

Chapitre 4

Déformation collaborative de molécule

Sommaire

4.1	Introduction	60
4.2	Présentation	60
4.2.1	Objectifs	60
4.2.2	Hypothèses	62
4.3	Dispositif expérimental et matériel	63
4.3.1	Dispositif technique	63
4.3.2	Disposition des éléments	63
4.3.3	Visualisation et interactions	65
4.4	Méthode	66
4.4.1	Sujets	66
4.4.2	Variables	66
4.4.3	Tâche	67
4.4.4	Procédure	71
4.5	Résultats	73
4.5.1	Amélioration des performances en binôme	73
4.5.2	Gain de performance sur les tâches complexes	77
4.5.3	Amélioration de l'apprentissage pour les binômes	81
4.5.4	Résultats qualitatifs	86
4.6	Synthèse	88
4.6.1	Résumé des résultats	88
4.6.2	Perspectives	88
	Bibliographie	90

4.1 Introduction

Dans le précédent chapitre, nous avons effectué une première étude du travail collaboratif sur une tâche de recherche et de sélection. Cette étude montre la pertinence d'un travail en binôme pour la *recherche* et la *sélection* de résidus dans un environnement complexe. En effet, les binômes sont plus performants sur des tâches très complexes et gardent des performances équivalentes aux monômes sur des tâches de complexité faible. Cette première expérimentation nous permet d'identifier certains points importants nécessaires pour nos prochaines études.

Tout d'abord, nous allons focaliser nos études sur des tâches de complexité importante. La caractérisation de la complexité d'une tâche dépend en grande partie de la nature de la tâche elle-même (par exemple, la forme ou la couleur d'un résidu). Cependant, le nombre total d'atomes (et donc de résidus) présents dans la molécule est un facteur de complexité qui ne dépendra pas ou peu de la nature de la tâche. Ce facteur pourra être utilisé pour proposer des tâches complexes.

Les deux premières tâches élémentaires du processus de déformation moléculaire (voir figure 1.1 page 5) ont été étudiées dans cette première études. Cette seconde étude se rapproche d'un processus complet de déformation moléculaire puisqu'elle se focalisera sur la tâche élémentaire de *manipulation*.

Tout d'abord, nous présenterons les objectifs et les hypothèses de cette seconde expérimentation dans la section 4.2. Ensuite, le dispositif expérimental, modifié pour cette nouvelle étude, est présenté dans la section 4.3 page 63. La section 4.4 page 66 expose les différents détails concernant la tâche proposée et les variables étudiées. Les résultats seront analysés dans la section 4.5 page 73. Enfin, la section 4.6 page 88 effectue une synthèse de cette seconde étude et propose des perspectives pour les expérimentations qui vont suivre.

4.2 Présentation

4.2.1 Objectifs

Après avoir étudié la tâche élémentaire de *recherche* et de *sélection*, cette seconde expérimentation se portera plus en détails sur la tâche élémentaire de *déformation* en collaboration (voir figure 1.1 page 5). Cette tâche nécessite

une grande synchronisation et favorise les collaborations étroites. La précédente expérimentation (voir chapitre 3 page 27) a souligné l'avantage de la collaboration sur des tâches nécessitant un couplage fort. Les tâches proposées dans cette expérimentation sont élaborées pour stimuler les interactions entre les sujets.

L'utilisation d'interfaces haptiques pour la déformation d'objets flexibles n'est pas une idée nouvelle. SHEN et al. [2006] propose déjà une solution pour déformer des objets non-rigides et teste son modèle avec des interfaces PHANTOM Omni®. Les objets concernés sont plutôt simples comme des sphères. Quelques années plus tard, PETERLÍK [2009] effectue une thèse sur les déformations de tissus cellulaires. Jusqu'à présent, l'utilisation de l'haptique pour la déformation en temps-réel de molécules n'a pas été étudié. Nous pouvons tout de même citer SUBASI et BASDOGAN [2006] qui propose une approche de manipulation de molécule rigide utilisant l'haptique.

Les processus de déformation collaboratifs sont également peu étudiés. La littérature s'attarde principalement sur des EVCS. SÜMENGEN et al. [2007] propose une plate-forme permettant la déformation d'objets dans un EVC. L'objectif de cette plate-forme est de répondre à des contraintes de latence liées au réseau. Pour répondre à la problématique de latence, TANG et al. [2010] encode les paramètres du maillage pour accélérer la transmission. Les EVCS proposés sont destinés à des collaborations distantes et la problématique du temps-réel en est le sujet d'intérêt principal. Notre plate-forme se place dans un contexte colocalisé où les contraintes de réseau n'ont pas d'existence.

On peut tout de même trouver quelques exemples de manipulation collaborative à l'aide d'interface haptique. GAUTIER et al. [2008] propose par exemple une plate-forme de travail collaboratif pour la conception assistée par ordinateur (CAO). Son projet repose sur la manipulation de corps rigides. Pour des corps flexibles, MÜLLER et al. [2006] développe le logiciel CLAYWORKS qui permet la sculpture sur glaise. La manipulation s'effectue alors sur un objet malléable. Ici encore, l'accent est mis sur la collaboration distante comme le montre cette autre publication sur CLAYWORKS [GORLATCH et al. 2009].

L'expérimentation proposée dans cette nouvelle étude va de nouveau mettre en opposition un monôme et un binôme. L'objectif est comparer une manipulation bimanuelle en monôme avec une manipulation monomanuelle en binôme. L'expérimentation s'appuie sur un EVC permettant une collaboration colocalisée, s'affranchissant ainsi des problématiques de la collaboration distante.

De plus, nous mettrons en relation la performance des groupes en fonction de la complexité de la tâche. Ce point nous permet de confirmer les conclusions

de la première étude mais dans un contexte de manipulation moléculaire.

Enfin, cette seconde étude est l'occasion d'observer l'effet du travail collaboratif sur l'apprentissage. En effet, le travail de groupe peut stimuler l'apprentissage et donc être bénéfique en terme de performances sur le court terme.

4.2.2 Hypothèses

Les hypothèses de cette nouvelle étude sont en grande partie basées sur l'étude précédente. Nous souhaitons confirmer l'intérêt du travail collaboratif dans la tâche élémentaire de *manipulation*, notamment sur les tâches de complexité importante. De plus, cette expérimentation propose d'étudier l'apprentissage de la tâche et d'en observer l'évolution dans le cadre du travail collaboratif.

(\mathcal{H}_1) **Amélioration des performances en binôme** Nous émettons l'hypothèse que les performances des binômes seront meilleures que les performances des monômes. Cette hypothèse a pour objectif de confirmer les conclusions obtenues dans la première étude dans un contexte de *manipulation*. La première hypothèse est une amélioration des performances pour les binômes en collaboratif comparés aux monômes en bimanuel.

(\mathcal{H}_2) **Meilleur gain de performances sur les tâches complexes** Nous émettons l'hypothèse que plus la tâche est complexe et plus une configuration de travail collaboratif produira un gain significatif de performances comparé à un monôme.

(\mathcal{H}_3) **L'apprentissage est plus performant pour les binômes** Nous émettons l'hypothèse que le travail en collaboration augmente la vitesse d'apprentissage de la tâche. En effet, nous supposons que l'interaction entre les partenaires va stimuler l'apprentissage et permettre l'échange des connaissances.

(\mathcal{H}_4) **Les sujets préfèrent le travail en collaboration** Nous souhaitons évaluer auprès des utilisateurs l'intérêt vis-à-vis du travail collaboratif. Notre hypothèse est que les utilisateurs préfèrent le travail collaboratif. En effet, le contact social et la possibilité de communiquer sont des apports appréciés dans le milieu du travail.

4.3 Dispositif expérimental et matériel

Cette seconde expérimentation se base sur un dispositif expérimental relativement similaire à celui de la première expérimentation. L'expérience est basée sur l'EVC présenté dans le chapitre 2 page 7. Dans un premier temps, une liste du matériel utilisé est présentée dans la section 4.3.1 puis la disposition de chacun de ces éléments dans la section 4.3.2. Puis, dans un second temps, les aspects logiciels seront détaillés dans la section 4.3.3 page 65.

4.3.1 Dispositif technique

La réalisation de cette expérimentation nécessite l'ensemble des matériels suivants :

- 1 ordinateur quatre cœurs Intel® Core™ 2 Q9450 (2.66 GHz) avec 4 Go de RAM ;
- 2 ordinateurs de faible puissance ;
- 2 interfaces haptiques PHANTOM Omni® ;
- 1 souris 3D SpaceNavigator® ;
- 1 vidéoprojecteur CASIO XJ ;
- 1 grand écran de vidéoprojection.

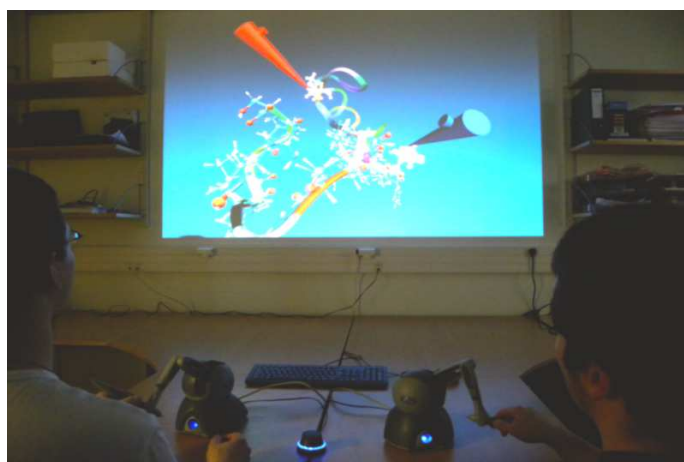
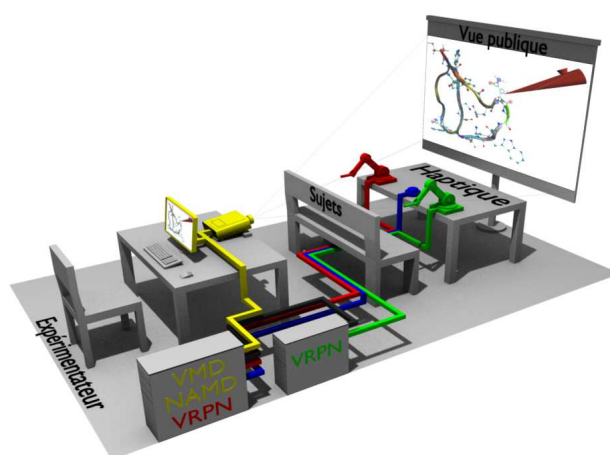
4.3.2 Disposition des éléments

Cette nouvelle étude propose une disposition relativement similaire à la première expérimentation (voir section 3.3.2 page 31). Les sujets sont face à un écran de vidéoprojection, le vidéoprojecteur se trouvant derrière eux. La vue partagée permet à tous les sujets de voir le grand écran et de communiquer librement.

Deux interfaces haptiques se trouvent faces aux sujets : ce sont deux outils de déformation *tug* (voir section 2.2.2 page 13). Le sujet d'un monôme aura accès aux deux interfaces en manipulation bimanuelle. Dans le cas d'un binôme, chaque sujet aura un outil à sa disposition. De plus, le SpaceNavigator® est placé entre les deux interfaces haptiques afin d'être accessibles à tous les sujets.

L'expérimentateur dirige les opérations depuis un poste de travail placé derrière les sujets. C'est lui qui lance et **stoppe** les différents scénarios proposés.

La ?? page ?? illustre le dispositif expérimental par un schéma. La ?? page ?? est une photographie de la salle d'expérimentation.



4.3.3 Visualisation et interactions

Chaque molécule proposée est projetée dans son intégralité sur l'écran de vidéo-projection avec les rendus graphiques suivants (voir section 2.2.2 page 11) :

- un rendu CPK avec des atomes de taille assez petite afin de pouvoir apprécier l'ensemble des atomes de la molécule ;
- un second rendu CPK pour agrandir tous les atomes sauf les atomes d'hydrogène qui sont peu informatifs ;
- un rendu *NewRibbon* pour apprécier la structure globale de la molécule.

