

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB BLIDA-1



FACULTÉ DES SCIENCES  
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

MÉMOIRE PRÉSENTÉ PAR

Chablaoui Saida  
Hanni Amina

En vue d'obtenir le Diplôme de Mastère  
Filière : Informatique  
Option : Génie des Systèmes Informatiques (GSI)

---

## Développement d'un système multimodale de manipulation collaborative pour une application de réalité augmentée multi-utilisateurs.

---

Organisme d'accueil : Centre de Développement des Technologies Avancées CDTA.

Soutenue le : 25 Juin 2016, devant le jury composé de :

| <b>Jury</b>            | <b>Grade</b>           | <b>Qualité</b> |
|------------------------|------------------------|----------------|
| Mr : Chikhi.N          | Maitre de conférence B | Président      |
| Mme : Ghribi.H         |                        | Examinatrice   |
| Mr : Benbelkacem Samir | Maitre de recherche B  | Encadreur      |
| Mr : Derrar Hacem      | Maitre de conférence B | Promoteur      |

Année Universitaire : 2015-2016

## *Remerciement*

*On tient à remercier Dieu tout puissant de nous avoir permis de mener à bien notre mission.*

*On remercie également notre encadreur Mr. Benbelkacem Samir pour l'orientation, la confiance et la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené à bon escient*

*Nos remerciements s'étendent également à Mr. Derrar Hacem, notre promoteur pour ses bonnes explications qui nous ont éclairé le chemin de la recherche et sa collaboration avec nous dans l'accomplissement de ce modeste travail*

*Nous tenons un grand et un spécial remerciement Les gens de CDTA : Mme Zenati, Mme Messassi, Mme Kenoui, Mme Belghit, Mr Belarbi, Mr Hamidia et les gens de USDB : Mme Ouahrani, Mme Zahra pour leur sympathie, leur aide et ses encouragements.*

*Nous remercions le membre de jury pour nous avoir fait l'honneur de juger notre travail.*

*Nous tenons à remercier également et énormément nos amis ainsi toute personne qui nous a aidés de près ou de loin.*

*Merci.*

*Mlle Saida & Amina*

## *Dédicace*

*A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère*

*A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager*

*A mes adorables frères : Omar et Hichem.*

*A mes belles sœurs : Rachida, Saliha, Dalila et la petite Hadjer.*

*Aux trois petits Zougari Wassim, Mohamed et Sérine.*

*A le petit Bouchekkif Abd Erraouf Yahia*

*A ma chère Grand-mère, mes tantes, mes oncles et toute la famille Chablaoui, Khenafif, Zougari et Bouchekkif.*

*A mes proches amies et adorables sœurs : Chafia, Rahma, Akila et Nesrine, qui ont souvent trouvé les mots nécessaires pour me donner le courage d'accomplir ce travail ainsi leur bonne humeur.*

*A mon binôme Amina qui a su trouver les mots nécessaires pour me donner le courage d'accomplir ce travail*

*A mon groupe ... « Les SNARC & GSI ».*

*A tous mes amis pour leur bonne humeur*

*Je dédie ce modeste travail*

*Chablaoui Saida.*

## *Dédicace*

*Merci Allah de m'avoir donné la capacité de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire « Ya kayoum ».*

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation et qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite,*

*à ma mère.*

*À celui qui m'a indiqué la bonne voie, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes mes années d'étude et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager et à me protéger,*

*à mon père.*

*À mes grands-parents que dieux les garde pour moi.*

*À mes deux adorables sœurs : « Anissa » & « Oumaima ».*

*À tous mes oncles et tantes, spécialement à ma tante « Souhila » de m'avoir encouragé jusqu'à la dernière minute.*

*À mes cousins et cousines.*

*À vous les filles : Fatima, Houda, Meriem et Houda.*

*À tous mes amis sans exception.*

*À tous les membres de ma promotion « GSI ».*

*À mon frère « Abd Allah » et à « Housseem ».*

*À toi mon binôme « Saida »*

*Je dédie ce travail.*

*Amina Hanni*

## **Glossaire**

CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

CSCW: Computer Supported Collaborative Work.

EAC: Environnement Augmenté Collaboratif.

ECRA : Environnement Collaboratif de Réalité Augmentée.

MVC : Modèle - Vue –Contrôleur.

RA : Réalité Augmentée.

TCAO : Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur.

UML: Unified Modelling Language.

PDA: Personal Digital Assistant.

ECRA: Environnement Collaboratif de Réalité Augmentée.

## ملخص

شهد العالم تطورا كبيرا في المجال العلمي والتكنولوجي، ما سمح بظهور مفاهيم جديدة من أبرزها مفهوم الحقيقة المعززة التي سرعان ما انتشرت في مجال البحث العلمي. عندما يتعلق الأمر بالمشاريع الكبرى، نجد صعوبة في القيام بالأعمال بشكل فردي لذا توجب اللجوء إلى العمل الجماعي. تحتاج الفئات الفاعلة في هذا العمل إلى التنسيق فيما بينها لتحقيق الأهداف المشتركة وهذا باستعمال تقنيات الإعلام الآلي. والحقيقة المعززة من بين المفاهيم التي أصبحت تساهم في عمل المجموعات. مشروع تخرجنا يندرج ضمن هذا الإطار، حيث نهدف إلى تطوير بيئة تعاونية باستخدام الحقيقة المعززة التي تتيح للمستخدمين إمكانية التفاعل مع الكائنات الافتراضية ذات الأبعاد الثلاثية في فضاء بصري مشترك. هدفنا الأساسي هو وضع استراتيجية للاتصال وتبادل البيانات مما يسمح لمجموع المستخدمين بمشاهدة نفس الفضاء المعزز بمحتوى افتراضي. ولأن الحاجة أم الاختراع فلقد ألقنا عدم وجود نماذج هندسية للبيئات التعاونية إلى اقتراح قالب برمجي جديد هو في حقيقة الأمر امتداد لنموذج آخر، ثم إننا قمنا باستخدام نموذجنا لتطوير منصة للعمل التعاوني المعزز بمحتوى افتراضي.

نتطلع من خلال هذه المذكرة إلى الوصول إلى عدة نتائج، أولا القيام بدراسة نظرية معمقة حول البيئات التعاونية المعززة ثم محاولة إنشاء إستراتيجية للاتصال وتبادل البيانات وفي الأخير تطوير منصة تعاونية للتفاعل مع الكائنات الافتراضية ثلاثية الأبعاد صوتيا وإيمانيا.

**الكلمات المفتاحية:** الحقيقة المعززة، العمل التعاوني، البيئات التعاونية المعززة، الكائنات الافتراضية ثلاثية الأبعاد، إستراتيجية الاتصال، الصوت والإيماء.

## Résumé

Parmi les nouvelles technologies récemment émergée au public, on trouve la réalité augmentée (RA). C'est un nouveau concept qui a retrouvé sa place rapidement dans la communauté scientifique, en ouvrant un axe de recherche assez important.

Quand il s'agit des grands projets, il n'est pas évident de travailler tous seul. De là est né le besoin du travail collaboratif. Il s'agit d'une collaboration entre plusieurs acteurs dans le but de réaliser une tâche finale commune. Cela se réalise en utilisant des outils collaboratifs reposant sur des solutions informatiques : on parle du Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur (TCAO).

Dans ce contexte, notre travail consiste à réaliser un système multimodal de manipulation collaborative, et cela pour une application de réalité augmentée multi-utilisateurs. L'objectif de ce projet est de mettre en place une stratégie de communication et d'échange de données entre plusieurs utilisateurs, en utilisant deux modes d'interaction : « gestuelle et vocale ».

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons utilisé un modèle d'architecture basé sur : l'architecture réseau client/serveur, un mode de partage de données centralisé et le modèle MVC.

Ce mémoire contient une étude bibliographique sur les EACs. Il contient également notre stratégie conceptuelle permettant de modéliser le processus de collaboration et les résultats issus du développement.

**Mots clés :** RA, travail collaboratif, TCAO, EAC, multimodale, multiutilisateur.

## **Abstract**

Among the new technologies which become available to people, we find the Augmented Reality (AR). The AR is a new concept which found its place rapidly in the scientific community by opening an important domain of searching.

When it is concerned with big projects, it is difficult to work alone. From here, it is very necessary to work in groups. It means a collaboration of many participants to achieve the same results. And this will be realized by using tool of group work which is based on computer science: it means Computer Supported Cooperative Work (CSCW).

Within this context, the aim of our work is to realize a multimodal system for an AR application.

The purpose of this project is to put on a communication strategy and exchange information among many users by using two interactions: gestures and vocal.

In order to achieve this purpose we used an architecture model based on: a network client/server, the way of sharing information (data) centered and MVC model. This recollection (work) contains a bibliographic study on the EAC. It contains also our abstract strategy in order to model the process of collaboration as well as our results.

**Keywords:** AR, collaborative work, CSCW, CAE, multimodal, multi-users



# Table des matières

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>I</b>   | <b>État de l'art</b>   | <b>7</b>  |
| 1          | Introduction . . . . .   | 3         |
| 2          | Réalité Augmentée . . . . .  | 3         |
| 3          | Travail collaboratif Assisté par Ordinateur (TCAO) . . . . .           | 4         |
| 3.1        | La coopération VS collaboration . . . . .                              | 4         |
| 3.2        | Travail collaboratif . . . . .   | 5         |
| 3.3        | Le Workflow . . . . .  | 5         |
| 3.4        | Collecticiel (GroupWare) . . . . .                                     | 5         |
| 4          | Les Environnements Augmentés Collaboratifs (EACs) . . . . .            | 6         |
| 5          | Projets développés dans le cadre des EACs . . . . .                    | 7         |
| 5.1        | Shared Space et Tiles . . . . .  | 7         |
| 5.2        | Arthur et MagicMeeting . . . . .                                       | 8         |
| 5.3        | État des lieux des projets relatifs aux EACs en Algérie . . . . .      | 9         |
| 6          | Synthèse et discussion . . . . .                                       | 10        |
| 7          | Conclusion . . . . .   | 10        |
| <b>II</b>  | <b>Architectures logicielles pour les systèmes de RA collaboratifs</b> | <b>11</b> |
| 1          | Introduction . . . . .   | 12        |
| 2          | Les architectures réseaux . . . . .                                    | 12        |
| 2.1        | Architecture client/serveur . . . . .                                  | 12        |
| 3          | Modes de distribution de données . . . . .                             | 13        |
| 4          | Architectures des systèmes multimodales . . . . .                      | 13        |
| 5          | Modèle d'architecture logicielle pour les EACs . . . . .               | 14        |
| 6          | Architecture adoptée pour la conception de notre ECRA . . . . .        | 15        |
| 7          | Conclusion . . . . .   | 17        |
| <b>III</b> | <b>Conception</b>  | <b>18</b> |
| 1          | Introduction . . . . .   | 19        |
| 2          | Méthodologie de gestion du projet . . . . .                            | 19        |
| 3          | Présentation du projet . . . . .                                       | 20        |
| 4          | Identification des besoins . . . . .                                   | 20        |
| 5          | Identification des acteurs . . . . .                                   | 21        |
| 6          | Identification des cas d'utilisation . . . . .                         | 22        |
| 7          | Cas d'utilisation . . . . .  | 23        |

|                                |  |           |
|--------------------------------|--|-----------|
| 7.1                            | Cas d'utilisation globale . . . . .  | 23        |
| 7.2                            | Cas d'utilisation : afficher/supprimer un composant 3D . . . . .   | 23        |
| 7.3                            | Cas d'utilisation : manipuler un composant 3D . . . . .  | 23        |
| 7.4                            | Cas d'utilisation : Co-manipuler le même composants 3D . . . . .   | 23        |
| 7.5                            | Cas d'utilisation : communiquer . . . . .  | 23        |
| 7.6                            | Cas d'utilisation : modifier les caractéristique d'un composant 3D . . . . .                                 | 23        |
| 8                              | Description détaillée des cas d'utilisation . . . . .  | 23        |
| 9                              | Développement du modèle statique . . . . .   | 29        |
| 9.1                            | Diagramme de classes . . . . .   | 29        |
| 9.2                            | Diagramme de déploiement . . . . .   | 31        |
| 10                             | Développement du modèle dynamique . . . . .  | 31        |
| 10.1                           | Diagramme de séquences pour l'accès au système . . . . .   | 31        |
| 10.2                           | Diagramme de séquences pour l'ajout d'un client . . . . .  | 32        |
| 10.3                           | Diagramme de séquences pour la sélection d'un composant 3D en utilisant le mode gestuel . . . . .            | 34        |
| 10.4                           | Diagramme de séquences pour l'assemblage d'un composant en utilisant le mode gestuel . . . . .               | 34        |
| 10.5                           | Diagramme de séquences pour la communication . . . . .   | 36        |
| 10.6                           | Diagramme de séquences pour modifier la forme d'un composant 3D . . . . .                                    | 37        |
| 10.7                           | Diagramme de séquences pour afficher un composant (en mode vocal) . . . . .                                  | 38        |
| 10.8                           | Diagramme de séquences pour assembler un composant (par modalité vocale) . . . . .                           | 39        |
| 10.9                           | Diagramme de séquences pour co-manipuler un composant en utilisant les deux modes : gestes et voix . . . . . | 39        |
| 11                             | Conclusion . . . . .   | 43        |
| <b>IV Réalisation et tests</b> |  | <b>44</b> |
| 1                              | Introduction . . . . .   | 45        |
| 2                              | Les prérequis techniques . . . . .   | 45        |
| 3                              | Outils de développement . . . . .  | 45        |
| 3.1                            | Unity 3D . . . . .   | 45        |
| 3.2                            | ARToolkit . . . . .  | 46        |
| 3.3                            | Langage C# . . . . .   | 47        |
| 3.4                            | Langage PHP . . . . .  | 48        |
| 3.5                            | PhpMyAdmin . . . . .   | 48        |
| 3.6                            | PhpDesigner 8 . . . . .  | 49        |
| 3.7                            | XAMPP . . . . .  | 49        |
| 3.8                            | RecoServer . . . . .   | 49        |
| 3.9                            | MonoDevelop . . . . .  | 50        |
| 4                              | Outils matériel . . . . .  | 50        |
| 4.1                            | Leap Motion . . . . .  | 50        |
| 5                              | Résultat et tests . . . . .  | 52        |
| 5.1                            | Plateforme de test . . . . .   | 52        |
| 5.2                            | Jeu d'essai du système . . . . .   | 54        |

|   |                               |    |
|---|-------------------------------|----|
| 6 | Conclusion . . . . .          | 61 |
| 7 | Conclusion Générale . . . . . | 62 |

# Table des figures

|        |  |    |
|--------|--|----|
| I.1    | <i>Exemple d'une application de réalité augmentée [Audouze, 2010].</i>                             | 3  |
| I.2    | <i>collaboration VS collaboration [Henri and Lundgren-Cayrol, 2016]</i>                            | 5  |
| I.3    | <i>Exemple d'un Environnement Augmenté Collaboratif</i>  | 6  |
| I.4    | <i>(a) Shared Space et (b) Tiles[Billinghurst et al., 1998]</i>                                    | 8  |
| I.5    | <i>ARTHURE[Broll et al., 2000]</i>   | 8  |
| I.6    | <i>Environnement MagicMeeting [Regenbrecht et al., 2002]</i>                                       | 9  |
| II.1   | <i>Architecture client/serveur [Millet, 2013].</i>   | 12 |
| II.2   | <i>Modification d'un objet dans le cas d'un mode centralisé.</i>                                   | 13 |
| II.3   | <i>Le modèle de MVC.</i>   | 14 |
| II.4   | <i>Les couches logicielles de notre modèle.</i>  | 15 |
| II.5   | <i>Le schéma de l'architecture proposée.</i>   | 15 |
| III.1  | <i>Processus 2TUP.</i>   | 19 |
| III.2  | <i>Processus 2TUP étendu [Benbelkacem et al., 2014].</i>   | 19 |
| III.3  | <i>Les acteurs de notre système.</i>   | 21 |
| III.4  | <i>Cas d'utilisation globale.</i>  | 24 |
| III.5  | <i>Cas d'utilisation "Afficher/supprimer un composant 3D".</i>                                     | 25 |
| III.6  | <i>Cas d'utilisation "Manipuler un composant 3D".</i>  | 25 |
| III.7  | <i>Cas d'utilisation "Co-manipuler le même composants 3D".</i>                                     | 26 |
| III.8  | <i>Cas d'utilisation "Communiquer".</i>  | 26 |
| III.9  | <i>Cas d'utilisation "Modifier les caractéristiques d'un composant 3D".</i>                        | 26 |
| III.10 | <i>Le diagramme de classes globale.</i>  | 30 |
| III.11 | <i>Le diagramme de déploiement.</i>  | 31 |
| III.12 | <i>Diagramme de séquences pour le cas "accéder au système".</i>                                    | 32 |
| III.13 | <i>Diagramme de séquences pour le cas "ajouter un client".</i>                                     | 33 |
| III.14 | <i>Diagramme de séquences pour le cas "accepter un client".</i>                                    | 33 |
| III.15 | <i>Diagramme de séquences pour le cas "sélectionner un objet 3D" en utilisant le mode gestuel.</i> | 34 |
| III.16 | <i>Diagramme de séquences pour le cas "assembler composant 3D" en utilisant le mode gestuel.</i>   | 35 |
| III.17 | <i>Diagramme de séquence pour le cas "communiquer".</i>  | 36 |
| III.18 | <i>Diagramme de séquences pour le cas "modifier la forme d'un composant 3D".</i>                   | 37 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| III.19 | <i>Diagramme de séquences pour le cas "afficher un composant" en utilisant le mode vocale.</i>                        | 38 |
| III.20 | <i>Diagramme de séquences pour le cas "assembler un composant 3D" en utilisant le mode vocale.</i>                    | 40 |
| III.21 | <i>Diagramme de séquences pour le cas "co-manipuler un composant" en utilisant les deux modes : gestuel et vocal.</i> | 41 |
| IV.1   | <i>Logo Unity 3D.</i>   | 46 |
| IV.2   | <i>Principe de fonctionnement d'ARToolkit.</i>  | 46 |
| IV.3   | <i>Exemple de marqueurs ARToolkit.</i>  | 47 |
| IV.4   | <i>Fichier C# sous Unity3D.</i>   | 47 |
| IV.5   | <i>Contenu initial d'un script C# sous Unity3D.</i>   | 48 |
| IV.6   | <i>exemple de creation de compte avec le langage php.</i>   | 48 |
| IV.7   | <i>Logo de "phpMyAdmin"</i>   | 49 |
| IV.8   | <i>Logo du logiciel "PhpDesigner 8"</i>   | 49 |
| IV.9   | <i>Logo du logiciel "XAMPP"</i>   | 49 |
| IV.10  | <i>Logo de "MonoDevelop"</i>  | 50 |
| IV.11  | <i>Technologie Leap Motion.</i>   | 50 |
| IV.12  | <i>Gestes proposés par l'API Leap Motion.</i>   | 51 |
| IV.13  | <i>Exemple d'implémentation d'un geste.</i>   | 51 |
| IV.14  | <i>Configuration matériel du système.</i>   | 52 |
| IV.15  | <i>Matériel technicien utilisant le mode vocale.</i>  | 53 |
| IV.16  | <i>Augmentation de la scène réelle entre deux techniciens.</i>  | 53 |
| IV.17  | <i>Partage de données entre deux techniciens.</i>   | 54 |
| IV.18  | <i>Interface d'authentification du système.</i>   | 54 |
| IV.19  | <i>Interface créer compte.</i>  | 55 |
| IV.20  | <i>Interface du mode administrateur.</i>  | 56 |
| IV.21  | <i>L'affichage de la main virtuelle.</i>  | 56 |
| IV.22  | <i>Exemple d'affichage d'une roue 3D.</i>   | 57 |
| IV.23  | <i>Exemple de selection d'une roue 3D.</i>  | 57 |
| IV.24  | <i>Exemple d'assemblage et lâchement d'une roue 3D.</i>   | 58 |
| IV.25  | <i>Exemple de rotation d'un coffre 3D.</i>  | 58 |
| IV.26  | <i>Exemple de modification de forme d'une roue 3D.</i>  | 59 |
| IV.27  | <i>Exemple de modification de couleur de la voiture 3D.</i>   | 59 |
| IV.28  | <i>Exemple de Sélectionnement d'une porte 3D en utilisant la modalité vocale.</i>                                     | 60 |
| IV.29  | <i>Exemple d'assemblage d'une porte 3D en utilisant la modalité vocale.</i>   | 60 |
| IV.30  | <i>Exemple de rotation d'une roue 3D en utilisant la modalité vocale.</i>   | 61 |

# Liste des tableaux

|        |  |    |
|--------|--|----|
| I.1    | <i>Tableau comparatif pour les projets des EACs</i>                | 10 |
| III.1  | <i>La liste des cas d'utilisations.</i>                            | 22 |
| III.2  | <i>Description "Gérer les sessions".</i>                           | 27 |
| III.3  | <i>Description "Utiliser voix/geste".</i>                          | 27 |
| III.4  | <i>Description "Afficher/supprimer un Composant 3D".</i>           | 28 |
| III.5  | <i>Description "Manipuler composant 3D".</i>                       | 28 |
| III.6  | <i>Description "Co-manipuler le même composants 3D".</i>           | 28 |
| III.7  | <i>Description "Communiquer".</i>                                  | 29 |
| III.8  | <i>Description "Modifier les caractéristiques d'un composant".</i> | 29 |
| III.9  | <i>Description détaillée des associations.</i>                     | 42 |
| III.10 | <i>Description détaillée des classes.</i>                          | 42 |

---

# Introduction générale

## Contexte

La réalité augmentée (RA) est une technologie récente qui se situe à la croisée de plusieurs domaines comme l'infographie, la conception assistée par ordinateur (CAO), la simulation,...etc. Elle utilise de nombreux périphériques matériels et des techniques logicielles pour chaque domaine applicatif.

Les actions dans l'environnement augmenté s'opèrent via l'utilisation de techniques d'interaction 3D qui sont basées sur les facultés humaines d'action et de perception des utilisateurs.

## Problématique

Les environnements augmentés collaboratifs (EACs) sont des environnements augmentés peuplés où les utilisateurs interagissent entre eux pour réaliser des actions communes (déplacement en groupe, sélection et manipulation d'objets en commun, communication, contrôle d'application...).

Dans les EACs, la complexité se situe au niveau de l'interaction d'un groupe d'utilisateurs avec les objets. L'enjeu majeur est d'intégrer les nouveaux dispositifs d'interaction dans la réalisation de ces plateformes afin d'offrir aux utilisateurs une flexibilité dans la collaboration.

Dans ce cadre plusieurs, système collaboratifs ont été mis en œuvre. Cependant beaucoup de travail reste à faire afin de concrétiser ces projets dans un domaine d'application.

Notre travail consiste à développer un système collaboratif par la réalité augmentée en se basant sur deux modalités d'interaction : gestes et voix. Il s'agit de développer une architecture de communication reliant plusieurs poste-clients. Chaque poste supporte une interface interactive et multimodale. A travers notre système, les utilisateurs peuvent manipuler des objets 3D communs dans une scène visuelle partagée aux différents postes associés.

