

10 Chapitre 5

Les dynamiques de groupe

Sommaire

	5.1	Introduction	94
	5.2	Contexte et objectifs	94
5	5.2.1	Hypothèses	96
	5.3	Dispositif expérimental et matériel	96
	5.3.1	Dispositif technique	97
	5.3.2	Visualisation	97
	5.4	Méthode	99
10	5.4.1	Sujets	99
	5.4.2	Variables	99
	5.4.3	Tâche	101
	5.4.4	Procédure	102
	5.5	Résultats	104
15	5.5.1	Évolution des performances	104
	5.5.2	Avantage du remue-méninges pour les quadrinômes	108
	5.5.3	Définition d'un meneur	112
	5.6	Synthèse	115
	5.6.1	Résumé des résultats	115
20	5.6.2	Perspectives	116
		Bibliographie	118

25 5.1 Introduction

Les deux expérimentations précédentes ont permis d'étudier les différentes tâches élémentaires que sont la recherche, la sélection, la manipulation et l'évaluation. Tout d'abord, les tâches élémentaires de recherche et de sélection ont été abordées dans la première expérimentation. Dans un second temps, ce sont les tâches élémentaires de manipulation et d'évaluation qui ont été
5 expérimentées. Cependant, dans un cas comme dans l'autre, la collaboration s'est limitée à des groupes de deux utilisateurs, des binômes.

Cette précédente expérimentation concernant principalement la manipulation a permis de mettre en évidence des problématiques de coordination et de communication. L'analyse de ces problématiques est primordiale afin de
10 pouvoir proposer des outils adaptés. La prochaine étude devra stimuler les interactions afin de pouvoir étudier avec précision la coordination et la communication entre les sujets.

De plus, une étude faisant intervenir plus de deux personnes est nécessaire. Jusqu'à présent, afin de simplifier l'environnement d'étude, la collaboration a
15 été limitée à deux utilisateurs. Pour étudier pleinement le travail collaboratif, il est nécessaire d'envisager une étude avec des groupes de plus de deux utilisateurs.

La tâche élémentaire de manipulation semble fournir un environnement d'expérimentation favorable. En effet, cette tâche permet de stimuler les collaborations étroitement couplées. Ce sont ces collaborations étroitement couplées
20 qui provoquent les conflits de coordination.

Les objectifs de cette nouvelle expérimentation seront exposés dans la section 5.2 accompagnés par les hypothèses. Les modifications apportées à la plate-forme et le nouveau dispositif expérimental seront détaillés dans la section
25 5.3 page 96. La méthode expérimentale est présentée dans la section 5.4 page 99. Enfin, les résultats seront analysés dans la section 5.5 page 104 puis une synthèse est proposée dans la section 5.6 page 115.

5.2 Contexte et objectifs

Nous avons déjà effectué deux études sur le travail collaboratif mettant en
30 avant les avantages d'un travail en binôme par rapport au travail en monôme.

Cependant, le travail de groupe ne se limitant pas aux binômes, nous nous intéresserons au quadrinômes dans cette étude. Nous souhaitons observer le travail en quadrinôme afin de confirmer nos précédentes conclusions.

Le travail de groupe a été très largement étudié à la fin du XVIII^e siècle et au début du XIX^e siècle dans le domaine de la psychologie sociale. L'ouvrage de MUGNY et al. [1995] aborde les problématiques de la psychologie sociale dans le cadre général mais s'intéresse plus précisément aux dynamiques de groupe dans les chapitres premier et premier bis. Il aborde en particulier les travaux de Elton MAYO au sein de l'entreprise *Hawthorne Works* qui constitue la plus importante étude sur les dynamiques de groupe. Cette étude effectuée entre les années 1927 et 1932 a été publiée par ROETHLISBERGER et al. [1939]. Le travail de groupe permet d'obtenir une meilleure productivité grâce au phénomène de motivation sociale. La motivation sociale stimule chaque ouvrier par la présence d'autres ouvriers.

Cependant, ces études diffèrent de notre cas en un point important. Les études précédentes ne concernent pas des tâches de collaboration étroitement couplée. Que ce soit pour l'assemblage d'automobile dans le cas du taylorisme ou l'assemblage d'appareils de radio dans le cas de l'entreprise *Hawthorne Works*, les études sur le travail collaboratif proposées placent chaque ouvrier sur un poste de travail indépendant : la collaboration est très faible. En effet, il n'est pas nécessaire pour les ouvriers d'interagir pendant la réalisation de la tâche. Notre plate-forme fournit un outil de travail où la collaboration est étroite.

Les études mettant en scène des tâches de collaboration étroite en groupe supérieur à deux utilisateurs sont peu nombreuses. On peut noter l'étude de CHAN et al. [2008] qui propose un système de prise de contrôle collaboratif à tour de rôle. Cette étude montre l'utilité de l'outil haptique dans la réalisation d'une tâche collaborative mais ne caractérise ni les stratégies adoptées, ni la structure du groupe. C'est à ces questions que nous nous intéressons dans cette troisième expérimentation.

L'objectif de notre troisième étude est de confirmer les conclusions obtenues dans le cadre du travail de Elton MAYO. En effet, cette étude a montré que le travail en groupe permet d'augmenter la productivité. De plus, il a montré que les groupes qualifiés de structures informelles, finissent toujours par se structurer. Les structures informelles sont des groupes qui ne possèdent pas de chef et où chaque participant a le même statut à priori. Ce type de structure permet de faire émerger naturellement, et par acceptation mutuelle, un meneur et des suiveurs.

Étant donné le peu de temps alloué à notre tâche¹, l'émergence d'un meneur est incertaine. C'est pourquoi nous testons une période de réflexion préalable au début de la tâche. Cette période devrait permettre l'émergence des meneurs et des suiveurs. Elle devrait également permettre une communication entre les utilisateurs pour la mise en place d'une stratégie.

5.2.1 Hypothèses

- 5 Lors de cette nouvelle étude, nous souhaitons observer les dynamiques de groupe. Nos hypothèses concerneront principalement l'évolution des groupes durant la réalisation de la tâche.

(\mathcal{H}_1) **Amélioration des performances en quadrinôme** Nous émettons l'hypothèse que les performances des quadrinômes seront meilleures que les performances des binômes. Cette hypothèse a pour objectif de confirmer les conclusions obtenues dans l'étude sur l'entreprise *Hawthorne Works*. Cependant, nous nous plaçons dans un contexte de collaboration étroite.

(\mathcal{H}_2) **Le remue-méninges structure le quadrinôme** Dans cette nouvelle expérimentation, nous allons étudier la mise en place d'une période de réflexion, également appelée *remue-méninges*, avant le début de la tâche. Nous émettons l'hypothèse que cette période de réflexion sera principalement utile pour les quadrinômes.

5.3 Dispositif expérimental et matériel

L'expérience est basée sur l'EVC présenté dans le chapitre 2 page 7. La troisième expérimentation propose un dispositif expérimental sensiblement identique à celui de la seconde expérimentation. Une première différence concerne le nombre d'outils de déformation à disposition. Le nombre de sujets étant plus important, il faut évidemment mettre plus d'outils à disposition. De plus, nous ne mettons pas d'outil de manipulation de la molécule à disposition (contrairement à la précédente expérimentation). Cet outil pose des difficultés de répartition entre les utilisateurs en binôme. Nous avons préféré ne pas confronter les quadrinômes à cet outil générateur de conflits de coordination.

1. Notre tâche dure quelques dizaines de minutes par rapport aux cinq années de l'étude de Elton MAYO

Le matériel utilisé est détaillé dans la section 5.3.1. Les aspects de visualisation et d'interaction du logiciel seront expliqués dans la section 5.3.2.

5.3.1 Dispositif technique

Cette nouvelle étude propose une disposition identique à la seconde expérimentation (voir section 4.3.2 page 63) avec les matériels suivants :

- 2 ordinateurs quatre cœurs Intel® Core™ 2 Q9450 (2.66 GHz) avec 4 Go de RAM ;
- 2 ordinateurs de faible puissance ;
- 4 interfaces haptiques PHANTOM Omni® ;
- 1 vidéoprojecteur ACER (P5 series) ;
- 1 grand écran de vidéoprojection ;
- 1 caméra SONY® (PJ50V HD).

