

# Collaboration haptique étroitement couplée pour la manipulation moléculaire interactive

---

Jean SIMARD

sous la direction de Philippe TARROUX  
et l'encadrement scientifique de Mehdi AMMI

Université de PARIS-Sud

CNRS-LIMSI

---

12 mars 2012



# Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Plateforme de manipulation moléculaire *Shaddock*
- 3 Caractérisation des approches collaboratives en environnement moléculaire
- 4 Communication haptique pour les approches collaboratives
- 5 Conclusion et perspectives

# Sommaire

## 1 Introduction

- *Docking* moléculaire
- Approches centrées sur l'humain
- Distribution des charges de travail
- Approches collaboratives
- Objectifs de la thèse

## 2 Plateforme de manipulation moléculaire *Shaddock*

## 3 Caractérisation des approches collaboratives en environnement moléculaire

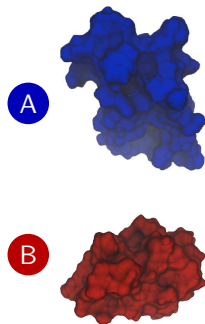
## 4 Communication haptique pour les approches collaboratives

## 5 Conclusion et perspectives

# Docking moléculaire

## Définition

ou *amarrage moléculaire*, consiste à trouver l'orientation et la conformation optimale permettant d'assembler 2 molécules.



*Docking moléculaire*

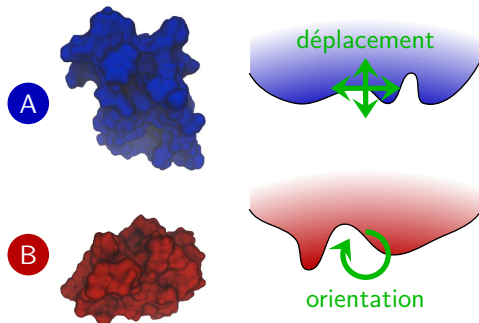
## Facteurs de complexité

- Nombreux atomes

# Docking moléculaire

## Définition

ou *amarrage moléculaire*, consiste à trouver l'orientation et la conformation optimale permettant d'assembler 2 molécules.



## Docking moléculaire

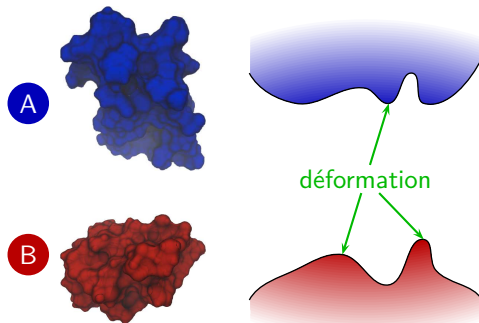
### Facteurs de complexité

- Nombreux atomes
- Déplacement et orientation

# Docking moléculaire

## Définition

ou *amarrage moléculaire*, consiste à trouver l'orientation et la conformation optimale permettant d'assembler 2 molécules.



*Docking moléculaire*

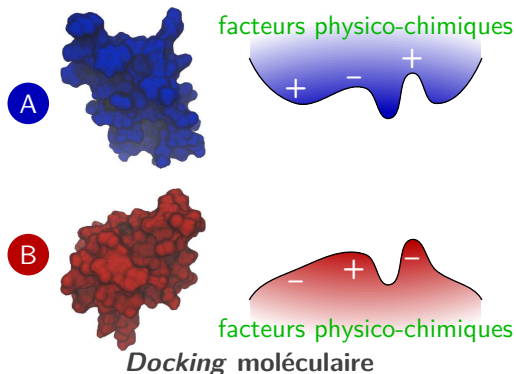
## Facteurs de complexité

- Nombreux atomes
- Déplacement et orientation
- Flexibilité

# Docking moléculaire

## Définition

ou *amarrage moléculaire*, consiste à trouver l'orientation et la conformation optimale permettant d'assembler 2 molécules.



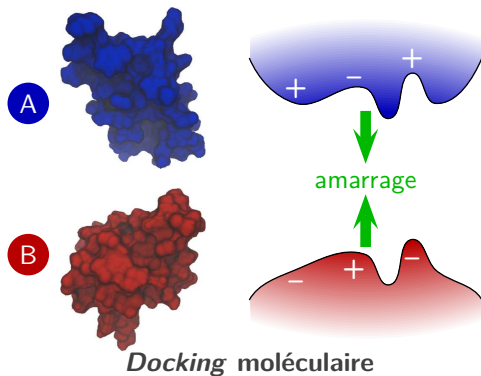
## Facteurs de complexité

- Nombreux atomes
- Déplacement et orientation
- Flexibilité
- Physico-chimie

# Docking moléculaire

## Définition

ou *amarrage moléculaire*, consiste à trouver l'orientation et la conformation optimale permettant d'assembler 2 molécules.



