



### **Science Arts & Métiers (SAM)**

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>  
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/11456>

#### **To cite this version :**

Thibault PORSSUT, Jean-Rémy CHARDONNET - Télécollaboration asymétrique en réalité virtuelle - In: Journées Françaises d'Informatique Graphique, France, 2016-11-30 - Journées Françaises d'Informatique Graphique - 2016

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [scienceouverte@ensam.eu](mailto:scienceouverte@ensam.eu)



# Télécollaboration asymétrique en réalité virtuelle

T. Porssut<sup>1</sup> et J.-R. Chardonnet<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Le2i UMR6306, Arts et Métiers, CNRS, Univ. Bourgogne Franche-Comté, HeSam, Institut Image

---

## Résumé

*Nous présentons une première étude de combinaison de deux systèmes asymétriques de réalité virtuelle dans un contexte de travail collaboratif : un système de type CAVE et un casque immersif. L'architecture, de type serveur-client, permet une collaboration entre plusieurs utilisateurs. Les expériences sur une tâche de construction de puzzles en un temps limité, seul et en collaboration, montrent que l'utilisation combinée de systèmes asymétriques CAVE et casques permet d'améliorer les performances des utilisateurs. Par ailleurs les utilisateurs préfèrent le travail en collaboration et sont plus efficaces ensemble. Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes de combinaison de systèmes de réalité virtuelle de nature différente pour la télécollaboration.*

---

**Mots clé :** Collaboration, interaction, réalité virtuelle, CAVE, casque immersif

## 1. Introduction

L'arrivée sur le marché de solutions de réalité virtuelle (RV) bon marché, tels que les casques immersifs Oculus Rift ou HTC Vive, permet d'envisager de nouvelles méthodes de travail, parmi lesquelles la télécollaboration, pour des applications telles que la revue de projets numériques.

Dans cet article, nous présentons un mode de télécollaboration entre deux systèmes de RV : un dispositif de type CAVE et un casque immersif, visant à améliorer la performance d'utilisateurs lors de la réalisation d'une tâche.

La collaboration à distance, ou la télécollaboration, en RV a été explorée par le passé. Une des contraintes principales est la vitesse de transmission des données [Pan00], ce qui est beaucoup moins le cas à présent avec le déploiement de la fibre optique. La plupart des travaux en télécollaboration utilisent des salles immersives CAVE [JL01, FDGS12]. Des travaux existent sur la collaboration entre un système immersif CAVE et un système de réalité augmentée [KGWK06]. Si l'approche est intéressante, l'expérience utilisateur en réalité augmentée n'est pas encore satisfaisante. D'autres travaux ont exploré les avantages et inconvénients d'une collaboration à deux personnes dans un CAVE ou avec deux casques pour la visualisation collaborative de données abstraites [CDK\*16]. Si les résultats montrent une expérience comparable dans les deux cas, nous ne cherchons pas ici à comparer deux systèmes mais à utiliser deux systèmes différents ensemble, sur une tâche concrète. Heldal et al. ont évalué la collaboration pour résoudre un puzzle [HSS05]. L'étude s'est limitée à évaluer la performance à deux personnes, sans connaître celle d'une personne seule. Morten-

sen et al. ont réalisé une étude de télécollaboration asymétrique pour une tâche nécessitant d'être à deux et ont montré une corrélation entre coprésence et performance [MVS\*02].

Nous présentons ici une première étude de télécollaboration entre deux personnes utilisant des systèmes différents de RV : une salle immersive de type CAVE et un casque immersif du marché. L'objectif est d'évaluer l'intérêt de combiner deux systèmes différents (asymétriques) pour améliorer la performance des utilisateurs. Notre hypothèse sera ainsi que l'utilisation collaborative de systèmes asymétriques améliore la performance des utilisateurs.

Nous détaillerons dans la partie 2 l'architecture matérielle et logicielle que nous avons mise en place pour la télécollaboration, puis nous présenterons le protocole expérimental de validation dans la partie 3, les données recueillies seront analysées dans la partie 4 avant de conclure.