De plus, un affichage de l'état stable de la molécule est affiché par un rendu *NewRibbon* transparent. Pour les besoins de la simulation, certains résidus sont fixes et sont alors représentés avec la couleur grise. Enfin, les résidus sélectionnés sont affichés avec un rendu CPK en transparence et de la couleur du curseur concerné. La figure 4.1 illustre l'ensemble des rendus graphiques précédemment décrits.

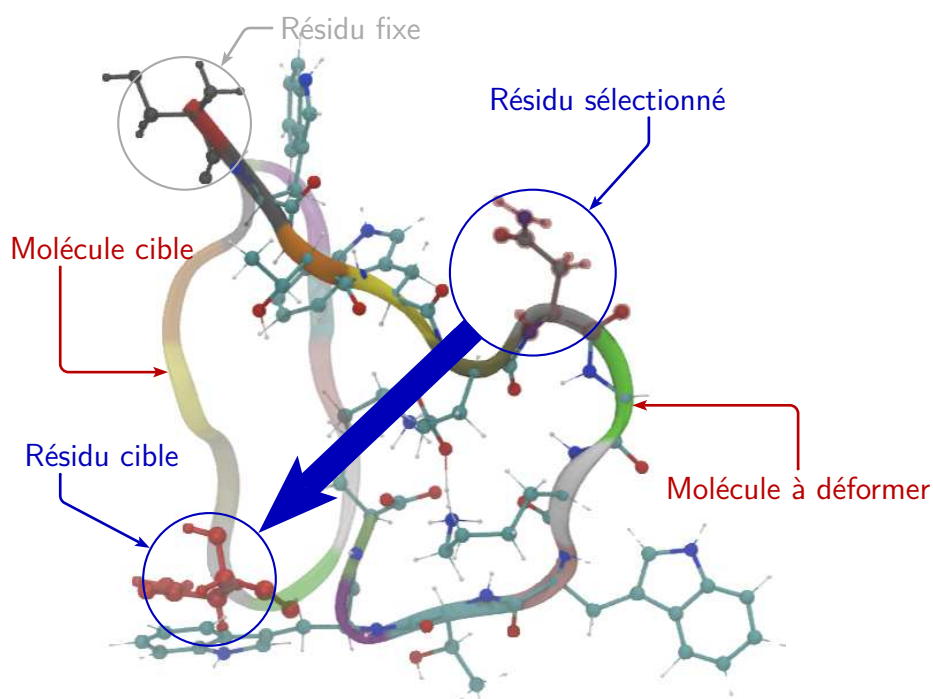


Figure 4.1 – Illustration des rendus pour l'affichage de la molécule

Les outils *tug* vont permettre aux sujets de déformer la molécule. Les monômes se placent devant les deux interfaces haptiques de façon à pouvoir manipuler en configuration bimanuelle. Dans le cas d'un binôme, chaque sujet

est installé face à un outil. Le SpaceNavigator® est laissé libre d'utilisation pour les sujets quelque soit le nombre de sujets.

4.4 Méthode

4.4.1 Sujets

36 sujets (8 femmes et 28 hommes) avec une moyenne d'âge de $\mu = 25.9$, $\sigma = 4.7$ ont participé à cette expérimentation. Ils ont tous été recrutés au sein du laboratoire CNRS-LIMSI et sont chercheurs ou assistants de recherche dans les domaines suivants :

- linguistique et traitement automatique de la parole ;
- réalité virtuelle et système immersifs ;
- audio-acoustique.

Ils ont tous le français comme langue principale. Aucun participant n'a de déficience visuelle (ou corrigée le cas échéant) ni de déficience audio.

Chaque participant est complètement naïf concernant les détails de l'expérimentation. Une explication détaillée de la procédure expérimentale leur est donnée au commencement de l'expérimentation mais en omettant l'objectif de l'étude.

4.4.2 Variables

Variables indépendantes

(\mathcal{V}_{11}) **Nombre de sujets** La première variable indépendante est une variable inter-sujets. (\mathcal{V}_{11}) possède deux valeurs possibles : « un sujet (*c.f. monôme*) » ou « deux sujets (*c.f. binôme*) ». 12 monômes et 12 binômes sont testés.

(\mathcal{V}_{12}) **Complexité de la tâche** La seconde variable indépendante est une variable intra-sujets. Deux tâches de déformation sont proposées sur chacune des deux molécules : une déformation au niveau inter-moléculaire et une déformation au niveau intra-moléculaire.

(\mathcal{V}_{13}) **Le niveau d'apprentissage** La troisième variable indépendante est une variable intra-sujets. Tous les sujets seront confrontés trois fois à la même tâche afin de voir l'effet de l'apprentissage en monôme et en binôme.

Variables dépendantes

(\mathcal{V}_{d1}) **Le temps de réalisation** C'est le temps total pour réaliser la tâche demandée, c'est-à-dire manipuler et déformer la molécule afin d'atteindre l'objectif fixé. Le temps est limité à 10 mn.

(\mathcal{V}_{d2}) **Le nombre de sélections** (\mathcal{V}_{d2}) représente le nombre de sélections réalisées durant chaque tâche à réaliser. Une sélection est comptabilisée lorsqu'un atome ou un résidu est sélectionné par un des deux effecteur terminal. Un compteur est affecté pour chacun des effecteurs terminaux qui lui-même est associé à un sujet.

(\mathcal{V}_{d3}) **La distance passive entre les espaces de travail** Cette distance est la distance moyenne entre les deux effecteurs terminaux présents durant l'ensemble de l'expérimentation. Cette distance représente donc une distance physique du monde réel, pas une distance virtuelle. Elle est de l'ordre du centimètre.

(\mathcal{V}_{d4}) **La distance active entre les espaces de travail** Cette distance est la distance moyenne entre les deux effecteurs terminaux présents seulement lorsque ces deux effecteurs terminaux sont en cours de manipulation (un atome ou un résidu est sélectionné). C'est une distance physique du monde réel de l'ordre du centimètre.

(\mathcal{V}_{d5}) **Vitesse moyenne** Cette variable est une mesure de la vitesse moyenne de chaque effecteurs terminaux. Elle est calculée par intégration numérique des positions successives en fonction du temps.

(\mathcal{V}_{d6}) **Réponses qualitatives** Un questionnaire est proposé à tous les sujets (variable en fonction des monômes et des binômes). Il se décline en deux versions destinées soit aux monômes, soit aux binômes. Le questionnaire soumis aux sujets est disponible dans la section A.2 page 121.

4.4.3 Tâche

La tâche proposée est la déformation dans un EVC sur des molécules complexes.

Description de la tâche

La tâche proposée est la déformation d'une molécule. L'objectif est de la rendre conforme à un modèle. L'intégralité des atomes de la molécule à déformer est affichée. Trois molécules sont utilisées dans le cadre de cette expérimentation :

Prion La molécule nommée Prion [CHRISTEN et al. 2009] avec l'identifiant PDB 2KFL sur la *Protein DataBase*¹. Cette molécule contient 1 779 atomes dont 112 résidus. Elle est très complexe et est seulement utilisée pour un entraînement complet et un apprentissage approfondi des outils de manipulation.

TRP-ZIPPER La molécule TRP-ZIPPER [CHRISTEN et al. 2009] a pour identifiant PDB 2KFL sur la *Protein DataBase*¹. Cette molécule contient 218 atomes dont 12 résidus.

TRP-CAGE La molécule nommée TRP-CAGE [NEIDIGH et al. 2002] a pour identifiant PDB 1L2Y sur la *Protein DataBase*¹. Cette molécule contient 304 atomes dont 20 résidus.

Lorsqu'un sujet sélectionne un atome ou un résidu, ce dernier est mis en surbrillance. De plus, l'atome ou le résidu correspondant sur la molécule cible est affiché afin de connaître la position finale de la sélection courante.

Afin de pouvoir évaluer la déformation effectuée, un score est affiché en temps-réel (voir figure 4.2 page suivante). Le score affiché est le *Root Mean Square Deviation* (RMSD) qui permet de mesurer la différence entre deux déformations d'une même molécule en calculant la différence entre chaque paire d'atomes (voir équation 4.1).

$$\text{RMSD}(\mathbf{c}, \mathbf{m}) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|c_i - m_i\|^2} \quad (4.1)$$

où N est le nombre total d'atomes et c_i, m_i sont respectivement l'atome i de la molécule à comparer et de la molécule modèle.

Description des scénarios

Quatre scénarios sont proposés : deux molécules expérimentées dans deux niveaux de manipulation différents. Les deux niveaux différents de manipulation sont :

1. <http://www.pdb.org/>

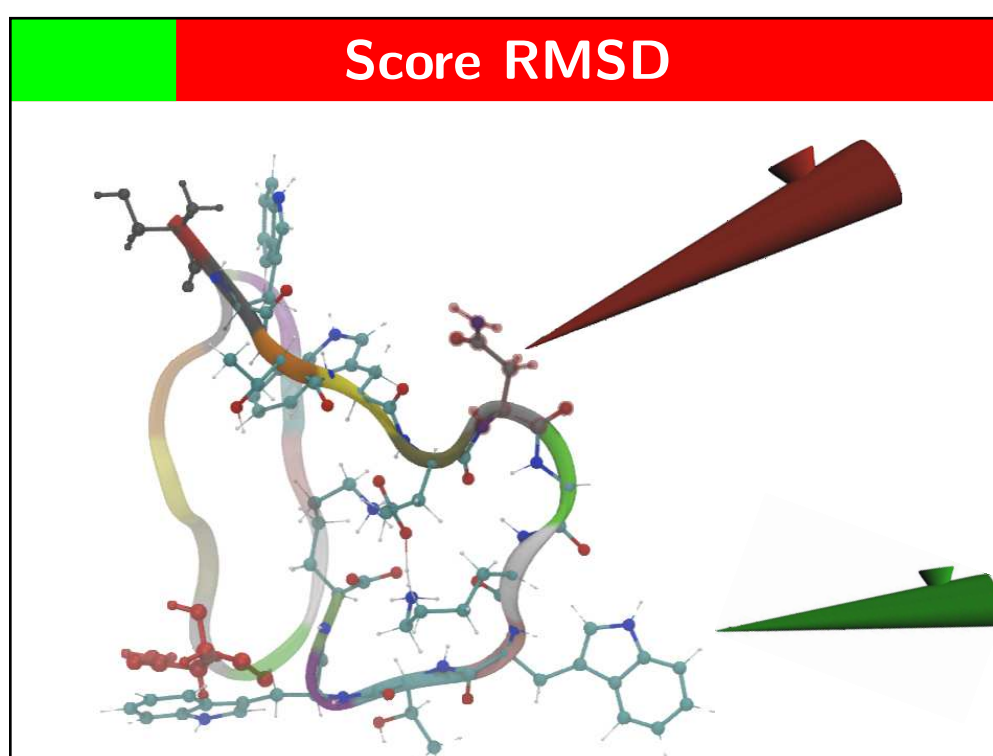


Figure 4.2 – Affichage de la molécule à déformer et de la molécule cible

- inter-moléculaire (à l'échelle d'un résidu) ;
- intra-moléculaire (à l'échelle d'un atome).

Les paragraphes suivants décrivent les quatre scénarios :

Scénario 1A Cette tâche concerne la manipulation de la molécule TRP-ZIPPER à l'échelle inter-moléculaire. Un résidu à l'extrémité – la molécule formant une chaîne – est fixé afin d'*ancrer* la molécule au sein de l'environnement virtuel et éviter d'éventuelles dérives hors du champ visuel. L'intégralité des onze autres résidus est libre de mouvement. La forme général de la molécule peut être comparée à un **V** : la chaîne de résidus de la molécule contient une cassure.