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.

Quatre interfaces haptiques se trouvent faces aux sujets : ce sont quatre outils de déformation *tug* (voir section 2.2.2 page 13). Les sujets en binôme auront chacun accès à deux interfaces de déformation (manipulation bimanuelle). Dans le cas d'un quadrinôme, chaque sujet aura un outil de déformation à sa disposition (manipulation monomanuelle). Les sujets n'ont pas la possibilité de modifier le point de vue de la scène.

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 caméra est placée derrière les sujets afin de filmer l'ensemble du groupe ainsi que l'écran de vidéoprojection. Le son est également enregistré à l'aide de la caméra.

La figure 5.1 page suivante illustre le dispositif expérimental par un schéma. La figure 5.2 page suivante est une photographie de la salle d'expérimentation.

5.3.2 Visualisation

Chaque molécule proposée est projetée dans son intégralité sur l'écran de vidéoprojection 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 ;

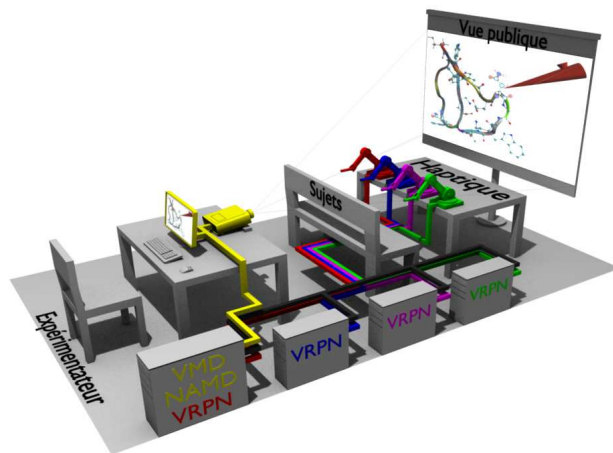


Figure 5.1 – Schéma du dispositif expérimental



Figure 5.2 – Photographie du dispositif expérimental

- 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, l'état stable de la molécule (molécule cible) est affiché par un rendu *NewRibbon* partiellement transparent. Pour les besoins de la simulation, certains résidus sont fixes et sont alors grisés. Enfin, les résidus sélectionnés sont
- 5 affichés avec un rendu CPK partiellement transparent et de la couleur du curseur concerné. La figure 4.3 page 65 dans la section 4.3.3 page 64 illustre l'ensemble des rendus graphiques précédemment décrits.

5.4 Méthode

5.4.1 Sujets

10 16 sujets (4 femmes et 12 hommes) avec une moyenne d'âge de $\mu = 26.1$, $\sigma = 5.3$ ont participé à cette expérimentation. Ils ont tous été recrutés au sein du laboratoire CNRS-LIMSI et sont étudiants, chercheurs ou assistants de recherche dans les domaines suivants :

- linguistique et traitement automatique de la parole ;
- 15 – 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. Tous les participants de cette expérimentation ont été choisis car ils ont déjà une

20 expérience sur la plate-forme : les participants connaissent déjà les outils de déformation et l'environnement virtuel. Ceci doit permettre d'observer les évolutions de la dynamique de groupe tout en limitant les effets de l'apprentissage.

Chaque participant est complètement naïf concernant les détails de l'expérimentation. Une explication détaillée de la procédure expérimentale leur est

25 donnée au commencement de l'expérimentation mais en omettant l'objectif de l'étude.

5.4.2 Variables

Variables indépendantes

30 (\mathcal{V}_{i1}) **Nombre de sujets** La première variable indépendante est une variable intra-sujets. (\mathcal{V}_{i1}) possède deux valeurs possibles : « deux sujet (*c.f.*

binôme) » ou « quatre sujets (*c.f. quadrinôme*) ». 8 binômes et 4 quadrinômes sont testés.

(\mathcal{V}_{i2}) **Complexité de la tâche** La seconde variable indépendante est une variable intra-sujets. Deux tâches de déformation sont proposées et décrites dans la section 5.4.3 page suivante.

(\mathcal{V}_{i3}) **Temps alloué pour le remue-ménages** La troisième variable indépendante est une variable inter-sujets. (\mathcal{V}_{i3}) possède deux valeurs possibles : « pas de remue-ménages » ou « 1 mn de remue-ménages ». Cette période de remue-ménages est allouée avant le début de chaque tâche et permet une réflexion préalable sur la tâche.

Variables dépendantes

(\mathcal{V}_{d1}) **Temps de réalisation** C'est le temps total que les sujets ont mis 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}) **Fréquence des sélections** (\mathcal{V}_{d2}) représente la fréquence des sélections réalisées durant chaque tâche à réaliser. Une sélection est comptabilisée lorsqu'un atome est sélectionné par un des effecteur terminal. Un compteur est affecté pour chacun des effecteurs terminaux qui lui-même est associé à un sujet. C'est l'information de fréquence qui est conservée puisqu'elle ne dépend pas du temps total de réalisation de la tâche.

(\mathcal{V}_{d3}) **Vitesse moyenne** Cette variable est une mesure de la vitesse moyenne de chaque effecteur terminal. Elle est calculée par intégration numérique des positions successives en fonction du temps.

(\mathcal{V}_{d4}) **Force moyenne appliquée par les sujets** La force appliquée sur les atomes durant la simulation est mesurée pour chaque sujet. Elle ne concerne que la force appliquée lors d'une sélection. C'est la valeur moyenne sur l'ensemble d'une tâche qui est conservée.

(\mathcal{V}_{d5}) **Communications verbales** L'enregistrement des communications permet de mesurer le nombre d'interventions verbales de chacun des sujets. Deux catégories d'interventions sont classifiées :

Les observations destinées à renseigner les autres sujets d'un état actuel de l'environnement, d'une information nécessaire ou bien d'une intention concernant une action ;

5 **Les ordres** sont donnés aux autres sujets afin qu'ils réalisent une action déterminée.

5.4.3 Tâche

Description de la tâche

La tâche proposée est la déformation de molécules complexes dans un EVC.
10 L'objectif est de la rendre conforme à une molécule modèle. La molécule à déformer est affichée dans son intégralité (atomes et structures principales) mais seule la structure principale est visible sur la molécule modèle. Trois molécules sont utilisées dans le cadre de cette expérimentation :

15 **TRP-CAGE** La molécule nommée TRP-CAGE [NEIDIGH et al. 2002] a pour identifiant PDB 1L2Y sur la *Protein DataBase*². Cette molécule contient 304 atomes dont 20 résidus. Elle est seulement utilisée pour un entraînement et un apprentissage des outils de manipulation.

Prion La molécule nommée Prion [CHRISTEN et al. 2009] avec l'identifiant PDB 2KFL sur la *Protein DataBase*². Cette molécule contient
20 1 779 atomes dont 112 résidus.

Ubiquitin La molécule nommée Ubiquitin [VIJAY-KUMAR et al. 1987] avec l'identifiant PDB 1UBQ sur la *Protein DataBase*². Cette molécule contient 1 231 atomes dont 76 résidus.

25 Le mécanisme de sélection et d'affichage est strictement identique à la seconde expérimentation. De la même façon, le système d'évaluation de la solution à l'aide du score RMSD est identique. On pourra trouver la description de ces éléments dans la section 4.4.3 page 68.

Description des scénarios

Deux scénarios sont proposés : un sur la molécule Prion et un sur la molécule
30 Ubiquitin. Les paragraphes suivants décrivent les deux scénarios :

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

Scénario 1 Cette tâche concerne la déformation de la molécule Prion. La déformation de cette molécule nécessite de remplacer correctement une chaîne de 16 résidus. Cette chaîne se trouve en périphérie de la molécule et n'est donc pas soumise à de fortes contraintes physiques. Cette tâche est aisément divisible en sous-tâches ; dans ce cas, les sujets peuvent sélectionner la chaîne de résidus à intervalle réguliers de manière à la
5 séparer en parties égales : c'est une collaboration faiblement couplée.