## 2. Architecture de télécollaboration

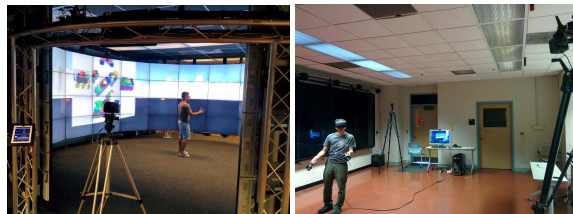
Pour permettre la réalisation d'une tâche de collaboration à distance, nous avons choisi de définir une architecture de type serveur-client. En effet, ici le CAVE, de coût très élevé et non transportable, est considéré comme serveur (il s'agit également d'un choix de simplicité), et le casque immersif comme client, celui-ci étant plus accessible en termes de prix et d'espace et donc plus facilement dupliquable. Ainsi il est possible d'ajouter autant de clients que souhaité. Ici, nous ne considérerons qu'un seul client.

### 2.1. Matériel

Le système serveur est une salle immersive CAVE2<sup>TM</sup> [FNT\*13]. Le CAVE2 (voir figure 1 à gauche) est équipé de 72 écrans LCD d'une résolution totale de 37

mégapixels, avec stéréoscopie passive disposés en cercle. Les lunettes de vision stéréoscopique sont repérées par des caméras infrarouge ART. La salle est équipée d'un système de 20 haut-parleurs pour permettre du son spatialisé. Nous avons installé un micro au sol afin de permettre de communiquer à distance avec son partenaire de travail. Contrairement aux CAVE classiques, le CAVE2 ne possède pas de sol, l'immersion n'est ainsi pas totale.

Comme client, nous utilisons le HTC Vive, un casque immersif grand public. Il permet un déplacement à l'échelle d'une pièce grâce à deux boîtiers infrarouge de tracking (Lighthouse) (voir figure 1 à droite). L'utilisateur possède deux contrôleurs détectés par le système Lighthouse, un pour chaque main de l'utilisateur. Un microphone est déjà intégré au casque. Nous avons ajouté au Vive un casque audio pour entendre le partenaire de travail situé dans le CAVE2.

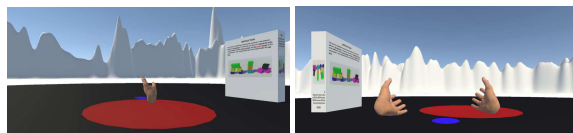


**Figure 1:** A gauche : le CAVE2 ; à droite : un utilisateur avec le Vive

## 2.2. Logiciel

Tous nos développements ont été réalisés sous Unity. La mise en réseau des dispositifs se fait avec UNET, le module réseau d'Unity. La communication entre utilisateurs se fait par Skype.

L'application est un Puzzle Game, dont le but est de reconstruire une figure à l'aide de cube de couleurs répartis aléatoirement dans l'environnement. La figure doit être construite dans un lieu donné (un cercle rouge) en un temps limité (10 min). Les instructions sont écrites sur une pancarte, lisible dans le monde virtuel. Une application a été développée pour les deux systèmes (voir figure 2). Peu de différences existent entre l'application pour le CAVE2 et celle pour le Vive.



**Figure 2:** A gauche : application pour le CAVE2 ; à droite : application pour le Vive.

Dans la version CAVE, l'utilisateur possède une manette de type wand modélisée par une main dans le jeu (voir figure 2 à gauche). Plusieurs modes de déplacement sont possibles : soit en marchant dans la limite de l'espace du CAVE2, soit par téléportation en déplaçant un cercle bleu au sol indiquant l'endroit où se téléporter, soit à l'aide du

joystick du wand. L'utilisateur peut attraper les cubes avec sa main virtuelle. Lorsqu'un cube est touché, il change de couleur pour devenir bleu, permettant un retour visuel. Le fait d'avoir une seule main dans le CAVE2 et la possibilité de se déplacer au joystick vient en fait d'une contrainte industrielle et non scientifique. En effet, le CAVE2 est livré de base avec un seul wand, avec des déplacements par défaut au joystick. Ainsi, nous voulions respecter les contraintes techniques de base afin de simuler la configuration à laquelle sont confrontés la plupart des utilisateurs du CAVE2.

Dans le cas du Vive, l'utilisateur peut utiliser ses deux mains car il possède deux manettes. Nous avons choisi de laisser la possibilité d'utiliser les deux mains, ce qui peut introduire un biais dans les expérimentations par rapport au CAVE2. Cependant, dans les expérimentations nous avons observé que la plupart du temps une seule main est utilisée, l'autre l'est pour stabiliser un cube sur une pile par exemple, aussi avons-nous considéré que le biais introduit était suffisamment faible pour être négligé. Quant au déplacement dans la scène virtuelle, il se fait soit par téléportation - il s'agit d'une bonne alternative pour réduire le mal de simulateur, mal récurrent en réalité virtuelle -, soit en marchant, dans la limite de l'espace défini par la "lighthouse").