Scénario 1B Cette tâche concerne la manipulation de la molécule TRP-CAGE à l'échelle inter-moléculaire. Comme le scénario 1A, elle contient un résidu fixe à une extrémité. L'intégralité des dix neuf autres résidus est libre de mouvement. La forme général de la molécule peut être comparée à un **W** : la chaîne de résidus de la molécule contient deux cassures.

Scénario 2A Cette tâche concerne la manipulation de la molécule TRP-ZIPPER à l'échelle intra-moléculaire. Seulement trois résidus sont laissés libres tandis que tous les autres sont fixés. Les contraintes physiques de cette tâche sont relativement faibles. Cependant, la difficulté de cette tâche réside dans la recherche des résidus à déformer qui ne sont pas aisés à trouver.

Scénario 2B Cette tâche concerne la manipulation de la molécule TRP-CAGE à l'échelle intra-moléculaire. Seulement six résidus sont laissés libres tandis que les autres sont fixés. La déformation requise demande une grande dépense d'énergie. En effet, la molécule proposée se trouve dans une sorte de puit de potentiel (un *minima* local) et l'objectif est d'atteindre un autre puit de potentiel (un autre *minima* local). L'énergie nécessaire pour passer d'un puit à l'autre est relativement importante, à tel point qu'un seul outil de déformation n'est pas suffisant. La manipulation synchrone de deux résidus est la seule solution pour atteindre l'objectif.

Un résumé de la complexité des quatre tâches est exposé dans la table 4.1 page suivante selon les critères suivants :

Nombre d'atomes C'est le nombre total d'atomes que contient la molécule à manipuler ;

Résidu libre C'est le nombre de résidus de la molécules non fixés dans la simulation ;

Cassure Ce sont les cassures de la chaîne principale de la molécule ; elles représentent les jonctions entre hélices- α et/ou les feuillets- β ;

Champ de force Il représente la difficulté en terme de contrainte physique ; il exprime l'énergie minimum nécessaire pour atteindre l'objectif et se traduit par trois niveaux (*faible*, *moyen* et *fort*).

Table 4.1 – Paramètres de complexité des tâches

Scénario	1A	1B	2A	2B
Nombre d'atomes	218	304	218	304
Résidu libre	11	19	3	7
Cassure	1	2	0	1
Champ de force	Moyen	Moyen	Faible	Fort

Les outils disponibles

Des outils de déformation légèrement différents sont proposés en fonction de la tâche à réaliser. Pour les tâches de déformation au niveau inter-moléculaire, l'outil de déformation est l'outil *tug* pour les résidus : il permet de déformer d'un tenant l'intégralité d'un résidu. Pour les tâches de déformation au niveau intra-moléculaire, l'outil de déformation est l'outil *tug* pour les atomes : il permet d'appliquer une force sur un seul atome. L'outil *tug* pour les résidus applique la même force à chaque atome du résidu. Il en résulte que l'outil *tug* pour les résidus permet d'appliquer un effort total plus important et perturbe plus fortement la simulation.

4.4.4 Procédure

L'expérimentation débute par une étape d'entraînement avec la molécule Prion. Pendant cette phase, les outils sont introduits et expliqués un par un. Cette phase dure entre 5 mn et 10 mn. Chaque sujet a la possibilité de tester les outils et peut questionner l'expérimentateur.

Lorsque la phase d'entraînement est terminée, les sujets sont confrontées aux scénarios 1A et 1B. Les scénarios sont alternés entre les groupes de sujets afin d'éviter les biais d'apprentissage. L'application s'arrête automatiquement lorsque le seuil RMSD désiré est atteint.

Dès que les scénarios 1A et 1B ont été terminés par les sujets, les sujets sont confrontés aux scénarios 2A et 2B également de façon alternée. De la même façon, l'application s'arrête automatiquement lorsque le seuil `RMSD` désiré est atteint.

Tous les sujets sont confrontés aux quatre scénarios trois fois avec un jour d'intervalle entre chaque confrontation. L'objectif de cette multiple confrontation est l'étude de l'apprentissage.

Un résumé du protocole expérimental est exprimé dans la table 4.2.

Table 4.2 – Synthèse de la procédure expérimentale

Tâche	Déformation d'une molécule		
Hypothèses	(\mathcal{H}_1) Amélioration des performances en binôme		
	(\mathcal{H}_2) binômes plus performants sur les tâches complexes		
	(\mathcal{H}_3) Apprentissage plus performant en binôme		
	(\mathcal{H}_4) Les sujets préfèrent le travail en collaboration		
Variable in-dépendantes	(\mathcal{V}_{i1}) Nombre de sujets		
	(\mathcal{V}_{i2}) Complexité de la tâche		
	(\mathcal{V}_{i3}) Niveau d'apprentissage		
Variable dépendantes	(\mathcal{V}_{d1}) Temps de réalisation		
	(\mathcal{V}_{d2}) Nombre de sélections		
	(\mathcal{V}_{d3}) Distance passive entre les espaces de travail		
	(\mathcal{V}_{d4}) Distance active entre les espaces de travail		
	(\mathcal{V}_{d5}) Vitesse moyenne		
	(\mathcal{V}_{d6}) Réponses qualitatives		
Condition (\mathcal{C}_1)	Condition (\mathcal{C}_2)	Condition (\mathcal{C}_3)	Condition (\mathcal{C}_4)
Bimanuel $(N = 1)$	Bimanuel $(N = 1)$	Collaboratif $(N = 2)$	Collaboratif $(N = 2)$
Scénario 1A	Scénario 1B	Scénario 1A	Scénario 1B
Scénario 1B	Scénario 1A	Scénario 1B	Scénario 1A
Scénario 2A	Scénario 2B	Scénario 2A	Scénario 2B
Scénario 2B	Scénario 2A	Scénario 2B	Scénario 2A

4.5 Résultats

Cette section présente et analyse l'ensemble des mesures expérimentales de cette première étude concernant la recherche et la sélection sur une tâche complexe de collaboration. Les données, confrontées à un test de SHAPIRO et WILK [1965], ne sont pas distribuées selon une loi normale. Cependant, un test de BROWN et FORSYTHE [1974] permet de confirmer l'homoscedasticité. L'analyse de la variance est alors pratiquée avec différents tests statistiques suivant les cas :

- test de FRIEDMAN [1940] pour les variables intra-sujets non-paramétriques ;
- test de KRUSKAL et WALLIS [1952] pour les variables inter-sujets non-paramétriques.

4.5.1 Amélioration des performances en binôme

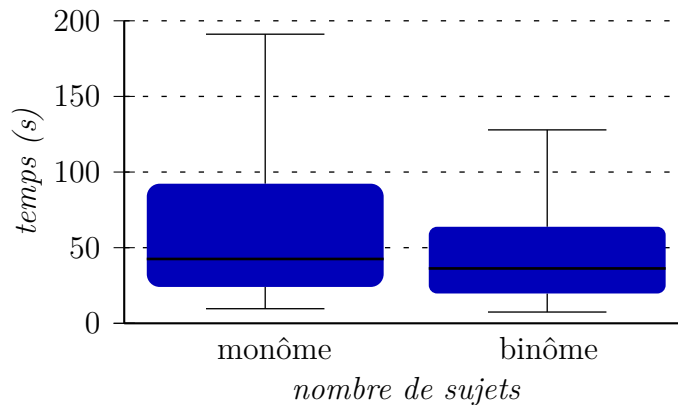


Figure 4.3 – Temps de réalisation en fonction du nombre de sujets

La figure 4.3 présente le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) ayant réalisé l'expérience. L'analyse montre qu'il y a un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) ($\chi^2 = 4.9$, $df = 1$, $p = 0.027$).

La figure 4.4 page suivante présente la distance passive (\mathcal{V}_{d3}) et active (\mathcal{V}_{d4}) entre les effecteurs terminaux en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) ayant réalisé l'expérience. L'analyse montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la distance passive (\mathcal{V}_{d3}) ($\chi^2 = 2.8$, $df = 1$, $p = 0.092$). De la même façon, l'analyse montre qu'il y a un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la distance active (\mathcal{V}_{d4}) ($\chi^2 = 21.6$, $df = 1$, $p \ll 0.05$).

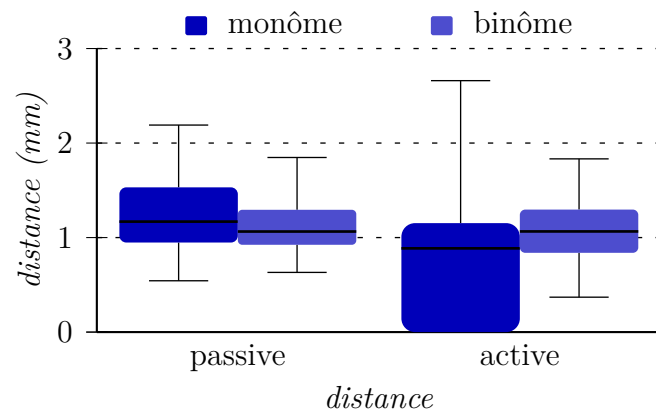


Figure 4.4 – Distance passive et active entre les effecteurs terminaux en fonction du nombre de sujets

On peut également observer l'évolution entre distance passive et active. L'analyse montre qu'il y a un effet significatif de la nature de la distance (passive ou active) au sein d'un monôme ($\chi^2 = 42.6$, $df = 1$, $p \ll 0.05$). Par contre, l'analyse ne montre pas d'effet significatif de la nature de la distance (passive ou active) au sein d'un binôme ($\chi^2 = 2.5$, $df = 1$, $p = 0.114$).

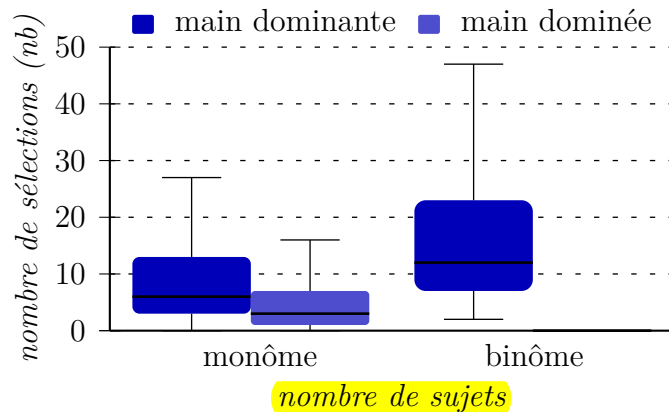


Figure 4.5 – Nombre de sélection de la main dominante et dominée en fonction du nombre de sujets

La figure 4.5 présente le nombre de sélections de la main dominante et dominée (\mathcal{V}_{d2}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) ayant réalisé l'expérience. On constate un déséquilibre entre la main dominante et dominée des monômes. Les binômes n'utilisent que leur main dominante ce qui explique l'absence de valeur pour la main dominée. En cumulant le nombre total de sélections (main dominante et main dominée) pour les monômes et les binômes, on

montre qu'il y a un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur le nombre de sélections (\mathcal{V}_{d2}) ($\chi^2 = 6.3$, $df = 1$, $p = 0.012$).

Il faut noter que le nombre de sélections pour la main dominante des binômes comptabilise les sélections des deux sujets présents contrairement aux monômes : ceci explique le nombre plus élevé de sélections en binômes. Cependant, si on compare le nombre moyen de sélections par sujet (pour sa main dominante), on montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur le nombre de sélections de la main dominante (\mathcal{V}_{d2}) ($\chi^2 = 0$, $df = 1$, $p = 0.912$).