Scénario 2 Cette tâche concerne la déformation de la molécule Ubiquitin. La déformation de cette molécule nécessite de remplacer correctement une chaîne de 19 résidus. Cette chaîne se trouve au sein de la molécule où elle est soumise à de fortes contraintes physiques, notamment le milieu de la
10 chaîne : il est très difficile d'avoir un contrôle précis sur la déformation du milieu de la chaîne. Cette tâche doit être réalisée avec une coordination de l'ensemble des sujets : c'est une collaboration étroite.

Les outils disponibles

Des outils de déformation au niveau atomique, identiques à la seconde expérimentation (voir section 4.4.3 page 71), sont proposés pour la réalisation de
15 la tâche. Il est à noter que les sujets n'ont pas la possibilité de modifier le point de vue de la molécule. Bien que l'intégralité des scénarios soient réalisables sans modifier le point de vue, cette contrainte peut s'avérer être un handicap dans certains cas. Cependant, nous avons fait le choix d'enlever cet
20 outil de manipulation afin d'éviter les conflits de coordination, notamment au sein des quadrinômes.

5.4.4 Procédure

L'expérimentation débute par une étape d'entraînement avec la molécule TRP-CAGE. Pendant cette phase, les outils sont introduits et expliqués un
25 par un. Les sujets ayant déjà eu une expérience sur la plate-forme, cette phase est effectuée pour se remémorer l'environnement et les outils. 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 au
30 scénario 1. Puis dans un second temps, le scénario 2 leur est proposé. Pour chaque scénario, l'application s'arrête automatiquement lorsque le seuil RMSD désiré est atteint. L'ordre de ces deux scénarios n'est pas contre-balané sur les différents groupes de sujets.

Tous les sujets sont confrontés aux deux scénarios deux fois. Une première fois en binôme et une seconde fois en quadrinôme. L'ordre de passage en binôme et en quadrinôme est alterné selon les groupes afin d'éviter les biais d'apprentissage.

L'enregistrement vidéo est démarré au début de la phase d'apprentissage pour chaque groupe. Il est arrêté à la fin du second scénario. La phase d'apprentissage est filmée pour des questions de simplicité logistique mais n'est pas utilisée dans les analyses.

Un résumé du protocole expérimental est exprimé dans la table 5.1.

Table 5.1 – Synthèse de la procédure expérimentale

Tâche	Déformation d'une molécule en groupe		
Hypothèses	(\mathcal{H}_1) Amélioration des performances en quadrinôme		
	(\mathcal{H}_2) Le remue-ménings structure le quadrinôme		
Variable indépendantes	(\mathcal{V}_{i1}) Nombre de sujets		
	(\mathcal{V}_{i2}) Complexité de la tâche		
	(\mathcal{V}_{i3}) Temps alloué pour le remue-ménings		
Variable dépendantes	(\mathcal{V}_{d1}) Temps de réalisation		
	(\mathcal{V}_{d2}) Fréquence des sélections		
	(\mathcal{V}_{d3}) Vitesse moyenne		
	(\mathcal{V}_{d4}) Force moyenne appliquée par les sujets		
	(\mathcal{V}_{d5}) Communications verbales		
Condition (\mathcal{C}_1)	Condition (\mathcal{C}_2)	Condition (\mathcal{C}_3)	Condition (\mathcal{C}_4)
2 sujets Bimanuel	2 sujets Bimanuel	4 sujets Monomanuel	4 sujets Monomanuel
Pas de remue-ménings	1 mn de remue-ménings	Pas de remue-ménings	1 mn de remue-ménings
Scénario 1	Scénario 1	Scénario 1	Scénario 1
Scénario 2	Scénario 2	Scénario 2	Scénario 2

5.5 Résultats

5.5.1 Évolution des performances

Données et tests statistiques

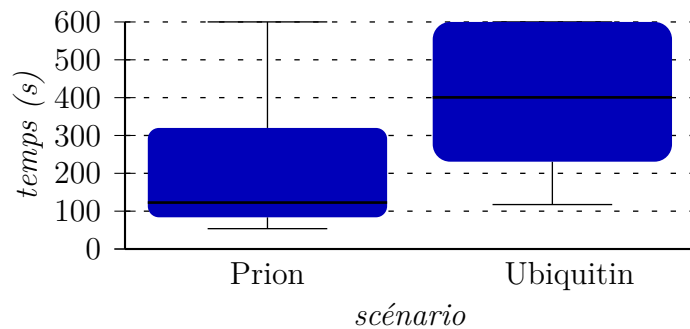


Figure 5.3 – Temps de réalisation des scénarios

La figure 5.3 présente le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) de chaque scénario (\mathcal{V}_{i2}). L'analyse montre un effet significatif des scénarios (\mathcal{V}_{i2}) sur le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) ($\chi^2 = 33.3$, $df = 1$, $p \ll 0.05$).

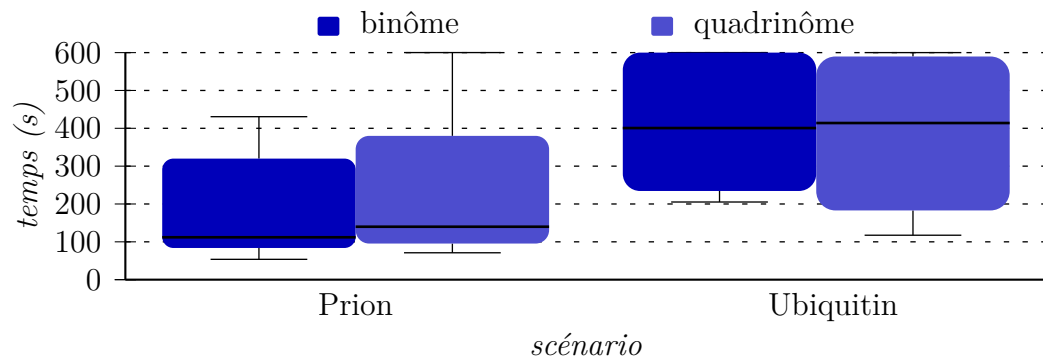


Figure 5.4 – Temps de réalisation des scénarios en fonction du nombre de participants

- 5 La figure 5.4 présente le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) de chaque scénario (\mathcal{V}_{i2}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}). 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}) de la molécule Prion ($\chi^2 = 0$, $df = 1$, $p = 1$). De la même façon, 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}) de la molécule Ubiquitin ($\chi^2 = 2$, $df = 1$, $p = 0.157$).
- 10

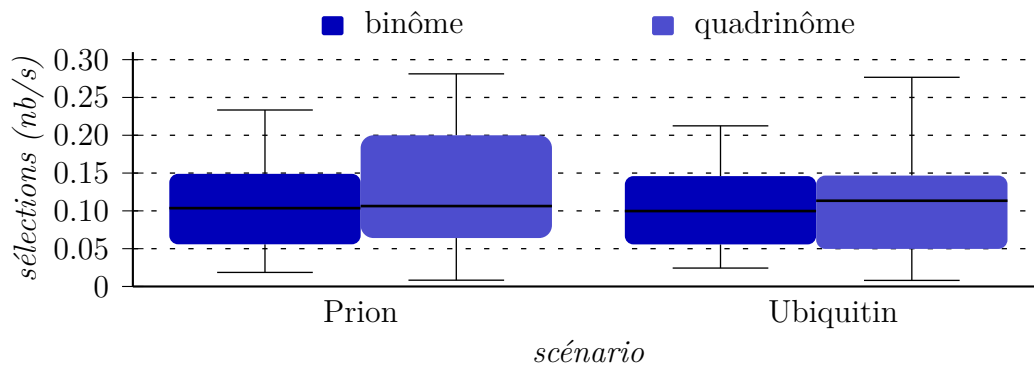


Figure 5.5 – Fréquence des sélections sur les scénarios en fonction du nombre de participants

La figure 5.5 présente la fréquence de sélection (\mathcal{V}_{d2}) de chaque scénario (\mathcal{V}_{i2}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}). L'analyse montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la fréquence de sélection (\mathcal{V}_{d2}) de la molécule Prion ($\chi^2 = 1.6$, $df = 1$, $p = 0.209$). De la même façon, l'analyse montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la fréquence de sélection (\mathcal{V}_{d2}) de la molécule Ubiquitin ($\chi^2 = 0.1$, $df = 1$, $p = 0.724$).