## Facteurs de complexité

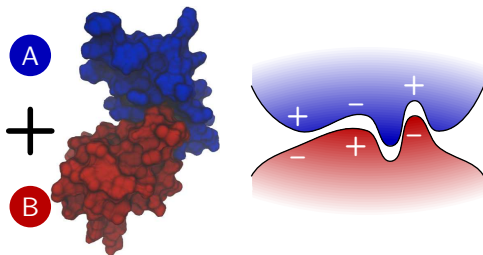
- Nombreux atomes
- Déplacement et orientation
- Flexibilité
- Physico-chimie
- Complémentarité
  - géométrique
  - physico-chimie



# Docking moléculaire

## Définition

ou *amarrage moléculaire*, consiste à trouver l'orientation et la conformation optimale permettant d'assembler 2 molécules.



*Docking moléculaire*

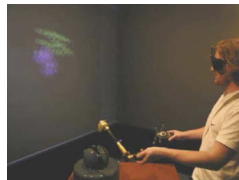
## Facteurs de complexité

- Nombreux atomes
- Déplacement et orientation
- Flexibilité
- Physico-chimie
- Complémentarité
  - géométrique
  - physico-chimie

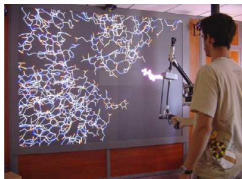
# Approches centrées sur l'humain



**Interface haptique à 5 DDL**  
[LAI-YUEN et al. 2006]



**Visualisation multimodale** [FÉREY  
et al. 2009]



**Docking moléculaire rigide**  
[DAUNAY et al. 2009]

## Synthèse

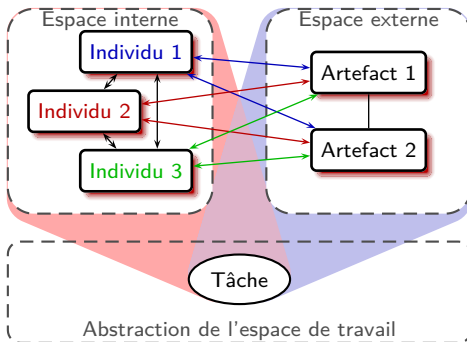
Haptique souvent utilisé pour la manipulation moléculaire mais. . .

- molécules simples
- *docking* rigide

# Distribution des charges de travail

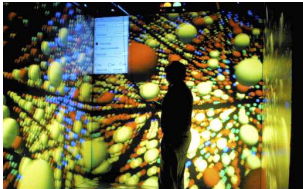
## Définition [CONEIN 2004]

Étendre la capacité cognitive d'analyse d'un individu pour inclure le matériel et l'environnement social comme composant d'un système cognitif plus étendu.



## Système cognitif distribué

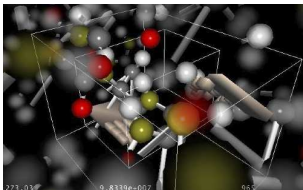
# Approches collaboratives



**Manipulation synchrone [KRIZ et al. 2003]**



**Manipulation guidée par des experts [PARK et al. 2006]**



**Inter-référencement [CHASTINE 2007]**

## Synthèse

Peu de travaux sur la communication dans les approches collaboratives

# Objectifs de la thèse

## Problématiques

- Quels sont les avantages de la collaboration étroitement couplée ?
- Quelles problématiques la collaboration pose-t-elle ?
- Comment améliorer la collaboration dans un environnement complexe ?