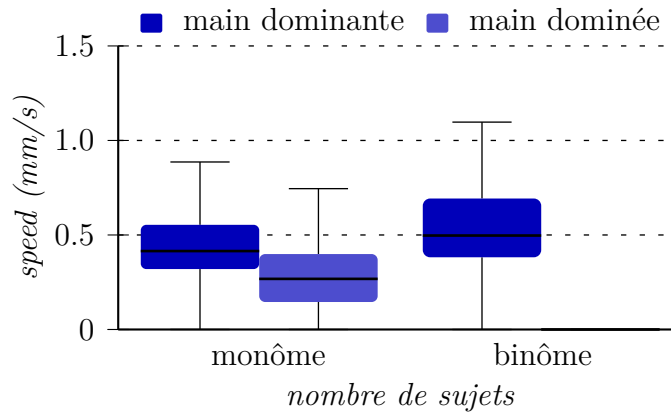


Figure 4.6 – Vitesse moyenne de la main dominante et dominée en fonction du nombre de sujets

La figure 4.6 présente la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d5}) des effecteurs terminaux en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) ayant réalisé l'expérience. L'analyse montre un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d5}) ($\chi^2 = 122.6$, $df = 1$, $p \ll 0.05$). On observe un déséquilibre de vitesse moyenne entre la main dominante et dominée des monômes avec un effet significatif ($\chi^2 = 51.1$, $df = 1$, $p \ll 0.05$). On observe également un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d5}) de la main dominante ($\chi^2 = 23$, $df = 1$, $p \ll 0.05$).

Le premier résultat sur la figure 4.3 page 73 nous permet de confirmer notre hypothèse (\mathcal{H}_1) : les binômes sont plus performants que les monômes. Cependant, la suite de l'analyse va permettre de mettre en avant les paramètres précis pour lesquels il y a un gain de performances ainsi que les scénarios les plus favorables.

Pour commencer, l'observation des distances moyennes entre les effecteurs terminaux nous permet d'observer un déséquilibre de performances entre les

monômes et les binômes (voir figure 4.4 page 74). En effet, lorsqu'on mesure cette distance de façon continue sur toute l'expérimentation, on constate une distance moyenne plus importante chez les monômes. Cependant, la mesure de cette distance seulement dans le cas où les deux effecteurs terminaux sont effectivement actifs nous montre que ce sont les binômes qui couvrent le plus grand espace de travail. En effet, les monômes sont en manipulation bimanuelle ce qui est une configuration complexe sur le plan cognitif. Le sujet doit alors être capable de gérer deux effecteurs terminaux à chaque instant. La difficulté de cette configuration a mené la plupart des sujets à utiliser seulement un effecteur terminal en laissant le second sur le côté afin que le curseur ne gêne pas à l'écran. Ceci a pour effet d'augmenter la distance moyenne bien que le deuxième effecteur terminal ne soit pas utilisé.

La distance active permet d'éviter ce biais de mesure. Cette mesure ne concerne alors que les monômes capables d'effectuer la tâche en utilisant leurs deux mains. On constate alors que les binômes sont capables de couvrir un plus grand espace de travail. En effet, les monômes ne sont pas capables de couvrir un espace aussi grand car ils ne peuvent focaliser visuellement que sur une zone de travail à la fois. Par conséquent, les deux effecteurs terminaux se retrouvent dans cette zone limitée dans l'espace.

La figure 4.5 page 74 confirme ce déséquilibre. En effet, on constate un plus grand nombre total de sélections pour les binômes (19.4 sélections) que pour les monômes (14.1 sélections). Là encore, le sujet effectuant la tâche en monôme n'est pas capable d'exploiter pleinement les deux outils en sa possession : la charge cognitive est trop importante. Cependant, les analyses statistiques montrent que l'outil utilisé par la main dominante obtient un taux d'utilisation identique en monôme ou en binôme. Le sujet en monôme n'est pas capable d'exploiter pleinement les possibilités des deux outils en configuration bimanuelle. Par opposition, les binômes en configuration monomanuelle répartissent correctement la charge de travail entre les deux outils.

On constate que la configuration bimanuelle a également un effet néfaste sur l'utilisation de l'outil associé à la main dominante. En effet, l'analyse montre une différence significative entre la vitesse moyenne de la main dominante des monômes et des binômes. La configuration bimanuelle provoque une séquentialité dans les actions du sujet : il manipule avec un outil, puis avec l'autre mais rarement les deux en même temps. Cette séquentialité a pour effet des pauses alternatives entre les outils ce qui explique cette vitesse moyenne plus basse.

Cette section nous a permis de constater que le travail en binôme permet de meilleures performances que le travail en monôme. Une analyse plus détaillée

a mis en avant la difficulté du travail en configuration bimanuelle : la charge de **travail cognitive** à assumer avec deux outils est trop importante. Cette difficulté a pour effet de fortement dégrader le taux d'utilisation d'un des deux outils. On constate également une légère **dégradation** de l'utilisation de l'outil associé à la main dominante. **Pour résumer, il est préférable de partager les ressources disponibles (outils de manipulation dans notre cas) entre différents participants.**

4.5.2 Gain de performance sur les tâches complexes

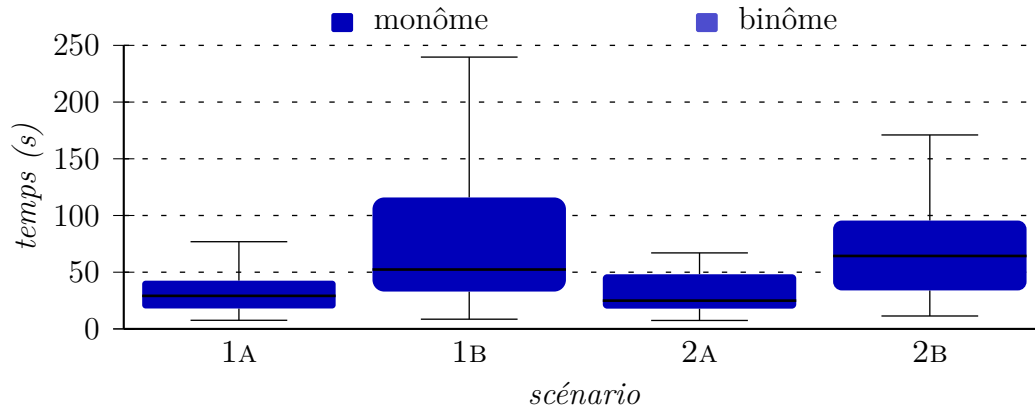


Figure 4.7 – Temps de réalisation des scénarios

La figure 4.7 présente le temps de **réalisation (\mathcal{V}_{d1})** des différents scénarios (\mathcal{V}_{i2}). L'analyse montre un effet **significatif des scénarios (\mathcal{V}_{i2})** sur le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) ($\chi^2 = 59.2$, $df = 3$, $p \ll 0.05$). Un test post-hoc de MANN et WHITNEY [1947] avec une correction de HOLM [1979] permet de trier les scénarios en deux classes de complexité : $\{1A, 2A\}$ et $\{1B, 2B\}$.

La figure 4.8 page suivante présente le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) des différents scénarios (\mathcal{V}_{i2}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) ayant réalisé l'expérience. En regroupant les scénarios par classe de complexité, l'analyse montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) pour les scénarios 1A et 2A ($\chi^2 = 0.1$, $df = 1$, $p = 0.713$). Cependant, l'analyse montre un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) pour les scénarios 1B et 2B ($\chi^2 = 10.4$, $df = 1$, $p = 0.001$).

La figure 4.9 page suivante présente le nombre de sélections (\mathcal{V}_{d2}) des différents scénarios (\mathcal{V}_{i2}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) ayant réalisé

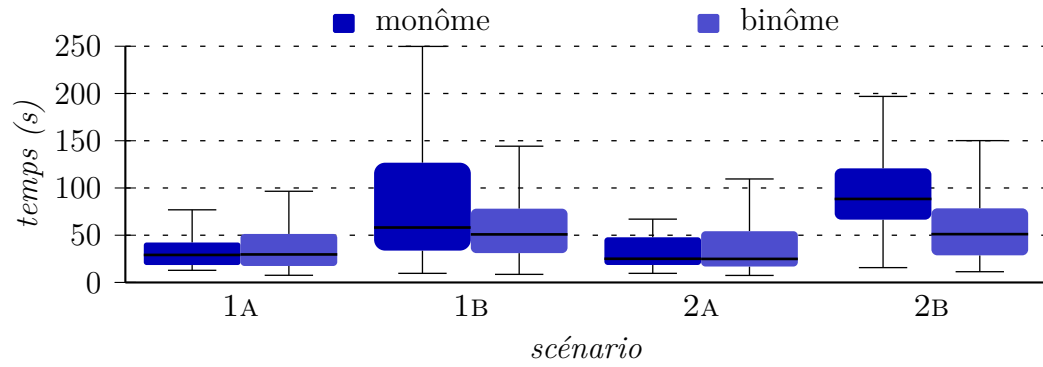


Figure 4.8 – Temps de réalisation des scénarios en fonction du nombre de sujets

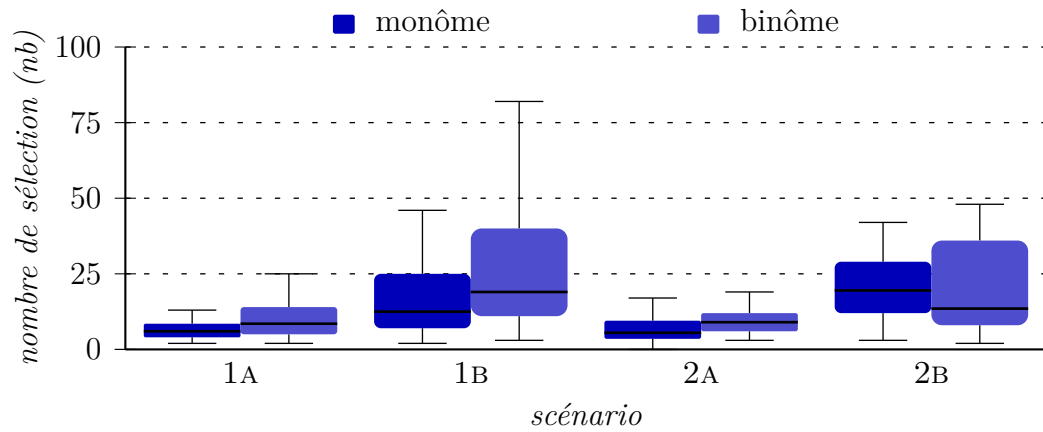


Figure 4.9 – Nombre de sélections de chaque scénario en fonction du nombre de sujets

l'expérience. En regroupant les scénarios par classe de complexité, l'analyse montre un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur le nombre de sélections (\mathcal{V}_{d2}) pour les scénarios 1A et 2A ($\chi^2 = 11.5$, $df = 1$, $p \ll 0.05$). Cependant, l'analyse montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur le nombre de sélections (\mathcal{V}_{d2}) pour les scénarios 1B et 2B ($\chi^2 = 0.4$, $df = 1$, $p = 0.504$).

