

Rapport sur le mémoire de doctorat de Monsieur Renaud Gervais

Mr Renaud Gervais présente une thèse en informatique sous le titre "Interaction and introspection with tangible augmented objects".

Au sein du domaine de l'Interaction Homme-Machine (IHM), les travaux de thèse de Renaud Gervais sont dédiés à la réalité mixte combinant les mondes physique et numérique. Les travaux concernent plus particulièrement l'interaction impliquant des objets physiques augmentés. Pour cela une approche utilisée dans les travaux est la réalité augmentée spatiale (SAR-Spatial Augmented Reality). La réalité augmentée spatiale consiste à projeter directement dans l'espace physique des informations provenant du monde numérique. Dans ce contexte le sujet d'étude concerne les techniques d'interaction. Il s'agit d'un sujet encore peu exploré : en effet la plupart des travaux en SAR ont focalisé sur la vision par ordinateur et l'informatique graphique afin de créer ces environnements mixtes. Rendre interactifs ces environnements mixtes est donc un sujet d'importance pour une large adoption de la réalité augmentée spatiale. Les contributions sont conséquentes et concernent à la fois l'interaction en entrée et en sortie.

Le manuscrit rédigé en anglais comprend 123 pages, une bibliographie et deux annexes. Ce document est d'une très bonne présentation et est très bien illustré.

Outre l'introduction et la conclusion, le manuscrit est structuré en deux parties principales dont le contexte commun est décrit dans un premier chapitre. Ce premier chapitre dessine le contour de l'étude sur la réalité augmentée spatiale et présente les outils de réalisation logicielle. La partie 1 est ensuite consacrée aux techniques d'interaction en entrée avec deux chapitres présentant deux contributions distinctes. La partie 2 est dédiée à l'utilisation de SAR pour visualiser des données physiologiques. Cette partie comprend aussi deux chapitres présentant deux contributions de nature différente, l'une étant la visualisation de l'activité du cerveau, l'autre une boîte à outils pour créer une interface tangible sous la forme d'un avatar pour visualiser des données physiologiques. La structure du manuscrit est donc très cohérente et reflète bien les deux facettes des travaux de recherche de Renaud Gervais.

L'introduction (13 pages) annonce le sujet de recherche et met l'accent sur la diversité des paradigmes d'interaction impliqués incluant l'informatique pervasive, les interfaces tangibles, les interfaces organiques et la réalité augmentée. Immergés dans ce foisonnement d'axes de recherche en IHM, les sujets traités sont décrits et le plan du manuscrit est clairement annoncé.

Un **premier chapitre** (23 pages) décrit l'approche commune aux études menées : la réalité augmentée spatiale. Pour introduire la réalité augmentée, il serait pertinent de mentionner les travaux de Dubois et al. (INTERACT 99) sur les systèmes mixtes : en effet ces travaux permettent d'organiser au sein d'un espace de conception Réalité augmentée/Virtualité augmentée, interaction tangible, évaluation/exécution augmentée. Ces travaux permettraient de bien situer les contributions des deux parties suivantes. L'introduction de la réalité augmentée spatiale est rapide : une définition manque pour bien appréhender la différence avec les autres approches en réalité augmentée. Peut-on considérer que les tables augmentées par projection s'inscrivent dans cet axe de recherche que définit la réalité augmentée spatiale ? La suite du chapitre explique les étapes pour réaliser un objet augmenté en réalité augmentée spatiale, par projection sur un objet physique. Les différents traitements sont clairement exposés au sein du pipe-line de réalité augmentée et les outils utilisés dans les travaux sont introduits. Il serait intéressant de développer un exemple avec vvvv afin d'illustrer l'utilisation de cette boîte à outils. Enfin la dernière partie de ce chapitre expose d'un point de vue technique les aspects positifs et négatifs à l'utilisation de SAR pour augmenter des objets physiques.

Tandis que la deuxième partie du chapitre sur les aspects techniques est bien détaillée et très claire avec le bon niveau de description, il aurait été utile dans la première partie de ce chapitre d'approfondir le choix du SAR pour augmenter des objets physiques, de mieux définir ce qu'est la réalité augmentée spatiale et de présenter des exemples de systèmes existants. Cette première partie est importante pour justifier les choix effectués dans les travaux au sein du vaste espace de conception défini par les systèmes mixtes.

