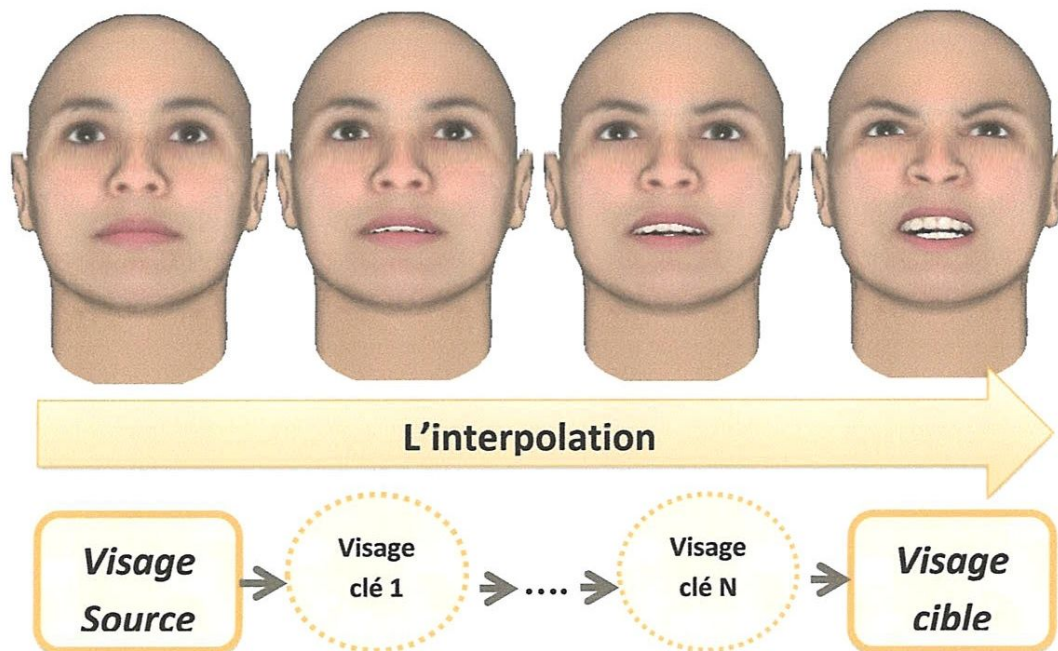
## 2. Les étapes de synthèse d'animation faciale par l'interpolation

### 2.1. Chargement des expressions

Dans notre application, on doit charger les expressions faciales, ces expressions peuvent être des expressions de base (Neutre, Joie, Surprise, Dégout, Colère, Peur, Tristesse).

### 2.2. Génération des images clés

L'interpolation est une technique de déformation simple à mettre en place. Elle correspond au concept d'images clefs utilisées dans les logiciels de DAO<sup>22</sup> pour animer des personnages ou autres objets 3D.[bib<sub>14</sub>]



*Fig.4.2 : L'interpolation entre plusieurs visages clés.*

Il s'agit de modéliser le visage source et cible (des maillages pour les différentes positions extrêmes des visages) puis de calculer les positions clés en prenant en compte une durée  $d$  de transition, du temps  $t$  depuis le lancement de l'interpolation et d'une fonction  $\Psi$  ( $P, t$ ). [bib<sub>14</sub>]

<sup>22</sup> Le dessin assisté par ordinateur (DAO) est une discipline permettant de produire des dessins techniques avec un logiciel informatique comme (Maya ,3DSMax,Blender).



Les fonctions d'interpolation utilisées sont détaillées comme suit :

### ❖ Interpolation linéaire

Généralement la loi la plus utilisée est une loi linéaire pour sa rapidité de calcul et sa simplicité. Pour tout point P de dimension trois, nous calculons la position intermédiaire à l'instant (t) de la manière suivante : en posant P<sub>old</sub> la position du point lors du lancement, P<sub>next</sub> la position cible et (t) le temps écoulé depuis le début de l'interpolation (voir l'équation 1) .[bib<sub>14</sub>]

$$\Psi (P, t) = P_{old} + \frac{t(P_{next} - P_{old})}{d} \quad \text{Equation 1}$$

( P<sub>old</sub> : Source, P<sub>next</sub> : Cible )

On peut détailler la fonction d'interpolation précisément comme suit :

$$\text{Fonction} = P [i] + F * (P [i + 1] - P [i]) / (N - 1) \quad \text{Equation 2}$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{F} : \text{Trame courante.} \\ \mathbf{N} : \text{Nombre d'image clés.} \\ \text{et : } 0 \leq F \leq (N - 1) \end{array} \right.$$

### ❖ Interpolation sinusoïdale

D'autres fonctions peuvent être utilisées comme des sinus ou cosinus permettant de simuler les accélérations et décélérations dans les animations à condition que les interpolations soient exécutées de manière complète (ininterrompue sur toute la durée d).

Cette fonction est définie comme suit :

$$\text{Sinusoïdale } (y_0, y_1, t) = \text{linéaire } (y_0, y_1, \frac{-\cos(\pi t)}{2}) \quad \text{Equation 3}$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{Y}_0 : \text{valeur de la première image clé.} \\ \mathbf{Y}_1 : \text{valeur de la deuxième image clé.} \\ \mathbf{t} : \text{Facteur d'interpolation.} \end{array} \right.$$

### ❖ Interpolation B-Spline

L'interpolation B-Spline est une forme d'interpolation, où l'interpolant est un type particulier de polynômes par morceaux appelée Spline.