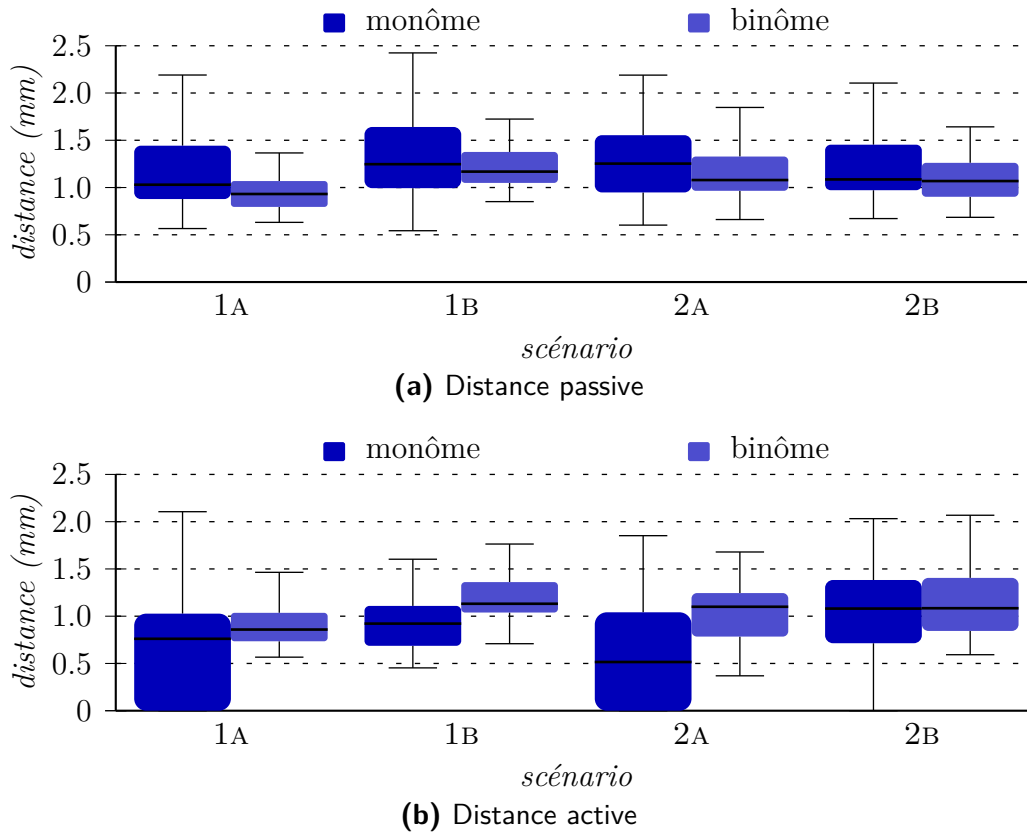


Figure 4.10 – Distance passive et active entre les effecteurs terminaux sur chaque scénario en fonction du nombre de sujets

La figure 4.10 présente les distances passives (\mathcal{V}_{d3}) et actives (\mathcal{V}_{d4}) des différents scénarios (\mathcal{V}_{i2}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) ayant réalisé l'expérience. En regroupant les scénarios par classe de complexité, l'analyse montre un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la distance passive (\mathcal{V}_{d3}) pour les scénarios 1A et 2A ($\chi^2 = 6.3$, $df = 1$, $p = 0.012$) mais pas d'effet significatif sur les scénarios 1B et 2B ($\chi^2 = 1.6$, $df = 1$, $p = 0.207$). Cependant, on constate un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la distance active (\mathcal{V}_{d4}) pour les scénarios 1A et 2A ($\chi^2 = 17.3$, $df = 1$,

$p \ll 0.05$) ainsi que sur les scénarios 1B et 2B ($\chi^2 = 9.7$, $df = 1$, $p = 0.002$).

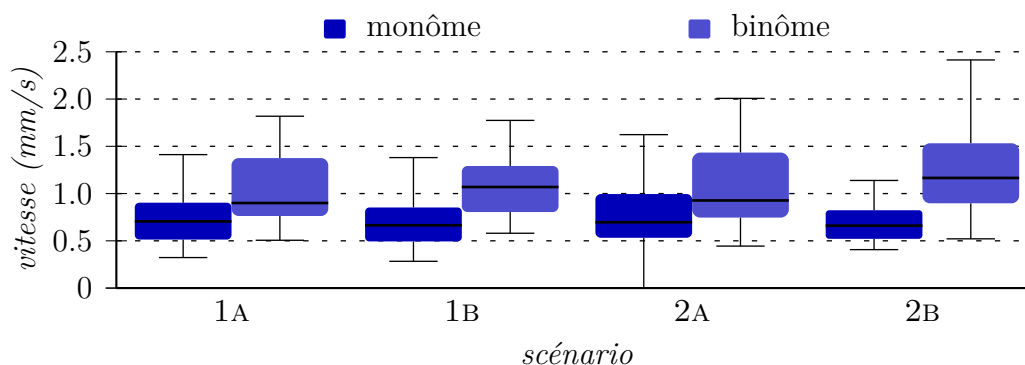


Figure 4.11 – Vitesse moyenne sur chaque scénario en fonction du nombre de sujets

La figure 4.11 présente la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d5}) des différents scénarios (\mathcal{V}_{i2}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) ayant réalisé l'expérience. En regroupant les scénarios par classe de complexité, l'analyse montre un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d5}) pour les scénarios 1A et 2A ($\chi^2 = 32.2$, $df = 1$, $p \ll 0.05$). De même, l'analyse montre un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d5}) pour les scénarios 1B et 2B ($\chi^2 = 72.5$, $df = 1$, $p \ll 0.05$).

L'analyse du temps de réalisation des différentes tâches nous permet de classer ces tâches par niveau de complexité : les scénarios 1A et 2A sont relativement simples alors que les scénarios 1B et 2B sont complexes. Ce résultat confirme un résultat obtenu dans la précédente expérimentation (voir section 3.6.1 page 54) : le nombre d'atomes tient un rôle prépondérant dans la complexité de la tâche à réaliser. En effet, les scénarios 1A et 2A concernent la molécule TRP-ZIPPER avec 218 atomes et 12 résidus alors que les scénarios 1B et 2B concernent la molécule TRP-ZIPPER avec 304 atomes et 20 résidus.

En observant les différences de performances entre les monômes et les binômes sur la figure 4.8 page 78, on constate que l'apport du travail collaboratif n'est vrai que dans le cas des tâches complexes. La spécificité des tâches complexes réside dans l'obligation d'avoir recourt aux deux outils pour achever la tâche. En effet, en observant la figure 4.10a page précédente, l'analyse montre une différence significative sur les scénarios simples. D'après la section précédente (voir section 4.5.1 page 73), les monômes ont tendance à délaissé le deuxième outil à cause de la difficulté de manipulation en configuration bimanuelle. L'outil délaissé augmentait ainsi la valeur de la distance passive mesurée en étant éloigné de la zone d'activité pour ne pas gêner. Étant donné

que la distance passive mesurée pour les monômes est significativement plus importante que celle mesurée pour les binômes, on peut en déduire que les scénarios simples n'ont pas nécessité l'intervention de deux outils pour achever la tâche.

Cependant, dans le cas des scénarios complexes, l'analyse ne montre pas de différence significative. Dans le cas des scénarios complexes, l'utilisation d'un deuxième outil est nécessaire et malgré la difficulté de la manipulation en configuration bimanuelle, les monômes ont effectué la tâche à l'aide des deux outils. Les deux outils se trouvant tous les deux dans la zone de travail, la distance passive diminue. Ceci explique la similarité des valeurs mesurées entre les monômes et les binômes pour les scénarios complexes.

L'analyse du nombre de sélections vient appuyer ces conclusions. En effet, les monômes effectuent moins de sélections que les binômes dans la réalisation des scénarios simples. Dans les scénarios complexes, on comptabilise un nombre de sélections similaires entre les monômes et les binômes.

En observant à présent les distances actives sur la figure 4.10b page 79, l'analyse confirme ce qui a été mesuré dans la section précédente (voir section 4.5.1 page 73) : l'espace de travail couvert par les binômes est plus important que celui couvert par les monômes. De la même façon, l'analyse des vitesses moyennes confirme également les conclusions précédemment obtenues.

Dans cette section, nous avons apporté des précisions concernant les améliorations de performances des binômes par rapport aux monômes. En effet, les analyses montrent que cette amélioration de performances ne se produit que sur des scénarios de complexité élevée. Dans le cas de scénarios simples, le monôme parvient à réaliser la tâche avec un seul outil. Il s'affranchit ainsi des problèmes de coordination entre les deux outils ce qui lui permet de compenser le manque de ressources pour la manipulation.

Cependant, le cas des scénarios complexes force le monôme à manipuler dans une configuration bimanuelle. Dans la section précédente (voir section 4.5.1 page 73), nous avons montré que la configuration bimanuelle ne permet pas d'égaliser les performances d'un travail collaboratif. Nous pouvons donc conclure que les binômes sont plus performants dans le cadre de scénarios suffisamment complexes.

4.5.3 Amélioration de l'apprentissage pour les binômes

La figure 4.12 page suivante présente le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) des différents essais (\mathcal{V}_{i3}). On montre un effet significatif du numéro de l'essai (\mathcal{V}_{i3})

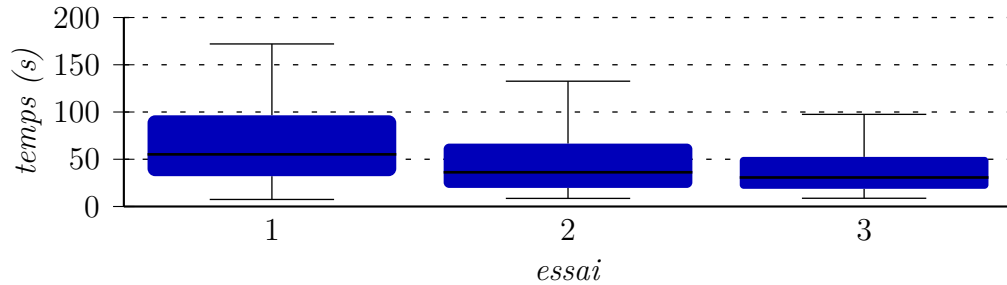


Figure 4.12 – Temps de réalisation de chaque essai

sur le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) ($\chi^2 = 20.2$, $df = 2$, $p \ll 0.05$). Un test post-hoc de MANN et WHITNEY [1947] avec une correction de HOLM [1979] montre une évolution significative entre le premier essai et le deuxième essai ainsi qu'entre le deuxième essai et le troisième.

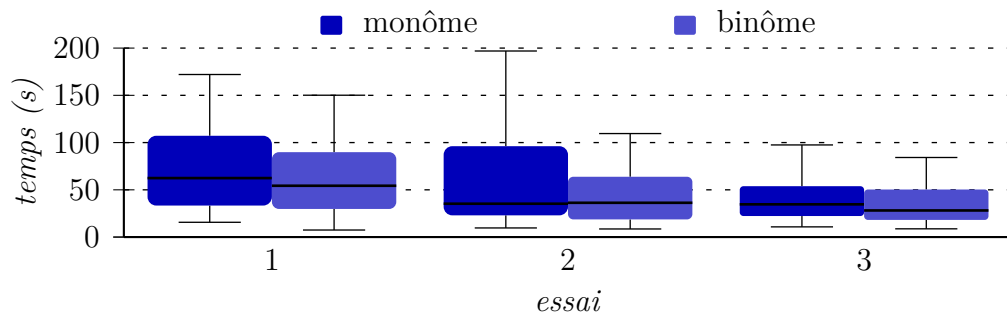


Figure 4.13 – Temps de réalisation de chaque essai en fonction du nombre de sujets

La figure 4.13 présente le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) des différents essais (\mathcal{V}_{i3}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) ayant réalisé l'expérience. On montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) pour le premier essai ($\chi^2 = 1.3$, $df = 1$, $p = 0.263$), le deuxième essai ($\chi^2 = 1.2$, $df = 1$, $p = 0.276$) ou le troisième essai ($\chi^2 = 2.5$, $df = 1$, $p = 0.115$).

De plus, on montre un effet significatif du numéro de l'essai (\mathcal{V}_{i3}) sur le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) pour les monômes ($\chi^2 = 7.1$, $df = 2$, $p = 0.028$) et pour les binômes ($\chi^2 = 19.8$, $df = 2$, $p \ll 0.05$). Un test post-hoc de MANN et WHITNEY [1947] avec une correction de HOLM [1979] montre une évolution significative seulement à partir de dernier essai pour les monômes alors que l'évolution est significative dès le deuxième essai pour les binômes.