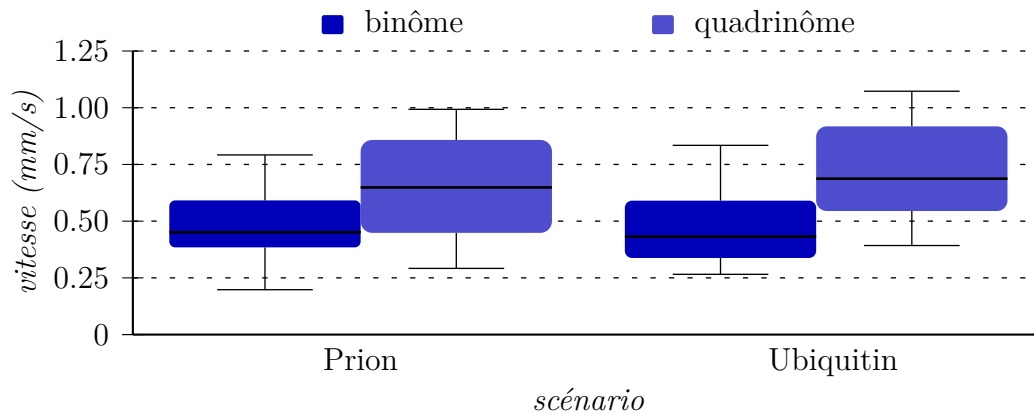


Figure 5.6 – Vitesse moyenne sur les scénarios en fonction du nombre de participants

La figure 5.6 présente la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d3}) de chaque scénario (\mathcal{V}_{i2}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}). L'analyse montre un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d3}) de la molécule Prion ($\chi^2 = 4.5$, $df = 1$, $p = 0.034$). De la même façon, l'analyse montre un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d3}) de la molécule Ubiquitin ($\chi^2 = 8$, $df = 1$, $p = 0.005$).

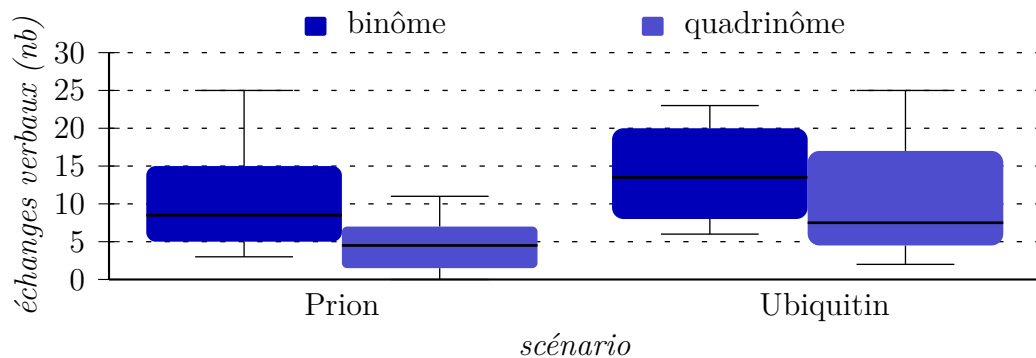


Figure 5.7 – Nombre d’échanges verbaux sur les scénarios en fonction du nombre de participants

La figure 5.7 présente le nombre d’échanges verbaux (\mathcal{V}_{d5}) de chaque scénario (\mathcal{V}_{i2}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}). L’analyse montre un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur le nombre d’échanges verbaux (\mathcal{V}_{d5}) de la molécule Prion ($\chi^2 = 11.8$, $df = 1$, $p \ll 0.05$). De la même façon, l’analyse montre un effet significatif du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}) sur le nombre d’échanges verbaux (\mathcal{V}_{d5}) de la molécule Ubiquitin ($\chi^2 = 4.3$, $df = 1$, $p = 0.039$).

5 Analyse et discussion

Les deux tâches proposées sont de natures très différentes. La figure 5.3 page 104 montre que la molécule Ubiquitin a été plus complexe à déformer pour les groupes de sujets que la molécule Prion. Il faut noter que les molécules n’ont pas été alternées lors de la procédure expérimentale (voir section 5.4.4 page 102) : c’est toujours la molécule Prion qui a été présentée en premier aux sujets. Pourtant, la réalisation de la déformation de la molécule Ubiquitin a été plus longue, malgré l’apprentissage qui a eu lieu entre les deux scénarios.. D’ailleurs, on peut observer que de nombreux groupes de sujets ont atteint la limite de 10 mn lors de la déformation de la molécule Ubiquitin ce qui prouve la réelle complexité de la tâche.

L’étude précédente présentée dans le chapitre 3 page 27 a montré que le travail en configuration bimanuelle permet de moins bonnes performances qu’un travail collaboratif en configuration monomanuelle. Cependant, cette nouvelle étude compare une configuration monomanuelle et bimanuelle à chaque fois dans un cadre de collaboration. On constate d’après la figure 5.4 page 104 que les quadrinômes obtiennent des performances identiques aux binômes, quel que soit le scénario. D’ailleurs, les binômes et les quadrinômes

ont également effectué des fréquences de sélections similaires ce qui confirme les performances identiques (voir figure 5.5 page 105).

Pourtant, la figure 5.6 page 105 montre des différences significatives entre les binômes et les quadrinômes concernant la vitesse moyenne des effecteurs terminaux. L'étude exposée par ROETHLISBERGER et al. [1939] a mis en évidence le phénomène de motivation sociale. Son étude appliquée à des groupes³ a montré une importante stimulation de la motivation liée au travail à plusieurs. Cette motivation sociale nous permet d'expliquer cette vitesse moyenne plus importante chez les quadrinômes que chez les binômes.

Dans l'étude précédente, nous avons également mis en évidence la présence de conflits de coordination chez les binômes. Ces conflits de coordination entravent la progression de la tâche. Cependant, les sujets parviennent à résoudre ces conflits grâce à la communication. Dans cette troisième expérimentation, la figure 5.7 page ci-contre montre que le nombre d'échanges verbaux en quadrinôme est inférieur à celui en binôme.

Les quadrinômes ont potentiellement plus de conflits de coordination que les binômes (le nombre de combinaisons deux à deux est plus important). Pourtant, leur communication est moins abondante. Il est plus difficile pour les sujets de prendre la parole au sein d'un groupe de quatre utilisateurs, notamment pour les suiveurs. En effet, il est plus difficile de se faire entendre, notamment lorsque deux conflits de coordination interviennent en même temps : qui est prioritaire et qui doit parler le premier ? Dans le cas des binômes, la conversation entre deux utilisateurs ne soulève pas ce genre de problématiques. Ce manque de communication chez les quadrinômes provoque une baisse de performances. Cependant, la motivation sociale stimule les sujets en quadrinômes pour manipuler plus rapidement ce qui compense cette baisse de performances.

Cette section nous a permis de confirmer certaines conclusions présentées par ROETHLISBERGER et al. [1939] concernant la motivation sociale. En effet, ce phénomène de groupe semble s'appliquer également dans le cas d'une collaboration étroite ce qui permet d'améliorer les performances des quadrinômes. Cependant, la communication au sein d'un quadrinôme est plus complexe étant donné un nombre d'interactions possibles beaucoup plus important. Ces deux phénomènes s'équilibrent pour donner des performances similaires entre les binômes et les quadrinômes. Afin d'améliorer les performances d'un quadrinôme, il faudrait faciliter ces résolutions verbales de conflits de coordination.

3. Un groupe est constitué d'au moins trois sujets selon lui

5.5.2 Avantage du remue-ménages pour les quadrinômes

Données et tests statistiques

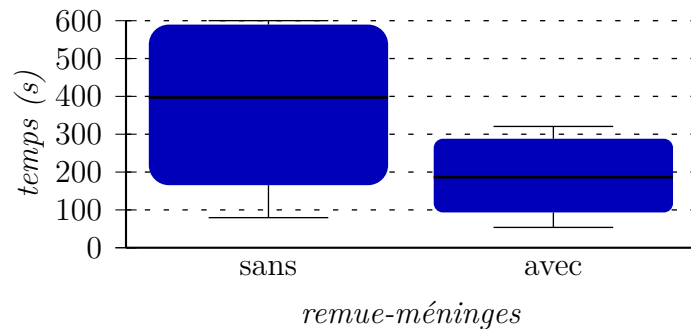


Figure 5.8 – Temps de réalisation avec ou sans remue-ménages

La figure 5.8 présente le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) en fonction des groupes avec ou sans remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}). L'analyse montre un effet significatif du remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) sur le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) ($\chi^2 = 11.2$, $df = 1$, $p \ll 0.05$).