Donc, en cas de B-Spline, les courbes sont générées en considérant la valeur de chaque trame clé comme sommet de contrôle. [bib<sub>14</sub>]

La fonction principale de ce type d'interpolation est définie comme suit :

$$Q(\mathbf{F}) = \left( \frac{1-F_3}{6} \right) \times p[i-1] + \left( \frac{3F_3-6F_2+4}{6} \right) \times p[i] + \left( \frac{-3F_3+3F_2+3F+1}{6} \right) \times p[i+1] + \left( \frac{F_3}{6} \right) \times p[i+2]$$

*Equation 4*

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{F} = 1,0 * f / (N-1) \\ 0 \leq f \leq N-1 \\ \mathbf{f} : \text{trame courante et } N : \text{nombre totale d'images clés intermédiaire .} \end{array} \right.$$

## II. Implémentation

### Introduction

Plus particulièrement dans le domaine d'informatique, l'implémentation désigne la création ou la réalisation d'un produit fini à partir d'un chemin de conception ou de spécification. Dans cette partie de ce dernier chapitre, nous présentons l'implémentation de tous les composants de notre application.

### 1. Environnement de développement

#### 1.1. Environnement matériel

L'application est conçue sur un PC et finalement exécuté sur une appareil mobile Samsung sous Android.

#### Caractéristique du PC de développement

- Type : micro-ordinateur portable.
- Processeur : Intel® Core™, i3 CPU M380 @ 2.53GHz 2.53 GHz
- Mémoire installée(RAM) : 4.00 Go.
- Carte graphique: 2 Go.
- Disque dure : 320Go HDD.

#### Caractéristique de l'appareil mobile

- Type : Smartphone Galaxy Note N-7000.
- Processeur : 1.4 GHz.
- Mémoire installée (RAM) : 863 Mo.
- Mémoire de stockage : 16 GO.
- Résolution : 1280 x 800 .
- Type d'écran : Super AMOLED<sup>23</sup> (super touch) .

---

<sup>23</sup> Super AMOLED (*Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode*) qui signifie matrice active à diodes électroluminescentes organiques est un type d'écran qui associe une technique de matrice active et une technologie OLED.



## 1.2. Environnement Logiciel

Notre application est réalisée avec l'utilisation de plusieurs logiciels, principalement : le langage de programmation java , et un ensemble d'outils pour le développement sous Android.

Nous avons choisi d'utiliser le système Android pour ses multiples avantages par rapport aux autres systèmes d'exploitation mobiles, que nous résumons comme suit :

- ✚ Le contrat de licence pour Android respecte les principes de l'open source, c'est-à-dire que nous pouvons, à tout moment, télécharger les sources et les modifier selon nos besoin.
- ✚ Android est gratuit.
- ✚ L'architecture d'Android est inspirée par les applications composites. Ces applications se trouvent essentiellement sur internet et leur principe est que nous pouvons combiner plusieurs composants totalement différents pour obtenir un résultat surpuissant.
- ✚ Les tutoriaux de développement Android sont disponibles et gratuits .

Dans ce qui suit, nous présentons les différents logiciels utilisés pour le développement de notre application.

### 1.2.1. Java

C'est un langage de programmation orienté objet, développé par Sun Microsystems<sup>24</sup>. Il permet de créer des logiciels compatibles avec de nombreux systèmes d'exploitation (Windows, Linux, Macintosh, Solaris). Java donne aussi la possibilité de développer des programmes pour téléphones portables et assistants personnels. Enfin, ce langage peut être utilisé sur internet pour des petites applications intégrées à la page web (applet) ou encore comme langage serveur.

Oracle annonce début Octobre 2012 à la conférence JavaOne sa volonté de proposer des solutions Java pour le domaine des logiciels embarqués, pour processeurs moins puissants que ceux habituellement disponibles sur les PC. Oracle fédère autour d'elle tout un écosystème d'entreprises spécialistes de ces segments de marchés, comme l'éditeur IS2T ou encore STMicroelectronics qui propose du Java sur ses STM32 dont le cœur est un CortexM3/M4.

---

<sup>24</sup> Sun Microsystems est une compagnie et un constructeur d'ordinateurs et un éditeur de logiciels américain.