## Organisation du mémoire

Notre travail est ainsi partagé en en quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente l'état de l'art dans lequel nous avons définie le concept de la réalité augmentée(RA) et la notion du travail collaboratif assisté par ordinateur ainsi que les principaux travaux dans la RA collaboratif.
- Le deuxième chapitre présente les architectures logicielles formalisant le processus de collaboration dans les systèmes de la RA.
- Le troisième chapitre traite les aspects modélisation et conception de notre système.
- Le dernier chapitre est consacré à la réalisation de notre système. Ce système est ensuite appliqué au cas de l'assemblage collaboratif des composants d'une voiture.

## Chapitre I

# État de l'art



## 1 Introduction

Un Environnement Augmenté Collaboratif (EAC) est une nouvelle technologie qui résulte de la convergence du TCAO (Computer Supported Collaborative Work en anglais) et de la réalité augmentée (RA). Il représente des environnements multi-utilisateurs qui permettent aux participants de partager un même espace augmenté par des objets 3D et ceci pour réaliser un objectif commun. Pour la communauté de la réalité augmentée, les EACs sont des extensions de la RA mono-utilisateur. Pour le domaine du travail collaboratif, les EACs représentent une technologie qui peut supporter certains aspects de l'interaction sociale. Pour [Damer, 1997], la technologie des EACs permet de transformer les réseaux informatiques en des espaces peuplés d'interactions homme-machine et qui supportent le travail collaboratif.

Cette définition technologique des EACs nous oriente à savoir l'interaction homme machine des utilisateurs. En effet, toutes les actions réalisées par les utilisateurs ont la capacité de modifier l'EAC. Dans ce contexte pour pouvoir agir, les utilisateurs doivent disposer de certaines informations qui sont les réponses aux questions suivantes : qui partage l'environnement ? Qui travaille avec qui ? Qui fait quoi ? Quand ? Comment ? Où ? Avec quoi ? . Par conséquent, une coordination importante entre les participants est nécessaire.

Dans ce chapitre, nous présenterons un bref aperçu sur le concept des EACs ainsi les différents travaux effectués pour la réalisation des systèmes collaboratifs par la RA.

## 2 Réalité Augmentée

La Réalité Augmentée (RA) est la technologie qui permet aux utilisateurs de visualiser et d'interagir en temps réel avec des images virtuelles de façon transparente superposée sur le monde réel [Lukosch et al., 2015]. En offrant à l'utilisateur la possibilité d'être immergé dans cet environnement mixte.



FIGURE I.1 – Exemple d'une application de réalité augmentée [Audouze, 2010].

La RA peut concerner les cinq sens, mais elle touche principalement la perception visuelle. À ce terme, on peut imaginer un système de tel façon qu'un utilisateur ne soit pas capable de distinguer le monde virtuel de la RA qui l'accompagne. C'est un concept très puissant qui va

sans aucun doute révolutionner notre façon d'interagir avec le monde extérieur. La figure (I.1) illustre ce concept, en réalité la voiture présentée dans l'image n'existe pas réellement, elle est virtuellement superposée sur le marqueur présenté par la feuille.

Le champ d'action de la réalité augmentée est très étendu. Parmi les principaux domaines d'applications on trouve : le médical, le militaire, l'industriel, le marketing, la robotique, etc.

### 3 Travail collaboratif Assisté par Ordinateur (TCAO)

Le Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur (TCAO) (Computer Supported Collaborative Work (CSCW) en anglais) est défini comme étant le concept qui regroupe « *L'ensemble des techniques et des méthodes qui contribuent à la réalisation d'un objectif commun à plusieurs acteurs, séparés ou réunis par le temps et par l'espace, à l'aide de tout dispositif interactif faisant appel à l'informatique, aux télécommunications et aux méthodes de conduite de groupe* ». [Bounie, 2000]

Dans cette définition nous trouvons plusieurs notions et termes qui définissent la collaboration et le travail collaboratif de manière différente, ce qui nous oriente à mettre des définitions pour savoir distinguer cette différence.

#### 3.1 La coopération VS collaboration

D'après [CNRTL, 2012], la coopération est « une action de participer (avec une ou plusieurs personnes) à une œuvre ou à une action commune ». C'est aussi « Une méthode d'action par laquelle des personnes, ayant des intérêts communs, s'associent en vue d'un profit réparti au prorata de leur activité. »

Par ailleurs, dans le projet [INSA, 2013], la coopération est considérée comme « la possibilité de contribuer à une tâche globale grâce à des actions complémentaires de plusieurs utilisateurs. Ces actions peuvent se faire de différentes façons, en alternance, ou en simultané, sur un même objet ou sur des objets différents ».

En ce qui concerne la collaboration, d'après [S.K, 2004], il y a collaboration quand un groupe organisé d'acteurs oriente et négocie ses interactions collectives vers une finalité qui ne pourrait être atteinte par un seul acteur. Ces actions sont : orientées (finalisées) et négociées (discutées) L'objectif est de permettre :

- Le partage des ressources (coopération)
- La mise en œuvre de routines de synchronisation dans l'action (coordination).

En collaboration, les membres du groupe travaillent pour un but commun. Cependant, chacun individuellement, cherche à atteindre par lui-même le but fixé (figure I.2). Deux productions

se font en parallèle : une production collective et les productions individuelles de chaque intervenant.

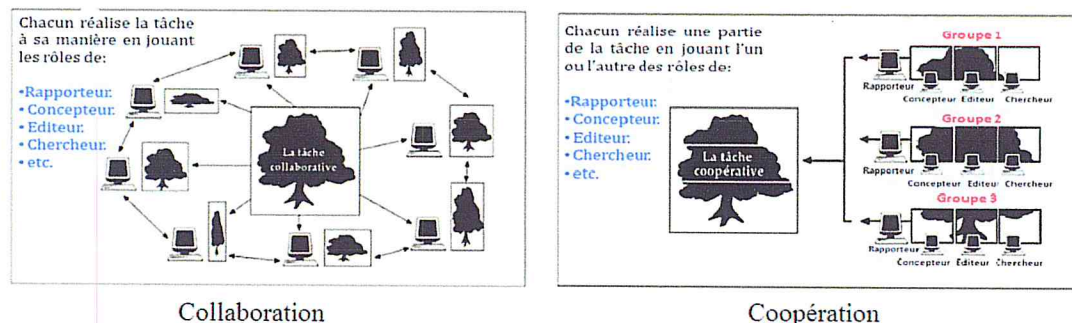


FIGURE I.2 – collaboration VS coopération [Henri and Lundgren-Cayrol, 2016]

### 3.2 Travail collaboratif

« Le travail collaboratif est une forme d'organisation délibérée, complexe, qui se construit dans l'intelligence de l'action, afin de réaliser des chaînes d'activités impliquant plusieurs acteurs opérant en réseau. » [S.K, 2004].

### 3.3 Le Workflow

Par définition [Wikimedia et al., 2010], le workflow est un flux d'informations au sein d'une organisation.

En informatique, c'est la modélisation et la gestion de l'ensemble des tâches à accomplir et des différents acteurs impliqués dans la réalisation d'un processus commun. Cela décrit le circuit de validation, les tâches à accomplir entre les différents acteurs d'un processus, les délais, les modes de validation, et fournit à chacun des acteurs les informations nécessaires pour la réalisation de sa tâche.

On parle de moteur de workflow pour décrire le dispositif logiciel permettant d'exécuter une ou plusieurs définitions de workflow. On peut donc en déduire que l'ensemble des interactions 3D d'un groupe d'utilisateurs dans un EAC s'apparente à cette définition [Domingues, 2010].

### 3.4 Collecticiel (GroupWare)

Pour la mise en œuvre du workflow des logiciels ont été développés, ces logiciels dénommés collecticiels sont définis par :

1. Le collecticiel est l'ensemble des processus et procédures d'un groupe de travail devant atteindre un objectif particulier plus les logiciels conçus pour faciliter ce travail de groupe. (Citation de Peter et Trudy Johnson-Lenz).
2. Computer-based systems that support groups of people engaged in a common task (or goal) and that provide an interface to a shared environment.[Ellis et al., 1991]

3. La traduction de [Karsenty 1994] concernant la définition du collecticiel de [Ellis et al., 1991] est comme suite : les collecticiels sont des systèmes informatiques qui assistent un groupe de personnes engagées dans une tâche commune (ou but commun) et qui fournissent une interface à un environnement partagé.

En résumé, les collecticiels (logiciels collaboratifs) proposent de compléter les fonctionnalités classiques des logiciels par des fonctions qui permettent à plusieurs utilisateurs de travailler ensemble sur des données partagées (par exemple : rapports, données multimédia, etc...).

## 4 Les Environnements Augmentés Collaboratifs (EACs)

Un Environnement Augmenté Collaboratif (EAC) est une nouvelle technologie qui résulte de la convergence du TCAO et de la RA. Il représente des environnements multi-utilisateurs qui permettent aux participants de partager un même espace réel/virtuel (figure I.3).

L'utilisation de la réalité augmentée semble fournir un cadre intéressant permettant une manipulation d'un contenu virtuel partagé tout en conservant la connaissance et les possibilités du réel.

L'architecture doit être assez souple et ouverte pour pouvoir supporter et moduler différentes configurations de périphériques, d'utilisateurs et d'objets manipulés.

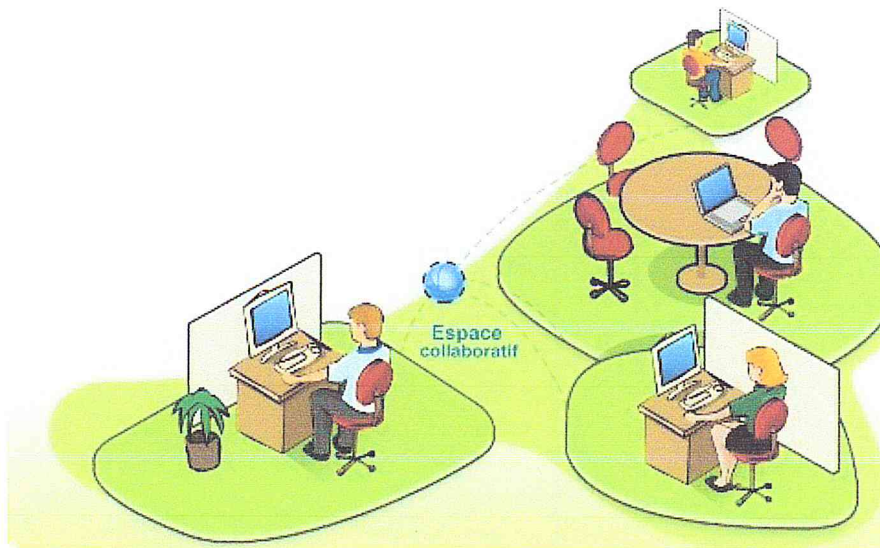


FIGURE I.3 – Exemple d'un Environnement Augmenté Collaboratif

Pour la conception des EACs trois notions spécifiques devront être considérées :

- Les périphériques : éléments d'interface qui permettent à l'utilisateur d'agir avec le monde virtuel.

- Les utilisateurs : personnes pouvant agir sur le monde réel et virtuel.
- Les objets : éléments manipulés par l'utilisateur à l'aide des périphériques (les objets peuvent être de différents types : modèle 3D, image, texte, vidéo).

### Classification des EACs

Les environnements augmentés collaboratifs peuvent être classés selon la manière dont les utilisateurs collaborent. En effet, les utilisateurs peuvent se trouver sur le même site ou répartis sur des sites distants. A base de ces principes, trois types de configurations peuvent être définies :

- **EAC Co-localisé** : Dans cette catégorie les utilisateurs évoluent dans le même environnement réel, chacun son point de vue mais qui partagent une scène réelle commune.
- **EAC Distant** : Dans cette configuration, les utilisateurs ne sont pas dans le même endroit. Toutefois pour envisager un EAC, les utilisateurs doivent visualiser la même scène à distance ou alors les utilisateurs travaillent sur un même objet ou équipement. Ici la scène réelle est considérée comme étant l'objet en question.
- **EAC Mixte** : Il s'agit d'une hybridation des deux premières configurations. Ici nous supposons que certains utilisateurs sont présents dans la scène et d'autres la visualisent à distance. Ceci représente une bonne partie des cas des applications d'assistance au travail.

## 5 Projets développés dans le cadre des EACs

L'utilisation de la réalité augmentée semble fournir un cadre intéressant permettant une manipulation de contenu numérique tout en conservant la connaissance et les possibilités du réel.

Nous introduisons ci-après quelques systèmes de RA collaboratifs en commençant en premier lieu par des environnements plutôt génériques tels que Shared Space et Tiles, ainsi les environnements utilisant le concept de la table tels que Arthure et MagicMeeting. Puis nous présenterons l'état des lieux des projets relatifs aux EACs en Algérie plus particulièrement au niveau du CDTA.

### 5.1 Shared Space et Tiles

Le projet Shared Space [Billinghurst et al., 1998] propose un environnement collaboratif où deux utilisateurs équipés de casques peuvent interagir grâce à une interface vocale dans une application hypertexte collaborative. Le contenu virtuel 2D étant positionné dans l'espace (figure I.4 a).

Dans [Billinghurst et al., 1999] les auteurs introduisent le système de RA distant (téléconférence). Ils présentent l'utilisation de la RA tangible : marqueurs réels associés à des objets virtuels pour la manipulation et le positionnement des éléments virtuels dans un référentiel réel.

Tiles [Poupyrev et al., 2002], est un environnement reposant sur le concept d'éléments virtuels associés à des cartes réelles (figure I.4 b). Ces cartes réelles sont typées (contenu, outils, container) et peuvent être associées induisant une action prédéfinie.

Les utilisateurs conservent dans ce contexte les surfaces réelles pour positionner les éléments ou faire des annotations réelles. L'ensemble de ces travaux repose sur une bibliothèque dédiée au suivi des marqueurs, ARToolkit.

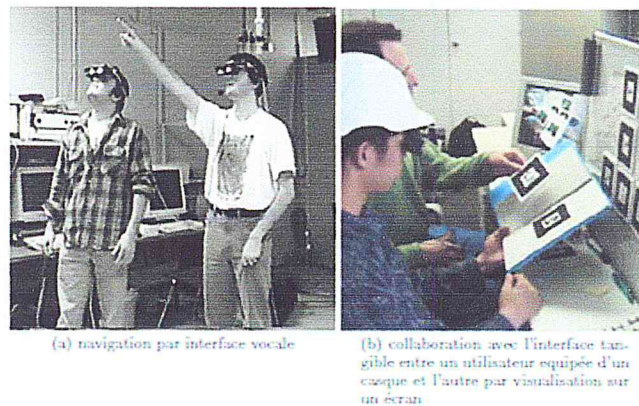


FIGURE I.4 – (a) *Shared Space* et (b) *Tiles*[Billinghurst et al., 1998]

## 5.2 Arthur et MagicMeeting

Arthur (Collaborative Augmented Environment for Architectural Design and Urban Planning) [Broll et al., 2000] est un projet dédié à la planification urbaine et à l'architecture (figure I.5). Le prototype ARTHUR introduit un environnement de visualisation (à l'aide de casques) et d'interaction avec des objets virtuels placés sur une table. Chaque utilisateur peut interagir avec des objets virtuels à l'aide de «placeholder», objet réel associé à des objets virtuels.

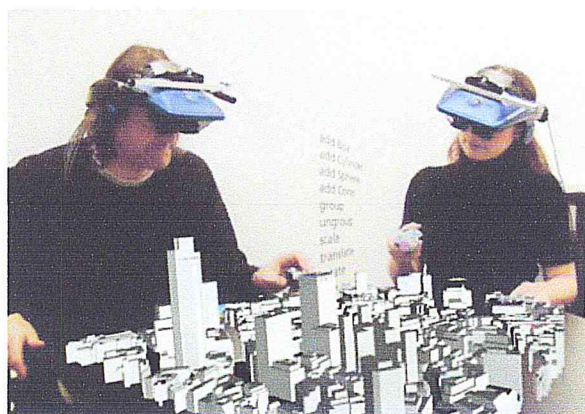


FIGURE I.5 – *ARTHURE*[Broll et al., 2000]

Le projet a été amélioré par la suite, en intégrant des techniques de reconnaissance de geste par vision pour la manipulation et le contrôle d'application.

MagicMeeting [Regenbrecht et al., 2002] est un système définissant un environnement de RA (dédiés aux réunions) sur table pour des réunions dans le domaine de l'automobile. Il a été développé au centre de recherche de Daimler Chrysler.

Chaque utilisateur dispose d'un PDA (Personal Digital Assistant), d'un casque vidéo semi-transparent et peut manipuler un objet virtuel positionné sur un élément réel tangible central sous forme d'un plateau tournant (figure I.6). Le système dispose également de deux écrans positionnés de chaque côté de l'espace de travail libre. Il utilise différents outils d'interaction (annotation, souris 2D/3D, éclairage,...) et permet le passage entre différents espaces et surfaces.

Le système devait relever trois défis techniques importants :

- Produire un rendu de haute qualité des objets.
- Enregistrer avec précision (en position et orientation) l'objet virtuel avec le vrai environnement
- Fonctionner en temps réel.

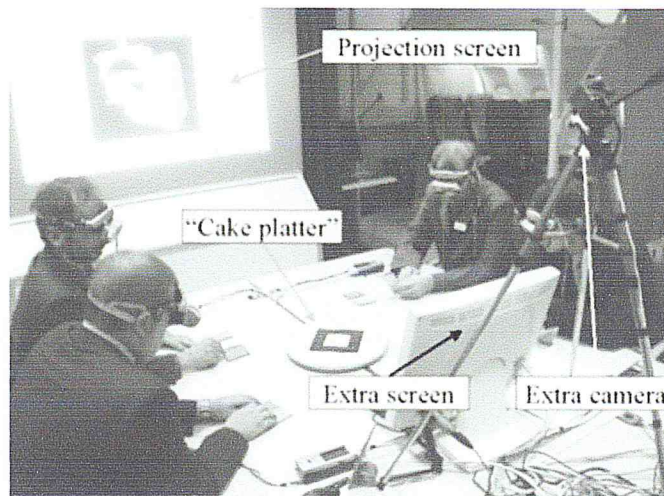


FIGURE I.6 – *Environnement MagicMeeting* [Regenbrecht et al., 2002]

### 5.3 État des lieux des projets relatifs aux EACs en Algérie

Le recours au développement des projets utilisant la RA en Algérie demeure très timide. À notre connaissance, uniquement le centre CDTA qui a engagé des actions visant à développer cette technologie. C'est l'équipe IRVA (Interaction Virtual and Augmented Reality) qui a initié le travail dans le domaine de la RA. Parmi les projets réalisés par l'équipe on trouve :

- Système de réalité augmentée pour la maintenance assistée (2007-2009).
- La e-maintenance par la réalité augmentée (2011-2013).
- L'interaction 3D collaborative et multimodale pour la réalité virtuelle et augmentée abrégé par IM@REV (2014-2016), le projet dans lequel s'inscrit notre projet de fin d'études réalisé au sein de la division Robotique et Productique du CDTA. Le domaine d'application de notre projet sera le design des voitures permettant l'élaboration ou la modification des modèles des composants des voitures sous l'assistance d'un expert.

## 6 Synthèse et discussion

Après avoir présenté quelques projets réalisés dans la RA, nous présentons une synthèse sous forme d'un tableau (voir tableau I.1) détaillé Ci-dessous :

- La première colonne indique le nom de projet.
- La deuxième colonne indique les technologies utilisées dans le projet.
- La troisième colonne précise le type de collaboration.
- La quatrième colonne indique le nombre des utilisateurs que supporte le système.
- La dernière colonne précise si le projet comporte des dispositifs mobiles.

| Projet       | Technologie   | Type de collaboration | Nombre d'utilisateurs | Mobilité |
|--------------|---|-----------------------|-----------------------|----------|
| Shared Space | Casque  | Locale                | Limité                | Oui      |
| Tiles        | Marqueur Artoolkit  | Local/Distant         | Multi                 | Oui      |
| Arthur       | Casque de visualisation/ Table  | Locale                | Limité                | Non      |
| MagicMeeting | Table/PDA/Casque/Ecran  | Locale                | Multi                 | Non      |
| IM@REV       | Leap Motion/ Kinect/ Table/ Marqueur Artoolkit/ Casque de visualisation | Locale/Distant        | Multi                 | Oui      |

TABLE I.1 – *Tableau comparatif pour les projets des EACs*

## 7 Conclusion

Ce chapitre avait pour principale objectif de définir les principaux concepts liées aux EACs tout en présentant quelques projets qui ont traités cette thématique. Le prochain chapitre ,après une brève définition des architectures logicielles utilisées pour formaliser le processus de collaboration, sera dédié à la présentation de notre architecture mis en place pour le développement de notre système collaboratif.



## Chapitre II

# Architectures logicielles pour les systèmes de RA collaboratifs

## 1 Introduction

L'architecture, dans son acception générale, est l'art de construire un objet selon des règles déterminées. C'est aussi la structure de l'objet construit.

Une architecture logicielle est une infrastructure composée de modules actifs, d'un mécanisme d'interaction entre ces modules et d'un ensemble de règles qui gouvernent cette interaction. [Delaney et al., 2006] Elle est utilisée pour plusieurs raisons telle que la définition du plan de travail et la répartition du travail entre les équipes ainsi que la structuration des différentes étapes de développement, de tests et de maintenance.

Dans ce chapitre nous allons présenter les principaux modules qui composent l'architecture logicielle de notre système de RA collaboratif, plus particulièrement, l'architecture réseau client/serveur, le mode centralisé pour la distribution de données et le modèle MVC pour les systèmes multi-modales.

## 2 Les architectures réseaux

[Delaney et al., 2006] distinguent deux organisations possibles des ordinateurs sur le réseau pour un environnement distribué : les architectures pair-à-pair et les architectures client-serveur.[Lee et al., 2007] proposent d'ajouter les architectures hybrides qui combinent ces deux types d'architecture. Pour notre application nous allons utiliser l'architecture client/serveur.

### 2.1 Architecture client/serveur

Cette architecture fournit un accès central auquel tous les utilisateurs sont connectés (figureII.1). Ce serveur central peut gérer la communication entre les différents utilisateurs et stocker des données.

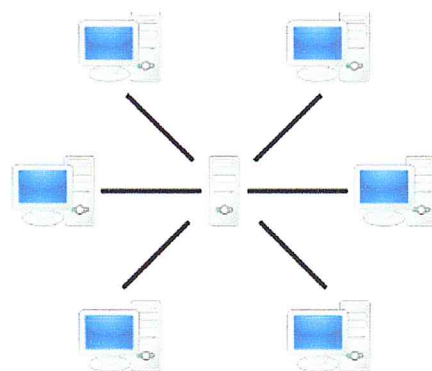


FIGURE II.1 – Architecture client/serveur [Millet, 2013].

### 3 Modes de distribution de données

[Macedonia and Zyda, 1997] précisent qu'une des décisions les plus critiques lors de la conception d'un environnement collaboratif est de choisir où mettre les données relatives à l'environnement et aux objets qui le constituent. Il faut déterminer sur quels nœuds placer les données (données géométriques, textures, etc.), mais aussi sur quels nœuds exécuter le processus relatif à chacun de ces objets. Nous distinguons trois modes de distribution des données : le mode centralisé le mode homogènement répliqué et le mode partiellement répliqué [Fleury., 2012]. Dans notre projet nous allons utiliser le mode centralisé.

Le principe de ce mode est d'utiliser une seule base de données partagée par tous les utilisateurs de l'environnement. Toutes les données sont contenues sur un serveur central et tous les traitements relatifs aux objets sont exécutés sur ce serveur.