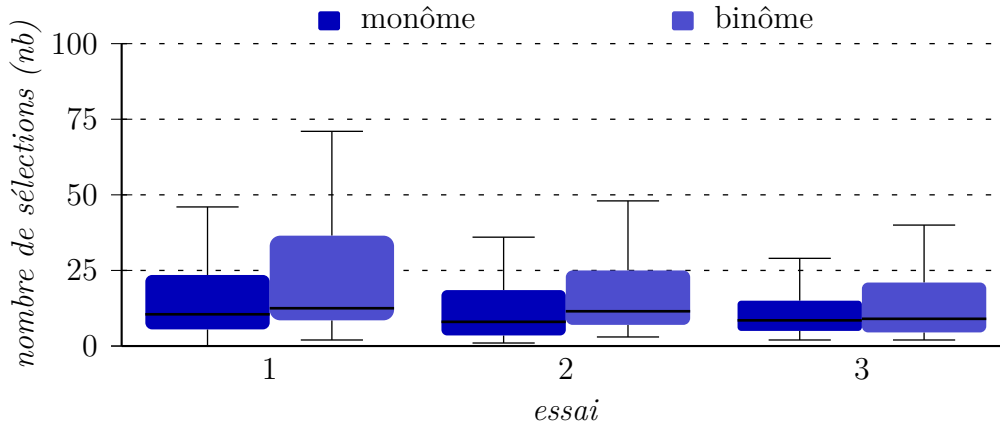


Figure 4.14 – Nombre de sélections de chaque essai en fonction du nombre de sujets

La figure 4.14 présente le nombre de sélections (\mathcal{V}_{d2}) des différents essais (\mathcal{V}_{i3}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) ayant réalisé l'expérience. On **montre** qu'il n'y a pas d'effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur le nombre de sélections (\mathcal{V}_{d2}) pour le premier essai ($\chi^2 = 3.3$, $df = 1$, $p = 0.068$) ou le troisième essai ($\chi^2 = 0.1$, $df = 1$, $p = 0.715$). Cependant, on **montre** un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur le nombre de sélections (\mathcal{V}_{d2}) pour le deuxième essai ($\chi^2 = 3.8$, $df = 1$, $p = 0.05$).

De plus, on montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du numéro de l'essai (\mathcal{V}_{i3}) sur le nombre de sélections (\mathcal{V}_{d2}) pour les **monômes** ($\chi^2 = 0.5$, $df = 2$, $p = 0.763$). Cependant, on montre un effet significatif du numéro de l'essai (\mathcal{V}_{i3}) sur le nombre de sélections (\mathcal{V}_{d2}) pour les **binômes** ($\chi^2 = 9.1$, $df = 2$, $p = 0.011$). Le test post-hoc de MANN et WHITNEY [1947] avec une correction de HOLM [1979] montre une diminution significative du nombre de sélections pour les **binômes** entre le premier et le dernier essai.

La figure 4.15 page suivante présente la distance active (\mathcal{V}_{d4}) des différents essais (\mathcal{V}_{i3}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) ayant réalisé l'expérience. La distance passive a **été ignorée** étant donné le biais de mesure décrit dans la section 4.5.1 page 73. L'analyse montre un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la distance active (\mathcal{V}_{d4}) pour le premier essai ($\chi^2 = 21.4$, $df = 1$, $p \ll 0.05$) et pour le deuxième essai ($\chi^2 = 8.5$, $df = 1$, $p = 0.004$) mais pas pour le troisième essai ($\chi^2 = 0.8$, $df = 1$, $p = 0.362$).

De plus, on montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du numéro de l'essai (\mathcal{V}_{i3}) sur la distance active (\mathcal{V}_{d4}) pour les **binômes** ($\chi^2 = 2.6$, $df = 2$, $p = 0.275$). Cependant, on montre un effet significatif du numéro de l'essai (\mathcal{V}_{i3}) sur la

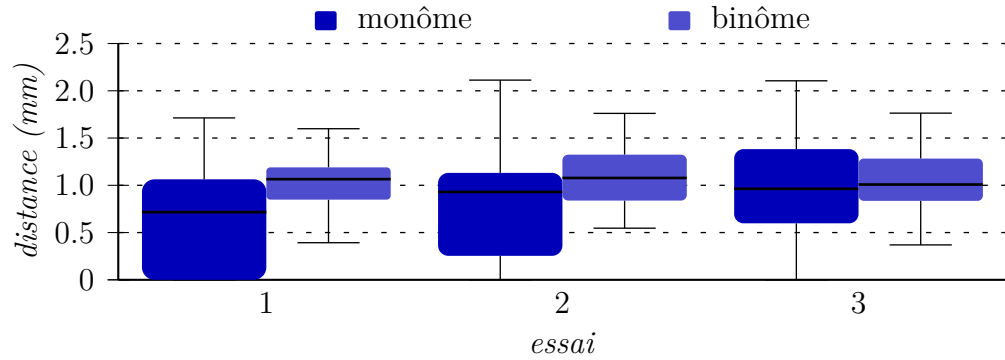


Figure 4.15 – Distance active entre les effecteurs terminaux **sur** chaque essai en fonction du nombre de sujets

distance active (\mathcal{V}_{d4}) pour les monômes ($\chi^2 = 7.3$, $df = 2$, $p = 0.025$). Un test post-hoc de MANN et WHITNEY [1947] avec une correction de HOLM [1979] montre une évolution significative entre le premier essai et le troisième essai.

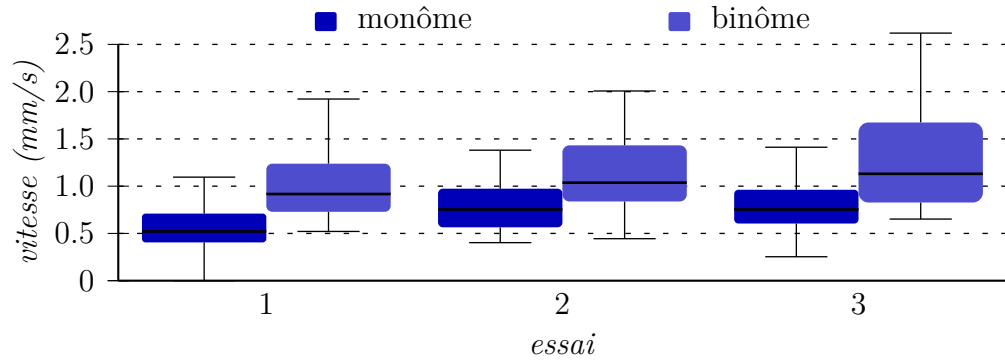


Figure 4.16 – Vitesse moyenne **sur** chaque essai en fonction du nombre de sujets

La figure 4.16 présente la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d5}) des différents essais (\mathcal{V}_{i3}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) ayant réalisé l'expérience. **L'analyse montre** un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d5}) pour le premier essai ($\chi^2 = 50$, $df = 1$, $p \ll 0.05$), le second essai ($\chi^2 = 25.6$, $df = 1$, $p \ll 0.05$) et le troisième essai ($\chi^2 = 33.1$, $df = 1$, $p \ll 0.05$).

De plus, **on montre** un effet significatif du numéro de l'essai (\mathcal{V}_{i3}) sur la distance active (\mathcal{V}_{d4}) pour les monômes ($\chi^2 = 40.5$, $df = 2$, $p \ll 0.05$) et les binômes ($\chi^2 = 9$, $df = 2$, $p = 0.011$). Le test post-hoc de MANN et WHITNEY [1947] avec une correction de HOLM [1979] montre dans chaque

cas (monôme et binôme) une augmentation significative après le premier essai.

L'observation des temps de réalisation de la tâche (voir figure 4.12 page 82) nous permet de caractériser un apprentissage réel sur l'ensemble des trois réalisations de la tâche. Le détail de l'apprentissage en fonction du nombre de sujets sur la figure 4.13 page 82 apporte cependant un point important : les binômes évoluent plus rapidement que les monômes. En effet, on constate un effet franc de l'apprentissage dès le second essai dans le cas des binômes alors que ce n'est que sur le dernier essai que les monômes montrent une évolution dans les performances de temps.

Avec les différentes variables indépendantes observées, on remarque que les binômes ont une phase d'adaptation à la tâche très courte voire quasi inexistante. Par exemple, le nombre de sélections des binômes par essai décroît. Cependant, si on le met en relation avec l'amélioration de temps de réalisation, on en déduit qu'il est normal que le nombre de sélections décroissent proportionnellement. Pourtant, les monômes qui améliorent également leur temps de réalisation ne diminuent pas le nombre de sélections. En effet, les monômes apprennent à manipuler en configuration bimanuelle. Ils augmentent ainsi leur potentiel de manipulation, augmentant aussi la fréquence des sélections, tout en diminuant le temps de réalisation ce qui a pour effet de faire stagner le nombre total de sélections.

On observe clairement l'intégration progressive du deuxième outil mis à disposition du binômes dans la figure 4.15 page ci-contre. Alors que l'espace de travail des binômes reste relativement constant, celui des monômes augmente au-fur-et-à-mesure des essais jusqu'à atteindre une valeur similaire à celle des binômes. En effet, la manipulation bimanuelle nécessite un apprentissage car il n'est pas intuitif. Avec l'apprentissage, les monômes sont capables de gérer un espace de travail de plus en plus grand. La plupart du temps, ils comprennent rapidement la difficulté de manipuler à deux endroits différents au même instant. Cependant, le potentiel de ce deuxième outil n'est pas ignoré et il est utilisé (avec la main dominée la plupart du temps) comme un moyen de fixer un résidu pendant que l'autre outil déforme. Ceci permet de déformer une partie de la molécule tout en conservant la stabilité d'une partie déjà déformée.

En ce qui concerne les vitesses moyennes, les monômes comme les binômes augmentent leur rapidité. Cependant, les binômes restent nettement plus rapides que les monômes. Cette amélioration de la vitesse tout au long des essais permet d'expliquer l'amélioration en terme de temps de réalisation : la tâche est réalisée plus rapidement car les sujets manipulent plus rapidement.

Dans cette section, nous avons mis en avant l'avantage de la collaboration dans la phase d'apprentissage. L'apprentissage concerne aussi bien l'apprentissage des outils, de la tâche à réaliser ou encore l'utilisation de la plateforme : les mesures effectuées ne permettent pas de caractériser le type d'apprentissage. En effet, les binômes semblent atteindre des performances optimales assez rapidement. La possibilité de communiquer, d'échanger, de conseiller permet de mutualiser l'apprentissage et de l'accélérer. De plus, le binôme peut bénéficier des connaissances spécifiques ou de l'expérience d'un des membres du binôme. Tout ceci nous permet de montrer que l'apprentissage en binôme est plus rapide que l'apprentissage en monôme.

La complexité de la manipulation bimanuelle montre également ses limites. Pour certaines variables indépendantes, les monômes parviennent à obtenir des résultats similaires aux binômes mais seulement au bout du troisième et dernier essai. Cependant, cet apprentissage nécessite un travail cognitif important : il sera probablement difficile pour les monômes d'appréhender de nouveaux outils ou des tâches plus complexes. Le travail en binôme montre ainsi son avantage sur le travail de manipulation bimanuelle en monôme.

4.5.4 Résultats qualitatifs

Ce questionnaire est destiné à évaluer la collaboration du point de vue de l'utilisateur. Les questions sont notées sur une échelle de LIKERT [1932] à cinq niveaux ce qui veut dire que les notes sont comprises entre un et cinq et que la moyenne est à trois.

Tout d'abord, la grande majorité des sujets travaillant en binôme se sont trouvés utiles dans cette tâche de collaboration ($\mu = 4.1$, $\sigma = 0.8$). On constate une note moyenne très élevée (la note maximum étant 5). Cette note permet de vérifier que les sujets ne se sentent pas mis de côté et participent activement à la réalisation de la tâche. Même dans le cas où les résultats objectifs pourrait venir contredire un sujet sur l'aide qu'il a apporté, il est possible qu'il se soit distingué par des conseils ou des remarques pertinentes. Quoiqu'il en soit, il est important que les sujets ne soient pas isolés afin d'éviter les phénomènes de paresse sociale.

Cependant, la sensation d'avoir été le meneur des opérations est partagée ($\mu = 3$, $\sigma = 0.6$). En général, les sujets n'apprécient pas cette dernière question. En effet, ils ne souhaitent pas prétendre avoir été meneur ou chef des opérations par modestie. Paradoxalement, ils ne souhaitent pas non plus avouer avoir été dirigé par quelqu'un d'autre par fierté. D'ailleurs, on observe

un écart-type relativement bas concernant cette note ce qui signifie que la majorité des sujets ont répondu de façon neutre.