Le **chapitre 3** (premier chapitre de la partie 1, 20 pages) présente une première contribution, intitulée CurSAR : l'étude expérimentale du pointage sur un objet physique augmenté avec une souris. Ce chapitre est l'article publié à la conférence INTERACT'15. L'étude est pertinente et motivée par le fait que l'utilisateur peut vouloir interagir avec l'objet physique augmenté ou sa reproduction numérique sur un écran. Aussi interagir avec une souris permet de passer efficacement d'un environnement purement numérique à un environnement de réalité augmentée spatiale. La contribution est d'avoir montré que l'utilisateur interagit avec un objet physique augmenté de façon similaire à un objet numérique sur un écran. Cette expérimentation aurait pu être étendue pour étudier l'effet d'apprentissage. En effet le contexte de la réalité augmentée spatiale est nouveau contrairement à l'interaction sur un écran. Cette différence est avancée pour expliquer les performances un peu plus faibles de l'interaction avec l'objet physique augmenté.

Le **chapitre 4** (20 pages) présente une deuxième contribution. L'objectif est ici d'étudier le passage d'un environnement purement numérique à un environnement mixte en exploitant la réalité augmentée spatiale et l'interaction tangible. Le système, intitulé Tangible Viewports, sera présenté à la conférence TEI 2016. Le chapitre présente les différentes options de conception explorées comme la position de l'écran par rapport à l'objet physique augmenté. Un atout de ce système est la flexibilité d'interaction, qui peut se faire soit dans l'environnement numérique, soit dans l'environnement physique augmenté, soit dans l'environnement mixte en posant l'objet devant l'écran. Quand les environnements numériques et physiques sont dissociés, la cohérence visuelle est assurée entre le modèle 3D et l'objet physique augmenté. Dans l'environnement mixte, l'utilisateur peut par exemple effectuer un glisser-déposer avec la souris du monde numérique vers le monde physique. Un premier test informel avec 14 participants a montré l'intérêt du système par rapport à un environnement de travail purement numérique.

La contribution réside dans la mise en place d'un environnement de travail flexible alliant le monde numérique, le monde physique et une solution mixte. Cette plateforme peut maintenant servir à conduire de nombreuses expérimentations afin (1) de comprendre quand l'utilisateur souhaite interagir dans l'un des environnements : types de tâches selon le type d'environnement, besoin de continuité entre les environnements de travail au regard des tâches (2) de déterminer l'apport d'un environnement mixte par rapport à deux environnements disjoints dont la cohérence visuelle est assurée. Par exemple les premiers retours d'expérience collectés ne permettent pas de conclure que deux environnements (un numérique et un physique) disjoints mais visuellement cohérents ne seraient pas suffisants surtout si ils offrent des techniques d'interaction proches comme l'intégration de CurSAR pour interagir dans l'environnement physique augmenté.

Le **chapitre 5** (premier chapitre de la partie 2, 18 pages) présente, Teegi, une interface tangible sous la forme d'une marionnette sur laquelle l'activité du cerveau de l'utilisateur (EEG) est projetée. Ce travail a été fait en collaboration avec un autre doctorant J. Frey. Le chapitre est majoritairement l'article publié à la conférence UIST 2014. L'objectif bien énoncé au début du chapitre est de fournir un outil grand public pour expliquer les processus du cerveau et les interfaces cerveau-ordinateur. Au-delà de la visualisation de l'activité du cerveau projetée sur la tête de la marionnette par réalité augmentée spatiale, le système propose des techniques d'interaction tangible pour manipuler la visualisation comme la définition de filtre en posant une petite marionnette (mini-teegi) dans une zone définie sur la table. Le chapitre présente brièvement les aspects techniques relatifs aux traitements des signaux EEG et à la réalisation de la plateforme de réalité augmentée spatiale. Ensuite, une étude expérimentale avec 10 participants est présentée. Les objectifs étaient de tester la robustesse et l'interaction avec le système, la capacité à apprendre les processus du cerveau en utilisant le système et l'impression globale des utilisateurs. Cette première expérience a montré l'intérêt du système. Plusieurs autres utilisations et expérimentations sont identifiées comme l'apprentissage en vue d'utiliser une interface cerveau-ordinateur.