Les utilisateurs viennent se connecter au serveur pour participer à la session collaborative (cette approche impose une architecture réseau de type client/serveur).

Lorsqu'un utilisateur veut modifier l'état d'un objet, il envoie une requête au serveur, celui-ci traite alors la demande de modification, puis transmet une mise à jour à tous les nœuds, y compris à celui qui a fait la requête (figure II.2). Cette méthode assure une forte cohérence entre les nœuds et permet de ne pas dupliquer les données [Fleury., 2012].

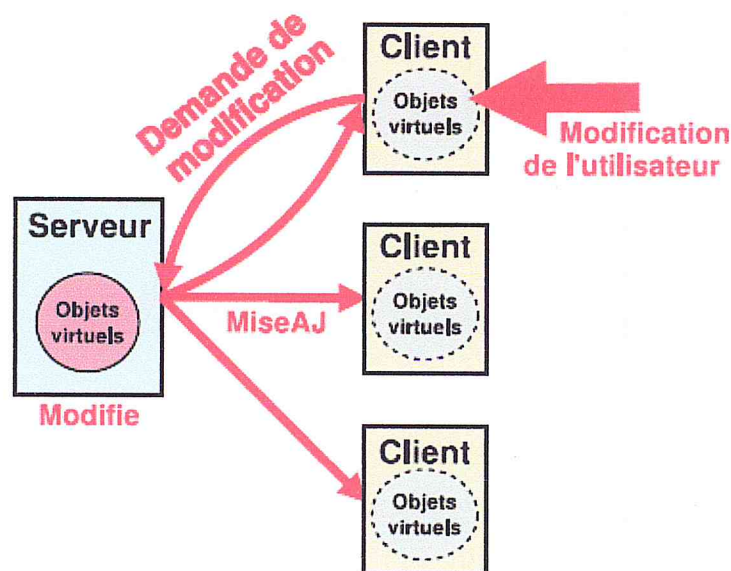


FIGURE II.2 – Modification d'un objet dans le cas d'un mode centralisé.

### 4 Architectures des systèmes multimodales

L'architecture est un ensemble organisé d'unités de calcul (composants et connecteurs) ainsi que la description des interactions entre ces unités. Dans cette section nous allons présenter un

des modèles d'architectures pour les systèmes interactifs avec lequel nous allons travailler.

Plusieurs modèles d'architectures existent, on peut citer le modèle Seeheim ([Pfaff, 1985]), le model Pac ([Coutaz, 1987]), le modèle Pac-Amodeus ([Nigay and Coutaz, 1993]) et le modèle MVC ([Goldberg and Robson, 1981]). Cette section sera uniquement consacrée pour la présentation du modèle MVC, modèle utilisé pour notre projet.

Le modèle MVC (Modèle, Vue, Contrôleur) est introduit en 1986 [Goldberg and Robson, 1981]. MVC décompose les systèmes interactifs en une hiérarchie d'agents. Un agent MVC consiste en un modèle muni d'une ou plusieurs vues, et d'un ou plusieurs contrôleurs (figure II.3) :

- **Le modèle** est le noyau fonctionnel de l'agent. Il peut représenter des données brutes (entier, chaîne de caractères...) ou des objets ayant un comportement complexe. Le rôle du modèle est de récupérer les données depuis la source (fichier, BDD), puis les organiser pour les transmettre au contrôleur afin qu'il les traite.
- **La vue** maintient une représentation du modèle perceptible par l'utilisateur, qu'elle met à jour à chaque changement d'état du modèle. Elle est en général constituée d'objets graphiques.
- **Le contrôleur** reçoit et interprète les événements utilisateur, en les répercutant sur le modèle (modification de son état) ou sur la vue (retour instantané).

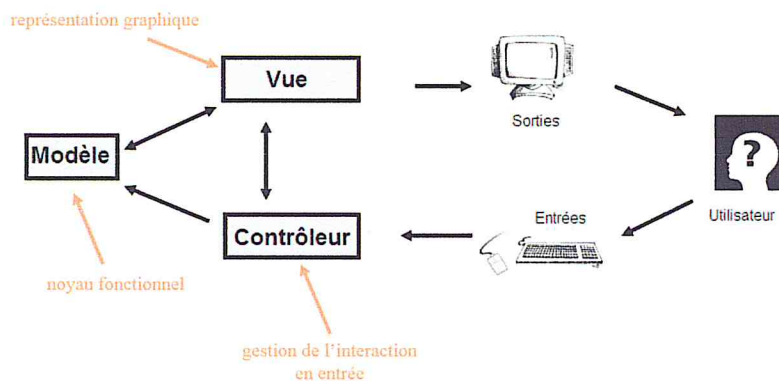


FIGURE II.3 – Le modèle de MVC.

## 5 Modèle d'architecture logicielle pour les EACs

Dans ce chapitre, nous proposons un nouveau modèle d'architecture logicielle qui étend le modèle MVC pour les Environnements Augmentés Collaboratifs.

D'un point de vue réseau, nous adoptons l'architecture client/serveur pour garantir l'échange et la distribution de données.

La figure (II.4) montre notre architecture sous forme de couches du modèle proposé.

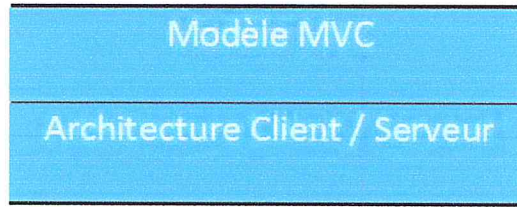


FIGURE II.4 – Les couches logicielles de notre modèle.

## 6 Architecture adoptée pour la conception de notre ECRA

Nous avons mentionné dans ce qui précède, qu’il existe plusieurs architectures pour développer un système de réalité augmentée interactif et collaboratif.

Le modèle MVC semble particulièrement bien adapté à ces systèmes, car les aspects liés à la collaboration peuvent être intégrés sous forme des processus indépendants. Ainsi, chaque processus peut gérer d’une façon particulière la distribution de ses données sur le réseau.

Par conséquent, l’architecture que nous avons adopté pour notre système, résulte d’un mixage entre l’architecture client/serveur et le modèle MVC. Où chaque client est considéré comme agent MVC et le serveur n’a que le Modèle et le Contrôle.

Le schéma décrivant notre architecture est présenté par la figure (II.5).

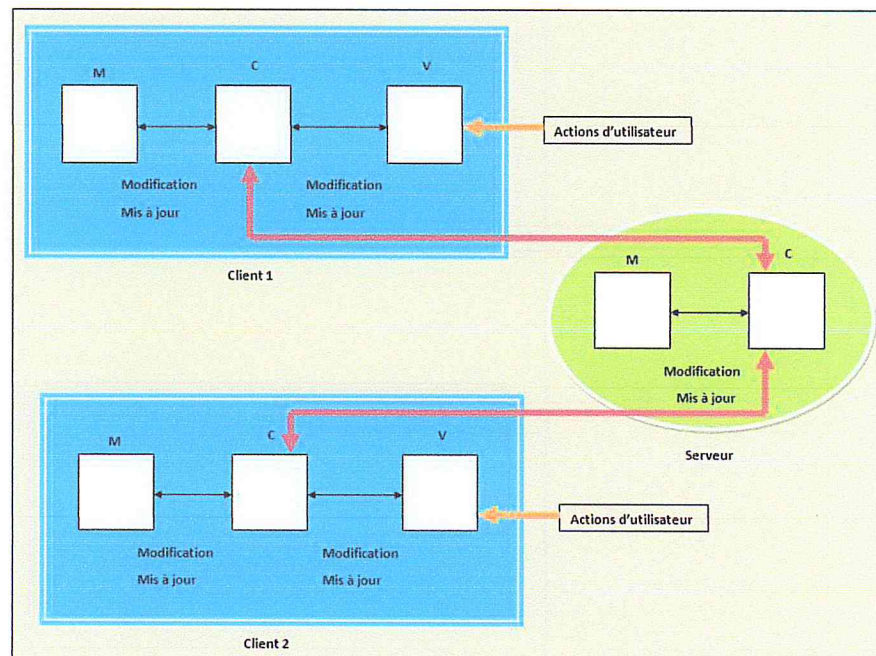


FIGURE II.5 – Le schéma de l’architecture proposée.

### Gestion des objets 3D de la scène

Chaque objet présent dans la scène augmentée est modélisé par le processus proposé. Pour gérer ces objets, nous pouvons utiliser un gestionnaire d'objets qui peut être décomposé en trois facettes décrites comme suit :

- **Le Modèle (M)** stocke des données sur le monde augmenté (nombre et types d'objets, marqueurs, matrices de transformation, ...). Le Modèle est en relation avec le serveur à travers le Contrôle. Après une opération de vérification pour autoriser la modification des paramètres de l'objet, Le Contrôle interroge le modèle en lui transmettant les paramètres de l'action effectuée par l'utilisateur ainsi que ceux de l'objet. Le Modèle exécute les traitements nécessaires et envoie au Contrôle les nouvelles valeurs de l'objet, et d'autres objets éventuellement, ainsi que de l'action de l'utilisateur. Le Contrôle du serveur transmet ces nouvelles valeurs aux Contrôles associés aux différents nœuds.
- **Le Contrôle (C)** conserve la liste des Contrôles de tous les objets virtuels et gère les demandes de modification et les paramètres des objets dans le monde augmenté.
- **La Vue (V)** propose une représentation particulière du monde augmenté. Par exemple, pour un moteur graphique 3D, la Vue correspond à la scène du monde 3D et les Vues des objets virtuels correspondent aux éléments de la scène qui représentent graphiquement ces objets. Afin de garantir la cohérence réel/virtuel, les différentes vues intègrent, des matrices de transformation des objets permettant d'afficher plusieurs vues augmentées adaptées aux mouvements des utilisateurs.

Nous signalons que le Contrôle a un accès au modèle afin de mettre à jour les objets et les données de la scène 3D et de distribuer ces nouvelles données aux différents nœuds.

### Instanciation dans le mode Client/serveur

Dans ce mode, le traitement des données s'effectue au niveau du serveur. Lors de l'action d'un utilisateur sur la Vue, le nœud correspondant communique avec le serveur à travers le Contrôle de nœud.

Par la suite, le Contrôle du serveur, interroge le modèle et demande les nouvelles valeurs de l'objet après modification.

Le Contrôle du serveur transmet, ensuite, ces nouvelles valeurs aux différents Contrôles des nœuds. Les Contrôles des nœuds effectuent la mise à jour des objets.

Les différentes Vues utilisent les nouveaux paramètres afin d'afficher les scènes mises à jour aux utilisateurs.

## 7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini les différentes architectures (l'architecture réseau client/serveur, le mode de distribution de données centralisées et l'architecture logicielle MVC) et en se basant sur le principe de chacune d'elles nous avons proposé une architecture pour les systèmes de RA collaboratifs.

Notre architecture est une extension du modèle MVC où chaque objet du monde augmenté peut être modélisé par un processus de ce modèle sur chacun des nœuds qui participent au processus de collaboration.

Notre modèle propose d'établir un modèle de distribution de données à travers une architecture client/serveur.

D'un autre point de vue, notre modèle permet également de modéliser l'EAC indépendamment des représentations virtuelles et des paramètres de la scène qui lui sont associés.

L'objectif de notre architecture est de garantir un fort découplage entre la modélisation de l'environnement augmenté et les composants logiciels utilisés.

Dans le chapitre suivant nous aborderons la conception de notre système collaboratif en se basant sur notre modèle d'architecture proposé pour la conception de l'architecture logicielle.

## Chapitre III

# Conception



## 1 Introduction

Ce chapitre présente la conception de notre système multimodale collaboratif basé sur la réalité augmentée. Nous décrivons premièrement la démarche que nous avons adopté pour la mise en œuvre de ce système, au moyen du processus de développement 2TUP étendu.

Nous allons par conséquent commencer par la présentation de notre projet. Ensuite, nous allons exécuter le processus 2TUP étendu [Benbelkacem et al., 2014]. Où nous commençons par l'identification des fonctionnalités et des utilisateurs de notre futur système. Il s'agit de définir les besoins fonctionnels et les besoins d'interaction du futur système.

Ces besoins seront, par la suite, modélisés à travers l'utilisation du formalisme UML, plus précisément les diagrammes des cas d'utilisation. ces diagrammes seront ensuite traduits en des diagrammes de classes et de séquences décrivant ainsi le comportement de notre système. Ces diagrammes seront enfin utilisés pour les phases implémentation et développement.

## 2 Méthodologie de gestion du projet

Les principaux processus de développement utilisés pour la conception des plateformes du travail collaboratif sont les processus UP, RUP, XP, 2TUP. En ce qui nous concerne nous allons adopter le processus 2TUP étendu [Benbelkacem et al., 2014] qui représente une extension du processus 2TUP (figure III.1).

Le processus 2TUP étendue (figure III.2) permet de gérer à la fois les aspects fonctionnels, interactionnels et technologiques dans le cas des systèmes de réalité augmentée et réalité virtuelle. Ce processus permet de dissocier les aspects techniques des aspects fonctionnels et interactionnels. Il propose ainsi une étude parallèle de ces aspects permettant de diminuer les erreurs qui peuvent se produire lors de la phase de réalisation. La phase de conception et tests se terminent par la mise au point d'un prototype primaire du produit.

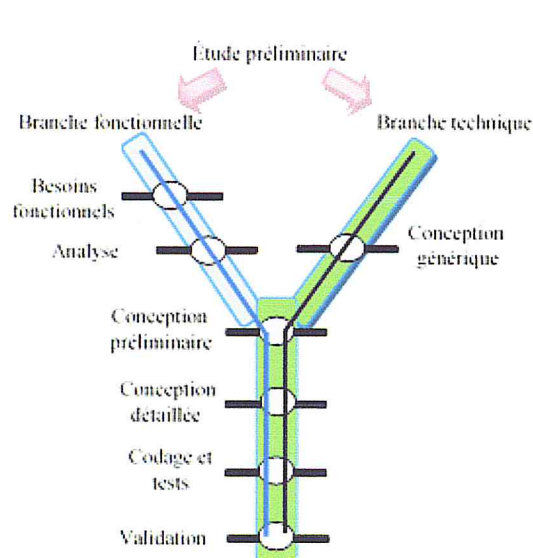


FIGURE III.1 – *Processus 2TUP.*

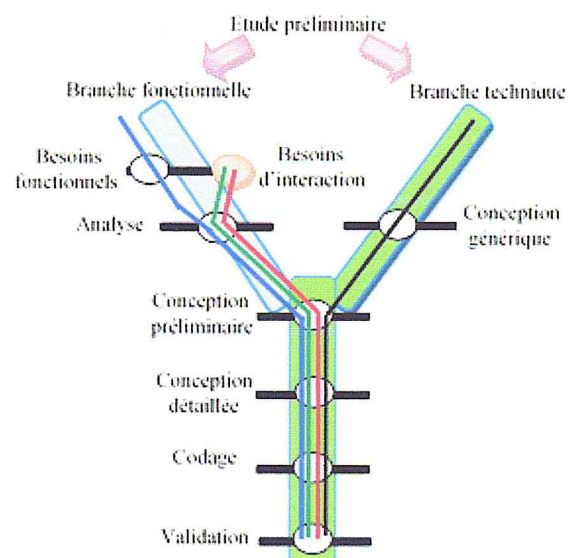


FIGURE III.2 – *Processus 2TUP étendu [Benbelkacem et al., 2014].*

### 3 Présentation du projet

Tel qu'il a été présenté dans le premier chapitre, notre projet s'inscrit dans le cadre du projet IM@REV « Interaction 3D Multimodale et Collaborative dans un environnement de Réalité Virtuelle et Augmentée » initié au sein de l'équipe IRVA de la division Robotique et Productique du Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA). Il s'agit de développer un système multimodal et collaboratif basé sur la réalité augmentée. L'objectif est de permettre à plusieurs utilisateurs de manipuler des objets 3D pour réaliser un objectif commun. Le système sera testé sur un exemple d'application qui consiste à assembler des composants d'une voiture par plusieurs utilisateurs co-localisés.

### 4 Identification des besoins

#### Besoins fonctionnels

Les fonctionnalités que le système devra fournir sont les suivantes :

- Ouvrir une caméra.
- Afficher la carcasse d'une voiture.
- Afficher la liste des composants (ex. roue, porte, coffre...).
- Choisir un composant.
- Manipuler un composants.
- Assembler un composant à la carcasse.
- Modifier les caractéristiques d'un composant 3D.
- Communiquer avec un utilisateur.

#### Besoins d'interaction

Les besoins d'interaction identifiés pour notre système sont :

- Les objets interaction : carcasse 3D, roue 3D, porte 3D, coffre3D.
- Les modalités d'interaction :gestes de la main et voix.
- Les dispositifs supports aux interactions : Leap Motion ou Kinect, microphone.

#### Besoins techniques

Le système à développer devra utiliser les outils hardware et software suivant :

Besoins en outils hardware :

- PCs portables.
- Webcams.
- Leap Motion.
- Marqueurs Artoolkit
- Microphone.

Besoins en outils software :

- Moteur graphique Unity 3D.
- Environnement de développement C#.
- Gestionnaire des bases de données PHPMyAdmin.

- Langage PHP.
- Librairie de réalité augmentée ARtoolkit sous Unity.
- API leap motion.
- Le serveur RecoServer.

## 5 Identification des acteurs

Un acteur représente un rôle joué par une entité externe (utilisateur humain, dispositif matériel ou un autre système) qui interagit directement avec le système dédié [roq, 2009].

L'identification des acteurs est une tâche primordiale dans le processus de développement de tout système. Pour notre cas, le système est dédié aux agents techniciens dans le domaine de design des voitures. Ils collaborent entre eux pour élaborer ou modifier des composants des voitures sous l'assistance d'un expert co-localisé. Pour cela, nous avons identifié trois types d'acteurs (figure III.3) :

- **Technicien** : considéré comme l'acteur principal du système. Son rôle est d'interagir avec les composants de la voiture 3D sans apporter des modifications sur les caractéristiques de la voiture. Il collabore aussi avec d'autres techniciens dans le processus d'assemblage de composants de la voiture. Il peut également solliciter un expert local.
- **Expert** : acteur plus expérimenté que le technicien dans le domaine de design automobile. Son rôle est d'aider un ou plusieurs techniciens lors du processus d'assemblage. L'expert peut aussi collaborer avec d'autres experts.
- **Administrateur** : il gère le système d'information de l'application développée. A titre d'exemple, l'administrateur peut gérer la base de données, gérer les comptes des utilisateurs, gérer le nombre d'utilisateurs connectés.

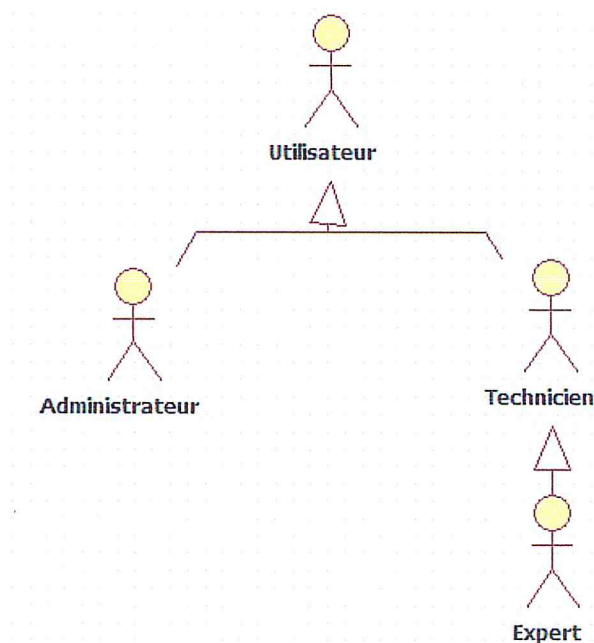


FIGURE III.3 – Les acteurs de notre système.

## 6 Identification des cas d'utilisation

Un cas d'utilisation (use case en anglais) représente un ensemble de séquences d'action réalisées par le système et produisant un résultat observable intéressant pour un acteur particulier. Un cas d'utilisation modélise un service rendu par le système, il permet de décrire ce que le futur système devra faire, sans spécifier comment il le fera. L'ensemble des cas d'utilisation doit décrire exhaustivement les exigences fonctionnelles du système. L'élaboration des cas d'utilisation nous donne un aperçu des fonctionnalités futures que doit implémenter le système. Dans notre configuration, nous avons identifié un ensemble des cas d'utilisation qui sont donnés comme suit :

| Utilisateur                          | Cas d'utilisation                                       | Message  | interaction                                  |
|--------------------------------------|---|--|--|
| administrateur<br>Technicien/expert. | Accéder au système                                      | -Emet : demande d'authentification<br>-Reçoit : accès au système.  |  |
| administrateur                       | Gérer les sessions                                      | -Emet : L'utilisateur s'authentifie en tant qu'un administrateur.<br>-Reçoit : Permission de gestion de sessions(ajouter/supprimer/mettre à jour un compte). |  |
| Technicien/expert                    | Afficher/supprimer un composant 3D                      | -Emet : clic sur le composant de son choix.<br>-Reçoit : visualisation du composant choisi.  |  |
| Technicien/expert                    | Manipuler un composant 3D (rotation, translation, zoom) | -Emet : demande de manipuler un composant 3D<br>-Reçoit : composant 3D manipulé  | carcasse 3D<br>Composant 3D<br>Geste ou voix |
| Technicien/expert                    | Assembler carcasse avec composant                       | -Emet : demande d'assemblage d'un composant avec une carcasse<br>-Reçoit : assemblage effectué.  | carcasse 3D<br>Composant 3D<br>Geste ou voix |
| Technicien/expert                    | communiquer   | -Emet : écrire un message et l'envoyer<br>-Reçoit :message envoyé  | Chat ou micro                                |
| Expert                               | Modifier caractéristique du composant 3D                | -Emet : Modifier la forme/la couleur d'un composant 3D.<br>-Reçoit : Modification de la forme/couleur du composant 3D  | Composant 3D<br>Geste ou voix                |

TABLE III.1 – La liste des cas d'utilisations.

## 7 Cas d'utilisation

### 7.1 Cas d'utilisation globale

Le diagramme dans la figure (III.4) expose l'utilisation générale de l'application, les détails seront présentés dans des diagrammes des cas d'utilisation spécifiques peu après.