L'évaluation de la communication confirme ce qui a été trouvé dans la première expérimentation (voir section 3.5.3 page 53). En effet, l'importance de la communication verbale a été mise en avant ($\mu = 3.4$, $\sigma = 1.2$). Par opposition, les sujets ont considéré qu'ils n'utilisaient quasiment pas la communication virtuelle ($\mu = 1.9$, $\sigma = 1$) et encore moins la communication gestuelle ($\mu = 1.3$, $\sigma = 0.6$). La communication verbale étant la plus naturelle, il n'est pas étonnant d'obtenir un tel score. De la même façon, la communication gestuelle est compliquée. En effet, les sujets sont en train de manipuler une interface haptique ce qui limite les gestes possibles. De plus, ils regardent principalement l'écran mais ne regardent pas le partenaire ce qui laisse peu de place à une quelconque communication gestuelle. Cependant, les sujets estiment ne pas utiliser beaucoup les communications virtuelles. Ce canal de communication offre des possibilités intéressantes puisqu'il est intégré dans l'environnement de travail. L'expérimentation ne proposant aucune fonctionnalité particulière permettant d'exploiter ce canal de communication explique probablement ce délaissement. La dernière expérimentation (voir chapitre 6 page 97) propose des outils de désignation qui vont permettre d'exploiter le potentiel de ce canal de communication.

Pour finir, les sujets ont été interrogés sur leur configuration de manipulation préférée. La configuration monomanuelle en monôme a été relativement peu choisie ($\mu = 1.8$, $\sigma = 1$). Les sujets évalués en monôme sont mitigés sur l'intérêt d'une configuration monomanuelle en binôme ($\mu = 3.2$, $\sigma = 1.2$). De la même façon, les sujets évalués en binôme sont mitigés sur l'intérêt d'une configuration bimanuelle en monôme ($\mu = 2.9$, $\sigma = 1.3$). Cependant, il ne faut pas oublier qu'il est demandé aux sujets d'estimer l'intérêt d'une configuration qu'ils n'ont pas testé. En général, ils sont plus enclins à évaluer la configuration qu'ils ont testé mais préfèrent rester prudent sur une configuration qu'il ne connaissent pas. Quoiqu'il en soit, ils ont été seulement 63.8 % à préférer la configuration bimanuelle en monôme alors qu'ils ont été 36.2 % à opter pour la configuration monomanuelle en binôme. Une majorité des sujets préfère donc le travail en collaboration.

4.6 Synthèse

4.6.1 Résumé des résultats

Dans cette seconde expérimentation, nous avons comparé et étudié les performances de monômes et de binômes sur une tâche de déformation. De plus, nous avons cherché à observer l'effet de l'apprentissage sur les performances. L'objectif était de confirmer certains résultats de la première expérimentation dans un contexte différent de manipulation et de déformation. On a également cherché à déterminer l'effet de la collaboration sur l'apprentissage.

Tout d'abord, le travail collaboratif a de nouveau prouvé son intérêt en terme de performances. En effet, il a été montré qu'avec un nombre de ressources déterminées (un outil de manipulation et deux outils de déformation dans notre cas), il est préférable de les répartir sur plusieurs sujets. Cette répartition permet une séparation de la charge cognitive de travail. Pourtant, un sujet seul ne perd pas de temps avec les problèmes de coordination, ni de communication. Cependant, une charge cognitive trop importante compense largement cet avantage.

Deuxièmement, nous avons confirmé l'intérêt du travail collaboratif sur des tâches de nature complexe. Les binômes ont particulièrement montré leur supériorité en terme de performances sur les scénarios complexes. Malgré cela, les binômes obtiennent tout de même des performances au moins aussi bonne que les monômes sur des scénarios simples. Dans tous les cas, il est donc préférable d'avoir recours à une configuration collaborative.

Le troisième résultat important concerne l'apprentissage. Nous avons montré que le travail en collaboration a une influence sur le phénomène d'apprentissage. En effet, l'apprentissage est catalysé par la communication et les échanges entre les sujets. Étant donné la complexité de la tâche ainsi que de la plate-forme, cet apprentissage accéléré par le travail en collaboration est réellement bénéfique.

Les trois points abordés montrent les avantages à mettre en place un environnement de travail collaboratif pour remplacer le travail seul. Le questionnaire appuie ce résultat par des avis relativement portés vers le travail collaboratif.

4.6.2 Perspectives

Cette expérimentation nous a permis de mettre en opposition des monômes avec des binômes. Nous avons vu les avantages d'un travail collaboratif en

binôme. L'étape suivante sera l'étude du travail collaboratif avec des groupes de plus de deux sujets. En effet, l'objectif d'une telle étude devrait permettre d'augmenter

Pour mener une telle étude, il va falloir proposer des scénarios plus complexes. Cette deuxième expérimentation a montré une nouvelle fois le rôle prépondérant de la taille de la molécule dans la complexité de la tâche. Nous verrons que les molécules proposées dans la prochaine étude sont significativement plus importante que celle utilisée jusqu'à présent.

L'introduction de deux sujets supplémentaires va probablement générer des dynamiques de groupes qui n'avait pas de raison d'exister au sein d'un binôme. Cette nouvelle étude va permettre d'observer ces dynamiques et de les caractériser. L'objectif sera de détecter les limites et les contraintes afin de pouvoir fournir des outils pour répondre aux problématiques soulevées.

Cette deuxième expérimentation a également permis de remettre en cause la pertinence d'une manipulation en configuration bimanuelle. D'après les analyses, la charge cognitive qu'apporte la gestion d'un deuxième outil de déformation est trop importante. Cependant, l'outil de déformation est relativement complexe à appréhender. Il ne faut donc pas exclure la possibilité de fournir un outil simple et un outil complexe pour une manipulation en configuration bimanuelle. Nous verrons que la configuration de la dernière étude (voir chapitre 6 page 97) propose une configuration bimanuel avec un outil simple et un outil plus complexe.

Le questionnaire nous a également permis de mettre en avant les lacunes en ce qui concerne l'utilisation du canal de communication virtuel. La dernière expérimentation qui proposera de nouveaux outils d'interaction sera l'occasion d'introduire des outils adaptés pour permettre d'utiliser efficacement ce canal de communication. En l'occurrence, un outil de désignation sera proposé.

Bibliographie

[BROWN et FORSYTHE 1974]

BROWN, Morton B. et Alan B. and FORSYTHE (juin 1974). « Robust tests for equality of variances ». Anglais. Dans *Journal of the American statistical association* 69.346, pages 364–367 (cf. page 73).

[CHRISTEN et al. 2009]

CHRISTEN, Barbara, Simone HORNEMANN, Fred F. DAMBERGER et Kurt WÜTHRICH (juin 2009). « Prion protein NMR structure from tammar wallaby (*macropus eugenii*) shows that the β 2- α 2 loop is modulated by long-range sequence effects ». Dans *Journal of Molecular Biology* 389.5, pages 833–845 (cf. page 68).

[FRIEDMAN 1940]

FRIEDMAN, Milton (mar. 1940). « A comparison of alternative tests of significance for the problem of m rankings ». Anglais. Dans *The annals of mathematical statistics* 11.1, pages 86–92 (cf. page 73).

[GAUTIER et al. 2008]

GAUTIER, Mathieu, Claude ANDRIOT et Pierre EHANNO (juin 2008). « 6DoF haptic cooperative virtual prototyping over high latency networks ». Anglais. Dans *Haptics : Perception, Devices and Scenarios*. Sous la direction de Manuel FERRE. Tome 5024. Lecture Notes in Computer Science. Madrid, Espagne : Springer Berlin / Heidelberg, pages 876–885 (cf. page 61).

[GORLATCH et al. 2009]

GORLATCH, Sergei, Jens MÜLLER-IDEN, Martin ALT, Jan DÜNNWEBER, Hamido FUJITA et Yutaka FUNYU (avr. 2009). « Clayworks : toward user-oriented software for collaborative modeling and simulation ». Anglais. Dans *Knowledge-Based Systems* 22.3, pages 209–215 (cf. page 61).

[HOLM 1979]

HOLM, Sture (1979). « A simple sequentially rejective multiple test procedure ». Dans *Scandinavian journal of statistics* 6.2, pages 65–70 (cf. pages 77, 82–84).

[KRUSKAL et WALLIS 1952]

KRUSKAL, William H. et W. Allen WALLIS (déc. 1952). « Use of ranks in one-criterion variance analysis ». Anglais. Dans *Journal of the American statistical association* 47.260, pages 583–621 (cf. page 73).

[LIKERT 1932]

LIKERT, Rensis (1932). « A technique for the measurement of attitudes ». Anglais. Dans *Archives of Psychology* 22.140 (cf. page 86).

[MANN et WHITNEY 1947]

MANN, Henry Berthold et Donald Ransom WHITNEY (mar. 1947). « On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other ». Anglais. Dans *The annals of mathematical statistics* 18.1, pages 50–60 (cf. pages 77, 82–84).

[MÜLLER et al. 2006]

MÜLLER, Jens, Martin ALT, Jan DÜNNWEBER et Sergei GORLATCH (déc. 2006). « Clayworks : a system for collaborative real-time modeling and high-performance simulation ». Anglais. Dans *Second IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing*. e-Science'06, page 104 (cf. page 61).

[NEIDIGH et al. 2002]

NEIDIGH, Jonathan W., R. Matthew FESINMEYER et Niels H. ANDERSEN (juin 2002). « Designing a 20-residue protein ». Anglais. Dans *Nature Structural Biology* 9.6, pages 425–430 (cf. page 68).

[PETERLÍK 2009]

PETERLÍK, Igor (jan. 2009). « Haptic interaction with non-linear deformable objects ». Anglais. Thèse de doctorat. Brno, Czech Republic : The Faculty of Informatics, Masaryk University (cf. page 61).

[SHAPIRO et WILK 1965]

SHAPIRO, Samuel S. et Martin B. WILK (déc. 1965). « An analysis of variance test for normality (complete samples) ». Anglais. Dans *Biometrika* 52.3/4, pages 591–611 (cf. page 73).

[SHEN et al. 2006]

SHEN, WeiMing, YongMin ZHONG, Bijan SHIRINZADEH, XiaoBu YUAN, Gursel ALICI et Julian SMITH (2006). « A cellular neural network for deformable object modelling ». Anglais. Dans *Information Technology for Balanced Manufacturing Systems*. Tome 220. IFIP International Federation for Information Processing. Springer Boston, pages 329–336 (cf. page 61).

[SUBASI et BASDOGAN 2006]

SUBASI, Erk et Cagatay BASDOGAN (juin 2006). « A new approach to molecular docking in virtual environments with haptic feedback ». Anglais. Dans *Proceedings of Eurohaptics*, pages 141–145 (cf. page 61).

[SÜMENGİN et al. 2007]

SÜMENGİN, Selçuk, Mustafa Tolga EREN, Serhat YESİLYURT et Selim BALCISOY (2007). « Real-time deformable objects for collaborative virtual environments ». Anglais. Dans *International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*. GRAPP (AS/IE)'07, pages 121–128 (cf. page 61).

[TANG et al. 2010]

TANG, ZiYing, GuoDong RONG, XiaoHu GUO et Balakrishnan PRABHAKARAN (mar. 2010). « Streaming 3D shape deformations in collaborative virtual environment ». Anglais. Dans *IEEE Virtual Reality Conference*. Waltham, MA, USA, pages 183–186 (cf. page 61).