## 3. Protocole expérimental

Un utilisateur se voit attribuer de manière aléatoire un dispositif (CAVE2 ou Vive) qu'il conservera tout au long de l'expérience. Celle-ci est décomposée en trois tâches, une tâche 1 permettant de se familiariser avec le dispositif, une tâche 2 où un utilisateur est seul pour la réaliser. Enfin, une tâche 3, collaborative, où deux utilisateurs, dans deux pièces différentes, travaillent ensemble pour exécuter la tâche, l'un dans le CAVE2 et l'autre dans le Vive. Dans la tâche 3, les deux utilisateurs peuvent se parler et chacun peut voir l'autre représenté par un avatar dans la scène virtuelle. Enfin, nous avons dans chaque tâche des figures différentes à construire pour éviter un effet d'apprentissage.

18 sujets (10 hommes et 8 femmes, entre 18 et 30 ans) ont participé à l'expérience. 9 sessions ont été réalisées (une expérience par couple d'utilisateurs).

Nous utilisons des mesures objectives et subjectives pour évaluer les performances des utilisateurs dans chaque cas. Ainsi, parmi les mesures subjectives, nous utilisons un questionnaire pour connaître les expériences des sujets avec la RV et les jeux vidéo. Il donne aussi des informations à propos d'éventuels handicaps et maladies (vertiges, problèmes de vue importants, ...) qui pourraient affecter les performances et dégrader l'expérience. Nous avons aussi utilisé un questionnaire de retour. Il permet de cerner les problèmes rencontrés par les utilisateurs, d'avoir un retour sur les interactions et de connaître leur avis général. Enfin nous utilisons le NASA-TLX (Task Load Index) [HS88], élaboré pour mesurer les différentes charges cognitives subies par l'utilisateur au cours de l'expérience. Ainsi, les charges mentale, physique, temporelle, l'effort, la frustration et sa propre performance peuvent être mesurés.

Nous avons choisi comme mesure objective le taux de

complétion. Nous comptons le nombre de cubes que l'utilisateur est capable de mettre en place au bout des 10 minutes, sur le nombre total de cubes à placer. Ce taux nous permet d'évaluer la performance de chaque utilisateur pour chaque tâche. L'expérience a été conçue pour être assez longue pour les 10 minutes données. Enfin, l'expérience est filmée pour observer les participants.

Le tableau 1 résume le déroulement de l'expérience.

Temps (min)	Action
5	Présentation Formulaire "Expérience personnelle en RV"
10	<b>Tâche 1</b> Mesure du temps de complétion Comptage du nombre de cube disposés
10	Formulaire TLX (explication sur la manière de le remplir)
10	<b>Tâche 2</b> Mesure du temps de complétion Comptage du nombre de cube disposés
5	Formulaire TLX
10	<b>Tâche 3</b> Mesure du temps de complétion Comptage du nombre de cube disposés
5	Formulaire TLX
5	Formulaire retour

**Table 1:** Déroulement de l'expérience.

## 4. Analyse des données

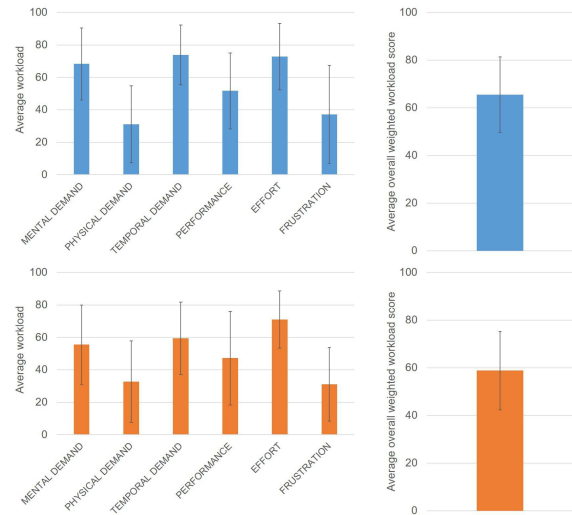
### 4.1. Questionnaire d'expérience en RV

Du questionnaire d'expérience en RV, il ressort que la moitié des utilisateurs portent des lunettes et la moitié joue régulièrement à des jeux vidéo. Cette différence entre utilisateurs est importante car elle peut jouer sur la performance globale. Il s'avère que d'après les résultats observés à l'issue de l'expérience (en particulier après la tâche 2), le niveau en jeux vidéo n'a pas eu d'influence sur la performance globale, indiquant l'efficacité probable de la tâche 1 visant à atténuer les éventuels écarts entre utilisateurs.