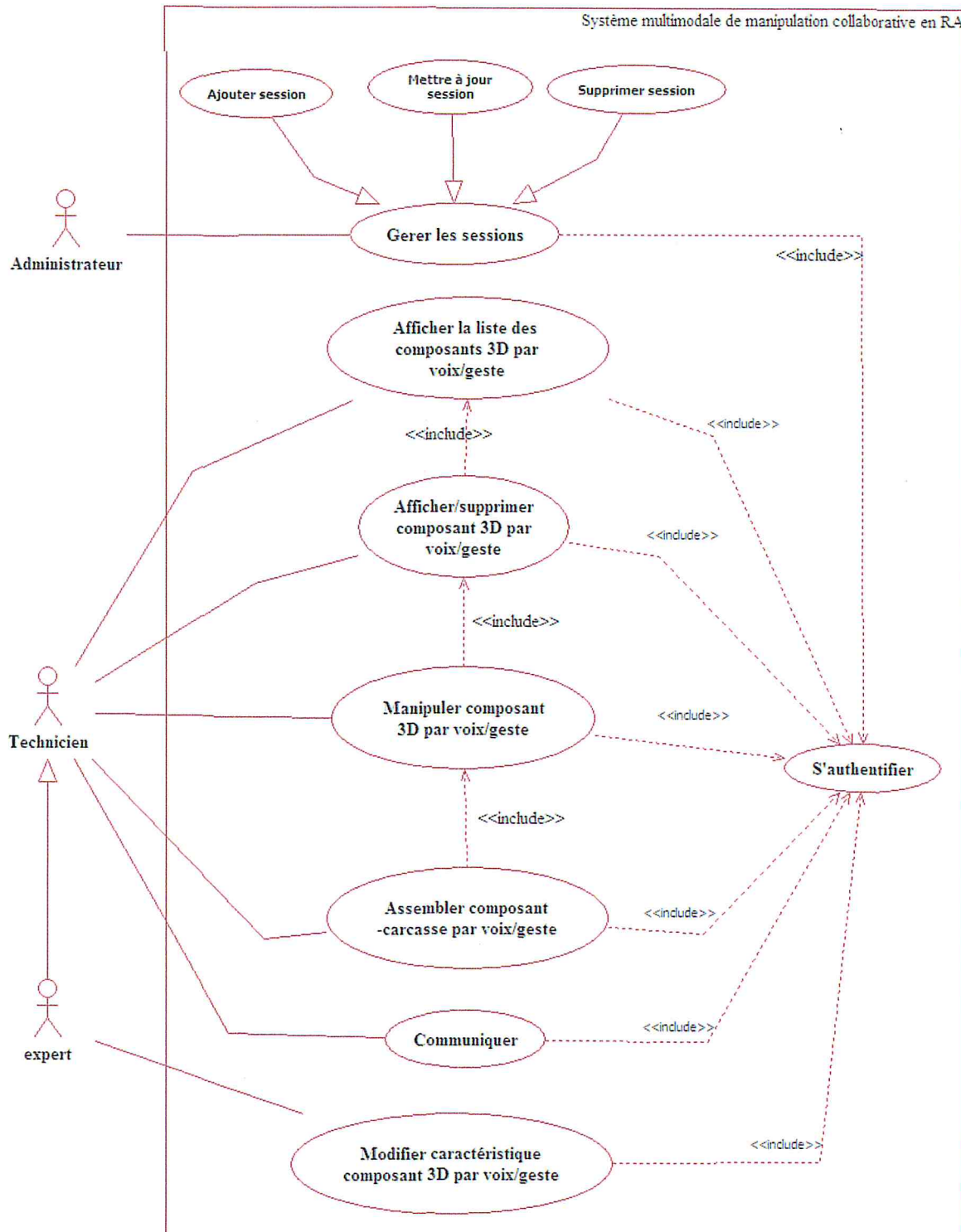


FIGURE III.4 – Cas d'utilisation globale.

### 7.2 Cas d'utilisation : afficher/supprimer un composant 3D

Le diagramme dans la figure (III.5) montre que l'affichage/suppression d'un composant 3D génère l'affichage/suppression d'une roue, d'un coffre ou d'une porte.

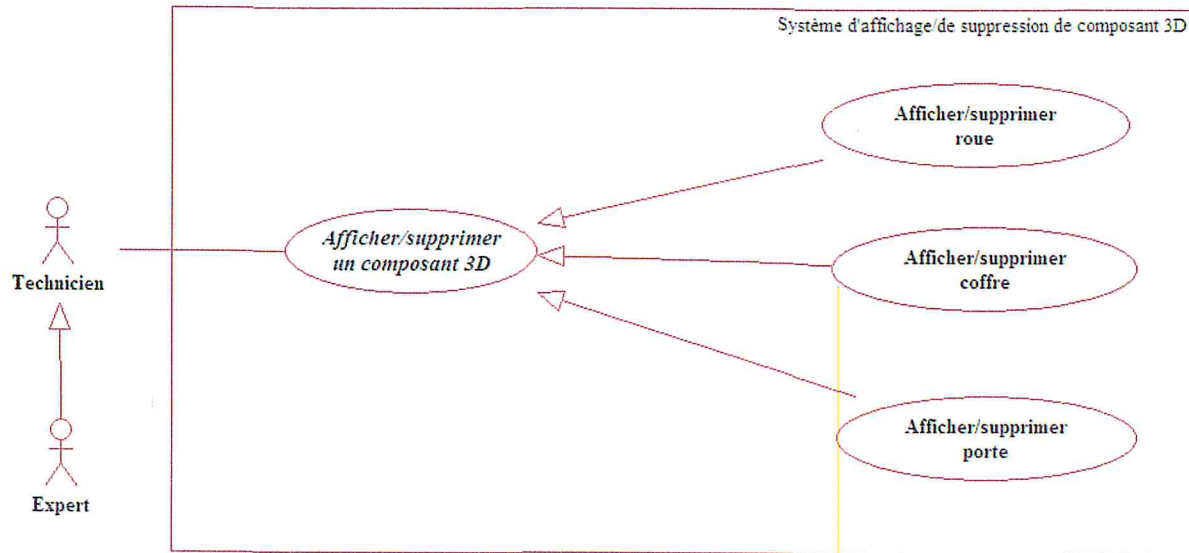


FIGURE III.5 – Cas d'utilisation "Afficher/supprimer un composant 3D".

### 7.3 Cas d'utilisation : manipuler un composant 3D

Le diagramme illustré dans la figure (III.6) montre que la manipulation d'un composant par un utilisateur est d'effectuer une des trois opérations : translation, rotation ou un zoom.

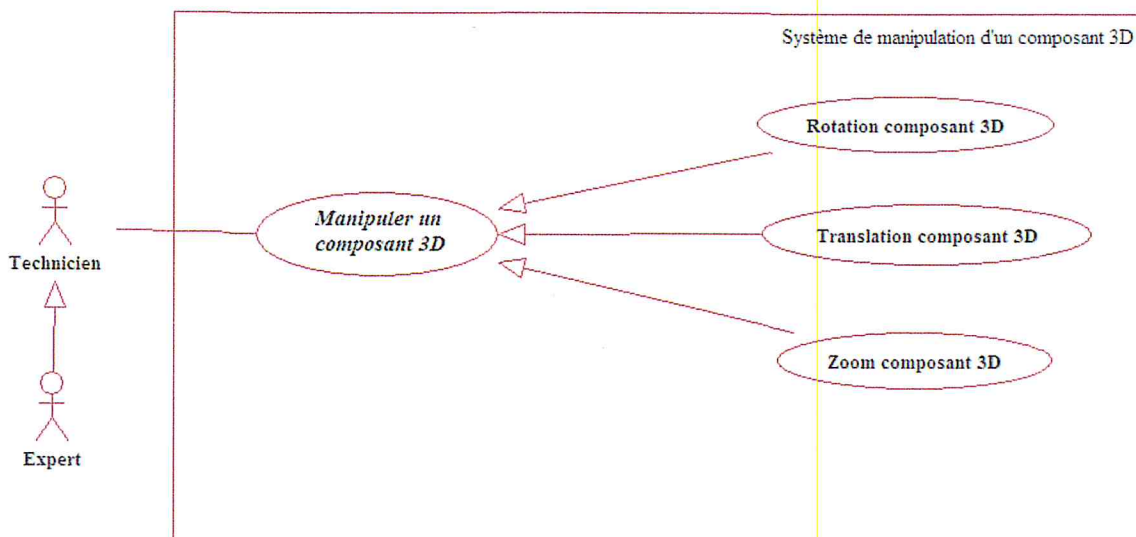


FIGURE III.6 – Cas d'utilisation "Manipuler un composant 3D".

### 7.4 Cas d'utilisation : Co-manipuler le même composants 3D

Tâche au cours de laquelle un groupe d'utilisateurs (techniciens ou experts) manipulent conjointement le même composant 3D (porte, coffre ou roue) voir la figure (III.7).

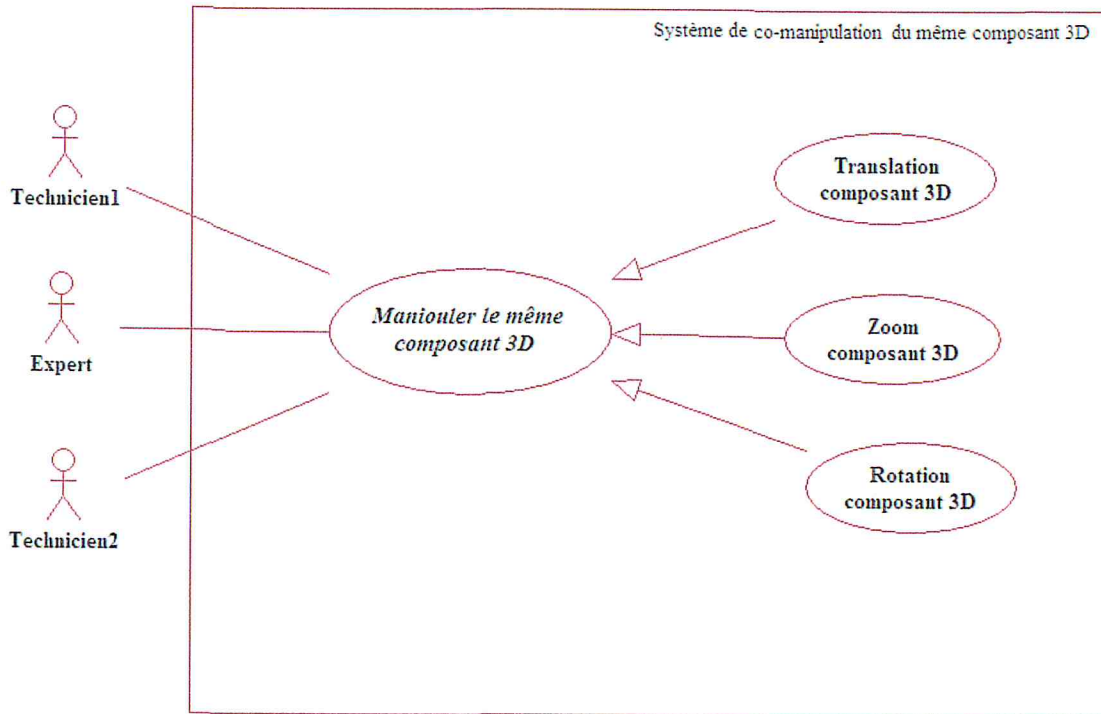


FIGURE III.7 – Cas d'utilisation "Co-manipuler le même composants 3D".

### 7.5 Cas d'utilisation : communiquer

Les techniciens et les experts peuvent communiquer entre eux pour la manipulation de pièces et cela par le chat (envoi et réception des messages) tout en visualisant la même scène 3D (III.8).

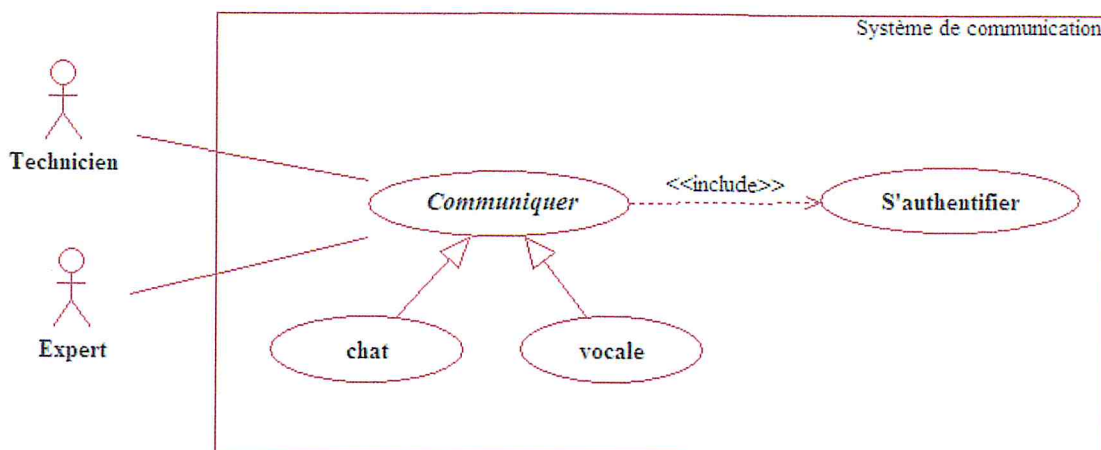


FIGURE III.8 – Cas d'utilisation "Communiquer".

### 7.6 Cas d'utilisation : modifier les caractéristique d'un composant 3D

Le rôle de l'expert dans notre système n'est pas seulement la manipulation d'un composant mais aussi la modification des caractéristiques de ce composant (figureIII.18).

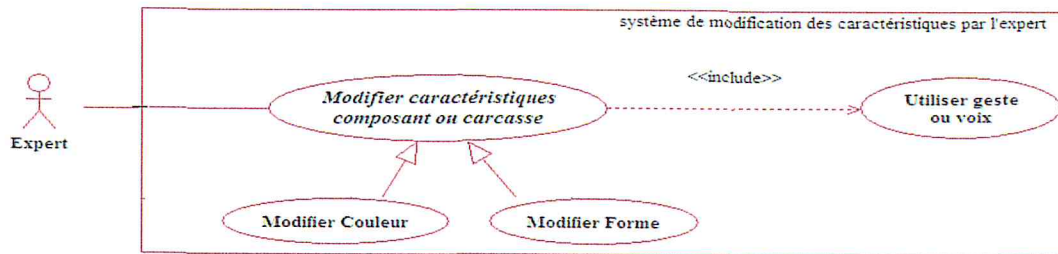


FIGURE III.9 – Cas d'utilisation "Modifier les caractéristiques d'un composant 3D".

## 8 Description détaillée des cas d'utilisation

Nous détaillons maintenant chaque cas d'utilisation présenté précédemment. Les descriptions seront organisées sous forme d'un tableau qui contient : l'acteur responsable du cas d'utilisation, des préconditions pour ce cas, un scénario nominal décrivant celui-ci ainsi que des scénarios alternatifs et des exceptions (mais pas nécessairement) et à la fin des post-conditions.

### Gérer les sessions

Le tableau (III.2) décrit le cas d'utilisation de la gestion des sessions par l'administrateur.

|  |
|--|
| Sommaire d'identification  |
| Titre : Gérer les sessions.  |
| Acteur : administrateur.   |
| Préconditions : L'administrateur doit s'authentifier.  |
| Description détaillée  |
| Scénarios nominaux :   |
| Ajouter session<br>- L'administrateur reçoit la demande de création d'une nouvelle session.<br>- Il accepte ou refuse la demande.<br>Post conditions : Un compte utilisateur est créé ou annulé.   |
| Supprimer session<br>- L'administrateur entre l'Id de l'utilisateur qu'il souhaite supprimer.<br>- Il clique sur bouton "Delete".<br>Post conditions : Un compte utilisateur est supprimé.   |
| Mettre à jour session<br>- L'administrateur entre l'Id de l'utilisateur qu'il souhaite mettre à jour, et clique sur bouton "Get infos".<br>- Il aura ainsi les informations de cet utilisateur.<br>- Il change ses informations et clique sur bouton "Save Update".<br>Post conditions : Un compte utilisateur est mis à jour. |

TABLE III.2 – Description "Gérer les sessions".



### Utiliser voix/geste

La description du cas d'utilisation "Utiliser voix/geste" est donnée dans le tableau (III.3).

|   |
|---|
| Sommaire d'identification   |
| Titre : Utiliser voix/geste.  |
| Acteur : Technicien et expert.  |
| Préconditions : L'utilisateur doit avoir accès au système.  |
| Description détaillée   |
| Scénario nominal :<br>- Si le technicien décide d'interagir dans le système avec le mode vocale, il choisit voix.<br>- l'exécution du mode vocale doit désactiver le mode gestuel. - Si l'utilisateur choisit le mode gestuel après avoir utiliser le mode vocal, la désactivation de ce mode (vocal) sera obligatoire. |
| Post conditions : Apparition d'une scène selon le mode choisit.   |

TABLE III.3 – Description "Utiliser voix/geste".

### Afficher/supprimer un Composant 3D

La description du cas d'utilisation "Afficher/supprimer un Composant 3D" est donnée dans le tableau (III.4).

|   |
|---|
| Sommaire d'identification   |
| Titre : Afficher/supprimer carcasse 3D.   |
| Acteur : Technicien et expert.  |
| Préconditions : Caméra ouverte.   |
| Description détaillée   |
| Scénario nominal :<br>- Le technicien doit choisir le mode (gestuel ou vocal) avec lequel il va travailler.<br>- Il affiche la liste des composants 3D .<br>- Il clique sur un des composants 3D apparue sur la liste, ce dernier sera affiché dans la scène.<br>- S'il veut supprimer le composant, il clic sur bouton delete et choisie le composant à supprimer. |
| Post conditions : Affichage/suppression d'un composant effectué.  |

TABLE III.4 – Description "Afficher/supprimer un Composant 3D".

### Manipuler un composant 3D

Le tableau (III.5) est une description du cas d'utilisation "Manipuler composant 3D".

|   |
|---|
| Sommaire d'identification   |
| Titre : Manipuler composant 3D.   |
| Acteur : Technicien et expert.  |
| Préconditions :<br>Le technicien doit sélectionner un composant 3D pour le manipuler.       |
| Description détaillée   |
| Scénario nominal :<br>Le technicien exécute une manipulation (translation, zoom, rotation). |
| Post conditions : Manipulation effectuée.   |

TABLE III.5 – Description "Manipuler composant 3D".

### Co-manipuler le même composants 3D

Le tableau (III.6) est une description du cas d'utilisation "Co-manipuler le même composants 3D".

|   |
|---|
| Sommaire d'identification   |
| Titre : Co-manipuler le même composants 3D.   |
| Acteur : Technicien et expert.  |
| Préconditions :<br>Le composant à manipuler doit être affiché sur la scène.   |
| Description détaillée   |
| Scénario nominal :<br>- Le technicien sélectionne le composant 3D et exécute une manipulation sur celui ci(ex. il effectue une translation sur cet objet).<br>- Le deuxième technicien (ou l'expert) sélectionne à son tour le même composant 3D et peut effectuer une manipulation ou bien il assemble le composant à la carcasse. |
| Post conditions : Co-manipulation effectuée.  |

TABLE III.6 – Description "Co-manipuler le même composants 3D".

### Communiquer

Le tableau (III.7) montre la description d'utiliser le chat.

|   |
|---|
| Sommaire d'identification   |
| Titre : Communiquer.  |
| Acteur : Technicien et expert.  |
| Préconditions : Le technicien et l'expert accèdent au système et chacun ouvre sa propre caméra.   |
| Description détaillée   |
| Scénario nominal :<br>- Le technicien écrit son message dans la fenêtre du chat.<br>- Le message est reçu par tous les utilisateurs connectés au système. |
| Post conditions : Communication effectuée.  |

TABLE III.7 – Description "Communiquer".

## Modifier les caractéristiques d'un composant

Le tableau (III.8) montre quelles modifications peut apporter un expert sur les objets du scène.

|   |
|---|
| Sommaire d'identification   |
| Titre : Modifier les caractéristiques d'un composant.   |
| Acteur : Expert.  |
| Préconditions : L'expert doit ouvrir sa caméra et choisir le mode avec lequel il interagit avec le système.   |
| Description détaillée   |
| Scénario nominal :<br>- L'expert sélectionne un composant à modifier.<br>- S'il veut modifier la forme, il affiche la liste des formes disponibles et choisit celle qui lui convient.<br>- S'il veut modifier la couleur, il affiche la liste des couleurs et sélectionne une couleur de son choix. |
| Post conditions : Composant modifié.  |

TABLE III.8 – Description "Modifier les caractéristiques d'un composant".

## 9 Développement du modèle statique

Le modèle statique décrit l'organisation des différents objets métiers par le biais du diagramme UML de classes et le diagramme de déploiement.

### 9.1 Diagramme de classes

Un diagramme de classes UML décrit les structures des objets et des informations utilisés par l'application, à la fois en interne et en communication avec ses utilisateurs. Il décrit les informations sans référence à une implémentation particulière. Ses classes et relations peuvent être implémentées de différentes manières, par exemple avec des tables de bases de données, des nœuds XML ou des compositions d'objets logiciels. [microsoft, 2009]

La figure (III.10) illustre le diagramme de classe global de notre système.

diagramme de classes

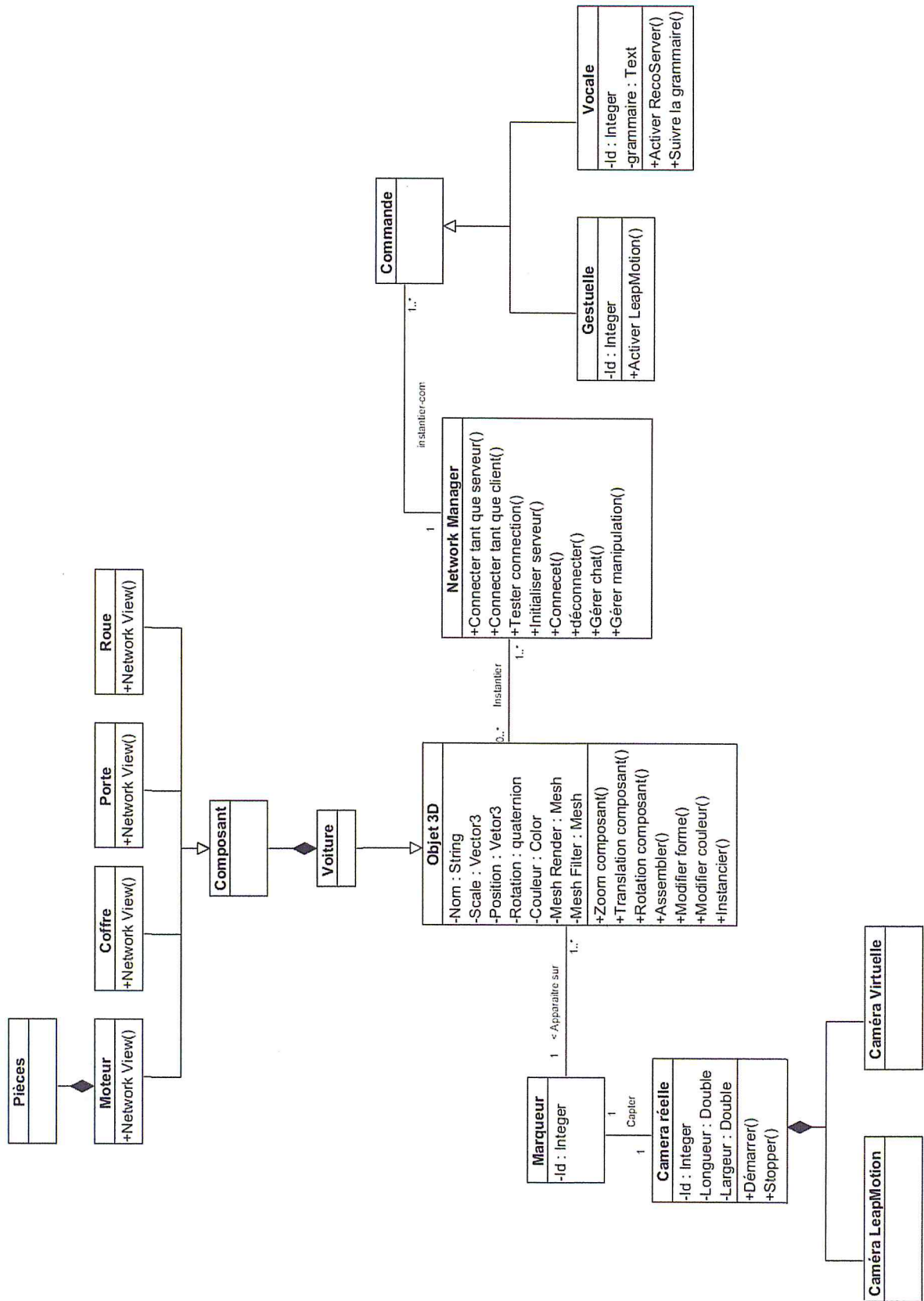


FIGURE III.10 – Le diagramme de classes globale.