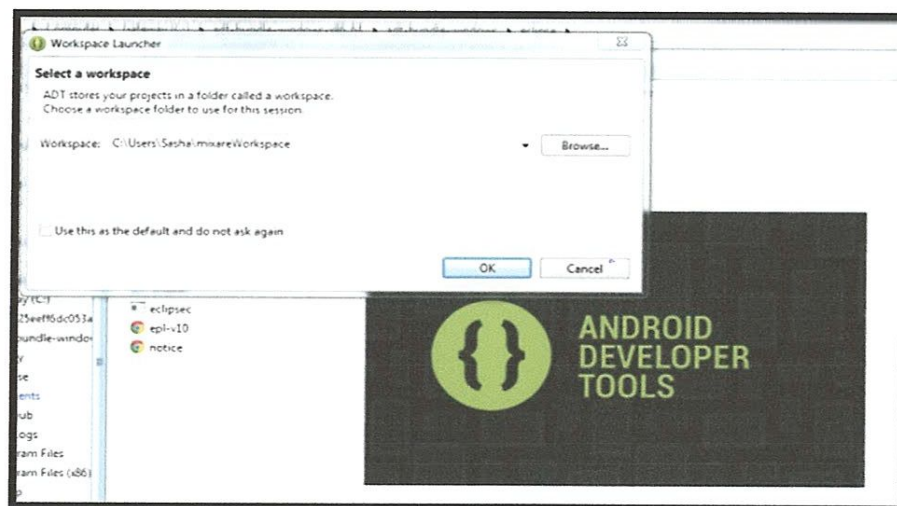
Java, notamment via Eclipse et NetBeans, offre déjà des environnements de développement intégrés pour mobile. Java est le principal langage utilisé pour développer des applications pour le système d'exploitation libre pour Mobile de Google : Android . [web<sub>12</sub>]

### 1.2.2. Android Developer Tools (ADT)

Pour développer une application Android, nous devons installer au moins une plate-forme Android du Manager SDK contre qui nous pouvons compiler votre application. Souvent, une version donnée de l'Android sera révisé avec corrections de bugs ou d'autres modifications, comme indiqué par le numéro de la révision.

Android Development Tools est un plugin pour Eclipse IDE qui est conçu pour nous donner un puissant, environnement intégré dans Eclipse pour implémenter des applications Android.

ADT étend les capacités d'Eclipse pour nous permettre de configurer rapidement de nouveaux projets Android, créer des application interface utilisateur (User Interface), déboguer des applications en utilisant le SDK Android outils et même exporter signé (ou non signée). apk<sup>25</sup> afin de distribuer l'application. [web<sub>13</sub>]



*Fig.4.3 : Capture d'écran du logiciel Android Developer Tools.*

<sup>25</sup> APK est le format de fichier utilisé pour distribuer et installer l'application final.

### 1.2.3. Min3D JAR

La Bibliothèque de soutien Android fournit un fichier JAR avec une bibliothèque d'API qui vous permet d'utiliser une partie de la plus récente API Android dans les applications tout en fonctionnant sur des versions antérieures d'Android.

Min3D est une bibliothèque 3D / Framework pour Android utilise Java avec OpenGL ES, compatible avec Android v1.5/OpenGL ES 1.0 ou plus. Il suit de près avec l'API OpenGL ES, ce qui le rend idéal pour acquérir une compréhension de l'API OpenGL ES tout en offrant la commodité d'une bibliothèque de classes orientées objet. [web14]

### 1.2.4. XML Android

Langage de balisage extensible (XML) est un ensemble de règles pour des documents de codage sous forme lisible par machine. Le rôle de l'XML sous Android est la création d'interfaces graphiques, les boutons, la structuration d'activité (class JAVA).