### 4.2. NASA-TLX

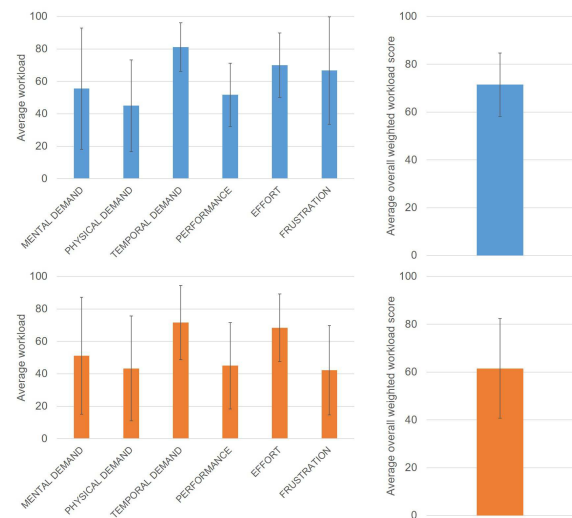
Nous avons mesuré un indice TLX par tâche. Ainsi nous avons un total de 36 histogrammes pour 18 utilisateurs. Les résultats moyennés dans les deux situations (seul et collaboratif) sont présentés dans les figures 3 et 4 pour les utilisateurs avec le Vive et dans le CAVE2 respectivement.

Dans le cas du Vive, nous pouvons remarquer que l'effort mobilisé pour les deux tâches reste similaire (tâche 2 :  $M = 72.8$ , tâche 3 :  $M = 71.1$ ,  $p > .01$ ). Ainsi, le niveau de difficulté perçu semble être le même pour les deux tâches. Nous remarquons que les demandes temporelle et mentale sont moins importantes dans la tâche 3 que dans la tâche 2 (chacun  $p < .05$ ). De plus la charge cognitive totale mobilisée par l'utilisateur est moins importante dans la tâche 3



**Figure 3:** Histogramme des charges cognitives TLX avec le Vive : pour la tâche 2 (en haut), pour la tâche 3 (en bas).

( $p < .05$ ). Ainsi, les utilisateurs du Vive ont mobilisé moins de ressources cognitives et ont moins ressenti la pression temporelle et mentale en collaboratif que seul.



**Figure 4:** Histogramme des charges cognitives TLX dans le CAVE2 : pour la tâche 2 (en haut), pour la tâche 3 (en bas).

Dans le cas du CAVE2, nous pouvons remarquer, comme dans le cas du Vive, un effort inchangé entre les deux tâches (tâche 2 :  $M = 70.0$ , tâche 3 :  $M = 68.3$ ,  $p > .01$ ). Le niveau de difficulté perçu par les deux utilisateurs est donc le même pour les deux tâches. Nous remarquons que la frustration est moins importante dans la tâche 3 que la tâche 2 ( $p < .05$ ). Nous pouvons supposer que le niveau de frustration dans la tâche 2 vient de ce que le CAVE2 n'a pas de sol projeté, compliquant la réalisation de la tâche. Ainsi, les utilisateurs du CAVE ont mobilisé moins de ressources cognitives et ont moins ressenti la pression temporelle et de frustration en collaboratif que seul.

D'après l'analyse faite avec les deux dispositifs et pour les deux tâches, le collaboratif permet de réduire certaines charges cognitives, comme la charge temporelle, donc de réduire la charge cognitive globale. Ainsi, nous pouvons conclure que les utilisateurs ont ressenti plus de facilité en collaboratif que seul. Ces conditions sont favorables pour la validation de notre hypothèse. Le taux de complétion nous permettra de valider cette observation.

#### 4.3. Taux de complétion

La figure 5 montre les taux de complétion. Nous pouvons remarquer dans la tâche 2 ("Single") que les utilisateurs du Vive sont plus efficaces ( $M = 40\%$ ) que les utilisateurs du CAVE2 ( $M = 28\%$ ). Nous observons également que, quel que soit le dispositif, les utilisateurs produisent de meilleurs résultats en collaboratif que seul ( $M = 69\%$  ; pour le Vive :  $t(8) = 6.05$ ,  $p = .0001$ , pour le CAVE2 :  $t(8) = 4.85$ ,  $p = .0006$ ).