## 9.2 Diagramme de déploiement

Dans UML, les diagrammes de déploiement modélisent l'architecture physique d'un système. Les diagrammes de déploiement affichent les relations entre les composants logiciels et matériels du système, d'une part, et la distribution physique du traitement, d'autre part [IBM, 2009]. La figure (III.11) illustre le diagramme de déploiement de notre système.

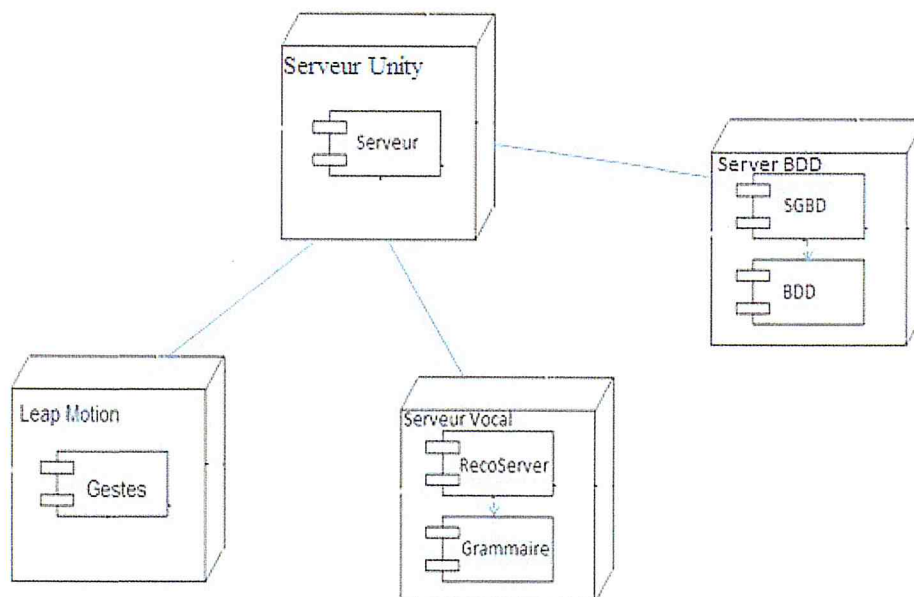


FIGURE III.11 – Le diagramme de déploiement.

## 10 Développement du modèle dynamique

Le développement du modèle dynamique constitue la troisième activité de l'étape d'analyse. Il s'agit d'une activité itérative. Le modèle dynamique est décrit sous forme de diagramme UML de séquences.

### 10.1 Diagramme de séquences pour l'accès au système

Le scénario :

- L'utilisateur saisit son pseudo et mot de passe.
- Le système vérifie la validité des données saisies.
- L'utilisateur accède au système.

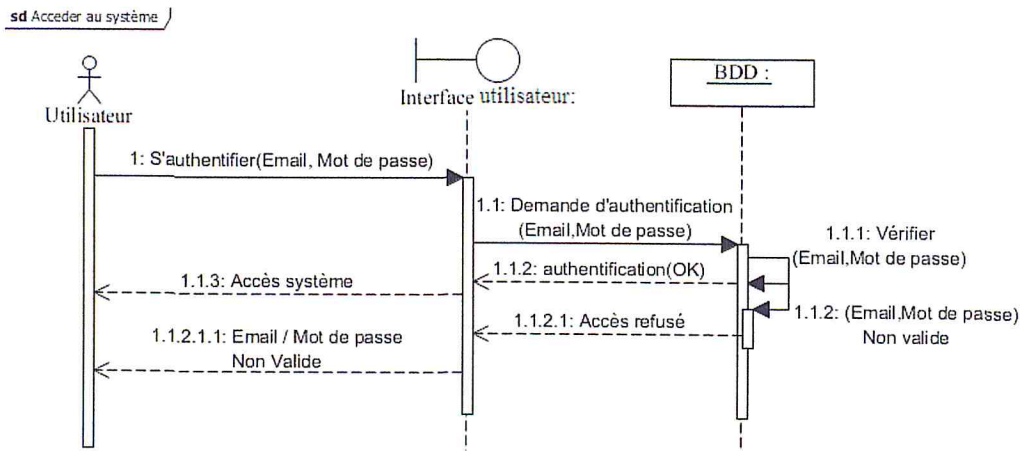


FIGURE III.12 – Diagramme de séquences pour le cas "accéder au système".

## 10.2 Diagramme de séquences pour l'ajout d'un client

Le scénario :

- L'accès au système nécessite l'ajout de l'utilisateur(technicien ou expert) par l'administrateur.
- Le technicien (expert) clique sur le bouton créer compte, une interface contenant des champs à remplir concernant les informations du technicien s'affiche.
- Le technicien (expert) remplit ces champs et clic sur le bouton "Crete account".
- L'administrateur de sa part sur sa propre interface clique sur le bouton "Show number" pour voir le nombre des demandes reçues, il accède à la base de données pour récupérer l'ID du technicien qui a envoyé la demande puis il clique sur le bouton "Add user" pour l'ajouter.
- Lors du clic sur le bouton "Add user" les informations du technicien sont envoyées et enregistrées dans la base de données.

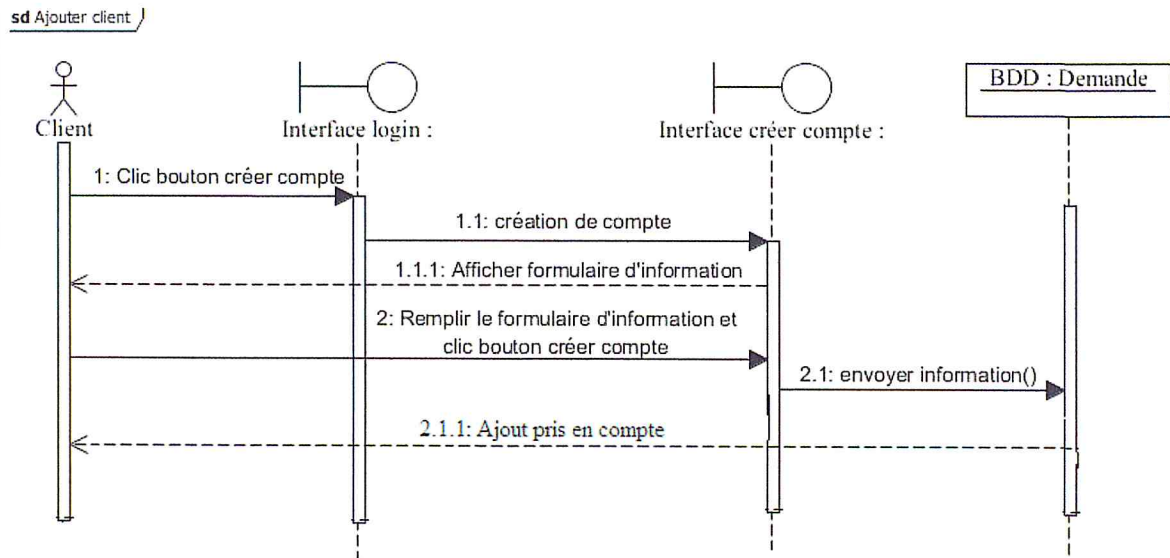


FIGURE III.13 – Diagramme de séquences pour le cas "ajouter un client".

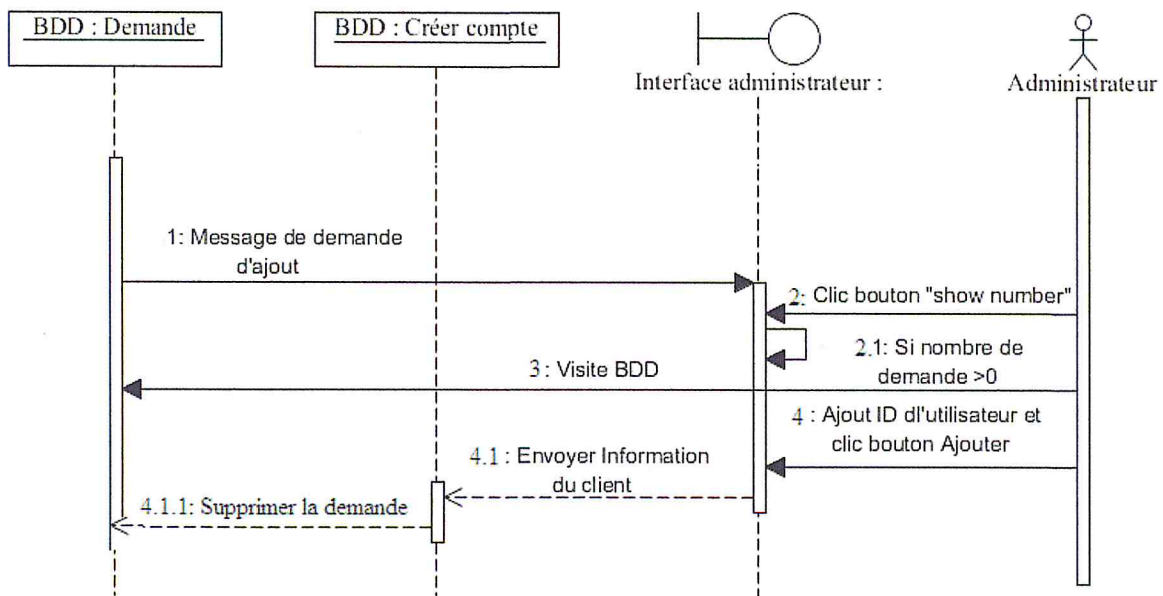


FIGURE III.14 – Diagramme de séquences pour le cas "accepter un client".

### 10.3 Diagramme de séquences pour la sélection d'un composant 3D en utilisant le mode gestuel

Le scénario :

- Le technicien (ou l'expert) positionne sa main au-dessus du Leap motion (la main devra être dans la zone de capture du "leap motion")
- Le système affiche une main virtuelle.
- Le technicien (ou l'expert) garde son indexe pointu (geste nécessaire pour la selection).
- Il approche son indexe de l'objet (ex. porte 3D). L'objet est sélectionné.

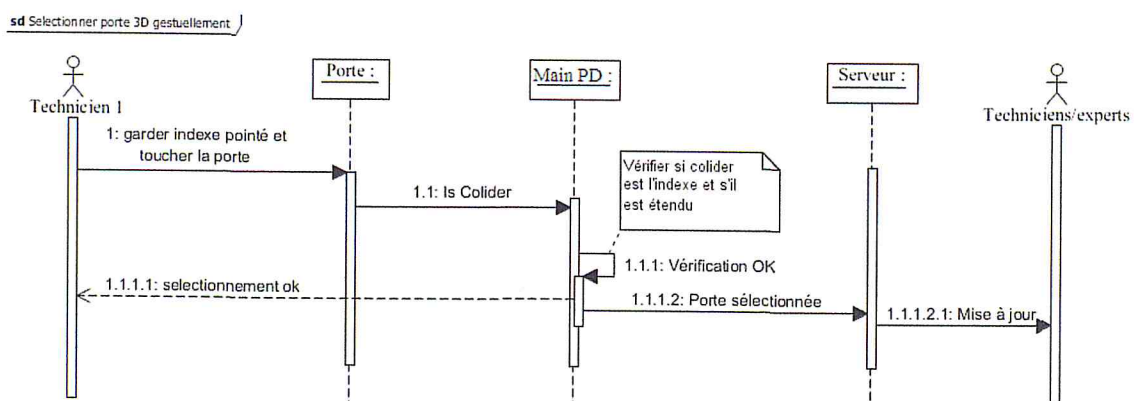


FIGURE III.15 – Diagramme de séquences pour le cas "sélectionner un objet 3D" en utilisant le mode gestuel.

### 10.4 Diagramme de séquences pour l'assemblage d'un composant en utilisant le mode gestuel

Le scénario :

- Le technicien (ou l'expert) accède à la scène et visualise la carcasse du voiture.
- Il affiche une liste des composants 3D.
- Il sélectionne un composant. Le composant est ensuite inséré dans la scène.
- Il sélectionne le composant en utilisant sa main.
- Il glisse sa main de telle sorte qu'il rapproche le composant de sa position finale dans la carcasse.
- si le composant est très proche de son emplacement il s'insère directement.
- Le serveur reçoit les nouvelles informations concernant l'état de la carcasse et du composant assemblé et les envoie vers les autres nœuds connectés. Les scènes sont ensuite mises à jour.



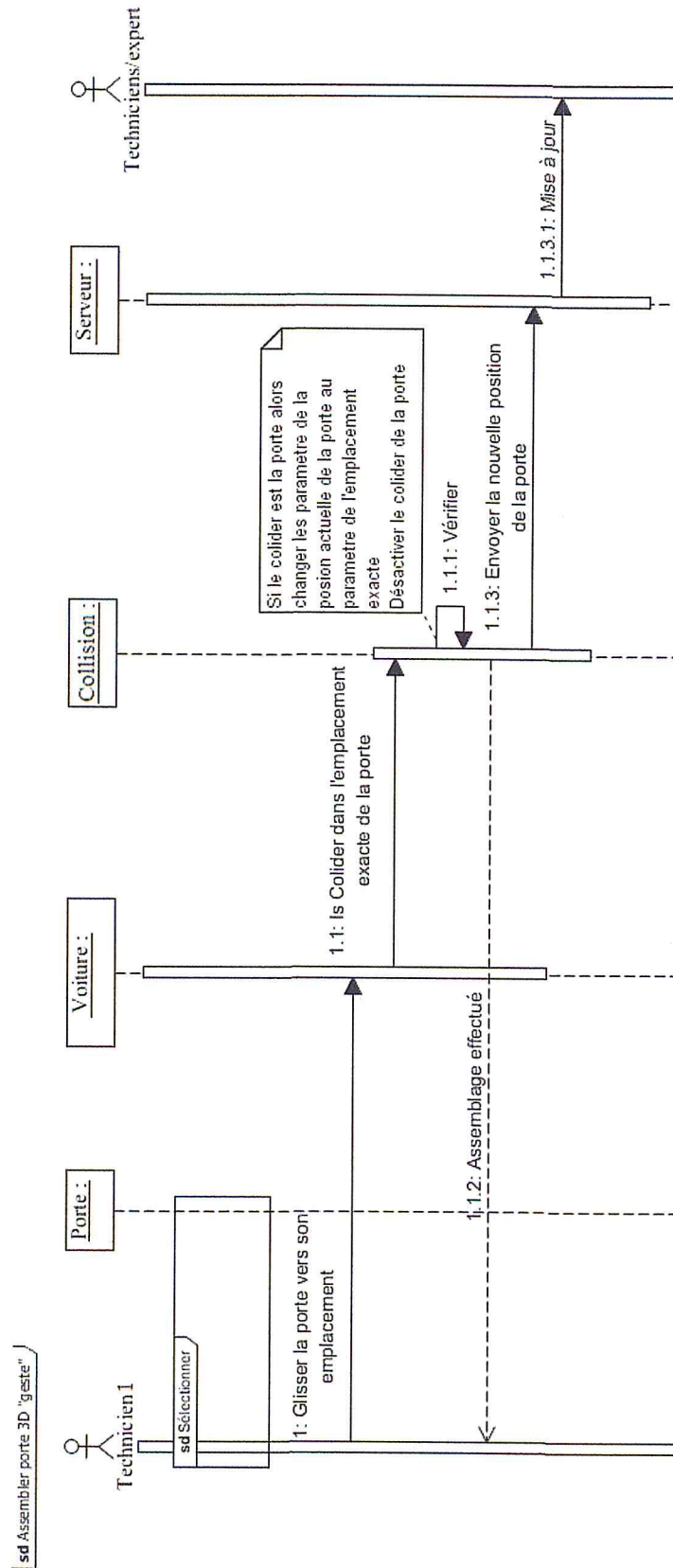


FIGURE III.16 – Diagramme de séquences pour le cas "assembler composant 3D" en utilisant le mode gestuel.

### 10.5 Diagramme de séquences pour la communication

Le scénario :

- Le technicien (ou l'expert) saisi son nom d'utilisateur dans le champs "User" et son message dans le champs "Message" puis clic sur le bouton "Send".
- Le message est envoyé au serveur.
- Le serveur envoie le message à tous les techniciens (ou experts) connectés à celui ci .

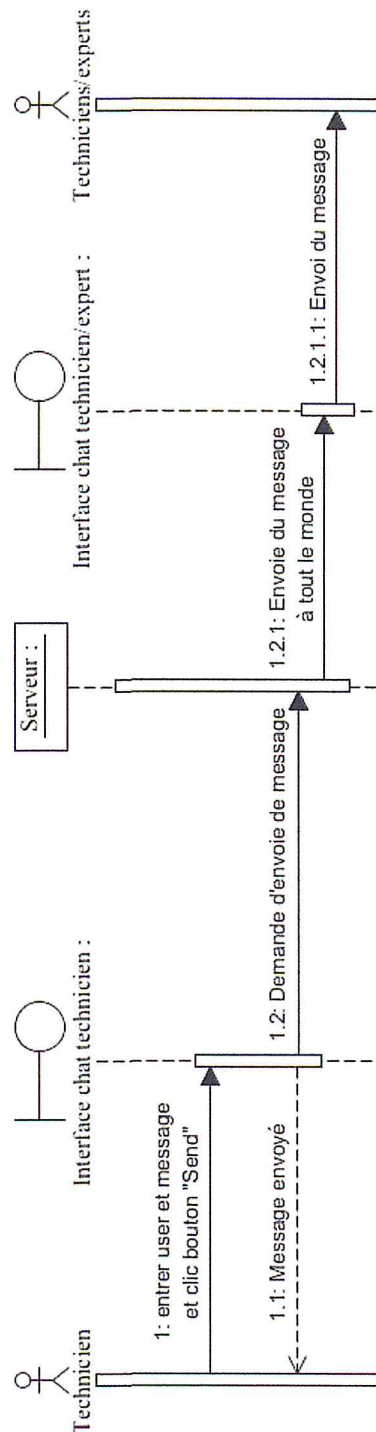


FIGURE III.17 – Diagramme de séquence pour le cas "communiquer".

### 10.6 Diagramme de séquences pour modifier la forme d'un composant 3D

Le scénario :

- L'expert accède à sa scène.
- Il sélectionne le composant à modifier.
- Il affiche un ensemble de formes.
- Il sélectionne une forme. La nouvelle forme est affichée.
- L'expert peut assembler le nouveau composant.

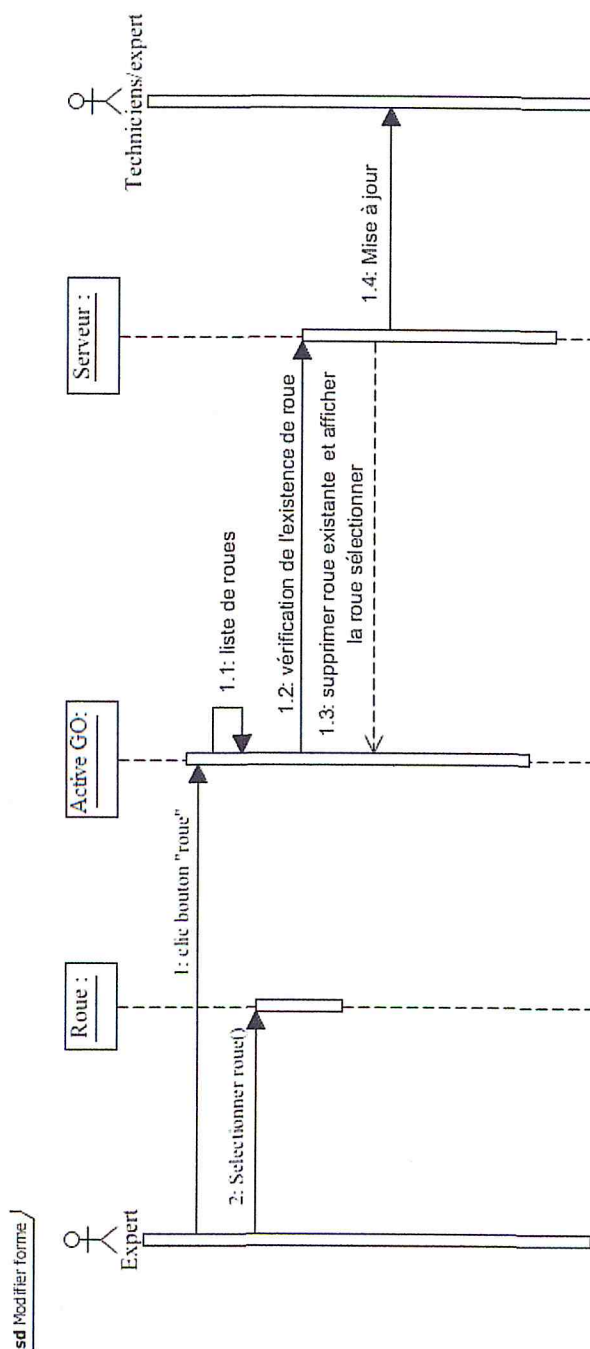


FIGURE III.18 -- Diagramme de séquences pour le cas "modifier la forme d'un composant 3D".

10.7 Diagramme de séquences pour afficher un composant (en mode vocal)

Le scénario :

- Le technicien (ou l'expert) accède à la scène et visualise la carcasse de voiture.
- En choisissant le mode vocal, le système récupère la grammaire depuis la BDD et active le serveur vocal.
- Le technicien émet une action vocale (ex. afficher porte).
- Le serveur vocale traite l'information et effectue l'action d'affichage sur le composant 3D. Ce dernier est ensuite affiché dans la scène.
- Le serveur reçoit les nouveaux paramètres du composant 3D (ex. la taille de la porte) et les envoie aux utilisateurs (techniciens ou experts) connectés.

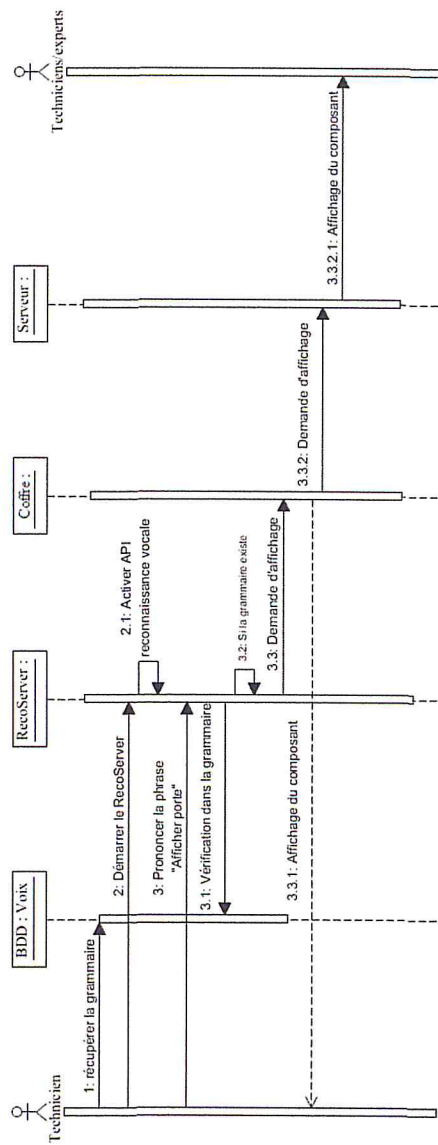


FIGURE III.19 – Diagramme de séquences pour le cas "afficher un composant" en utilisant le mode vocale.

