

Thèse en Informatique

Jean SIMARD

Interactions haptiques collaboratives pour la manipulation moléculaire

École Doctorale d'Informatique de Paris Sud

Thèse soutenue le 1^{er} décembre 2011 en présence de

Martin DUPONT (rapporteur) Directeur de recherche au CNRS-LIMSI
Martin DUPOND (examinateur) Directeur de recherche au CNRS-LIMSI

Table des matières

Table des matières	iii
Table des figures	v
Liste des tableaux	vii
I Le sujet	1
1 Introduction	3
II Étude du travail collaboratif	5
2 La recherche collaborative	7
2.1 Présentation	7
2.1.1 Objectifs	7
2.1.2 Hypothèses	7
2.2 Dispositif expérimental et matériel	7
2.3 Méthode	8
2.3.1 Sujets	8
2.3.2 Variables	8
2.3.3 Tâche	12
2.3.4 Procédure	13
2.4 Résultats	13
3 La manipulation collaborative	15

Table des matières

4	Les dynamiques de groupe	17
III	Propositions pour le travail collaboratif	19
5	Travail collaboratif assisté par haptique	21
IV	Synthèse	23
6	Conclusion et perspectives	25
	Glossary	27
	Acronyms	29
A	Shaddock – Collaborative Virtual Environment for Molecular Design	31

Table des figures

2.1	Illustration du dispositif expérimental	8
2.2	Répartition des résidus sur les molécules	11
2.3	Schéma des phases de la communication verbale	12

Table des figures

Liste des tableaux

2.1	Liste des résidus recherchés	10
2.2	Paramètres de complexité des résidus – C arbone en <i>cyan</i> , A zote en <i>bleu</i> , O xygène en <i>rouge</i> et S oufre en <i>jaune</i>	10
2.3	Synthèse de la procédure expérimentale	14

Liste des tableaux

Liste des *À faire*

(Section 2.3.4) Compléter les hypothèses	13
--	----

Liste des À faire

Première partie

Le sujet

Chapitre 1

Introduction

Deuxième partie

Étude du travail collaboratif

Chapitre 2

La recherche collaborative

2.1 Présentation

2.1.1 Objectifs

2.1.2 Hypothèses

2.2 Dispositif expérimental et matériel

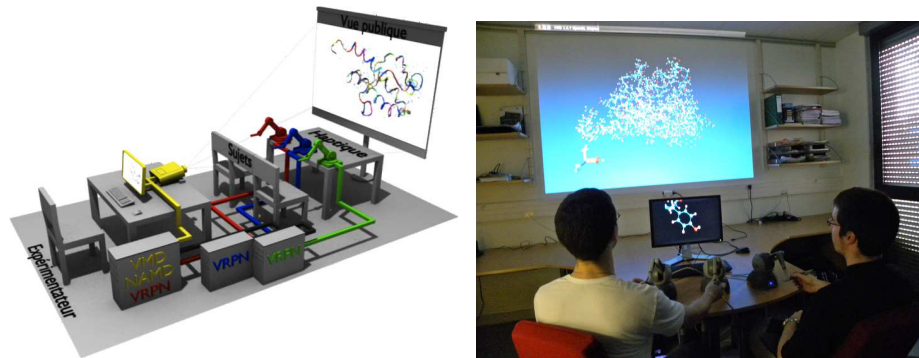
L'Environnement Virtuel Collaboratif (EVC) utilisé est illustré sur la Figure 2.1 page suivante. L'EVC propose une visualisation partagée (vue publique) à l'aide d'un vidéoprojecteur sur un grand écran. Le ou les sujets font face à l'écran avec à leur disposition :

- 1 interface haptique de manipulation *grab* ;
- 2 interfaces haptiques de déformation *tug*.