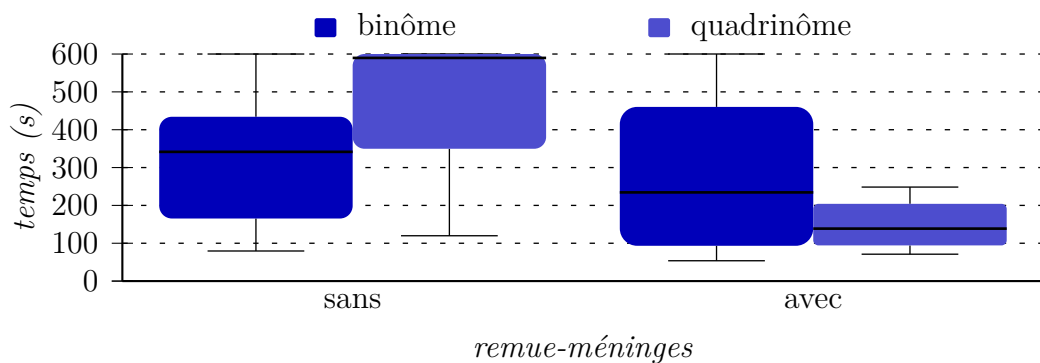


Figure 5.9 – Temps de réalisation des scénarios en fonction des groupes avec ou sans remue-ménages

La figure 5.9 présente le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) pour les groupes avec ou sans remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}). L'analyse montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) sur le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) des binômes ($\chi^2 = 0.9$, $df = 1$, $p = 0.333$). Cependant, l'analyse montre un effet significatif du remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) sur le temps de réalisation (\mathcal{V}_{d1}) des quadrinômes ($\chi^2 = 13.1$, $df = 1$, $p \ll 0.05$).

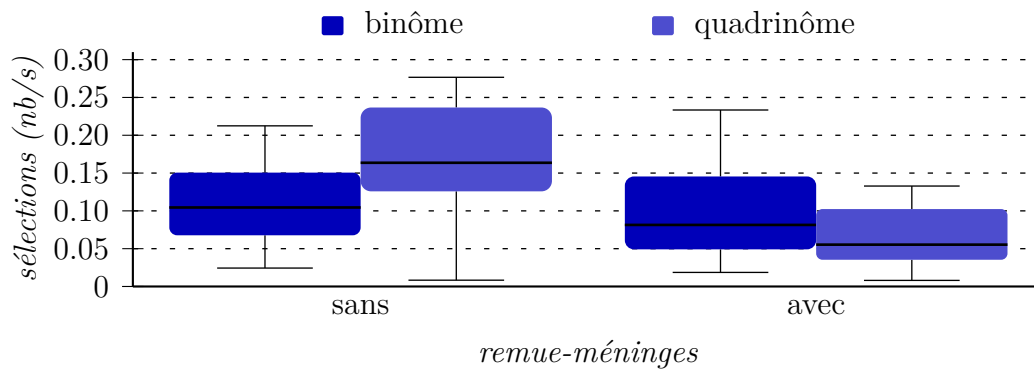


Figure 5.10 – Fréquence des sélections sur les scénarios en fonction des groupes avec ou sans remue-ménages

La figure 5.10 présente la fréquence de sélection (\mathcal{V}_{d2}) pour les groupes avec ou sans remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}). L'analyse montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) sur la fréquence de sélection (\mathcal{V}_{d2}) des binômes ($\chi^2 = 1.2$, $df = 1$, $p = 0.265$). Cependant, l'analyse montre un effet significatif du remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) sur la fréquence de sélection (\mathcal{V}_{d2}) des quadrinômes ($\chi^2 = 11$, $df = 1$, $p \ll 0.05$).

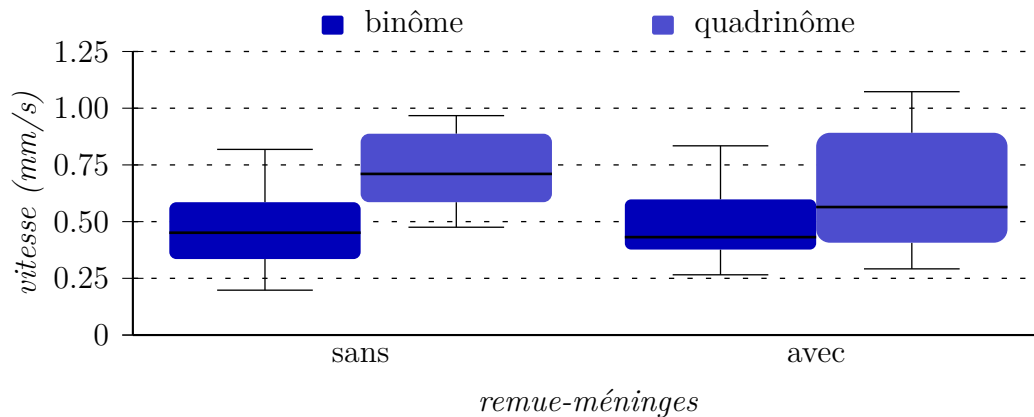


Figure 5.11 – Vitesse moyenne sur les scénarios en fonction des groupes avec ou sans remue-ménages

- 5 La figure 5.11 présente la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d3}) pour les groupes avec ou sans remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}). L'analyse montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) sur la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d3}) des binômes ($\chi^2 = 0.1$, $df = 1$, $p = 0.727$). De la même façon, l'analyse montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) sur la vitesse moyenne (\mathcal{V}_{d3}) des quadrinômes ($\chi^2 = 1.5$, $df = 1$, $p = 0.228$).

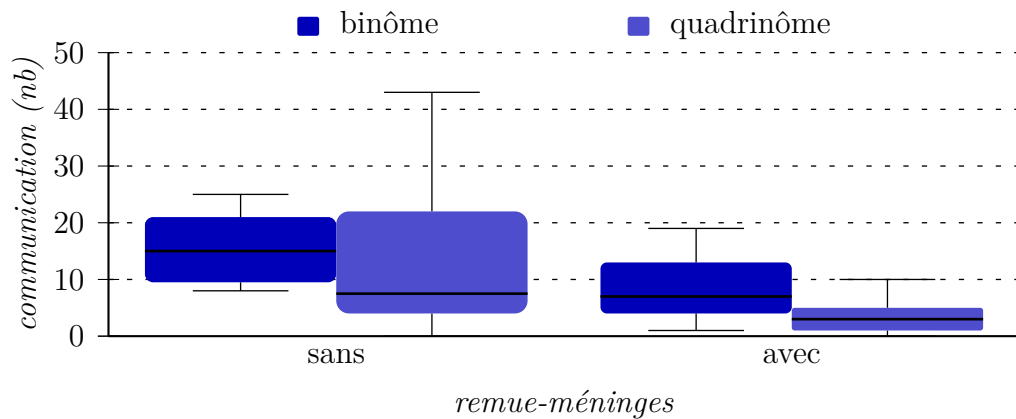


Figure 5.12 – Nombre d’ordres verbaux sur les scénarios en fonction des groupes avec ou sans remue-ménages

La figure 5.12 présente le nombre d’ordres verbaux (\mathcal{V}_{d5}) pour les groupes avec ou sans remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) en fonction du nombre de sujets (\mathcal{V}_{i1}). L’analyse montre un effet significatif du remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) sur le nombre d’ordres verbaux (\mathcal{V}_{d5}) des binômes ($\chi^2 = 12.9$, $df = 1$, $p \ll 0.05$). De la même façon, l’analyse montre un effet significatif du remue-ménages (\mathcal{V}_{i3}) sur le nombre d’ordres verbaux (\mathcal{V}_{d5}) des quadrinômes ($\chi^2 = 4.1$, $df = 1$, $p = 0.042$).