### 10.8 Diagramme de séquences pour assembler un composant (par modalité vocale)

Le scénario :

- Le technicien (ou l'expert) accède à la scène et visualise la carcasse de voiture ainsi que l'objet 3D à assembler.
- En choisissant le mode vocal, le système récupère la grammaire depuis la BDD et active le serveur vocal.
- Le technicien (ou l'expert) émet une action vocale « assembler ».
- Le serveur vocal traite l'information et effectue l'action d'assemblage sur le composant 3D. Le composant 3D est ensuite assemblé à la carcasse.
- Le serveur reçoit les nouveaux paramètres de l'objet et les envoie aux techniciens (ou experts) connectés.
- Le serveur reçoit les nouveaux paramètres du composant 3D (ex. la position de la porte à assembler) et les envoie aux utilisateurs (techniciens ou experts) connectés.

### 10.9 Diagramme de séquences pour co-manipuler un composant en utilisant les deux modes : gestes et voix

Le scénario :

- Le technicien 1 accède à la scène et visualise la carcasse de voiture ainsi que le composant 3D.
- Le technicien 2 accède à la scène et visualise la même carcasse de voiture et le même composant 3D que le technicien.
- Le technicien 1 sélectionne gestuellement le composant 3D et il effectue une translation.
- Le serveur reçoit les nouveaux paramètres du composant 3D (ex. la position de porte). Il envoie ces paramètres aux autres techniciens/experts.
- L'action de translation est alors affectée au composant 3D de la scène du technicien 2.
- D'autre part, en choisissant le mode vocal, le système récupère la grammaire depuis la BDD et active le serveur vocal chez le technicien 2. Ce dernier émet une action vocale « assembler » sur le composant 3D. Le composant 3D est ensuite assemblé à la voiture.
- Le serveur reçoit les nouveaux paramètres du composant 3D assemblé (ex. la position de la porte dans la carcasse de voiture). Il envoie ces paramètres aux autres nœuds connectés (technicien 1).
- L'action d'assemblage est alors affectée au composant 3D de la scène du technicien 1. Le composant 3D est assemblé à son tour à la carcasse.

Les deux figures suivantes illustrent successivement le diagramme de séquences pour " assembler un composant (par modalité vocale)" et le diagramme de séquences pour "co-manipuler un composant en utilisant les deux modes : gestes et voix" :

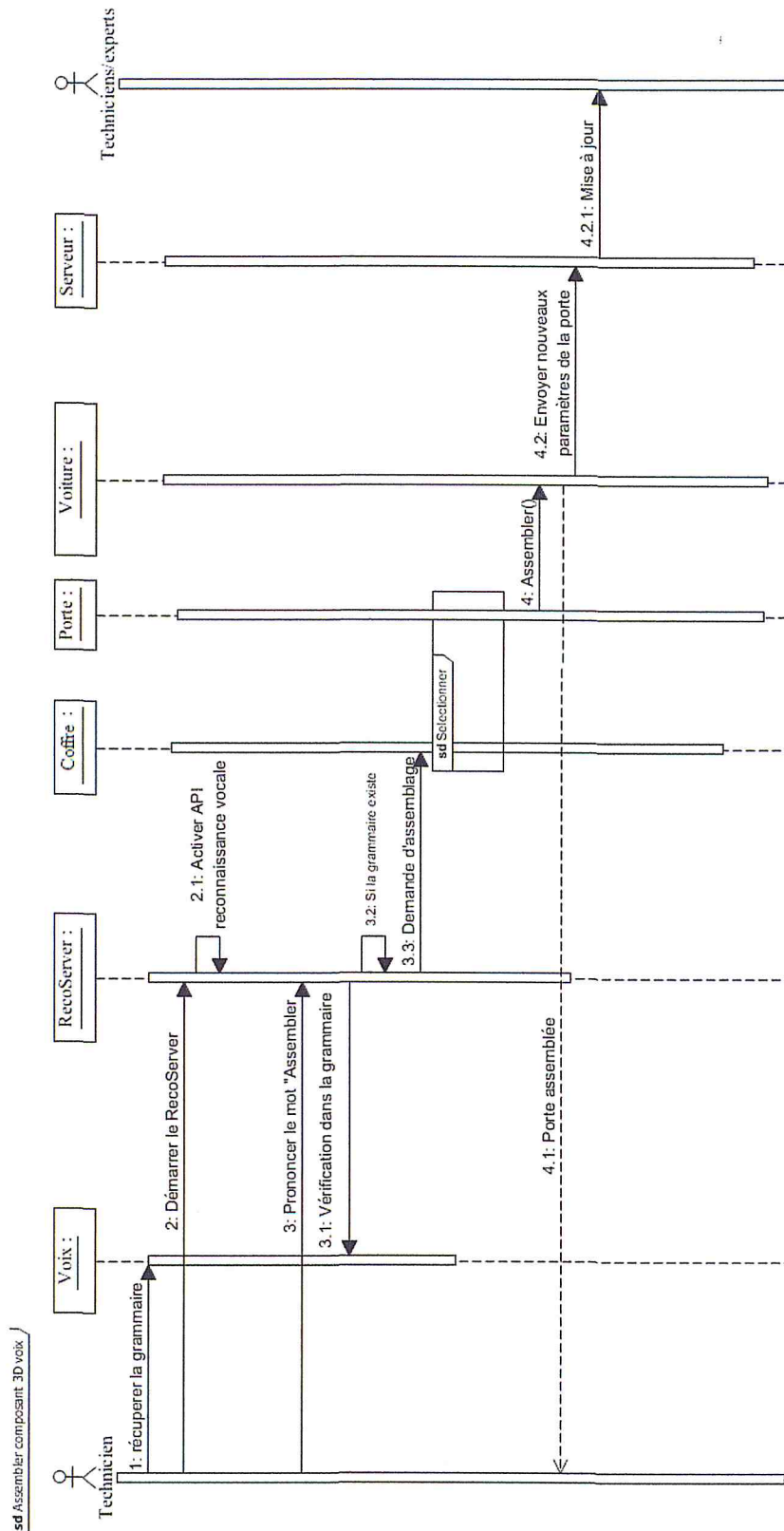


FIGURE III.20 – Diagramme de séquences pour le cas "assembler un composant 3D" en utilisant le mode vocale.

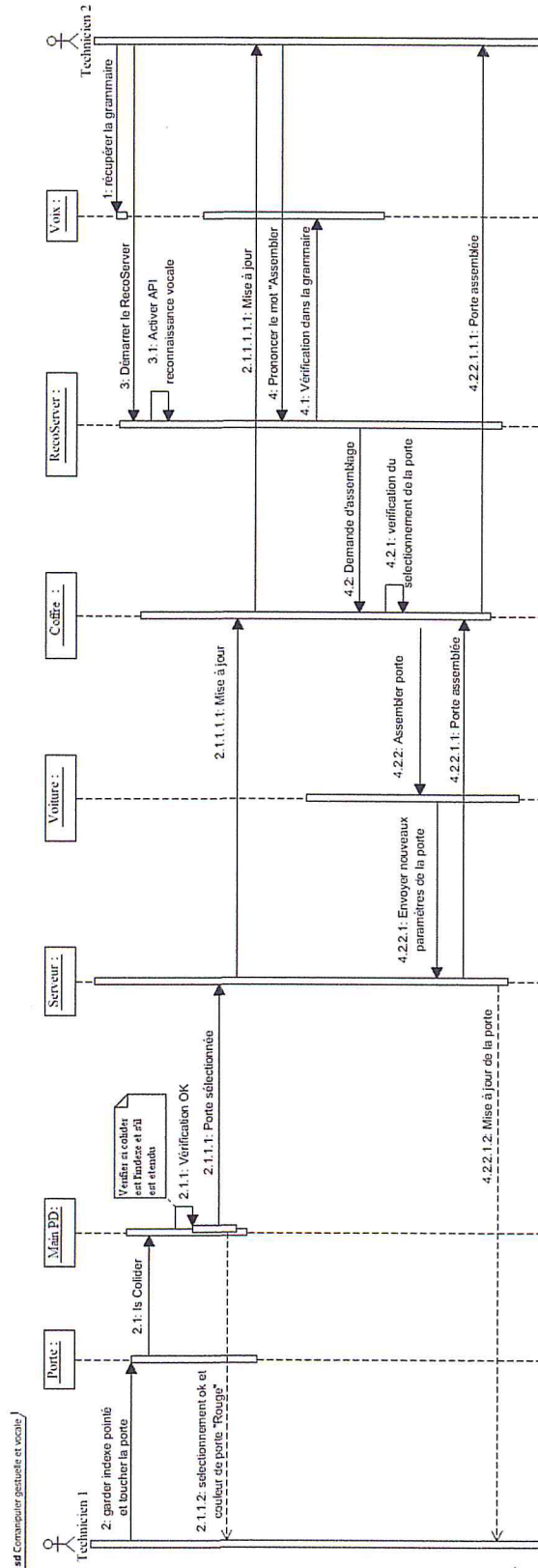


FIGURE III.21 – Diagramme de séquences pour le cas "co-manipuler un composant" en utilisant les deux modes : gestuel et vocal.

## Description détaillée des associations

| Associations   | Description  |
|----------------|--|
| Capter         | Association qui relie la classe "Caméra réelle" et la classe "Marqueur" et qui veut dire que la caméra réelle capte le marqueur.   |
| Apparaître sur | Association entre la classe "Marqueur" et la classe "Objet 3D" qui signifie qu'un objet 3D apparaît sur le marqueur.   |
| Interagir sur  | Association entre la classe "Commande" et la classe "Voiture". Cette association a pour but de montrer les interactions gestuelles ou vocales sur l'ensemble des objets de la scène. |

TABLE III.9 – Description détaillée des associations.

## Description détaillée des classes

| Classes        | Description  |
|----------------|--|
| Utilisateur    | Classe qui regroupe les utilisateurs ayant le droit d'accéder au système.  |
| Administrateur | Classe qui dérive de la classe Utilisateur, elle décrit les fonctionnalités que peut faire un administrateur dans notre système; tels que activation du serveur.   |
| Technicien     | Classe qui dérive de la classe Utilisateur, elle décrit les fonctionnalités que peut faire un technicien dans notre système; tels que la manipulation d'objets 3D.   |
| Expert         | Classe qui dérive de la classe Utilisateur, elle décrit les fonctionnalités que peut faire un expert dans notre système; tels que la modification de caractère d'un objet 3D.  |
| Commande       | Classe qui est constituée de deux sous classes : la première vocale responsable des commandes vocales, la deuxième gestuelle responsable des commandes gestuelles que fait un utilisateur sur un objet.              |
| Caméra réelle  | Classe qui est composée de deux types de caméra : caméra virtuelle et caméra leap motion.  |
| Objet 3D       | Classe qui contient les caractéristiques d'un objet 3D ainsi que les fonctionnalités qu'on peut effectuer sur cet objet.   |
| Voiture        | Classe qui se compose de la classe composant. Cette dernière est une généralisation de quatre classes, ces dernières sont des objets 3D virtuelles qui apparaissent sur la scène augmentée selon leurs utilisations. |

TABLE III.10 – Description détaillée des classes.



## 11 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons spécifié les fonctionnalités et les interactions de notre système. Nous avons également procédé à la modélisation de notre système en utilisant les diagrammes UML.

Dans le chapitre suivant nous décrivons les différentes étapes d'implémentation de notre solution.

## Chapitre IV

# Réalisation et tests

## 1 Introduction

Après avoir présenté, dans le précédent chapitre, la conception de notre système, nous allons entamer dans ce chapitre la partie implémentation. Nous allons tout d'abord, mettre en relief nos choix techniques à savoir : la plateforme de développement, les Frameworks utilisés, les langages de programmation et les dispositifs matériels. La dernière section clôtura ce chapitre en présentant une illustration d'un scénario de test et les différentes fonctionnalités et interfaces graphiques de notre solution.

## 2 Les prérequis techniques

Pour l'implémentation de notre solution, deux parties essentielles doivent être prises en considération :

### Partie matérielle

Elle est constituée d'un ensemble de dispositifs destinés à la mise en marche de notre environnement collaboratif. Cette partie est décrite dans l'identification des besoins du chapitre de conception.

### Partie logicielle

Elle est constituée d'un ensemble d'outils logiciels permettant le développement et la mise en marche de notre système. Cette partie est décrite dans l'identification des besoins du chapitre de conception.

Nous allons présenter, dans la suite de ce chapitre, les outils de développement utilisés pour l'implémentation de la solution ainsi que les caractéristiques des dispositifs matériels.

## 3 Outils de développement

Dans cette section nous allons définir les outils logiciels avec lesquels nous avons réalisé notre système.

### 3.1 Unity 3D

Unity (figure IV.1) est un moteur 3D et physique conçu pour la création de jeux et dispose d'une gestion de vidéo, d'audio et des objets 3D. Il possède comme interface graphique un éditeur de scène 3D et comme langages de script le C#, JavaScript et Boo [Vitéra, 2011].

Unity 3D dispose également d'une interface graphique permettant de travailler sur le jeu de manière interactive, cette interface permet par exemple de :

- Placer les objets dans l'espace 3D.
- Appliquer des transformations géométriques sur les objets de la scène à l'aide de la souris.
- modifier les textures, matériaux, propriétés physiques, paramètres de collision...etc.

Pour Unity nous avons utilisé la version Unity 5.2.2f.



FIGURE IV.1 – Logo Unity 3D.

### 3.2 ARToolkit

#### Définition

ARToolkit est une bibliothèque logicielle développée en C et C++, conçue pour le développement des application de la réalité augmentée(RA).

Le principe général est de superposer à une image réelle des éléments virtuels [Martenet et al., 2006].

Cette superposition nécessite plusieurs étapes illustrées dans la figure (IV.2) :

- Acquérir le flux vidéo à l'aide d'une caméra.
- Chaque image est ensuite analysée dans le but de détecter des carrés noirs
- Si un carré noir est trouvé, la position de la caméra par rapport au carré est calculée.
- Le système cherche une correspondance entre le motif à l'intérieur du carré et ceux enregistrés dans le système.
- Un objet graphique est calculé à partir de la position de la caméra selon le motif.
- L'objet est superposé au carré noir.
- Au final l'utilisateur voit sur les images réelles filmées, l'objet généré par l'application.

Nous avons utilisé la version ARToolkit 5.2.3.

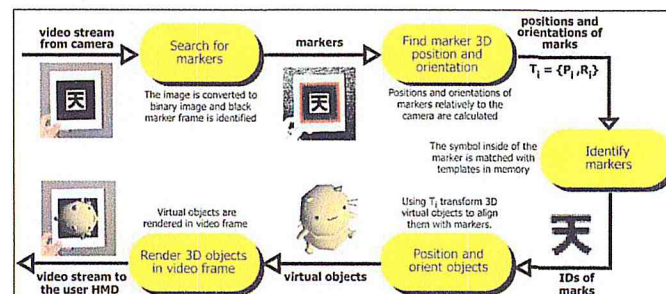


FIGURE IV.2 – Principe de fonctionnement d'ARToolkit.

#### Fonctionnement sous unity

Pour l'utilisation d'ARToolkit sous Unity, nous devrions d'abord importer le SDK d'ARToolkit qui contient les différents éléments nécessaires pour son exécution à savoir les "Materials", "Ressources", "Scripts" et les "Textures".

Il faut également importer les bibliothèques ARvideo.dll, ARWrapper.dll sous l'éditeur Mono-Develop.

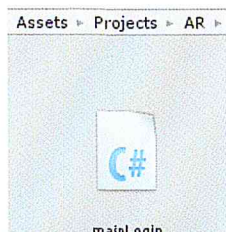
### Marqueurs ARToolkit

ARToolKit est basé sur l'utilisation de marqueur (pattern). Un marqueur est un motif simple noir dessiné sur un fond blanc, lui-même entouré d'un cadre noir[COCHARD, 2007]. Pour faciliter la detection de marqueur, le motif ne doit pas être compliqué. Voici quelques marqueurs de base dans la figure (IV.3) fournis par Artoolkit :



FIGURE IV.3 – Exemple de marqueurs ARToolkit.

### 3.3 Langage C#



C# (prononcé "C sharp") est un langage de programmation qui est conçu pour la construction d'une variété d'applications qui fonctionnent sur le .NET Framework. C# est simple, puissant, de type sécurisé et orienté objet. Les nombreuses innovations en C# permettent le développement rapide des applications tout en conservant l'expressivité et l'élégance des langues C-style[microsoft, 2010].

Nous avons mentionné ci dessus que le moteur de jeux Unity 3D a plusieurs langages de script, nous avons choisit le langage C# pour plusieurs raison :

- L'équipe IRVA travaille avec ce langage.
- Documentation riche pour les projet Unity 3D.

Lorsque on clique sur un script C#, par défaut unity utilise l'éditeur MonoDevelop, mais nous pouvons travailler sur un autre éditeur (Visual Studio). Le contenu initial du fichier créé est une classe qui porte le nom du fichier et qui hérite d'une classe de base appelée MonoBehaviour. Le fichier contient deux méthodes de base (figure IV.5) ; la méthode Update() gère le déclenchement des évènements et la méthode Start() contient l'initialisation du programme.

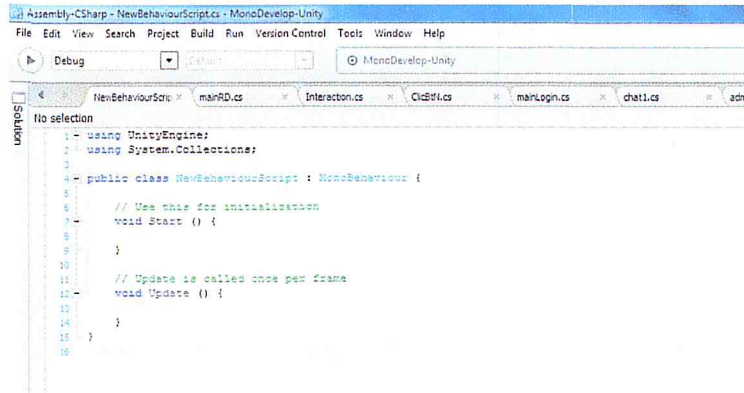


FIGURE IV.4 – Contenu initial d'un script C# sous Unity3D.

### 3.4 Langage PHP

PHP (Hypertext Preprocessor) est un langage de script serveur, et un outil puissant pour la création de pages Web dynamiques et interactives. Il est largement utilisé, libre et efficace [w3schools, 2008].

La figure (IV.6) est un exemple d'utilisation : cet exemple "createAccount.php" permet à un utilisateur de créer un compte.

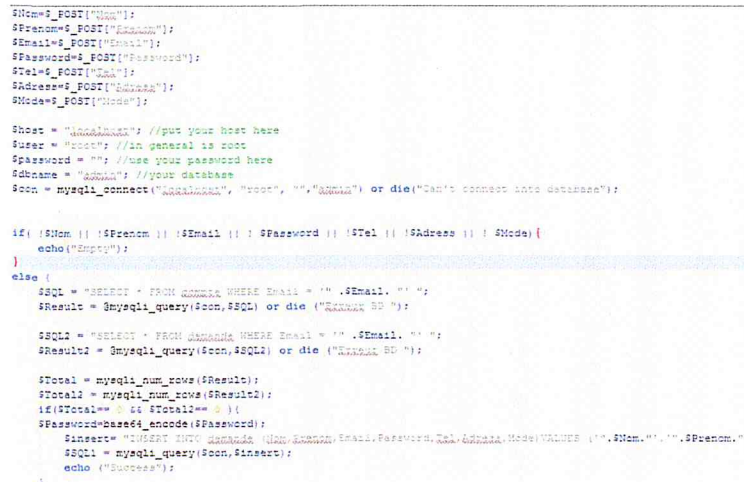


FIGURE IV.5 – exemple de creation de compte avec le langage php.

### 3.5 PhpMyAdmin

phpMyAdmin (figure IV.7) est une interface d'administration pour le SGBD MySQL. Il est écrit en langage PHP et s'appuie sur le serveur HTTP Apache [Guigouz and McPeter, 2015].

Il permet d'administrer les éléments suivants :

- les bases de données.
- les tables et leurs champs (ajout, suppression, définition du type).
- les index, les clés primaires et étrangères.
- les utilisateurs de la base et leurs permissions.

- exporter les données dans divers formats (CSV, XML, PDF, OpenDocument, Word, Excel et LaTeX).



FIGURE IV.6 – Logo de "phpMyAdmin"

### 3.6 PhpDesigner 8

PhpDesigner 8 (figure IV.8) est un rédacteur rapide de PHP, avec les rédacteurs intégrés de HTML5, de CSS3 et de Javascript amplifiés avec des dispositifs pour aider à créer des sites Web étonnants [Phpdesigner, 2009].



FIGURE IV.7 – Logo du logiciel "PhpDesigner 8"

### 3.7 XAMPP

XAMPP (figure IV.9) est un produit qui s'installe très rapidement et facilement et qui fournit un ensemble complet de services pour faire tourner un serveur Web. Cette solution est très pratique pour créer un serveur de développement [Ju et al., 2015].



FIGURE IV.8 – Logo du logiciel "XAMPP"

### 3.8 RecoServer

RecoServer est une petite application qui permet la reconnaissance vocale à partir d'un fichier de grammaire (grammar.txt qui devrait être dans le même répertoire que le serveur). L'application utilise l'API windows. Le serveur est multi-langue, il utilise la langue de reconnaissance par défaut installé sur le système.

### 3.9 MonoDevelop

MonoDevelop (figure IV.10) est l'environnement de développement intégré (IDE) fourni avec Unity. Il a été conçu pour C# et les autres langages .NET. MonoDevelop est installé par défaut avec Unity et ce dernier l'utiliser comme éditeur par défaut pour tous les fichiers de script [Technologies, 2016].



FIGURE IV.9 – Logo de "MonoDevelop"

## 4 Outils matériel

Parmi les outils matériel nous avons utilisé deux PCs portable, deux caméra pour visualiser la scène réelle, un micro pour PC et le leap motion pour interagir avec les composant 3D.

### 4.1 Leap Motion

#### Définition

Leap motion (figure IV.11) est une technologie récente, développée en 2013. Il s'agit d'un dispositif de reconnaissance de mouvement des mains et les transforme en des actions exécutées par l'ordinateur.

Pour notre système nous avons utilisé la version Leap Motion 2.1.



FIGURE IV.10 – Technologie Leap Motion.

L'appareil détecte quatre types de gestes (figure IV.21) : les cercles, les déplacements horizontaux (swipes), les key taps qui miment l'appui sur une touche de clavier et les screen taps qui miment l'appui sur un écran tactile.

#### Fonctionnement sous Unity

Pour l'utilisation de leap motion sous Unity, nous devrions d'abord importer son SDK qui contient tout les objets utilisés par le leap citant les "Préfabs" qui sont des modèles de mains (Robots ou Humaines), le "Hand Controler", les scripts C# liés et les textures.