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<LinearLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="match_parent"
    android:orientation="vertical"
    android:background="@drawable/backfin33">
    <TextView
        android:id="@+id/textview2"
        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:text=""
        android:textSize="50px"/>
    <TextView
        android:id="@+id/textview2"
        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:text=""
        android:textSize="70px"/>
    <Button
        android:id="@+id/chargement1"
        android:layout_width="240dp"
        android:layout_height="60dp"
        android:text="Charger un visage"
        android:textColor="#000000"
        android:textSize="18dp"
        android:textStyle="bold"
        android:layout_gravity="center"/>
    <Button
        android:id="@+id/lineaire"
        android:layout_width="240dp"
        android:layout_height="60dp"
        android:text="Interpolation Linéaire"
        android:textColor="#000000"
        android:textSize="18dp"
        android:textStyle="bold"
        android:layout_gravity="center"/>
```

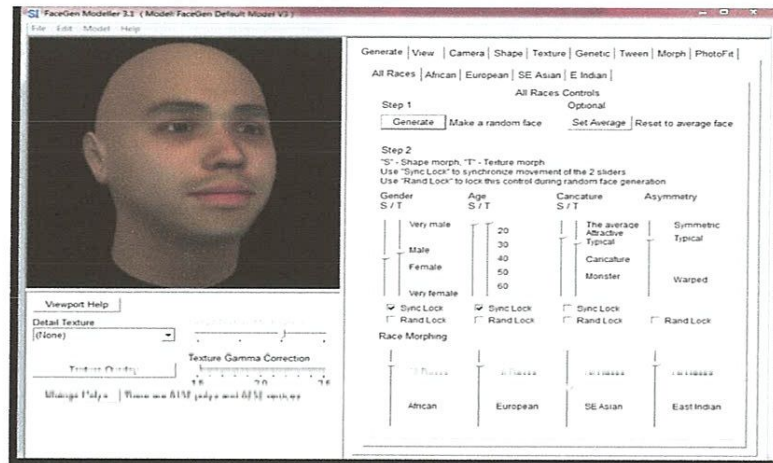
Fig.4.4 : Exemple d'un code d'une interface Menu réalisé par Android XML .

### 1.2.5. FaceGen

FaceGen Modeller est un logiciel ou un générateur de visage qui 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 permettant la gestion de caractères, avec une cinquantaine de paramètres liés à l'âge, le sexe,



l'appartenance à un groupe ethnique ainsi que la forme des caractéristiques faciales. Ces paramètres s'accompagnent de 36 expressions, visèmes<sup>26</sup> et modificateurs prédéfinis, qui offrent la possibilité de créer rapidement des animations personnalisées.



*Fig.4.5 : Capture d'écran du logiciel FaceGen Modeller*

Les visages 3D générés par FaceGen sont exportés sous un format .obj

- Format «.obj »

OBJ est un format de fichier contenant la description d'une géométrie 3D. Il a été défini par la société Wavefront Technologies dans le cadre du développement de son logiciel d'animation Advanced Visualizer.

Il est structuré de deux fichiers : un fichier .OBJ qui contient toutes les informations sur les sommets et les faces, et un fichier .MTL (Material Template Library) qui contient les données sur les matériaux (par exemple les textures).

- X, Y et Z les coordonnées du sommet qui sont donnés comme l'exemple suivant:

**v 0.805 1.963 0.019**

- 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

<sup>26</sup> Un visème est une image générique du visage qui peut être utilisée pour représenter une émission sonore particulière.

axes :

vn XYZ

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

`usestl nom_du_materiaux`

## 2. Cycle de vie d'une application Android

Avant de rentrer dans le vif du sujet du développement de notre application, il est important de connaître le cycle de vie des éléments qui la constituent et notamment les activités.

une activité fournit un écran avec lequel les utilisateurs peuvent interagir, donc, une application Android est constituée d'un ensemble d'activités liées entre elles. Chaque fois qu'une activité est lancée, elle est placée dans une pile appelée back stack.

La figure suivante représente le cycle de vie d'une application Android [web 15] :

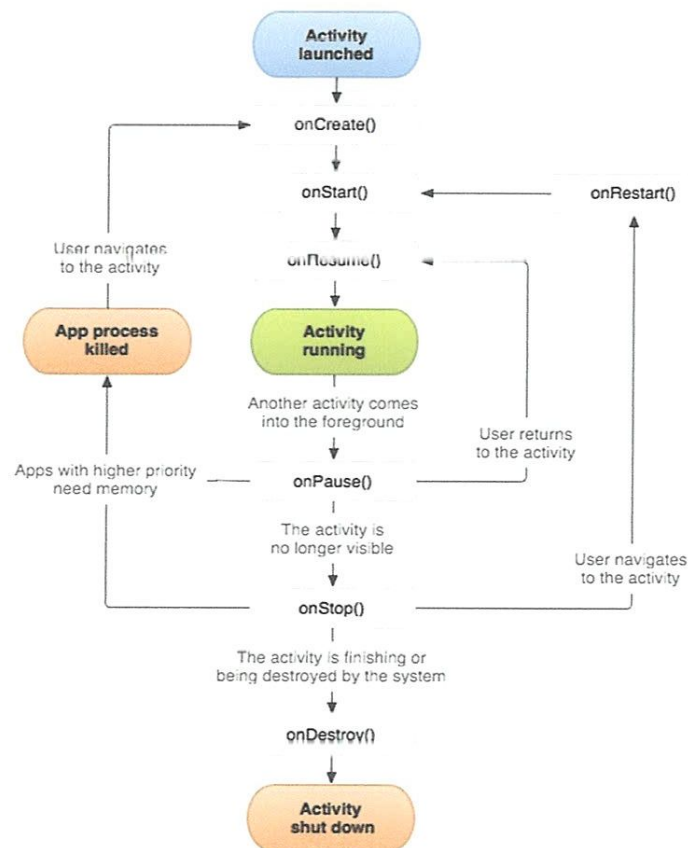


Fig.4.6 : Diagramme pour cycle de vie d'une application Android.

Voici un descriptif des différentes méthodes de callback que l'on peut implémenter dans une activité.

Méthode	Description