Analyse et discussion

La figure 5.12 nous permet de constater une baisse significative du nombre d’échanges verbaux lorsque les sujets dispose d’une période de remue-ménages. Le remue-ménages permet une réflexion préalable sur la tâche afin d’aboutir à une stratégie. Cette stratégie va organiser et diviser le travail entre les différents sujets : un rôle bien défini est donné à chaque sujet. Cette définition des rôles devrait permettre d’éviter la paresse sociale mis en évidence par RINGELMANN [1913] puis confirmé et expliqué par LATANÉ et al. [1979].

Le phénomène de paresse sociale se produit lorsque les sujets ont tendance à abandonner la réalisation de la tâche aux autres sujets lors d’une tâche collaborative. Ce phénomène a pour conséquences des pertes de productivité. Cependant, une solution pour remédier à ce problème est de fournir un rôle distinct à chaque sujet. Ainsi, chaque sujet ne peut abandonner son objectif à un autre puisqu’il est le seul à devoir le réaliser : c’est l’évaluation des autres qui va le motiver.

Cependant, en observant la figure 5.9 page 108 et la figure 5.10 page pré-

cédente, on constate que seuls les quadrinômes bénéficient de ce remue-ménages. En effet, les binômes n'obtiennent aucune amélioration significative des performances. De même, on constate sur la figure 5.11 page 109 que la vitesse moyenne de l'effecteur terminal des binômes n'évolue pas.

Les binômes ont diminué le nombre de conflits de coordination mais n'améliorent pas les performances. La communication à deux étant relativement naturelle, la résolution des conflits de coordination s'effectue de façon optimale. La présence d'une période de remue-ménages n'améliore pas la résolution des conflits de coordination.

Cependant, la figure 5.9 page 108 et la figure 5.10 page 109 mettent en évidence l'amélioration des performances pour les quadrinômes. Nous avons vu dans la section 5.5.1 page 104 que les quadrinômes éprouvent des difficultés dans la résolution des conflits de coordination. D'après les figures observées, le remue-ménages permet l'élaboration d'une stratégie et la définition des rôles de chacun des sujets. L'élaboration d'une stratégie réduit de façon importante le nombre de conflits de coordination durant la réalisation de la tâche et ainsi améliore les performances. De plus, une définition précise des rôles de chacun avant le début de la tâche permet de partitionner la tâche ou de l'organiser le cas échéant et ainsi d'éviter le phénomène de paresse sociale.

Dans le cas de la molécule Prion, la tâche peut aisément être divisée en quatre sous-tâches élémentaires ce qui facilite l'identification des rôles. La molécule Ubiquitin nécessite plus de coordination mais peut être divisée en deux sous-tâches élémentaires. Dans ce cas, le remue-ménages aboutit à une répartition des tâches en deux binômes. Ceci permet d'avoir des gestions de conflits de coordination locaux et ainsi restreindre son effet au binôme concerné.

De plus, l'élaboration d'une stratégie avant le début de la tâche permet aux sujets d'être plus attentifs pendant la manipulation. En effet, les groupes n'ayant pas de période de remue-ménages ((\mathcal{C}_1) et (\mathcal{C}_3)) tentent tout de même d'élaborer une stratégie pendant la manipulation. Cependant, la manipulation crée une charge de travail cognitive importante. Les capacités cognitives des sujets sont en partie réservées pour la manipulation et limitent les capacités d'élaboration d'une stratégie. La réflexion alors menée ne permet pas d'aboutir au meilleur choix de stratégie.

Cependant, on constate sur la figure 5.11 page 109 qu'il n'y a pas d'évolution de la vitesse moyenne des effecteurs terminaux pour les quadrinômes. Les quadrinômes sont déjà stimulés par le phénomène de motivation sociale décrit dans la section 5.5.1 page 104. Le remue-ménages ne leur permet d'effectuer les gestes plus rapidement mais ils utilisent maintenant cette vitesse avec des stratégies optimisées.

Cette section nous a permis de tester et de confirmer l'intérêt d'une période de remue-méninges pour structurer les groupes : cette période est bénéfique pour les quadrinômes. Elle permet d'éviter les problèmes de paresse sociale évoqués par LATANÉ et al. [1979]. La période de remue-méninges permet de faire émerger rapidement les rôles de meneur et suiveur. C'est le meneur qui va répartir les différents rôles dans la réalisation de la tâche. La section suivante va définir ce rôle de meneur.

5.5.3 Définition d'un meneur

Cette section va définir les caractéristiques d'un meneur. Nous utiliserons les données d'un groupe représentatif pour alimenter notre propos. Cependant, étant donné le peu de données d'un seul groupe, aucune analyse de la variance ne sera présentée.

Données et statistiques

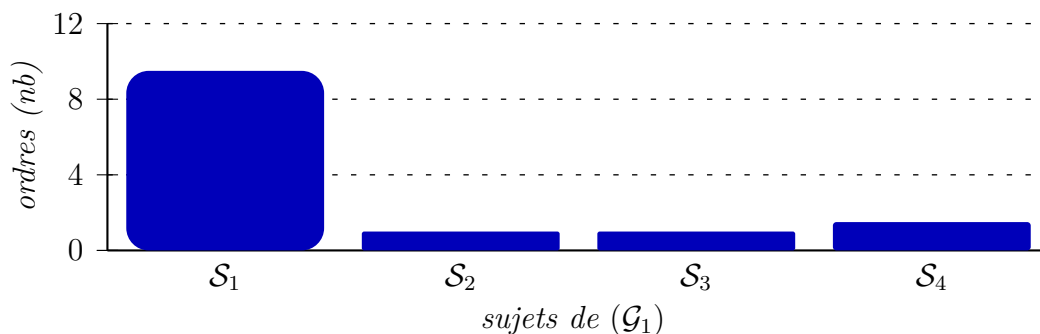


Figure 5.13 – Nombre d'ordres donnés par chacun des sujets de (\mathcal{G}_1)

La figure 5.13 présente le nombre d'ordres donnés (\mathcal{V}_{d5}) en fonction des sujets du groupe (\mathcal{G}_1) . On observe que le sujet S_1 donne beaucoup plus d'ordres que la moyenne (65.8% de plus que la moyenne).

La figure 5.14 page ci-contre présente la vitesse moyenne des effecteurs terminaux (\mathcal{V}_{d3}) en fonction des sujets du groupe (\mathcal{G}_1) . On observe que le sujet S_1 donne plus d'ordres que la moyenne (16.2% de plus que la moyenne).

La figure 5.15 page 114 présente les profils de force (\mathcal{V}_{d4}) des sujets S_1 et S_2 du groupe (\mathcal{G}_1) . Chaque période où la force est maintenue représente une sélection (voir figure 5.15b page 114). On constate un profil très chaotique pour le sujet S_1 avec un grand nombre de sélections (11 sélections). Par

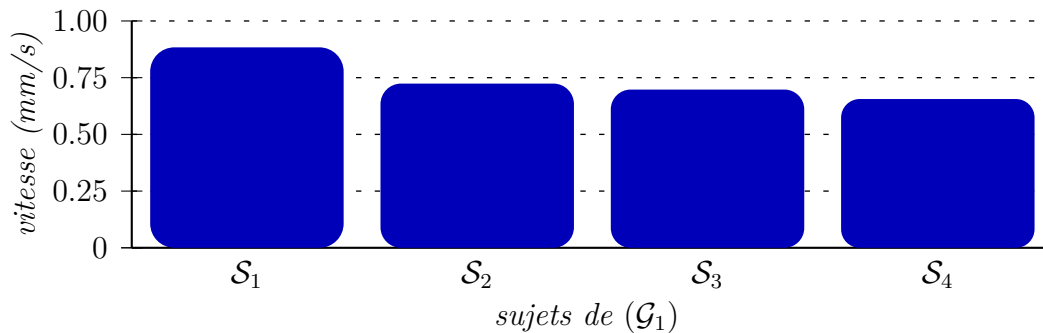


Figure 5.14 – Vitesse moyenne des effecteurs terminaux pour chacun des sujets de (\mathcal{G}_1)