Les sujets ont la possibilité de communiquer entre eux sans restriction. Pour les *monômes*, le sujet peut utiliser chaque outil comme il le souhaite. Pour les *binômes*, chaque sujet se voit attribuer 1 outil de déformation *tug*. L'outil de manipulation *grab* sera attribuer à un seul des deux sujets après une négociation au sein du *binôme*. Le sujet désigné pour l'outil de manipulation *grab* le sera pour toute la durée de l'expérimentation.

Un micro de bureau est placé en face des deux sujets afin de capter toutes les communications orales. L'enregistrement, réalisé à l'aide du logiciel Audacity, débute à la fin de la phase d'entraînement.

Pour les détails techniques concernant la plate-forme et les outils de manipulation et de déformation, se reporter à l'Annexe A page 31.



(a) Schéma du dispositif expérimental (b) Photographie du dispositif expérimental

Figure 2.1 – Illustration du dispositif expérimental

2.3 Méthode

2.3.1 Sujets

24 sujets (4 femmes et 20 hommes) avec une moyenne d'âge de $\mu = 27.8$ ($\sigma = 7.19$) ont participé à cette expérimentation. Ils ont tous été recrutés au sein du laboratoire Laboratoire pour l'Informatique, la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur (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 déficience audio.

Chaque participants 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.

2.3.2 Variables

Variables indépendantes

(\mathcal{V}_{i1}) Nombre de sujets La première variable indépendante est une variable intra-population, c'est-à-dire que tous les sujets seront expérimentés dans toutes les conditions de cette variable. (\mathcal{V}_{i1}) possède 2 valeurs possibles : « 1 sujet (*c.f. monôme*) » ou « 2 sujets (*c.f. binôme*) ». Les sujets seuls et les sujets en couples ont à leur disposition 2 outils haptiques de déformation et 1 outil haptique de

manipulation. Pour les binômes, seulement un des deux sujets est désigné pour l'utilisation exclusive de la souris 3D. 24 monômes et 12 binômes ont été testés ce qui fait deux fois plus de monômes que de binômes.

(\mathcal{V}_{i2}) **Résidu recherché** La seconde variable indépendante est une variable intra-population. (\mathcal{V}_{i2}) concerne les résidus recherchés qui sont au nombre de 10 répartis à part égale dans 2 molécules (voir Table 2.1 page suivante). La première molécule est couramment nommée TRP-CAGE [NEIDIGH et al. 2002] et a pour identifiant PDB 1L2Y sur la *Protein DataBase*¹. La seconde molécule nommée Prion [CHRISTEN et al. 2009] avec l'identifiant PDB 2KFL. 5 résidus sont présents sur chaque molécule (voir Figure 2.2 page 11) et chacun présente différents niveaux de complexité (voir Table 2.2 page suivante) :

Position La position du résidu peut se trouver sur le pourtour de la molécule, en position *externe* ou à l'intérieur, au milieu de l'amas d'atome (position *interne*). Un résidu en position externe ne nécessite pas de déformer la molécule pour le trouver et l'atteindre contrairement à un résidu en position interne qui sera plus complexe d'accès.

Forme La forme du résidu influe énormément sur la complexité de la recherche. On distingue 3 formes différentes :

Chaîne Un enchaînement d'atomes seuls les atomes d'hydrogène sont de part et d'autres de cet enchaînement.

Cercle Une chaîne d'atomes de carbone ou d'azote qui boucle sur elle-même.

Étoile Séries de chaînes d'atomes toutes reliées sur un atome central (la plupart du temps, un atome de carbone).

Couleurs Les atomes sont colorés en fonction de leur nature (rouge pour l'oxygène, blanc pour l'hydrogène, *etc.*). Les atomes qui sont rares seront donc rapidement trouvés grâce à leur couleur différente. Par contre, les atomes nombreux (comme les hydrogènes ou les carbones) seront plus difficiles à filtrer à cause de leur nombre important.

Similarité Certains résidus à chercher sont très similaires à d'autres résidus également présents sur la molécule. De par leur similarité, ils vont mobilier la recherche sur des résidus incorrects.