<i>onCreate()</i>	Appelée quand l'activité est créé la première fois. C'est ici que les déclarations statiques seront définies, les vues créées.
<i>onRestart()</i>	Appelée lorsque l'application a été stoppée et qu'elle est réactivée.
<i>onStart()</i>	Appelée juste avant que l'activité devienne visible à l'utilisateur.
<i>onResume()</i>	Appelée juste avant que l'activité interagisse avec l'utilisateur. L'activité est à cet instant tout en haut de la back stack.
<i>onPause()</i>	Appelée quand le système est sur le point de rappeler une autre activité. Cette méthode est généralement utilisée pour sauvegarder les données non persistantes, stopper les animations ou toute autre action consommatrice de CPU. Ces actions doivent être par contre exécutées très rapidement car la prochaine activité ne sera pas rappelée avant la fin de ces actions. Le système peut par contre couper le traitement s'il est trop long.
<i>onStop()</i>	Appelée quand l'activité n'est plus visible de l'utilisateur, quand l'activité est détruite ou quand elle est mise en arrière-plan au dépend d'une autre activité. Le traitement de cette méthode peut être coupé s'il est trop long.
<i>onDestroy()</i>	Appelée avant que l'activité soit détruite. Peut être appelée si l'activité est finie ou si le système a besoin d'espace mémoire. Tout comme les deux précédentes méthodes, le système peut couper le traitement si ce dernier prend trop de temps.

*Tab.4.1 : Tableau descriptif de chaque Activité.*

### 3. Implémentation de l'application

Dans ce qui suit, nous présentons les différentes étapes de notre application suivie par la présentation de quelques interfaces graphiques

#### 3.1. Génération d'un modèle visage

Tous les modèles utilisés dans notre application sont générés par FaceGen Modeller 3.1, ces modèles visages 3D sont exportés sous la forme « .OBJ » avec les textures nécessaire (textures exportés automatiquement).

#### 3.2. Etapes d'implémentation

Certaines classes disponibles sous JVM ne le seront pas sous Dalvik. Nous allons maintenant présenter l'organisation de notre projet. On peut distinguer plusieurs parties principales et d'autres secondaires :



- *Les Classes Java (src)*

Java Android est la première partie principale de tous projet Android, elle est située dans un dossier existant qui s'appelle «src», ces classes java contiennent les méthodes utilisées (fonctions) pour implémenter notre application, pour mettre les événement des touches tactile (Boutons) et l'appel d'interfaces programmées en XML (layout).

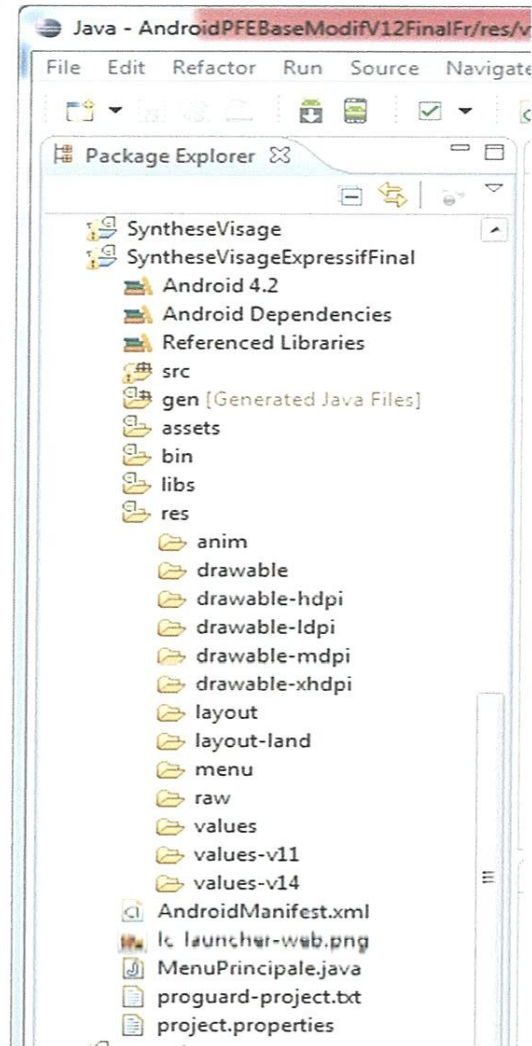
Il existe aussi un dossier appelé «gen», qui contient deux classes java générées automatiquement (immodifiable) pour configurer les ressources, ces classes sont *BuildConfig.java* et *R.java*.

- *Les ressources (res)*

Dans un projet Android, les ressources sont la deuxième partie principale qui contient des parties secondaires, qui sont :

- Les interfaces (layouts) : Toutes les interfaces de notre application sont programmées en langage XML Android, qui sont situées dans un dossier « layout », ces interfaces doivent être identifiées et appelées par les classes Java pour être affichées. Ces interfaces contiennent tout ce qui est affiché que ce soit les boutons, les zones de texte, les scènes 3D et les images, etc.
- Les fichiers d'images (drawable) : Toutes les images utilisées sont situées dans un dossier « drawable », des fichiers image « .PNG » pour les icônes et d'autres «.JPG» pour les textures des modèles visages exportés par faceGen.