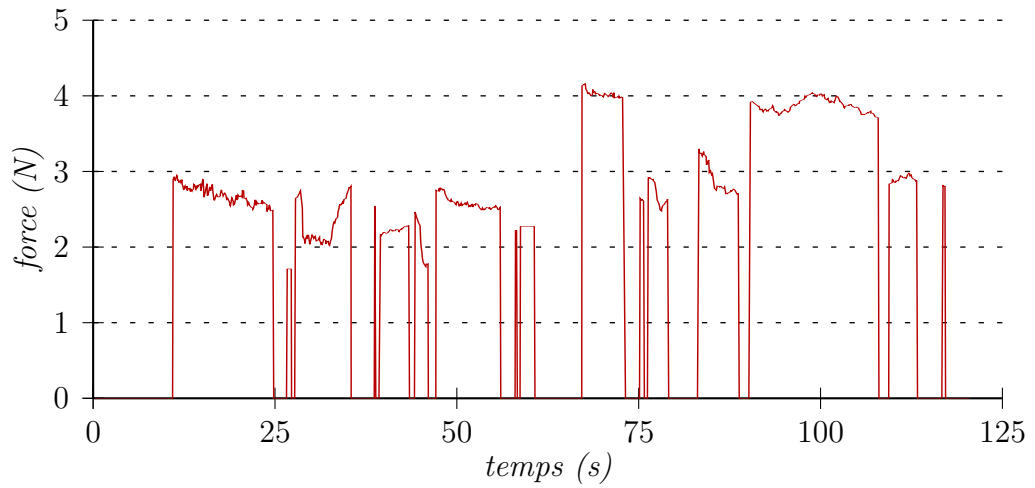
opposition, le profil du sujet S_2 est très peu chaotique avec un petit nombre de sélections (4 sélections > 10 s). De plus, les efforts maximaux produits par le sujet S_2 sont plus importants que ceux du S_1 (5 N pour S_2 contre 4 N pour S_1).

Analyse et discussion

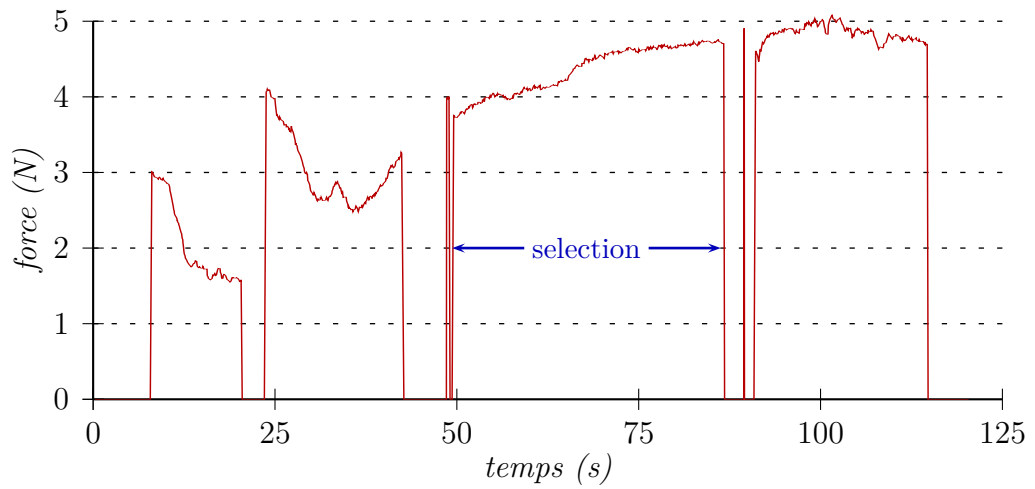
Le meneur est celui qui va diriger les opérations. Cependant, les groupes de notre expérimentation ne sont pas des groupes hiérarchisés : aucune hiérarchie n'a été imposée, contrairement à l'organisation d'une entreprise par exemple. En effet, nos groupes sont des structures informelles dans lesquelles aucun rôle n'est prédéfini. Le meneur est donc un rôle qui émerge du groupe de manière naturelle : il est choisi et accepté par les autres sujets. Cette hiérarchie acceptée permet une meilleure collaboration des sujets entraînant une motivation sociale très productive.

La figure 5.14 et la figure 5.15a page suivante nous permet de déterminer la stratégie de travail du meneur. En effet, on constate un grand nombre de sélections ainsi qu'une vitesse élevée. Le meneur explore l'environnement pour prendre des décisions. Il a besoin d'explorer à de nombreux endroits et rapidement mais n'effectue pas forcément de déformation. Il proposera à un autre sujet d'effectuer à sa place, les déformations qu'il aura jugé nécessaire.

Par opposition, les suiveurs n'explorent pas l'environnement. En effet, la figure 5.15b page suivante nous montre un nombre de sélections peu élevées mais des sélections tenues sur une longue période de temps. Le suiveur accepte un ordre du meneur et effectue la déformation jusqu'à atteindre l'objectif fixé. La déformation demande de la précision dans le mouvement ce qui explique une vitesse moyenne moins élevée de l'effecteur terminal. De plus,



(a) Profil de force de S_1



(b) Profil de force de S_2

Figure 5.15 – Profil de force du groupe (\mathcal{G}_1) sur la molécule Prion

étant donné que les suiveurs porte toute leur attention sur la déformation, l'effort déployé est plus important. Le meneur étant plutôt à la recherche de tâches à effectuer mais n'effectuant pas totalement les déformations, il ne déploie pas autant d'effort.

Pour conclure cette section, le meneur a un rôle crucial dans la dynamique du groupe. C'est lui qui va définir et répartir les tâches : il élabore la stratégie du groupe. Cette répartition permet à chaque sujet de se faire attribuer une tâche bien identifiée. L'identification des rôles est nécessaire pour obtenir de bonnes performances et éviter le phénomène de paresse sociale (voir section 5.5.2 page 108). Cependant, le meneur doit pouvoir se faire accepter des autres membres du groupe pour garder une bonne cohésion.

5.6 Synthèse

5.6.1 Résumé des résultats

Cette troisième expérimentation a mis en opposition des binômes en configuration bimanuelle avec des quadrinômes en configuration monomanuelle. L'objectif était d'observer les avantages et les inconvénients du travail en groupe de plus de deux personnes. Les performances d'un quadrinôme ont été comparées aux performances d'un binôme.

Une première analyse nous a montré qu'il n'y avait aucun avantage à augmenter le nombre d'utilisateurs pour augmenter les performances du groupe. En effet, nous avons vu que les quadrinômes, bien que plus rapides dans leurs mouvements grâce au phénomène de motivation sociale, obtiennent des performances identiques aux binômes. Les conflits de coordination étant plus nombreux dans un quadrinôme, les utilisateurs utilisent plus de temps dans la résolution de ces conflits.

Cependant, une analyse basée sur la présence ou non d'une période de remue-ménages nous a permis d'approfondir cette conclusion. Ce remue-ménages permet une organisation préalable du groupe afin de produire de meilleures performances en réduisant le nombre de conflits de coordination. Ce sont surtout les quadrinômes qui bénéficient de cette réflexion. En effet, les quadrinômes perdent plus de temps que les binômes dans la résolution des conflits : c'est donc eux qui gagnent le plus de temps à en réduire le nombre.

De plus, ce remue-ménages permet de faire émerger les rôles rapidement au sein de cette structure informelle. L'émergence d'un meneur est nécessaire pour organiser le groupe, diviser le travail et répartir les tâches. D'un autre

côté, les `suiveurs` acceptent la présence de ce `meneur` et l'assistent dans la réalisation de la tâche. Le `meneur` va se distinguer par une exploration plus large et plus rapide de l'environnement afin d'avoir une vision globale de la tâche à réaliser. Les `suiveurs` effectuent plutôt des déformations longues et locales.

Cette expérimentation montre que l'augmentation du nombre d'utilisateurs est bénéfique sous réserve d'une certaine organisation. Une période de remue-ménages préalable à la réalisation de la tâche permet de structurer un groupe. De plus, cette structure est obtenue avec l'accord de tous les participants ce qui rend légitime le `meneur`. Dans le cas contraire, les `suiveurs` pourraient ne pas vouloir suivre les indications du `meneur` ce qui serait contre-productif.