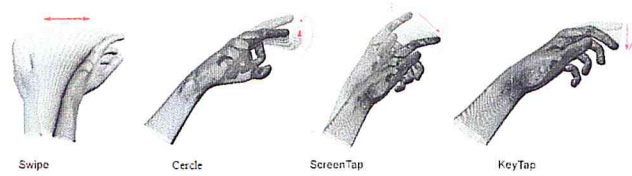


FIGURE IV.11 – Gestes proposés par l'API Leap Motion.

Il faut également importer les bibliothèques Csharp.dll, leapCsharp.dll sous l'éditeur MonoDévelop.

### Programmation d'un geste

l'exemple présenté dans la figure (IV.13), illustre une partie de notre implémentation relative au geste permettant la sélection d'un composant 3D.

```

void Update ()
{
    Frame f = c.Frame ();
    indexFingerR = f.Hands [0].Fingers [(int)Finger.FingerType.TYPE_INDEX];
    thumbFingerR = f.Hands [0].Fingers [(int)Finger.FingerType.TYPE_THUMB];
    indexFingerL = f.Hands [1].Fingers [(int)Finger.FingerType.TYPE_INDEX];
    thumbFingerL = f.Hands [1].Fingers [(int)Finger.FingerType.TYPE_THUMB];

    Hand h = f.Hands.Frontmost;

    if (h.IsRight) {
        if (isColliderR) {
            transform.parent = GameObject.Find ("RS").transform;
            this.transform.position = this.transform.parent.position;
            herParent = true;
        }

        if (herParent && indexFingerR.IsExtended && thumbFingerR.IsExtended) {
            Debug.Log ("OkayR");
            transform.parent = null;
            isColliderR = false;
        }
    }
    if (h.IsLeft) {
        if (isColliderL) {
            transform.parent = GameObject.Find ("LS").transform;
            this.transform.position = this.transform.parent.position;
            herParent = true;
        }
    }
}

```

FIGURE IV.12 – Exemple d'implémentation d'un geste.

Le "Hand Controller" dont le nom commercial est le Leap Motion, est équipé de trois capteurs infrarouges qui transmettent la vidéo à Unity. Dans le script précédent ( figure IV.13) on récupère les images (Frames) de la vidéo et pour chaque image on récupère les doigts ( index et pouce). En cas de détection d'un doigt on vérifie s'il fait part de la main droite ou gauche et pour chaque cas on vérifie si le doigt est en collision avec un composant 3D, si c'est le cas on sélectionne ce composant.

## 5 Résultat et tests

La solution développée dans le cas de notre projet est une plateforme de réalité augmentée collaboratif à l'usage multi-utilisateurs, permettant la collaboration entre plusieurs utilisateurs dans la même scène a fin d'obtenir un résultat commun. Le domaine d'application de notre solution porte sur le design d'automobile.

pour tester notre système nous avons suivi le scénario suivant

1. Authentification : pour accéder au système l'utilisateur doit s'authentifier, soit en tant qu'administrateur, technicien ou expert.
2. Manipulation du système : chaque type d'utilisateur a un espace de travail et des fonctionnalités spécifiques que nous essayerons de les présenter durant la manipulation du système.

### 5.1 Plateforme de test

Pour tester notre système nous avons mis en place une plateforme spécifique illustré dans la figure ((IV.14)). L'environnement de test est structurée comme suite :

- Deux PCs positionnés coté à coté et chacun d'eux dispose de sa propre caméra.
- Le marqueur est positionné de façon à ce qu'il soit visionner par les deux caméras.
- Le premier Pc dispose d'un leap motion et le deuxième d'un microphone.



FIGURE IV.13 – *Configuration matériel du système.*

La figure (IV.15) montre l'espace de travail d'un technicien utilisant le mode vocale.

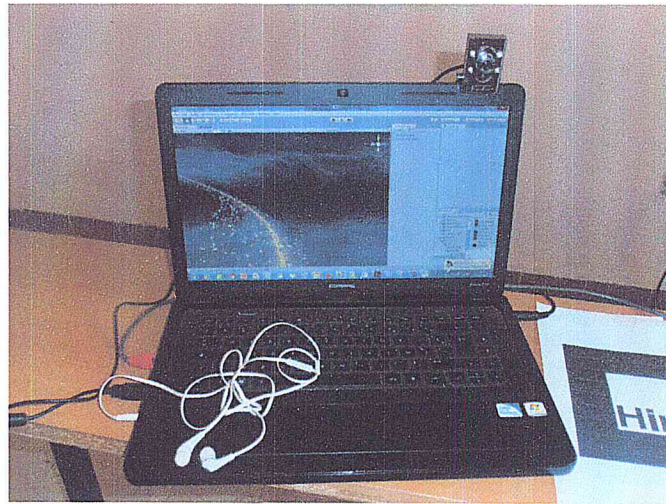


FIGURE IV.14 – *Matériel technicien utilisant le mode vocale.*

La figure (IV.16) est une représentation de l'augmentation de notre scène réelle.



FIGURE IV.15 – *Augmentation de la scène réelle entre deux techniciens.*

La figure (IV.17) représente le partage de donnée (porte sélectionnée) entre les deux techniciens en partageant la même scène réelle.

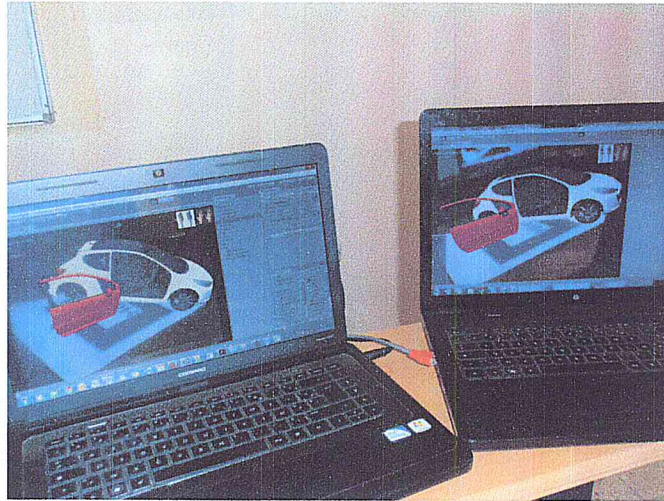


FIGURE IV.16 – Partage de données entre deux techniciens.

## 5.2 Jeu d'essai du système

### Authentification

L'interface d'authentification s'affiche lors de la mise en route du système. Si l'utilisateur dispose d'un compte dans le système, il saisit son Email ainsi que son mot de passe et clique sur le bouton "Log In" la figure (IV.18) illustre cette interface. Quand l'authentification est effectuée, l'utilisateur est connecté au système soit en mode administrateur, technicien ou expert. Si l'utilisateur ne dispose pas de compte il peut en créer un en cliquant sur le bouton "Create account". Lors de ce clic une interface de création de compte apparait, nous donnons ses détails si dessous.

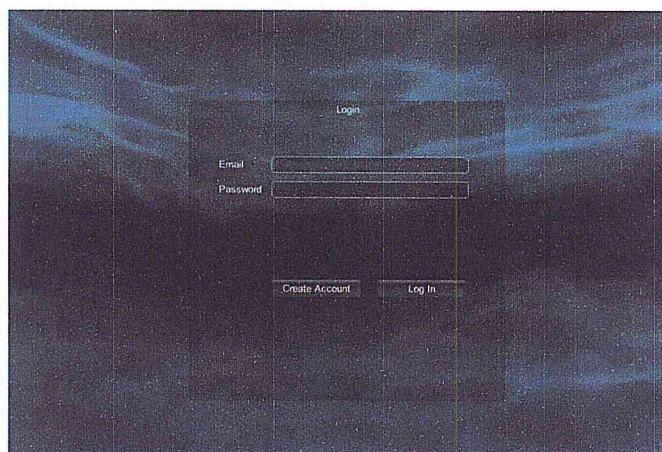


FIGURE IV.17 – Interface d'authentification du système.

### Création d'un compte dans le système

L'interface de création de compte apparaît lorsque un utilisateur veut accéder à notre système alors qu'il ne dispose pas d'un compte. L'utilisateur doit remplir les champs suivants :Email, Password, Conf Password, Name, Last name, Phone, Address et Mode (voir la figure IV.19), puis clique sur le bouton "create account". Lors de ce clic l'utilisateur est rediriger vers l'interface d'authentification.

Si l'utilisateur se souvient qu'il dispose déjà d'un compte il peut retourner à l'interface d'authentification en cliquant sur le bouton "Back".

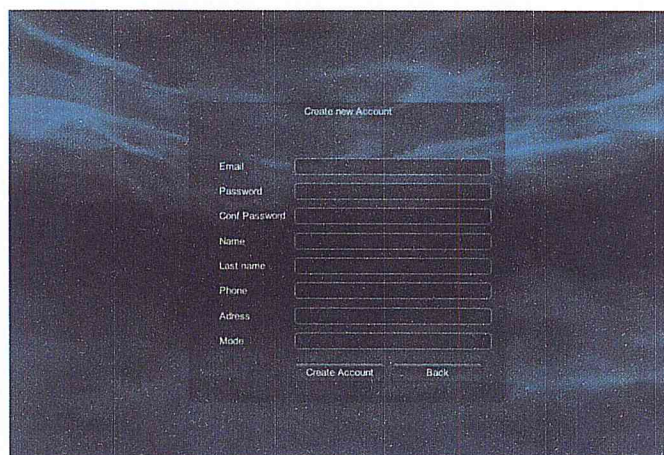
The image shows a web form titled "Create new Account" on a dark background. The form has several input fields with labels to their left: "Email", "Password", "Conf Password", "Name", "Last name", "Phone", "Address", and "Mode". At the bottom of the form, there are two buttons: "Create Account" and "Back".

FIGURE IV.18 – Interface créer compte.

### Interface administrateur du système

L'administrateur du système dispose des fonctionnalités suivantes :(voir la figure IV.20)

1. Voir le nombre de demandes d'ajout dans le système en cliquant sur le bouton "Show number".
2. Visiter la base de donnée et récupérer les IDs des utilisateurs qui ont envoyé des demandes.
3. Ajouter un nouveau utilisateur en acceptant sa demande d'ajout et cela en écrivant son Id puis cliquer sur le bouton "Add user". Cela entraine l'affichage d'un message de réussite d'ajout.
4. Modifier les informations de l'utilisateur en entrant son Id et en cliquant sur le bouton "Get info". Cela permet d'afficher les informations d'utilisateur, où l'administrateur peut les modifier et les enregistrer a nouveau en cliquant sur le bouton "Save Update".
5. Supprimer un utilisateur en entrant son Id et cliquant sur le bouton "Delete"

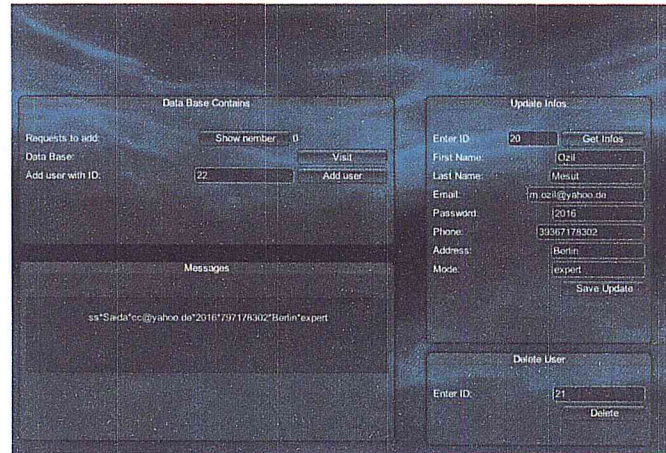


FIGURE IV.19 – Interface du mode administrateur.

### Manipulation gestuelle

Lors de la manipulation gestuelle l'utilisateur utilise le détecteur de geste "Leap Motion".

### Affichage de la main virtuelle dans la scène augmentée

La figure (IV.21) représente l'affichage de la main virtuelle dans notre scène augmentée. Cette main apparaît lorsque l'utilisateur positionne sa main sur le champs de capteur infrarouge du Leap Motion.

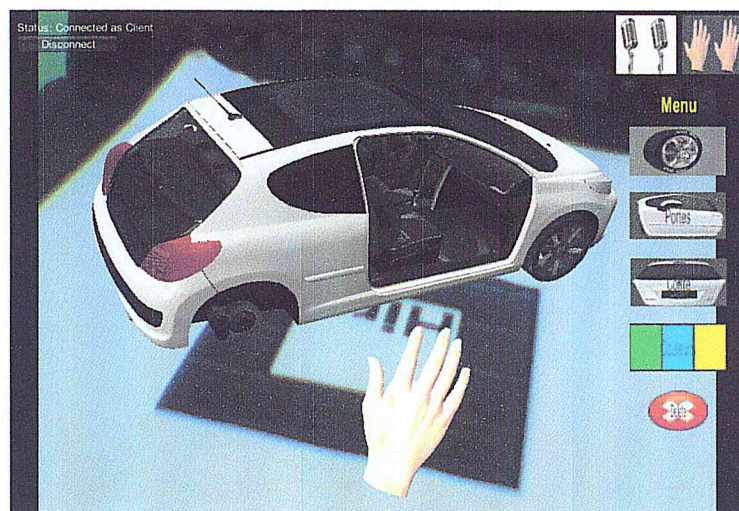


FIGURE IV.20 – L'affichage de la main virtuelle.

### Affichage d'un composant 3D

La figure (IV.22) montre l'affichage d'un composant 3D (roue 3D) dans la scène pour que l'utilisateur pourra le manipuler (translation, rotation...).

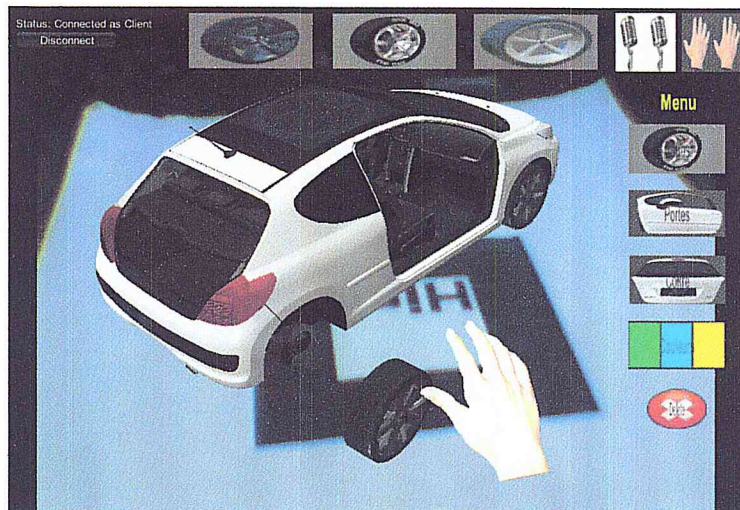


FIGURE IV.21 – Exemple d'affichage d'une roue 3D.

### Sélectionner un composant 3D

Tel qu'il est présenté dans la figure (IV.23) pour sélectionner un composant, l'utilisateur doit garder son index étendu.

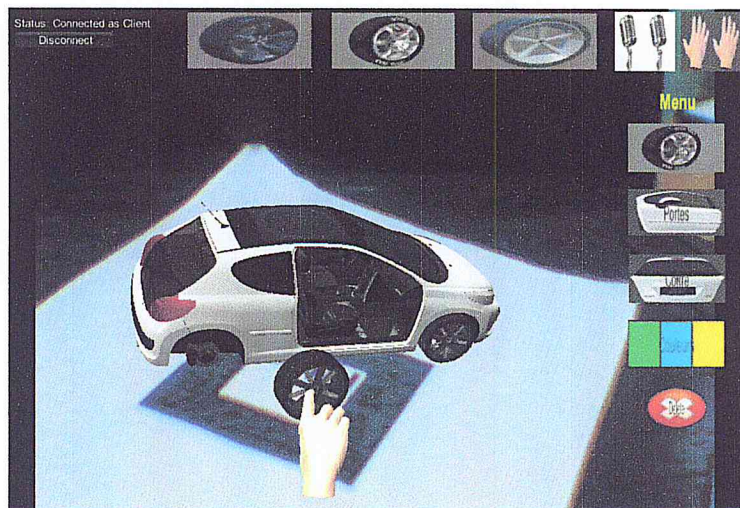


FIGURE IV.22 – Exemple de sélection d'une roue 3D.

### Assembler et lâcher un composant 3D

La figure (IV.24) représente l'état de la voiture après l'assemblage de la roue. L'utilisateur approche sa main qui porte la roue vers sa place réelle et la lâche avec le geste "L".

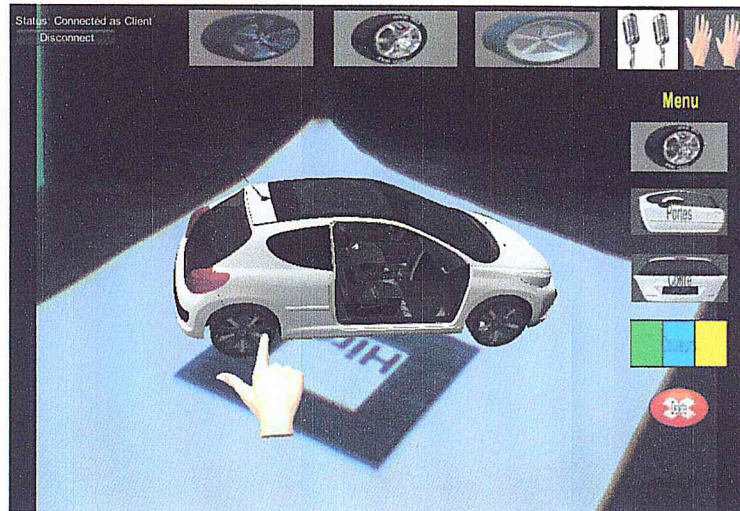


FIGURE IV.23 – Exemple d'assemblage et lâchement d'une roue 3D.

### Roter un composant 3D

La figure (IV.25) représente l'état initial du coffre(à gauche) ainsi que son état après rotation (à droite).

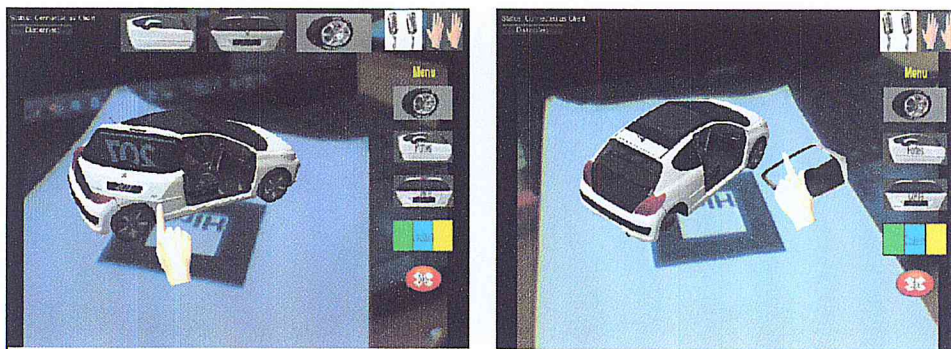


FIGURE IV.24 – Exemple de rotation d'un coffre 3D.

### Modifier la forme d'un composant 3D

La figure (IV.26) à droite représente la roue choisie, à gauche la modification de forme de la roue choisie.



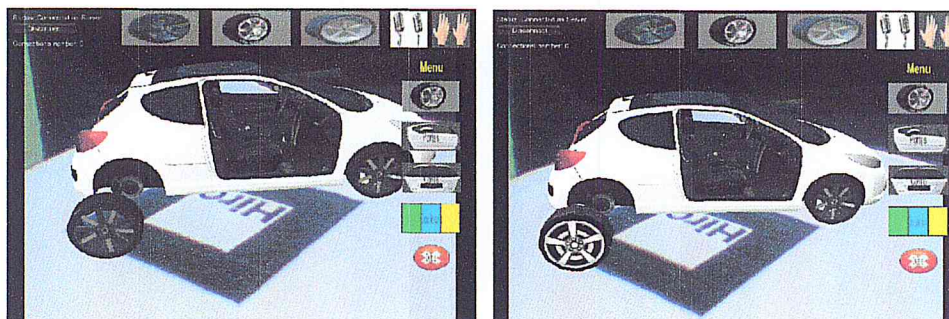


FIGURE IV.25 – Exemple de modification de forme d'une roue 3D.

### Modifier la couleur d'un composant 3D

La figure (IV.27) est une représentation de la voiture après modification de sa couleur d'origine.

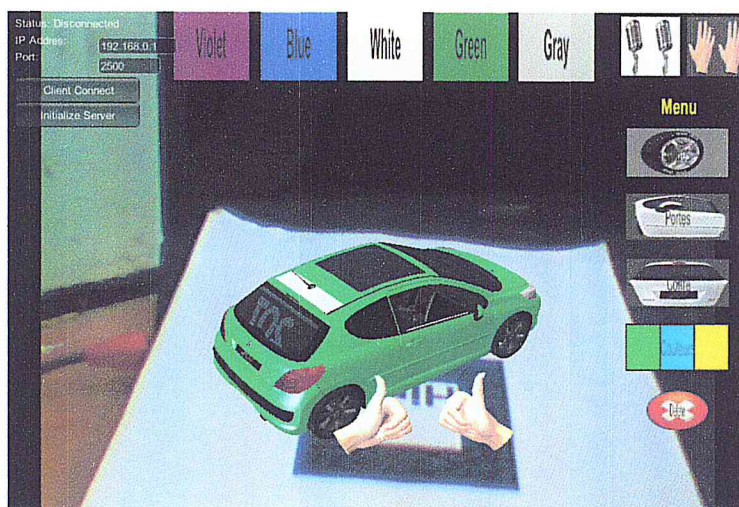


FIGURE IV.26 – Exemple de modification de couleur de la voiture 3D.

### Manipulation vocale

Quand l'utilisateur décide de travailler avec le mode vocal, il utilise un microphone.

### Sélectionner un composant 3D

L'utilisateur en utilisant son microphone prononce la phrase "afficher porte" pour que la porte apparait sur la scène. Après avoir afficher la porte il la sélectionne en prononçant la phrase "sélectionner porte". Lors de la sélection de la porte, celle si prend la couleur rouge. La figure (IV.28) représente la modification qui apparait sur la porte lors de la sélection.

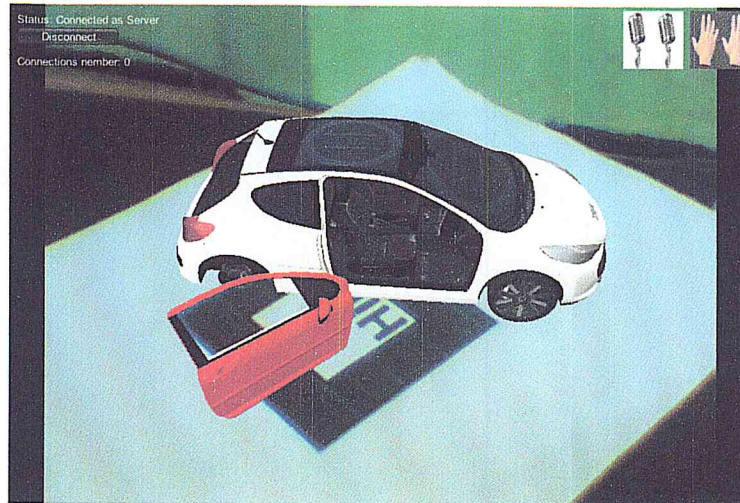


FIGURE IV.27 – Exemple de Sélectionnement d'une porte 3D en utilisant la modalité vocale.