- Les valeurs (Values) : c'est le dossier qui contient deux fichiers Strings.xml qui stock les chaînes de caractères et Styles.xml stock les thèmes d'interface.
- Autres ressources (Raw) : c'est le dossier qui contient les autres types de fichier comme WAV, ainsi tous les modèles de visage OBJ utilisés dans notre application.
- Fichier de configuration Manifest.XML : Chaque application doit avoir un fichier AndroidManifest.xml (avec ce nom exactement) dans son répertoire racine. Le *manifest* contient des informations essentielles sur l'application pour le système Android, le système d'information doit l'avoir avant de pouvoir exécuter n'importe quelle classe de l'application.

Notre projet Android est détaillé dans la figure ci-dessus :

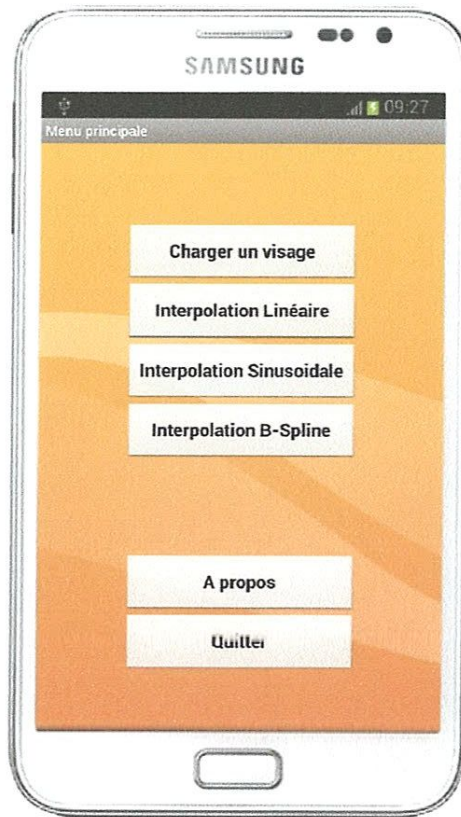


*Fig.4.7 : Notre projet Android.*

## 4. Les interfaces graphiques de l'application

### ❖ Menu principal

Le menu principale de notre application est composé de plusieurs touches (boutons tactiles) qui permettent d'accéder aux différents sous menus tel que les trois méthodes implémentées, comme le présente la figure suivante :



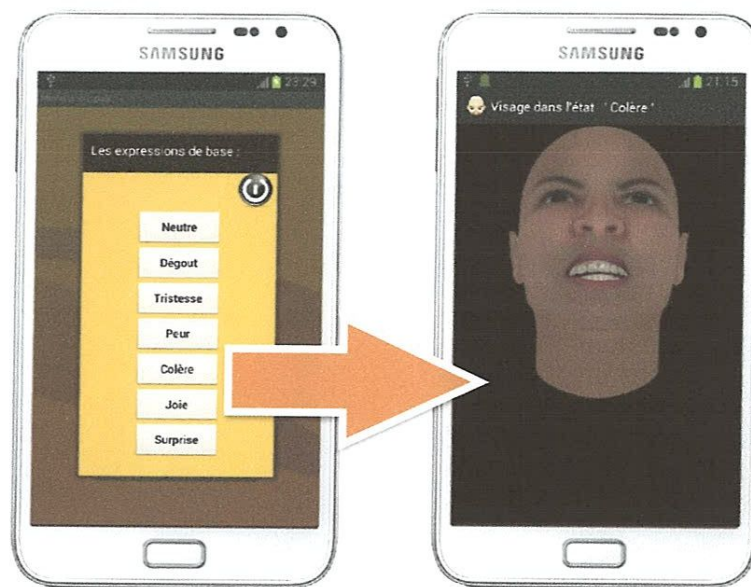
*Fig.4.8 : Capture d'écran pour le menu principal.*

#### ❖ Chargement des visages 3D

Cette partie permet de charger un modèle de visage 3D avec les différentes expressions (Neutre, Dégout, Tristesse, Peur, Colère, Joie, Surprise).

La procédure de chargement est très facile, l'utilisateur peut cliquer sur le bouton *Charger un visage* (avec les touches de la main), puis, il peut sélectionner l'expression de visage désirée. Par exemple, si vous touchez le bouton *Colère* vous obtenez un visage 3D comme le montre la figure suivante :





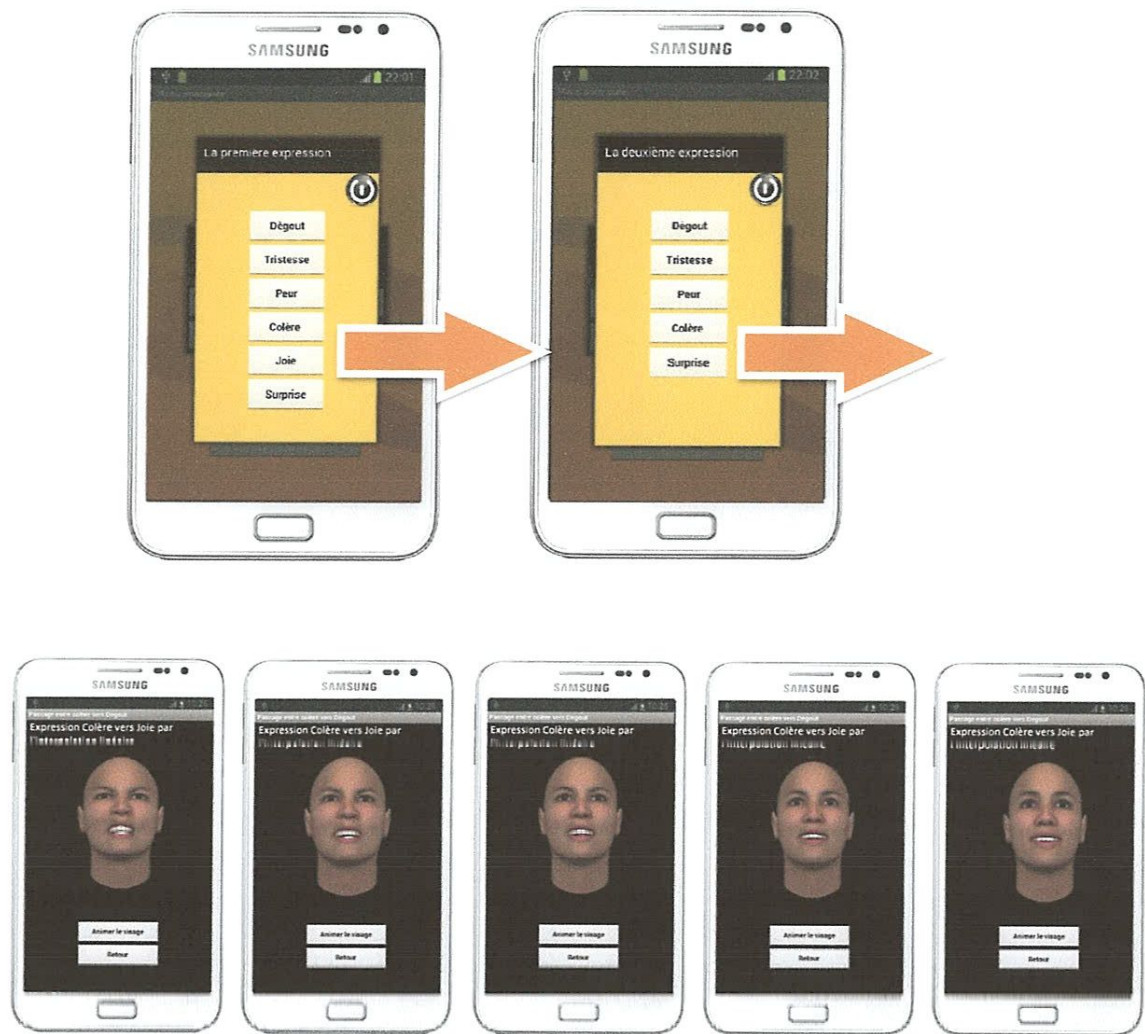
**Fig.4.9 :** Chargement d'un modèle de visage 3D.

❖ **L'interpolation**

Cette partie permet de déformer un visage source vers un visage cible (final). En résultat, nous obtenons une animation faciale d'une expression vers une autre par la méthode de déformation par l'interpolation en utilisant une des fonctions : linéaire, Sinusoïdale ou B-Spline selon le choix de l'utilisateur.

▪ **La touche *Interpolation Linéaire***

Dans cette partie, l'utilisateur peut choisir une expression de base comme expression source d'un visage. Puis, il doit sélectionner une autre expression de base comme une expression cible. Par exemple, nous pouvons sélectionner une expression source (Joie) puis une expression cible (Dégout), comme le montre la figure suivante :



*Fig.4.10 : Exemple d'animation faciale par l'interpolation linéaire.*

- **La touche *Interpolation Sinusoïdale***

Ici, l'utilisateur peut choisir une expression de base pour faire une animation d'un visage dans l'état neutre vers un visage dans l'expression de base choisi par l'utilisateur, comme le montre la figure suivante :



*Fig.4.11 : Exemple d'animation faciale par interpolation sinusoidale*

- **La touche *Interpolation B-Spline***

Dans cette partie, l'utilisateur peut choisir comme expression cible un mélange d'expression (trois mélanges lui sont proposés). L'expression source dans ce cas est l'état neutre. Dans l'exemple suivant, le mélange est l'expression de colère avec l'expression de dégoût :





*Fig.4.12 : Exemple d'animation faciale par interpolation B-Spline*

## 5. Résultats et discussions

Les ressources utilisés dans les projets Android doivent être avec des noms minuscule, sinon ADT va détecter des erreurs du nom .

Les modèles de l'extension .OBJ et .MTL doit transformer vers \_OBJ et \_MTL.