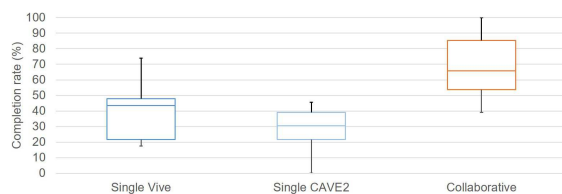


Figure 5: Taux de complétion des tâches.

La différence entre les tâches 2 et 3 est plus importante pour les utilisateurs du CAVE2 (40% de plus,) que pour ceux du Vive (30% de plus). Il est possible qu'une des raisons vienne encore de l'absence de sol du CAVE2, obligeant les utilisateurs à se déplacer souvent et donc source de perte de temps. Cependant, ces résultats montrent que notre hypothèse de départ est validée.

#### 4.4. Questionnaire de retour

D'après les questionnaires de retour, pas de problème majeur n'a été rencontré par les utilisateurs (Vive et CAVE2) qui ont apprécié l'expérience. La plupart des utilisateurs (89%) n'a ressenti que très peu de mal de simulateur, voire pas du tout.

Etonnamment, nous avons observé qu'une partie non négligeable des utilisateurs du CAVE2 (44%), contrairement à ceux du Vive (0%), ont préféré travailler seul qu'en collaboratif. Cette information peut également expliquer un indice TLX plus élevé qu'avec le Vive. Cependant, nous avons observé que le travail collaboratif est préféré au travail seul à 78%.

#### 5. Conclusion

Nous avons présenté dans cet article une première étude de collaboration entre deux utilisateurs utilisant deux systèmes asymétriques. Nous avons observé que le collaboratif permet de réduire la charge cognitive et semble donc améliorer les performances des utilisateurs. Les taux de complétion nous le confirment même si les utilisateurs indiquent un

niveau de difficulté comparable d'après le TLX. Notre hypothèse de départ est donc bien vérifiée, la collaboration entre le CAVE2 et un casque de RV améliore les performances des utilisateurs.

Nous souhaitons à l'avenir approfondir cette étude en la comparant avec une collaboration symétrique (mêmes systèmes de réalité virtuelle), et explorer davantage la télécollaboration asymétrique en utilisant différentes technologies.

#### Remerciements

Nous remercions la société Mechdyne et le laboratoire EVL de l'Université de l'Illinois à Chicago (Etats-Unis) pour leur mise à disposition du CAVE2.

#### Références

- [CDK\*16] CORDEIL M., DWYER T., KLEIN K., LAHA B., MARRIOTT K., THOMAS B. H. : Immersive collaborative analysis of network connectivity : Cave-style or head-mounted display ? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. Vol. PP, Num. 99 (2016), 1–10.
- [FDGS12] FLEURY C., DUVAL T., GOURANTON V., STEED A. : Evaluation of remote collaborative manipulation for scientific data analysis. In *18th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (2012), pp. 129–136.
- [FNT\*13] FEBRETTI A., NISHIMOTO A., THIGPEN T., TALANDIS J., LONG L., PIRTLE J. D., PETERKA T., VERLO A., BROWN M., PLEPYS D., SANDIN D., RENAMBOT L., JOHNSON A., LEIGH J. : Cave2 : a hybrid reality environment for immersive simulation and information analysis. In *SPIE* (2013), vol. 8649, pp. 864903–864903–12.
- [HS88] HART S. G., STAVELAND L. E. : Development of nasa-tlx (task load index) : Results of empirical and theoretical research. *Advances in Psychology*. Vol. 52 (1988), 139–183.
- [HSS05] HELDAL I., STEED A., SCHROEDER R. : Evaluating collaboration in distributed virtual environments for a puzzle-solving task. In *11th International Conference on HCI* (2005).
- [JL01] JOHNSON A., LEIGH J. : *Tele-Immersive Collaboration in the CAVE Research Network*. Springer London, 2001, pp. 225–243.
- [KGWK06] KIM S.-J., GRAČANIN D., WINCHESTER W. W., KUC T.-Y. : The ar-cave : Distributed collaborative augmented reality and immersive virtual reality system. In *3rd International Conference on Autonomous Robots and Agents (ICARA 2006)* (2006), pp. 351–354.
- [MVS\*02] MORTENSEN J., VINAYAGAMOORTHY V., SLATER M., STEED A., LOK B., WHITTON M. C. : Collaboration in tele-immersive environments. In *EGVE '02* (2002), pp. 93–101.
- [Pan00] PANTELIDIS V. S. : *The RAVE, CAVE, and Collaborative Virtual Environments*. Tech. rep., East Carolina University, 2000.