Variables dépendantes

(\mathcal{V}_{d1}) **Le temps de complétion** Ce temps est le temps total pour réaliser la tâche demandée, c'est-à-dire trouver le résidu et l'extraire de la molécule. Ce temps est divisé en 2 phases bien distinctes :

La recherche C'est la phase pendant laquelle les sujets cherchent le résidu. Cette recherche peut être simplement visuelle en orientant et en déplaçant

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

Table 2.1 – Liste des résidus recherchés

(a) Résidus sur la molécule TRP-CAGE

(b) Résidus sur la molécule Prion

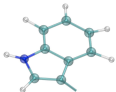

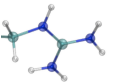
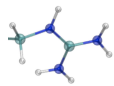
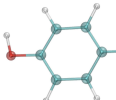
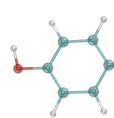
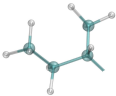
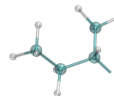
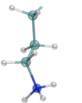
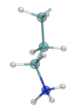
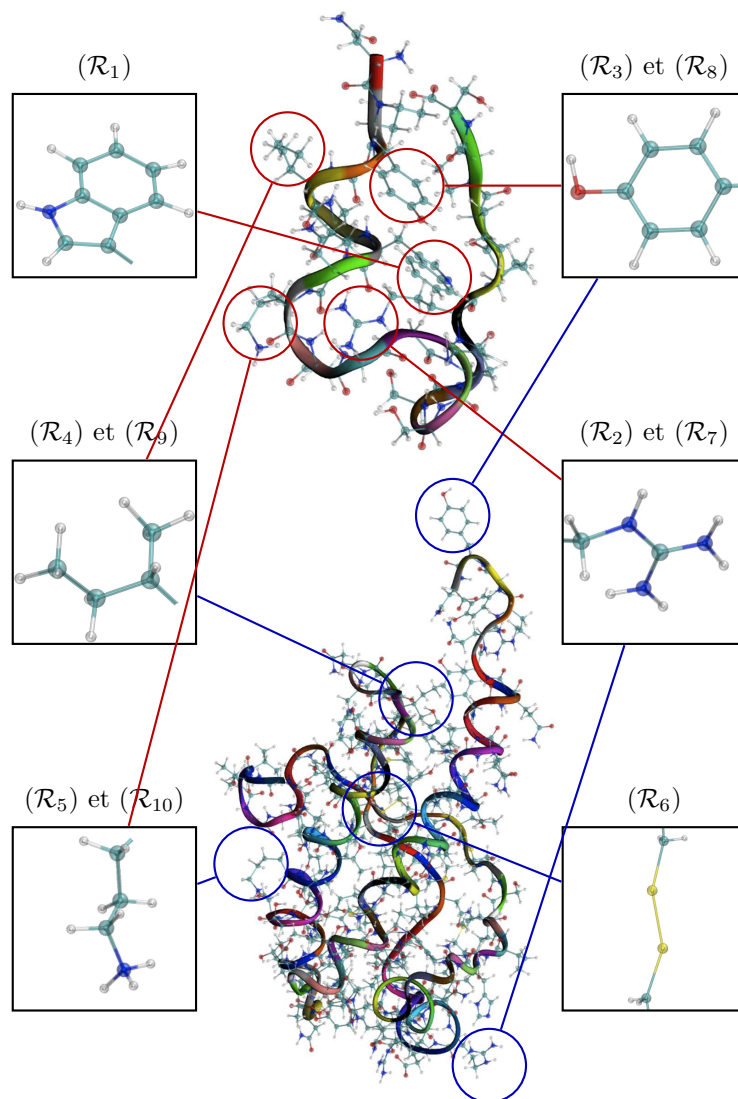
Résidu	Image	Résidu	Image
(\mathcal{R}_1)		(\mathcal{R}_6)	
(\mathcal{R}_2)		(\mathcal{R}_7)	
(\mathcal{R}_3)		(\mathcal{R}_8)	
(\mathcal{R}_4)		(\mathcal{R}_9)	
(\mathcal{R}_5)		(\mathcal{R}_{10})	