Nous avons rencontré dans un grand obstacle d'affichage des visages avec ses textures, ce problème est résolu avec la modification de fichier \_MTL et supprimer les espaces.

Limitation des bibliothèques JAR : ces derniers sont moins riches à la modélisation 3D pour Android.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons étudié et présenté de manière approfondie notre application, Nous avons donné une description détaillée de l'architecture générale du système permettant de synthétiser un visage expressif pour les appareils mobiles (sous Android), Où nous avons adopté la méthode d'interpolation avec différentes fonctions. Puis nous avons détaillés l'implémentation.

Et enfin, nous avons présenté quelque interfaces graphique descriptives de notre application.

# **Conclusion générale**



Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à une problématique très importante dans le domaine de l'infographie, c'est l'animation faciale, Il existe deux grandes familles de l'animation : la synthèse et le transfert d'une animation.

Nous avons consacré notre projet à la première catégorie, la synthèse d'une animation faciale où nous avons utilisé la méthode d'interpolation avec trois fonctions différentes : Linéaire, Sinusoidale, B-Spline.

L'implémentation du notre projet finale est réalisé grâce à plusieurs logiciels de programmation et de modélisation 3D : Android Development Tools (ADT) pour programmer les fonctions d'interpolation, XML pour concevoir les interfaces graphiques de l'application, et FaceGen pour exporter les modèles de visage 3D.

La méthode d'interpolation utilisée a donné des résultats acceptables, nous avons remarqué que la fonction sinusoidale et b-spline sont lentes par rapport à la fonction d'interpolation linéaire.

Durant le développement de notre application, nous étions confrontés à plusieurs difficultés, parmi lesquelles nous citons :

- La récupération des textures d'un modèle visage exporté par l'faceGen.
- La limitation de capacité matérielle de l'appareil mobile : Processeur, Ram, Mémoire stockage.

Comme futurs travaux et perspectives de notre travail, nous proposons :

- La réalisation d'applications sous Android pour la synthèse des expressions faciales avec le contrôle vocal (contrôler un visage avec la voix sans toucher l'écran tactile).
- amélioration des animations dans le but d'obtenir des têtes parlantes en incluant la voix.
- L'utilisation d'autres fonctions ou d'autres techniques pour obtenir une animation plus réaliste.
- La réalisation d'une application sous Android pour le transfert des animations faciales à partir d'un visage réel.

# **Bibliographies & Webographies**

# Bibliographie

---

- [bib<sub>01</sub>] : S. Garchery, « Animation Faciale Temps Réel Multi Plates-formes ». Thèse de doctorat, Genève - Suisse- (2004).
- [bib<sub>02</sub>] : N. Stoiber « Modeling Emotional Facial Expressions and their Dynamics for Realistic Interactive Facial Animation on Virtual Characters ».Thèse de doctorat, université de Rennes -France- (2010 ).
- [bib<sub>03</sub>] : L. Dutreue « Transfert d'Animation Faciale ». Mémoire de Master, université de Lyon -France- (2007)
- [bib<sub>04</sub>] : K. Kähler, « Generating animated head models with anatomical structure ». Thèse de doctorat , université de New york –états unis – (2002),
- [bib<sub>05</sub>] : K. Waters, « A muscle model for animation three-dimensional facial expression ». ACM computer Graphics, volume 21,N°4, P 17–24 (1987),