5.6.2 Perspectives

Nous venons de montrer l'intérêt d'avoir un groupe structuré lorsque le nombre de participants excède deux. Notre prochaine et dernière expérimentation aura pour objectif de tester la plate-forme avec des experts de la déformation moléculaire. Pour cela, nous allons leur fournir des outils haptiques permettant de faciliter le travail collaboratif.

Pour commencer, nous avons mis en avant la nécessité de faire émerger rapidement le `meneur` et les `suiveurs`. Ceci permet de coordonner le groupe derrière un seul utilisateur et éviter les conflits de coordination.

Cependant, la manière de travailler du `meneur` est très différente de celle d'un `suiveur`. Des outils haptiques adaptés aux besoins de chacun seront donc proposés afin d'améliorer leur possibilités d'interactions. En l'occurrence, le `meneur` n'effectue pas réellement de déformation, il semble donc peu nécessaire de lui donner la possibilité de le faire. Ainsi, on le libère d'une partie de sa charge cognitive pour le focaliser sur son rôle de `meneur`.

En ce qui concerne le `suiveur`, il est affecté à la déformation. Il est particulièrement occupé à effectuer des déformations de façon locale. Il faut donc lui laisser la possibilité d'effectuer des déformations locales et précises. Cependant, il faut également lui faciliter la communication avec le `meneur` et lui rendant accessible les consignes rapidement. Le `meneur` ayant une vision plus globale de la tâche à réaliser, il peut être justifié de donner ponctuellement des outils de déformation plus grossier.

La majorité de ces outils seront implémentés dans la dernière version de la plate-forme afin d'effectuer une expérimentation avec des experts de la déformation moléculaire. Ces outils seront évalués à la fois en terme d'amélioration

sur les performances mais également en terme d'utilisabilité. Le chapitre 6 page 123 décrit ces nouveaux outils et l'ensemble de l'expérimentation.

Bibliographie

[CHAN et al. 2008]

CHAN, Andrew, Karon MACLEAN et Joanna MCGRENERE (mai 2008). « Designing haptic icons to support collaborative turn-taking ». Anglais. Dans *International Journal Human-Computer Studies* 66, pages 333–355 (cf. page 95).

5 [CHRISTEN et al. 2009]

CHRISTEN, Barbara, Simone HORNE-MANN, 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 ». Anglais. Dans *Journal of Molecular Biology* 389.5, pages 833–845 (cf. page 101).

10 [LATANÉ et al. 1979]

LATANÉ, Bibb, Kipling WILLIAMS et Stephen HARKINS (juin 1979). « Many hands make light the work : the causes and consequences of social loafing ». Anglais. Dans *Journal of Personality and Social Psychology* 37.6, pages 822–832. DOI : [10.1037/0022-3514.37.6.822](https://doi.org/10.1037/0022-3514.37.6.822). URL : <http://content.apa.org/journals/psp/37/6/822> (cf. pages 110, 112).

[MUGNY et al. 1995]

15 MUGNY, Gabriel, Jean-Léon BEAUVOIS et Dominique OBERLÉ (1995). *Relations humaines, groupes et influence sociale*. La psychologie sociale. Presses universitaires de Grenoble (cf. page 95).

[NEIDIGH et al. 2002]

20 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 101).

[RINGELMANN 1913]

25 RINGELMANN, Maximilien (1913). « Recherches sur les moteurs animés : Travail de l'homme ». Dans *Annales de l'Institut National d'Hygiène*. Sous la direction de Jean-Baptiste BAILLIÈRE. Tome 12. 2. Librairie Agricole De La Maison Rustique, pages 1–40 (cf. page 110).

[ROETHLISBERGER et al. 1939]

ROETHLISBERGER, Fritz J., William J. DICKSON et Harold A. WRIGHT (nov. 1939). *Management and the worker*. Anglais. Cambridge, Mass : Harvard University Press (cf. pages 95, 107).

³⁵ [VIJAY-KUMAR et al. 1987]

VIJAY-KUMAR, Senadhi, Charles E. BUGG et William J. COOK (1987).
« Structure of ubiquitin refined at 1.8 Å resolution ». Anglais. Dans
Journal of Molecular Biology 194.3, pages 531–544 (cf. page 101).

Bibliographie

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, 121, 125, 133

bimanuel

5 Qui se fait avec les deux mains. 61–63, 65, 72, 75, 76, 80, 81, 85–87, 89, 97, 102, 106, 114

binôme

10 Groupe constitué de 2 personnes. iv, v, vii, ix, 27–31, 33–35, 40, 42–45, 47–52, 54, 59–63, 65–67, 72–77, 79–89, 93, 94, 96, 97, 99, 102, 104–110, 114, 115, 124, 139, 144, 145

conflit de coordination

Conflit entre deux sujets qui peut survenir lorsque les deux sujets tente d'accéder ou de déformer un objet au même instant. 49–52, 55, 94, 96, 101, 106, 107, 110, 115, 116

15 **curseur**

Élément virtuel associé à un élément physique que le sujet manipule ; il est lié à l'effecteur terminal. 133

docking moléculaire

Voir amarrage moléculaire. 3

20 **effecteur terminal**

Élément physique que le sujet manipule ; il est lié au curseur du monde virtuel. x, xi, 34, 67, 73, 75, 76, 79, 83, 99, 100, 106, 110–112, 114, 123

homoscedasticité

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

meneur

En anglais *leader*, personne qui dirige un groupe afin d'atteindre des

objectifs communs à ce groupe ; c'est celui qui prend les décisions (voir aussi suiveur). vi, 53, 86, 93, 95, 111, 112, 114–116, 124, 134, 145

monomanuel

Qui se fait avec une main. 61, 76, 87, 97, 102, 106, 114

monôme

Groupe constitué d'une unique personne. vii, ix, 29, 30, 33–35, 40, 42–
5 44, 53, 54, 60–63, 65–67, 73–77, 79–88, 94, 139, 144, 145

motivation sociale

En anglais *social facilitation* [TRIPLETT 1900], phénomène de groupe où les personnes fournissent plus d'efforts grâce à la présence de partenaires. 94, 106, 107, 111, 112, 115

10 **paresse sociale**

En anglais *social loafing* [RINGELMANN 1913], phénomène de groupe où les personnes fournissent moins d'effort pour la réalisation d'une tâche que s'ils effectuaient la tâche seuls. 53, 86, 110, 111, 114

quadrinôme

15 Groupe constitué de 4 personnes. vi, 93, 94, 96, 97, 99, 101, 102, 104–111, 114, 115

résidu

Groupe d'atomes constituant un des blocs élémentaires d'une molécule.
ix, x, xiii, 4, 12, 13, 17–20, 29, 33–37, 40, 42–45, 48–51, 54, 56, 60, 65,
20 67, 68, 70, 71, 80, 85, 98, 100, 101, 123, 125, 126

structure informelle

Groupe de personnes sans structures ni hiérarchie. 95, 112, 115

suiveur

25 En anglais *follower*, personne qui se laisse diriger dans un groupe afin d'atteindre des objectifs communs à ce groupe ; c'est une personne qui ne prend pas de décision (voir aussi meneur). 53, 95, 106, 111, 114–116, 133

variable dépendante

30 Facteur mesuré sur une expérimentation (nombre de sélections, trajectoire, *etc.*) ; ces variables sont influencées par les variables indépendantes. 122, 134

variable indépendante

35 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, 123, 134

variable inter-sujets

Variables pour lesquelles les sujets sont confrontés à une et une seule des modalités de la variable. 66, 73, 99

variable intra-sujets

Variables pour lesquelles les sujets sont confrontés à toutes les modalités de la variable. 34, 40, 66, 73, 99, 123

5 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. ix, 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, 56, 61, 63, 67, 96, 100, 122, 125

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, 123

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, 135

ITAP

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

25 CNRS–LIMSI

Unité Propre de Recherche du CNRS (UPR 3251) associé aux universités PARIS Sud et Pierre et Marie CURIE. i, 33, 65, 98

Acronymes

NAMD

Programme de simulation pour la dynamique moléculaire [PHILLIPS et al. 2005]. 7, 10, 11, 14, 125, 135

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, 102, 125

VMD

Programme de visualisation moléculaire [HUMPHREY et al. 1996]. ix, 7, 10–14, 16–18, 31, 135

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