Table 2.2 – Paramètres de complexité des résidus – Carbone en cyan, Azote en bleu, Oxygène en rouge et Soufre en jaune

Résidu	Position	Forme	Couleurs	Similarité
(\mathcal{R}_1)	Interne	Cercle	8 C, 1 A	Non
(\mathcal{R}_2)	Interne	Étoile	1 C, 3 A	Non
(\mathcal{R}_3)	Interne	Cercle	6 C, 1 O	Non
(\mathcal{R}_4)	Externe	Chaîne	4 C	Non
(\mathcal{R}_5)	Externe	Chaîne	4 C, 1 A	Non
(\mathcal{R}_6)	Interne	Chaîne	2 C, 2 S	Non
(\mathcal{R}_7)	Externe	Étoile	1 C, 3 A	Non
(\mathcal{R}_8)	Externe	Cercle	6 C, 1 O	Non
(\mathcal{R}_9)	Interne	Chaîne	4 C	Oui
(\mathcal{R}_{10})	Interne	Chaîne	4 C, 1 A	Oui

Figure 2.2 – Répartition des résidus sur les molécules

la molécule mais elle peut aussi amener les sujets à déformer la molécule afin d'explorer les résidu inaccessibles.

La sélection La phase de sélection débute dès l'instant où un des 2 sujets a trouvé le résidu. Elle est constitué d'une phase de sélection puis d'une phase d'extraction.

Il n'y a pas de limite de temps pour réaliser la tâche.

(\mathcal{V}_{d2}) **La distance entre les espaces de travail** Cette distance est la distance moyenne entre les 2 effecteurs terminaux présents durant 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}_{d3}) **Les communications orales** L'enregistrement audio permet de mesurer la quantité de temps de parole pendant chaque tâche de l'expérimentation. Ces mesures discrimine la phase de recherche de la phase de sélection (voir (\mathcal{V}_{d1})) comme indiqué plus précisément sur la Figure 2.3.

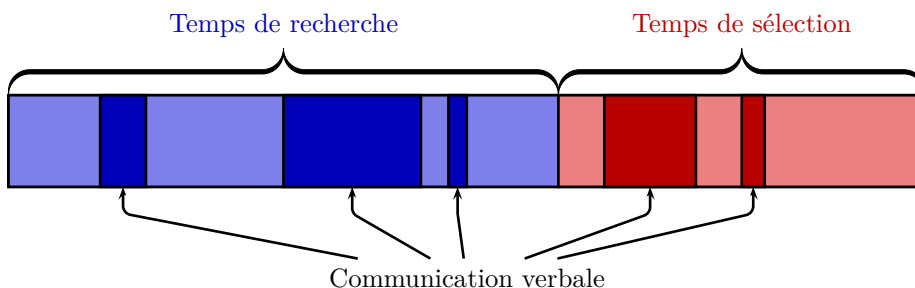


Figure 2.3 – Schéma des phases de la communication verbale

(\mathcal{V}_{d4}) **L'affinité entre les sujets** Le degré d'affinité – concernant uniquement les binômes – est compris entre 1 et 5 selon les critères suivants :

1. Les sujets ne se connaissent pas ;
2. Les sujets travaillent dans la même entreprise, le même laboratoire ;
3. Les sujets travaillent dans la même équipe ;
4. Les sujets travaillent dans le même bureau ;
5. Les sujets sont amis.

2.3.3 Tâche

La tâche proposée est la recherche et la sélection dans un EVC sur des molécules complexes. Les motifs à rechercher dans les structures moléculaires sont des

résidus (voir Table 2.1 page 10). Les sujets possèdent 2 outils pour trouver ces motifs :

- ils peuvent explorer la molécule en la déplaçant ou en la tournant à l'aide de l'outil *grab* ;
- ils peuvent déformer la molécule à l'aide de l'outil *tug*.