- [bib<sub>06</sub>] : T. Kuratate, E. Vatikiotis-Bateson, H. Yehia, « Cross-subject face animation driven by facial motion mapping » . Proceedings of 10th ISPE International Conference on Concurrent Engineering (CE2003): Advanced Design, Production and Management Systems, pp.971–979, (2003).
- [bib<sub>07</sub>] I. Albrecht, M Schröder, I Haber, H-P Seidel, « Expression of non-basic emotions in a muscle-based talking head». Virtual Reality, volume 8, N° 4, P 201-212, 8/2005
- [bib<sub>08</sub>] : G. Borshukov , D Piponi, O Larsen, J.P.Lewis, C Tempelaar-Lietz « Universal capture : image-based facial animation for "the matrix reloaded». Proceeding SIGGRAPH '05 ACM SIGGRAPH 2005 Courses.
- [bib<sub>09</sub>] : K. Ghanem, « Reconnaissance des Expressions Faciales à Base d'Informations Vidéo ; Estimation de l'Intensité des Expressions Faciales ». Thèse de Doctorat, Université Mentouri de Constantine –Algérie- (2010).
- [bib<sub>10</sub>] : A Blairy, P Herrera, U Hess, « Mimicry and the Judgment of Emotional Facial Expressions». Journal Journal of Nonverbal Behavior, Volume 23, Issue 1, p 5-41(1999).
- [bib<sub>11</sub>] : P. Ekman, W V Friesen, « Facial action coding system » Consulting Psychologists Press, Inc., Palo Alto, California, USA, (1978).
- [bib<sub>12</sub>] : J. Ahlberg, « CANDIDE-3 -- an updated parameterized face », Rapport No. LiTH-ISY-R-2326, présenté au Linköping -Suède- (2001).
- [bib<sub>13</sub>] : H. Mercier, « Analyse automatique des expressions du visage Application à la Langue des Signes ». Rapport de D.E.A, université Paul Sabatier, Toulouse III, France (2003).
- [bib<sub>14</sub>] : M. Zaveri, M Zaveri. «Parametric Facial Expression Synthesis and Animation», International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 3, N°.4 (2010).

# Webographie

---

[web<sub>01</sub>] : <http://www.amazon.fr/Computer-Facial-Animation-Frederic-Parke/dp/1568814488>

Date consultation : (12-03-2013)

[web<sub>02</sub>] : <http://www.gralon.net/articles/photo-et-video/telephonie-et-portables/article-le-telephone-portable---histoire-et-evolutions-1190.htm>

[web<sub>03</sub>] : <http://www.lesnumeriques.com/ordinateur-portable/comparatif-ordinateurs-portables-pc-mac-a449.html>



[web<sub>04</sub>] : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Assistant\\_personnel](http://fr.wikipedia.org/wiki/Assistant_personnel)

[web<sub>05</sub>] : <http://smartphone-z.blogspot.com/2012/12/un-smartphone-un-smartmobile-c-est-quoi-la-definition.html>

[web<sub>06</sub>] : La guerre des systèmes d'exploitation sous Smartphones

[http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/telecoms/d/smartphones-mobile\\_1487/c3/221/p1/](http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/telecoms/d/smartphones-mobile_1487/c3/221/p1/)

[web<sub>07</sub>] : <http://www.android-help.fr/article/historique>

[web<sub>08</sub>] : <http://socialcompare.com/fr/comparison/android-versions-comparison>

[web<sub>09</sub>] : Cours Android OS <http://fr.slideshare.net/kcresus/les-materiels-android>

[web<sub>10</sub>] : les composants d'un système d'exploitation Android <http://www.androidgen.fr/dossier-android-architecture-article-2329-1.html>

[web<sub>11</sub>] : <https://play.google.com/store>

[web<sub>12</sub>] : [http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/internet-2/d/java\\_485/](http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/internet-2/d/java_485/)

[web<sub>13</sub>] : <http://android.developpez.com/livres/>

[web<sub>14</sub>] : <https://code.google.com/p/min3d/>

[web<sub>15</sub>] : <http://javamind-fr.blogspot.com/2012/05/android-cycle-de-vie-des-activites-5x.html>