Le **chapitre 6** (20 pages) présente une contribution de nature différente puisqu'il s'agit d'une boîte à outils pour développer une marionnette ou avatar physique, qui présente des données physiologiques en exploitant la réalité augmentée spatiale. Ces travaux seront présentés à la conférence TEI 2016.

La boîte à outils repose sur trois niveaux : capture des signaux (matériel et logiciel), forme et positionnement de la visualisation projetée sur l'avatar. Définir la forme et position de la visualisation consiste à définir la modalité graphique de sortie (langage=forme et dispositif=position sur l'avatar) associée à un signal.

- La boîte à outils inclut un ensemble de capteurs et les traitements du niveau signal correspondants. Les signaux sont classés en trois types : perçus par autrui (comme le

clignotement des yeux), perçus par soi (comme le rythme de la respiration) et non perçus (comme la charge cognitive). Ces trois niveaux sont pertinents mais non exploités ensuite dans la boîte à outils ou lors des expérimentations.

- La boîte à outils contient aussi un éditeur graphique simple permettant de définir la forme de la visualisation d'un signal.
- Par contre la position de la visualisation sur l'avatar physique n'est pas décrite.

Deux expérimentations ont été menées. Celles-ci sont plus centrées sur l'utilisation des avatars augmentés que sur l'utilisation de la boîte à outils pour créer son propre avatar augmenté.

Ce chapitre manque d'éléments sur l'architecture logicielle de la boîte à outils, ses composants logiciels et leurs connexions et sur l'implémentation de la boîte à outils (encapsulation de bibliothèques existantes, nombre de lignes de code). Il est souligné que la boîte à outils est extensible mais aucun élément ne permet au lecteur de comprendre et mesurer le caractère extensible de celle-ci. Enfin des expérimentations doivent être menées pour tester la boîte à outils elle-même et pour montrer que des utilisateurs non experts en programmation peuvent effectivement créer leur avatar physique augmenté personnalisé. En effet ceci est un objectif annoncé au début du chapitre.

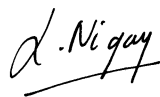
Plusieurs types d'applications mono et multi utilisateurs développables avec la boîte à outils sont présentés comme l'usage d'un avatar physique augmenté pour présenter son état interne à une autre personne distante ou lors d'une activité passée. Ces travaux ouvrent donc de nombreuses perspectives qui motivent l'intérêt d'une boîte à outils.

La **conclusion** (9 pages) rappelle d'abord les travaux effectués et apports principaux. Les perspectives concernent à la fois les techniques de pointage et plus généralement d'interaction avec des objets physiques augmentés en réalité augmentée spatiale mais aussi des applications médicales des travaux sur la visualisation de signaux physiologiques.

En conclusion cette thèse apporte des contributions variées au domaine de l'Interaction Homme-Machine, attestées par des publications de référence du domaine (ACM UIST, INTERACT et TEI). Ces contributions portent d'abord sur un ensemble de techniques d'interaction novatrice pour manipuler un objet physique augmenté en réalité augmentée spatiale. Elles portent aussi sur un ensemble de visualisation de données physiologiques projetées sur un objet physique augmenté sous la forme d'un avatar. Les remarques faites dans le rapport ne remettent pas en cause d'une part l'originalité et l'importance des contributions. Les travaux menés sont originaux, conséquents, témoignent de l'ampleur du travail expérimental des recherches et définissent de nombreuses pistes de recherche.

Pour toutes ces raisons, je donne un avis favorable à la soutenance des travaux de Renaud Gervais en vue de l'obtention du titre de Docteur de l'Université de Bordeaux.

Fait à Grenoble, le 20 novembre 2015



Laurence Nigay, Professeur
Université Joseph Fourier (UJF)
Responsable de l'équipe IIHM du laboratoire LIG