Une fois le résidu trouvé, les sujets doivent le sélectionner puis l'extraire hors de la sphère virtuelle englobant la molécule.

2.3.4 Procédure

Pour débiter cette expérimentation, les sujets sont confrontés à un exemple sur la molécule TRP-ZIPPER [COCHRAN et al. 2001] ayant pour identifiant PDB 1LE1. Pendant la phase d'entraînement, les outils sont introduits et expliqués un par un. Chaque sujet a la possibilité de tester les outils et peut questionner l'expérimentateur. Dans le cas des binômes, cette phase d'entraînement est également l'occasion de choisir qui, parmi les 2 sujets, sera en charge de la manipulation de la molécule à l'aide de l'outil de manipulation *grab*.

Au début de l'expérimentation, l'expérimentateur affiche sur l'écran annexe le motif à chercher. Lorsque les sujets ont trouvé et extrait le motif, l'expérimentateur indique au système la fin de la première tâche. Il affiche à présent le second motif et ainsi de suite pour les 10 motifs.

Une fois le groupe passé dans sa première configuration, monôme ou binôme (voir (\mathcal{V}_{i1})), l'opération est répétée pour les autres configurations.

Compléter les hypothèses

Les hypothèses ne sont pas encore écrites!! Il va donc falloir les compléter dans le tableau.

Incomplet – Compléter les hypothèses

Les hypothèses ne sont pas encore écrites!! Il va donc falloir les compléter dans le tableau.

2.4 Résultats

Table 2.3 – Synthèse de la procédure expérimentale

Tâche	Recherche et sélection de motifs		
Hypothèses			
Variable in-dépendantes	(\mathcal{V}_{i1}) Nombre de sujets (\mathcal{V}_{i2}) Résidu à chercher		
Variable dépendantes	(\mathcal{V}_{d1}) Temps de complétion (\mathcal{V}_{d2}) Distance entre les espaces de travail (\mathcal{V}_{d3}) Communication orales (\mathcal{V}_{d4}) Affinités entre les sujets		
Condition (\mathcal{C}_1)	Condition (\mathcal{C}_2)	Condition (\mathcal{C}_3)	
Sujet <i>A</i> 10 résidus	Sujet <i>A</i> 10 résidus	Sujet <i>A</i> et <i>B</i> 10 résidus	
Sujet <i>B</i> 10 résidus	Sujet <i>A</i> et <i>B</i> 10 résidus	Sujet <i>A</i> 10 résidus	
Sujet <i>A</i> et <i>B</i> 10 résidus	Sujet <i>B</i> 10 résidus	Sujet <i>B</i> 10 résidus	

Chapitre 3

La manipulation collaborative

Chapitre 4

Les dynamiques de groupe

Troisième partie

Propositions pour le travail collaboratif

Chapitre 5

Travail collaboratif assisté par haptique

Quatrième partie

Synthèse

Chapitre 6

Conclusion et perspectives

Glossary

binôme

Groupe constitué de 2 personnes. 7, 8, 12, 13

 curseur

Élément virtuel associé à un élément physique que le sujet manipule ; il est lié à l'effecteur terminal. 27

effecteur terminal

Élément physique que le sujet manipule ; il est lié au curseur du monde virtuel. 12

monôme

Groupe constitué d'une unique personne. 7, 8, 13

résidu

Groupe d'atomes constituant un des blocs élémentaires d'une molécule. 9, 12, 13

variable dépendante

Facteur mesuré sur une expérimentation (nombre de sélections, trajectoire, *etc.*) ; ces variables sont influencées par les variables indépendantes. 27

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. 8, 9

variable intra-population

Variables pour lesquelles les sujets sont confrontés à toutes les modalités de la variable. 8, 9

Acronyms

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, 12

cnrs-limsi

Unité Propre de Recherche du CNRS (UPR3251) associé aux universités PARIS Sud et Pierre et Marie CURIE. i, 7

Acronyms

Annexe A

Shaddock – Collaborative Virtual Environment for Molecular Design