Glossaire

amarrage moléculaire

Méthode permettant de déterminer l'orientation et la déformation optimale de 2 molécules afin qu'elle s'assemble pour former un complexe stable. iii, 3, 97, 100, 109

bimanuel

Qui se fait avec les deux mains. 61–63, 65, 72, 75, 76, 80, 81, 85–87, 89

binôme

Groupe constitué de 2 personnes. iv–vii, 27–31, 33–35, 40, 42–45, 47–52, 54, 59, 61–63, 65–67, 72–77, 79–89, 100, 115, 120, 121

curseur

Élément virtuel associé à un élément physique que le sujet manipule ; il est lié à l'effecteur terminal. 109

docking moléculaire

Voir amarrage moléculaire. 3

effecteur terminal

Élément physique que le sujet manipule ; il est lié au curseur du monde virtuel. viii, 34, 67, 73, 75, 76, 79, 83, 99

homoscedasticité

Équivalent à homogénéité des variances ; permet de comparer des variables aléatoires possédant des variances similaires. 40, 72

monomanuel

Qui se fait avec une main. 61, 76, 87

monôme

Groupe constitué d'une unique personne. vi, vii, 29, 30, 33–35, 40, 42–44, 53, 54, 59, 61–63, 65–67, 73–77, 79–88, 115, 120, 121

résidu

Groupe d'atomes constituant un des blocs élémentaires d'une molécule. vii–ix, 4, 12, 13, 17–20, 29, 33–37, 40, 42–45, 48–51, 54, 55, 59, 60, 65, 67, 68, 70, 71, 80, 85, 99, 101, 102

variable dépendante

Facteur mesuré sur une expérimentation (nombre de sélections, trajectoire, *etc.*) ; ces variables sont influencées par les variables indépendantes. 98, 110

variable indépendante

Facteur pouvant varier et être manipuler sur une expérimentation (nombre de participants, tâche, *etc.*) ; ces variables vont avoir une incidence sur les variables dépendantes. 34, 66, 99, 109

variable inter-sujets

Variables pour lesquelles les sujets sont confrontés à une et une seule des modalités de la variable. 66, 73

variable intra-sujets

Variables pour lesquelles les sujets sont confrontés à toutes les modalités de la variable. 34, 40, 66, 73, 99

Acronymes

API

API vient de l'anglais *Application Programming Interface* et désigne une interface avec un programme informatique. 16

CAO

La CAO permet de concevoir et de tester virtuellement, à l'aide d'outils informatique, des produits manufacturés. 61

DDL

Mouvements relatifs indépendants d'un solide par rapport à un autre. vii, 13, 15, 16

EVC

Ensemble logiciel et matériel permettant de faire interagir plusieurs utilisateurs au sein d'un même environnement ; ils jouent un rôle important dans le développement de nouvelles méthodes de travail collaboratives. 7–9, 15, 29, 30, 55, 61, 62, 67, 98, 100

IBPC

Institut de recherche, géré par la fédération de recherche FRC 550, étudiant les bases structurales, génétiques et physico-chimiques à leur différents niveaux d'intégration. 14, 99

IMD

Programme permettant de connecter le logiciel de visualisation moléculaire VMD avec le logiciel de simulation NAMD pour une simulation interactive en temps-réel [STADLER et al. 1997]. 7, 10, 11, 14, 111

ITAP

Institut de Physique Théorique et Appliquée de STUTTGART à l'origine du développement du logiciel IMD. 10, 14

CNRS–LIMSI

Unité Propre de Recherche du CNRS (UPR 3251) associé aux universités PARIS Sud et Pierre et Marie CURIE. i, 33, 66

Acronymes

NAMD

Programme de simulation pour la dynamique moléculaire [PHILLIPS et al. 2005]. 7, 10, 11, 14, 101, 111

RMSD

Appelé Écart Quadratique Moyen en français, il permet – dans le cadre de la biologie moléculaire – de mesurer la différence entre deux déformations d’une même molécule. 68, 71, 101

VMD

Programme de visualisation moléculaire [HUMPHREY et al. 1996]. vii, 7, 10–14, 16–18, 31, 111

VRPN

Logiciel permettant de connecter différents périphériques de réalité virtuelle à une même application sous forme d’une architecture client/serveur [TAYLOR II et al. 2001]. 7, 13, 15, 16

Annexes

Annexe A

Questionnaires

A.1 Première expérimentation

Le questionnaire proposé durant cette expérimentation est constitué de deux parties. La deuxième partie est exclusivement réservée aux binômes et n'était pas proposée au monômes. Ce questionnaire contient 5 pages (3 pages pour les monômes). Les questions sont évaluées selon une échelle de LIKERT [1932] à cinq niveaux.



Ne pas remplir ↑

Merci d'avoir participé à cette expérimentation. Je vous invite maintenant à répondre à un questionnaire afin de connaître vos impressions.

Les questions se présentent sous la forme d'une note à 5 niveaux. Distinguez bien les questions qui vous concernent et les questions qui concernent votre collaborateur. Ne répondez pas aux questions en essayant de savoir ce que votre collaborateur aurait pu répondre ou ce qu'il aurait voulu que vous répondiez. Ne répondez que ce que vous pensez.

Si vous avez des interrogations par rapport au questionnaire, n'hésitez surtout pas et posez la question.

Et bien sûr, tous les commentaires sont les bienvenus.

1 Vous et votre manipulation

Date du jour – jj / mm / aaaa hh : mm

Nom –

Prénom –

Sexe – F M

Âge –

Main dominante – Gauche Droite

Langue maternelle –

1.1 Prise en main

Cette partie concerne la prise en main de l'ensemble de la plate-forme, que ce soit le logiciel, les interfaces, la tâche à réaliser. Cochez le niveau qui décrit le mieux ces 3 points.

Le visuel concerne tous ce qui est affiché à l'écran, les molécules, les curseurs, les atomes, les flèches indiquant l'effort appliqué...

	Visuel					
	1	2	3	4	5	
Incompréhensible						Intuitif
Inconfortable						Confortable
Fatigant						Relaxant

A.1. Première expérimentation

L'interaction concerne la maniabilité des interfaces haptiques¹, le confort des vibrations, le côté intuitif de la manipulation...

	Interaction					
	1	2	3	4	5	
Incompréhensible	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Intuitif
Inconfortable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Confortable
Fatigant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Relaxant

La tâche concerne la nature de la tâche qui vous a été demandée. Vous semblait-elle complexe a priori ? Était-elle difficile à réaliser ?

	Tâche					
	1	2	3	4	5	
Complexe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Simple
Difficile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Facile

Commentaires

1.2 Évaluation

Avez-vous été efficace pour exécuter les tâches demandées, pensez-vous avoir été rapide ?

	1	2	3	4	5	
Inefficace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Efficace

Est-ce que les éléments extérieurs (murs, personnes...) vous ont perturbés ou vous êtes vous senti immergé dans cet environnement virtuel ?

	1	2	3	4	5	
Pas immergé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immergé

¹Les interfaces haptiques sont les bras articulés qui vous servent à manipuler votre curseur à l'écran.

Annexe A. Questionnaires

Vous êtes-vous senti seul pour exécuter la tâche ou avez-vous senti la présence de votre collaborateur ?

	1	2	3	4	5	
Seul	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Groupe

Avez-vous perturbé votre collaborateur ou pensez-vous plutôt l'avoir aidé durant l'exécution de la tâche ?

	1	2	3	4	5	
Perturbation	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Aide

Avez-vous donné des informations pour votre collaborateur afin de l'aider à accomplir la tâche avec vous ?

	1	2	3	4	5	
Pas d'aide	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Informations

Vous êtes-vous senti dominé pendant la durée de la manipulation ou avez-vous plutôt eu l'impression d'être le meneur ?

	1	2	3	4	5	
Dominé	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Meneur

Quel ont été vos moyens pour communiquer avec votre collaborateur ?

Oral effectué avec la voix, des phrases, des mots, des interjections ;

Gestuel effectué avec vos mains, vos bras, votre corps dans son ensemble ;

Virtuel effectué avec votre curseur ou en manipulant les objets virtuels.

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Beaucoup
Oral	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Gestuel	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Virtuel	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

Commentaires

2 Votre collaborateur et sa manipulation

Cette partie du questionnaire va vous demander votre impression en ce qui concerne le travail, la manipulation de votre collaborateur.

Nom –

Prénom –

2.1 Affinité

Cochez la case qui correspond à ce qui vous lie, vous et votre collaborateur.

Même bureau	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Même équipe	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Même groupe	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Autre (précisez)		

2.2 Évaluation

Cette partie concerne ce que vous avez pensé de l'efficacité de votre collaborateur. Cochez le niveau qui qualifie le mieux l'action de votre collaborateur.

A-t-il été efficace pour exécuter les tâches, pensez-vous qu'il a été rapide ?

	1	2	3	4	5	
Inefficace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Efficace

Votre collaborateur vous a-t-il perturbé ou vous a-t-il plutôt aidé ?

	1	2	3	4	5	
Perturbation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Aide

Votre collaborateur vous a-t-il donné des informations afin d'accomplir la tâche avec vous ?

	1	2	3	4	5	
Pas d'aide	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Informations

A-t-il été dominé pendant la durée de la manipulation ou a-t-il plutôt été le meneur ?

	1	2	3	4	5	
Dominé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Meneur

Annexe A. Questionnaires

Pensez-vous qu'il n'a pas senti votre présence pendant l'expérimentation ou qu'il a vraiment eu l'impression d'un travail de groupe ?

	1	2	3	4	5	
Seul	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Groupe

Quels ont été les moyens que votre collaborateur a utilisés pour communiquer avec vous ?

Oral effectué avec sa voix, des phrases, des mots, des interjections ;

Gestuel effectué avec ses mains, ses bras, son corps dans son ensemble ;

Virtuel effectué avec son curseur ou en manipulant les objets virtuels.

	1	2	3	4	5	
Pas du tout						Beaucoup
Oral	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Gestuel	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Virtuel	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

Commentaires

Commentaires généraux

A.2 Seconde expérimentation

Le questionnaire proposé durant la seconde expérimentation est décliné en deux versions : une version pour les *monômes* et une version pour les *binômes*. Le questionnaire est soumis aux sujets oralement par l'expérimentateur et les réponses sont directement reportées dans un tableau. Il est constitué de plusieurs questions notées sur échelle de LIKERT [1932] à cinq niveaux.

A.2.1 Questionnaire pour les monômes

Pour les *monômes*, le questionnaire est le suivant :

1. Vous êtes-vous senti efficace ?
2. Pensez-vous que vous auriez été plus à l'aise seul avec un seul outil de déformation ?
3. Pensez-vous que vous auriez été plus à l'aise avec un partenaire ?
4. Quelle solution choisiriez-vous entre les trois configurations ?

A.2.2 Questionnaire pour les binômes

Chaque sujet dans un *binôme* est interrogé séparément pour éviter que les réponses de l'un influence les réponses de l'autre. Pour les *binômes*, le questionnaire est le suivant :

1. Vous êtes-vous senti efficace ?
2. Comment évalueriez-vous votre taux de communication...
 - verbale ?
 - gestuelle ?
 - virtuelle ?
3. Vous sentez-vous utile dans le groupe (par opposition à pénalisant) ?
4. Pensez-vous avoir une position de meneur dans le groupe ?
5. Pensez-vous que vous auriez été plus à l'aise seul avec votre outil de déformation ?
6. Pensez-vous que vous auriez été plus à l'aise seul avec deux outils de déformation ?
7. Quelle solution choisiriez-vous entre les trois configurations ?

Annexe A. Questionnaires

Concernant les taux de communication, les communications verbales concernent tous les échanges, dialogues exposés par la voix. La communication gestuelle représente les gestes que les sujets peuvent effectuer dans le monde réel pour expliquer, désigner ou pour tout autre explication à son partenaire. Enfin, la communication virtuelle concerne les informations données au partenaire par l'intermédiaire de l'environnement virtuel (par exemple, une désignation avec le curseur).

Bibliographie

[LIKERT 1932]

LIKERT, Rensis (1932). « A technique for the measurement of attitudes ». Anglais. Dans *Archives of Psychology* 22.140 (cf. pages 115, 121).