### Assembler un composant 3D

Quand l'utilisateur sélectionne un composant 3D, il peut le manipuler. Dans la figure (IV.29) nous montrons le processus d'assemblage : lorsque l'utilisateur prononce le mot "assembler" la porte sélectionné (l'image à gauche) perd sa couleur rouge (la sélection est annulée) et commence à se rapprocher vers sa position réelle dans la voiture.

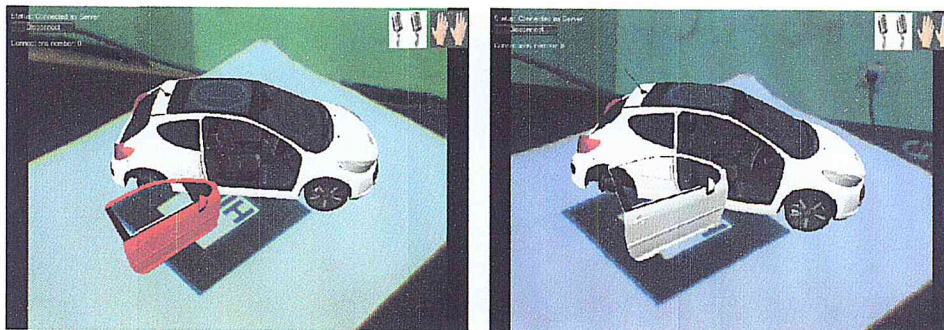


FIGURE IV.28 – Exemple d'assemblage d'une porte 3D en utilisant la modalité vocale.

### Rotation d'un composant 3D

Après avoir sélectionné la roue, l'utilisateur prononce le mot "rotation", à ce moment la roue commence à tourner. La figure (IV.30) montre les changements appliqués sur la roue.

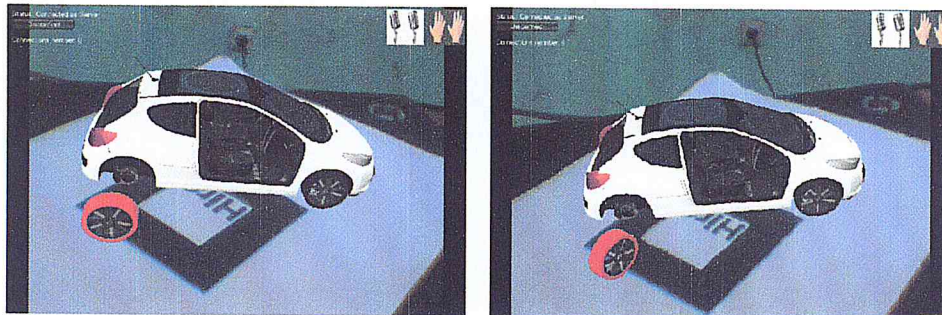


FIGURE IV.29 – Exemple de rotation d'une roue 3D en utilisant la modalité vocale.

## 6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre, notre solution ainsi que l'environnement de test mis en place et les différents essais effectués, à fin de montrer et de valider le fonctionnement de notre système présenté à travers les différents captures d'écran réalisé à cet effet.

Il en ressort à travers les résultats obtenus que la solution que nous avons développée répond aux besoins exprimés par l'équipe du projet "IRVA" de CDTA.

---

## Conclusion générale

Tout au long de ce travail, nous avons tenté de mettre en œuvre un système de manipulation collaboratif pour une application de réalité augmentée (RA) multi-utilisateurs multimodale. Il s'agit d'un système combinant la RA et le travail collaboratif assisté par ordinateur (TCAO).

Ce mémoire est structuré de quatre chapitres : au début nous avons commencé par définir les différentes notions qu'englobe notre champ de recherche. Dans le même chapitre, nous avons cité les projets existants dans le domaine de la RA mondialement puis ceux développés au niveau du CDTA (centre de développement des technologies avancées).

Deuxièmement ; nous avons présenté trois modèles d'architectures sur lesquelles nous nous sommes basés à fin de créer l'architecture qui s'adapte à notre système. La première est l'architecture réseau client/serveur alors que la deuxième est le modèle de distribution de donnée centralisé. Et la dernière est le modèle MVC.

La troisième partie de notre travail aborde l'étude conceptuelle de notre système. Nous avons présenté en premier lieu le processus unifié 2TUP étendu dont les différentes phases ont été suivies pour développer notre plateforme. Dans le même chapitre, nous avons exposé quelques diagrammes UML qui identifient notre système collaboratif.

Le dernier chapitre représente l'étape finale de notre étude, c'est celui de la pratique. Il contient les définitions des outils matériels et ceux du développement logiciel utilisés dans la réalisation de notre système. Finalement, nous avons conclu notre mémoire par un jeu d'essai du système collaboratif développé.

En revanche, lors de la mise en œuvre de ce travail, plusieurs obstacles nous ont empêchés d'aboutir à notre objectif. Parmi ces obstacles nous citons : - Trouver la version SDK de leap motion compatible avec Unity. - Trouver la bonne version SDK de leap motion qui fonctionne sur nos ordinateurs. - Nous avons travaillé avec UNET (Unity Network), mais nous avons découvert qu'Unet n'accepte pas plus de deux scènes alors que nous en avons besoin. - Faible documentation concernant leap motion car c'est une nouvelle technologie pas trop exploitée.

Malgré cela, notre but a été globalement atteint ; mais il ne faut pas négliger que le domaine de la RA est récent et en voie d'évolution. Ce qui permet d'ouvrir d'autres champs de recherche pour l'intérêt de l'amélioration de notre système. Pour se faire, nous proposons une liste de perspectives à développer comme l'utilisation de l'architecture réseau hybride au lieu d'utiliser client/serveur et l'affichage de la main virtuelle en réseau.

# Annexes

---

## Organisme d'accueil

Le Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA) est un établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST). Il a pour mission de mener des actions de recherche scientifique, d'innovation technologique, de valorisation et de formation dans les domaines des sciences et des technologies de l'information, des technologies industrielles et de la robotique, des dépôts et des traitements des matériaux, des applications et des technologies des lasers. A travers ses missions, le CDTA contribue activement au développement du savoir, à sa transformation en savoir faire et en produits nécessaires au développement économique et sociétal.

Ainsi, le CDTA constitue un véritable réceptacle en matière d'appropriation et de diffusion des technologies avancées.

### Axes de recherche

Dans le cadre de l'accomplissement de ces missions, les actions menées par le CDTA s'articulent autour des axes suivants :

- **La microélectronique et la nanotechnologie** : notamment la fabrication de dispositifs électroniques analogiques ainsi que de circuits intégrés VLSI dans la technologie CMOS 1 micron et de MEMS, le développement d'outils de CAO, la conception et la réalisation de FPGA et de circuits ASIC's.
- **L'architecture des systèmes et le multimédia** : en particulier, les systèmes d'information et les entrepôts de données ; la e-santé et la e-maintenance ; la cryptographie, la compression des images médicales et la sécurité informatique.
- **La productique et la robotique** : en particulier, les systèmes automatisés de production, les ateliers flexibles, la vision artificielle et la CFAO, la technologie et la commande des robots, la robotique mobile et les robots manipulateurs.
- **Le dépôt de couches minces par plasma et par ablation laser** : notamment la fabrication de réacteurs ; la caractérisation des dépôts par la diffraction à rayons X et le Meb.
- **Les lasers** : en particulier le traitement des matériaux par laser la fabrication des lasers solides, à gaz et colorants, et leurs applications industrielles et médicales.
- **Les milieux ionisés** : notamment la spectroscopie des plasmas froids et poudreux et l'interaction laser-matière.

### Division Productique et Robotique (DPR)

La Division Productique et Robotique œuvre dans plusieurs domaines relevant en général de la productique et de la robotique. Ainsi, plusieurs axes sont abordés par les équipes de recherche constituées chacune autour d'une thématique de recherche et pour cela, plusieurs équipements sont disponibles, notamment un ensemble de plateformes robotiques et une cellule flexible.

Les travaux de recherche portent particulièrement sur :

- Le contrôle des systèmes dynamiques complexes difficiles à commander.

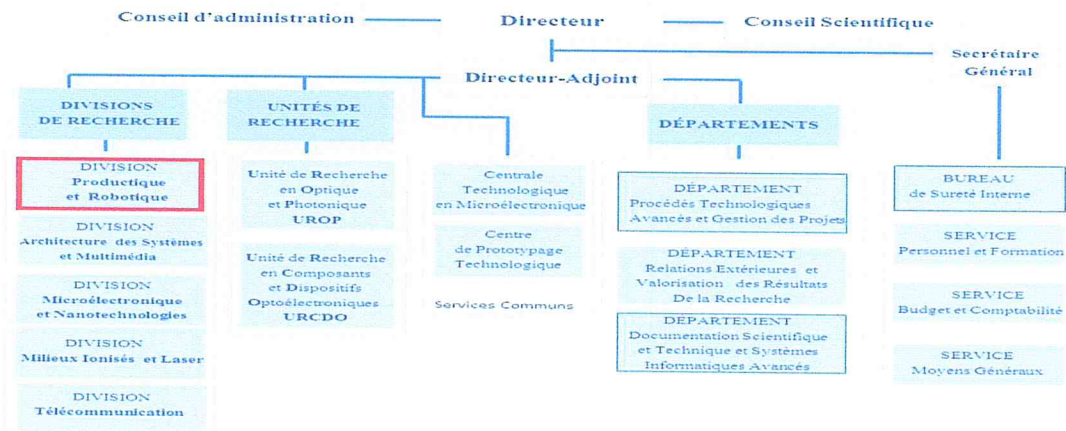


FIGURE 1 – Organisation générale de CDTA.

- L'étude de la dynamique des différents types d'engins volants.
- L'implémentation de fonctionnalités avancées sur un prototype de véhicule électrique.
- La simulation et l'interaction avancées dans les systèmes de production cyber-physiques.
- L'étude et la mise en œuvre des modèles et techniques logicielles pour l'assistance à l'interaction multimodale et à la collaboration dans des environnements de réalité virtuelle et augmentée.

Comme nous avons déjà cité il existe plusieurs équipes de recherche dans la DPR ; notre projet est initié au sein de l'équipe IRVA.

---

# Interaction homme-système et Réalité Virtuelle/Augmentée (IRVA)

## Thématique scientifique et objectifs

IRVA est une nouvelle équipe naissante de l'équipe "vision artificiel et analyse d'image (VAANIM)". Les principales thématiques auxquelles s'intéresse IRVA sont :

- La réalité virtuelle.
- La réalité augmentée.
- La réalité mixte.
- L'interaction homme-machine.
- L'interaction homme-robot.
- Les environnements virtuels collaboratifs ( EVCs).
- L'interaction 3D.
- Les systèmes multimodaux.
- Le travail collaboratif.
- La vision par ordinateur pour les IHM.
- Les architectures logicielles.

## Objectif

Étudier et concevoir de nouveaux systèmes d'assistance au travail collaboratif basés sur les techniques de la réalité augmentée et virtuelle.

Les activités de l'équipe sont structurées comme suit :

### - **Réalité augmentée (RA)**

*Mots clés* : Réalité augmentée, calibration de caméras , modélisation et recalage 3D , prédiction , appariement 2D/3D, suivi d'objets.

*Problématique* : Lever le verrou de la mise en conformité en temps réel des mondes réel et virtuel et proposer des nouvelles modalités de perception visuelle et d'interaction en réalité augmentée en vision indirecte et directe (mobile).

### - **Interaction en réalité virtuelle (RV)**

*Mots clés* : Environnement virtuelle, interaction 3D, interaction multimodale, tracking, reconnaissance de gestes.

*Problématique* : Proposer des nouvelles modalités et techniques d'interaction en réalité virtuelle.

### - **Travail collaboratif (TC)**

*Mots clés* : Téléopération, collectif multisensoriel, coopération, IHM, réalité augmentée, réalité virtuelle.



---

*Problématique* : Lever le verrou de la malléabilité des collecticiels en prenant en compte les capacités sensorielles et naturelle des utilisateurs a collaborer. Nous proposons de revoir le rôle des ordinateurs et des technologies de réalité virtuelle et augmentée pour développer des collecticiels multi-sensoriels malléable.

– **Architecture logicielle**

*Mots clés* : Prototypage rapide, architecture Orientée composants, réalité augmentée, réalité virtuelle. *Problématique* : Lever les verrous liés à l'hétérogénéité des technologies de réalité augmentée et virtuelle en proposant une architecture logicielle ouverte, permettant un prototypage rapide des applications de RV/RA

## **Projet Plateforme Interactive Collaborative et mobile : vers une application d'aide à la maintenance**

### **Descriptif du projet**

L'e-maintenance est définie comme un système permettant de traiter des informations techniques d'un processus de maintenance. Son objectif est de réduire les inefficacités, les temps mort, et les arrêts de production en faisant remonter de manière cohérente les informations pertinentes du terrain jusqu'aux experts distants. La perte ou la non disponibilité de ces informations sur le lieu du travail peut entraîner les opérateurs à des prises de décision incorrectes. Une information plus efficace et accessible en temps réel est nécessaire au bon déroulement de processus de maintenance. L'une des solutions technologiques à ce type d'assistance qui permet d'apporter un complément d'information au monde réel est la Réalité Mixte (Réalité augmentée). Ce thème est toujours présenté comme un des enjeux présent et future de la gestion des entreprises et de leur maintenance.

### **Objectifs scientifiques cibles**

Ce travail s'inscrit dans le domaine de recherche en Interaction Homme Machine (IHM). Les thèmes de recherche concernant les systèmes interactifs collaboratifs sur support mobile. L'objectif est d'offrir un cadre permettant de mettre en place une plateforme pour la conception des systèmes mixtes en prenant en compte l'usage des supports mobiles en situation collaborative pour une application en maintenance. La mobilité, la collaboration et la fusion des mondes réel et numérique constituent les trois verrous scientifiques de nos travaux de recherche et ouvrent des perspectives nouvelles pour l'interaction.

### **Projet Interaction 3D Multimodale et Collaborative dans un environnement de Réalité Virtuelle et Augmentée (IM@REV), en cours...**

Ce présent projet s'inscrit dans le cadre de l'interaction 3D multimodale et du travail collaboratif. L'objectif scientifique du projet est l'étude et la mise en œuvre des modèles et techniques logicielles pour l'assistance à l'interaction multimodale et à la collaboration dans des environnements de réalité virtuelle et augmentée. Dans le cadre de ce projet, nous développerons la notion

---

d'assistance à un utilisateur ou à un ensemble d'utilisateurs pendant le processus d'interaction dans les environnements de réalité virtuelle et augmentée. Les recherches consistent à étudier à la fois deux axes de recherches complémentaires qui sont l'interaction multimodale en réalité virtuelle/augmentée et le travail collaboratif.

## Outils Mathématiques

### Modélisation d'une caméra

A partir d'une image bidimensionnelle produite par un appareil d'acquisition (caméra ou autre), on essayera d'extraire de l'information sur la scène. Dans cette section, nous présenterons le modèle sténopé.

#### Modèle de sténopé

Le modèle sténopé («pinhole» en anglais) modélise une caméra par une projection perspective. On fera la supposition que le système optique de la caméra, respecte les conditions de Gauss. Les projections sont calculées avec les paramètres intrinsèque et extrinsèque de la caméra. Le modèle transforme un point 3D de l'espace en un point-image, principalement le processus passe par trois transformations élémentaires successives :

- La transformation entre le repère du monde et celui de la caméra.
- La transformation entre le repère caméra et le repère plan.
- La transformation entre le repère capteur et le repère image.

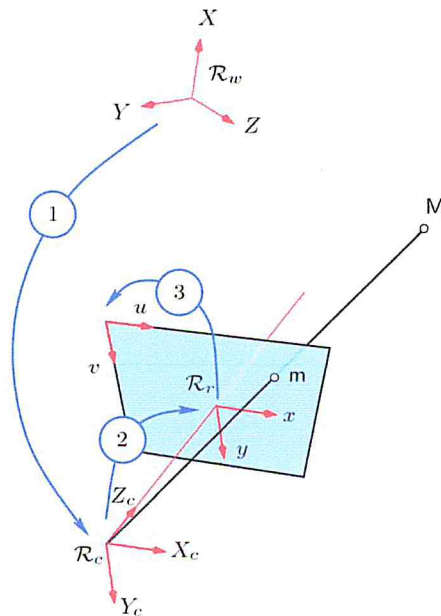


FIGURE 2 – Le processus d'obtention des coordonnées 2D

**Paramètres extrinsèques** Soit le point M de coordonnées  $(X, Y, Z)$  exprimées dans le repère monde. Ses coordonnées dans le repère caméra  $(X_c, Y_c, Z_c)$  T sont obtenues à partir de la relation suivante :

$$\begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + t = \begin{bmatrix} R & t \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

---

**Paramètres intrinsèques** La projection du point M de coordonnées (X, Y, Z) définies dans le repère monde, est le point m de coordonnées (x, y, z) définies dans le repère caméra, telle que :

$$\begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} = \mathbf{f} \begin{pmatrix} y \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

# Bibliographie

- [roq, 2009] (2009). *Uml 2 par la pratique*.
- [Audouze, 2010] Audouze, O. (2010). La réalité augmentée : bien réelle dans la publicité et les réseaux sociaux. Marketing-Professionnel.fr.
- [Benbelkacem et al., 2014] Benbelkacem, S., Belhocine, M., Zenati-Henda, N., Bellarbi, A., and Tadjine, M. (2014). Integrating human-computer interaction and business practices for mixed reality systems design : a case study. volume 8, pages 86–101.
- [Billinghurst et al., 1999] Billinghurst, M., Kato, H., Weghorst, S., and T, A. (1999). Furness. a mixed reality 3dconferencing application. In *Technical report, Human Interface Technology Laboratory*.
- [Billinghurst et al., 1998] Billinghurst, M., Weghorst, S., and T, A. (1998). An augmented reality approach for computer supported collaborative work. In *In Virtual Reality*, page 25–36.
- [Bounie, 2000] Bounie, D. (2000). *Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur (TCAO)*. LAAL,Usine agro-alimentaire, Polythec’Lille.
- [Broll et al., 2000] Broll, W., Meier, E., and Schardt, T. (2000). The virtual round table a collaborative augmented. In *In International Conference on Collaborative Virtual Environments*.
- [CNRTL, 2012] CNRTL (2012). Coopération. <http://www.cnrtl.fr/lexicographie/>.
- [COCHARD, 2007] COCHARD, D. (2007). Artoolkit plugin for virttools 4. Technical report, UTC.
- [Coutaz, 1987] Coutaz, J. (1987). Ifip interact’87 : Human-computer interaction, 2. design and evaluation methods : 2.5 dialogue design and evaluation. In *PAC, an object-oriented model for dialog design.*, pages 431–436.
- [Damer, 1997] Damer, B. (1997). Demonstration and guided tours of virtual worlds on the internet. In *CHI ’97 extended abstracts on Human factors in computing systems : looking to the future. SESSION : Demonstrations : virtual worlds and reality*, page 10–11.
- [Delaney et al., 2006] Delaney, D., Ward, T., and McLoone, S. (2006). Teleoperators and virtual environments. In *On Consistency and Network Latency in Distributed Interactive Applications*, volume 15, page 465–482.
- [Domingues, 2010] Domingues, C. (2010). *Interaction 3D Collaborative en Réalité Virtuelle*. PhD thesis, UNIVERSITE D’EVRY VAL D’ESSONNE.

- [Ellis et al., 1991] Ellis, C., Gibb, s., and Rein, G. (1991). Groupware : some issues and experiences. *Communications of the ACM*, 34(1) :58.
- [Fleury., 2012] Fleury., C. (2012). *Modeles de conception pour la collaboration distante en environnements virtuels distribues : de l'architecture aux metaphores*. INSA de Rennes.
- [Goldberg and Robson, 1981] Goldberg, A. and Robson, D. (1981). The smalltalk-80 system. *Byte Magazine*, 6(8) :36–48.
- [Guigouz and McPeter, 2015] Guigouz and McPeter (2015). phpmyadmin. <https://doc.ubuntu-fr.org/phpmyadmin>.
- [Henri and Lundgren-Cayrol, 2016] Henri, F. and Lundgren-Cayrol, K. (2016). Coopération ou collaboration - quelles différences? <http://outils-reseaux.org/ContenuCooperationCollaboration>.
- [IBM, 2009] IBM, K. C. (2009). Diagramme de deployment. <http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/fr>.
- [INSA, 2013] INSA (2013). Programme technologies logicielles (tlog) : Projet :part@ge. ANR Part@ge. <http://www.rntl-partage.fr/>.
- [Ju et al., 2015] Ju, Darkagonik, alain17, Flix, and mydjey (2015). xampp. <https://doc.ubuntu-fr.org/xampp>.
- [Lee et al., 2007] Lee, D., Lim, M., Han, S., and Lee, K. (2007). Teleoperators and virtual environments. In *ATLAS : A Scalable Network Framework for Distributed Virtual Environments*, volume 16, page 125–156.
- [Lukosch et al., 2015] Lukosch, S., Billinghamurst, M., Alem, L., and Kiyokawa, K. (2015). Collaboration in augmented reality. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, page 1. Springerlink.com.
- [Macedonia and Zyda, 1997] Macedonia, M. and Zyda, M. (1997). Ieee multimedia. In *A taxonomy for networked virtual environments*, volume 4, page 48–56.
- [Martenet et al., 2006] Martenet, N., Terreaux, P., and Maret, T. (2006). *Augmented Reality*.
- [microsoft, 2009] microsoft (2009). Diagramme de classes. <https://msdn.microsoft.com/fr-fr/library/dd409437.aspx>.
- [microsoft, 2010] microsoft (2010). C. microsoft. <https://msdn.microsoft.com>.
- [Millet, 2013] Millet, M. (2013). L'effet streisand : Censurer pour amplifier. <http://www.milletmaxime.net>.
- [Nigay and Coutaz, 1993] Nigay, L. and Coutaz, J. (1993). Acm interchi'93 conference on human factors in computing systems, voices and faces. In *A design space for multimodal systems : Concurrent processing and data fusion*, pages 172–178.
- [Pfaff, 1985] Pfaff, G. (1985). Workshop on user interface management systems. In *User Interface Management Systems : Proceedings of the Seeheim Workshop*, Seeheim.
- [Phpdesigner, 2009] Phpdesigner (2009). Phpdesigner8. <http://telecharger.cnet.com/phpDesigner-8>.

- [Poupyrev et al., 2002] Poupyrev, I., Desney, S., Billingham, M., Kato, H., Regenbrecht, H., and Tetsutani (2002). Developing a generic augmentedreality interface. page 44–50.
- [Regenbrecht et al., 2002] Regenbrecht, H., Wagner, M., and Baratoff, G. (2002). Magicmeeting - a collaborative tangible augmented reality system. In *Virtual Reality - Systems, Development and Applications*, volume 6, pages 151–166.
- [S.K, 2004] S.K (2004). Leaven.
- [Technologies, 2016] Technologies, U. (2016). Monodevelop.  
<http://docs.unity3d.com/Manual/MonoDevelop.html>.
- [Vitéra, 2011] Vitéra, Y. (2011). Programmeur gameplay dans une entreprise de serious games. Master's thesis, Université de Strasbourg.
- [w3schools, 2008] w3schools (2008). Php 5 tutorial. [www.w3schools.com](http://www.w3schools.com).
- [Wikimedia et al., 2010] Wikimedia, Foundation, and Inc (2010). Le workflow. Wikipédia.  
<http://www.wikipedia.fr>.