## Démarche

- 1 Étudier et caractériser les approches collaboratives étroitement couplée
- 2 Identifier les limites et les contraintes
- 3 Proposer des solutions haptiques pour améliorer la collaboration
- 4 Évaluer ces solutions dans une tâche de *docking* moléculaire

# Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Plateforme de manipulation moléculaire *Shaddock*
  - Cahier des charges
  - Organisation matérielle
  - Organisation logicielle
  - Outils supplémentaires proposés
- 3 Caractérisation des approches collaboratives en environnement moléculaire
- 4 Communication haptique pour les approches collaboratives
- 5 Conclusion et perspectives

# Cahier des charges

## Objectif

Élaborer une plateforme permettant la collaboration étroitement couplée pour la manipulation moléculaire

## Contraintes à respecter

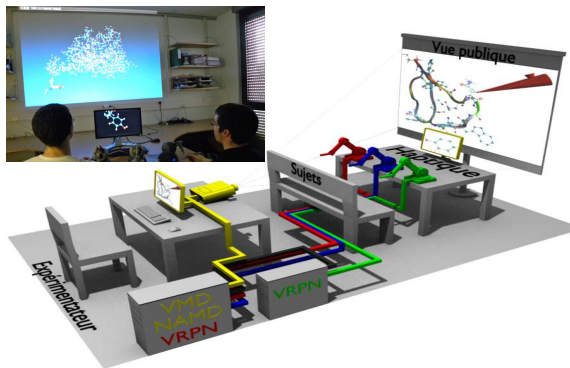
- Collaboration interactive synchrone avec des molécules
- Simulation de la dynamique moléculaire
- Manipulation à l'aide de plusieurs interfaces haptiques
- Différents outils pour la manipulation moléculaire

## Solutions proposées

- Modularité logicielle
- Modularité matérielle
- Plateforme basée sur des logiciels de biologistes
- Utilisation de modules dédiés à la réalité virtuelle
- Développement de nouveaux outils

## Fonctionnalités

- Colocalisé synchrone
- Communication orale et gestuelle



## Plate-forme expérimentale



# Organisation matérielle

## Fonctionnalités

- Colocalisé synchrone
- Communication orale et gestuelle
- Vue partagée

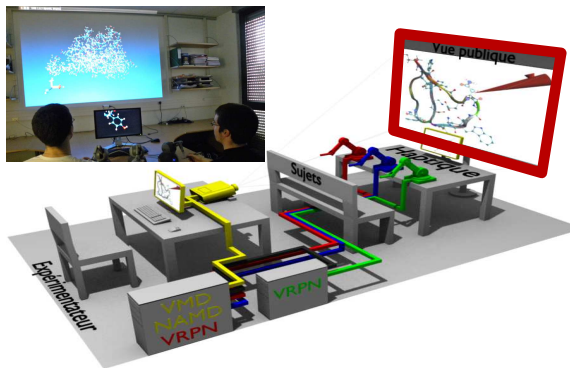


Plate-forme expérimentale

# Organisation matérielle

## Fonctionnalités

- Colocalisé synchrone
- Communication orale et gestuelle
- Vue partagée
- Différents outils
  - déplacement
  - orientation
  - déformation

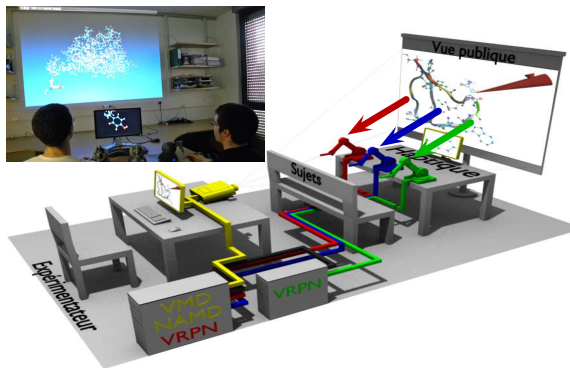


Plate-forme expérimentale

# Organisation matérielle

## Fonctionnalités

- Colocalisé synchrone
- Communication orale et gestuelle
- Vue partagée
- Différents outils
  - déplacement
  - orientation
  - déformation

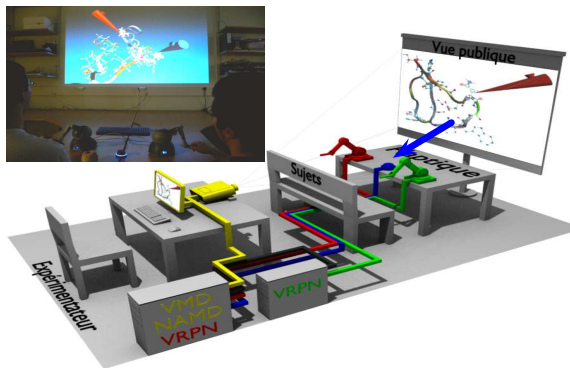


Plate-forme expérimentale

# Organisation matérielle

## Fonctionnalités

- Colocalisé synchrone
- Communication orale et gestuelle
- Vue partagée
- Différents outils
  - déplacement
  - orientation
  - déformation
- Multiples interfaces

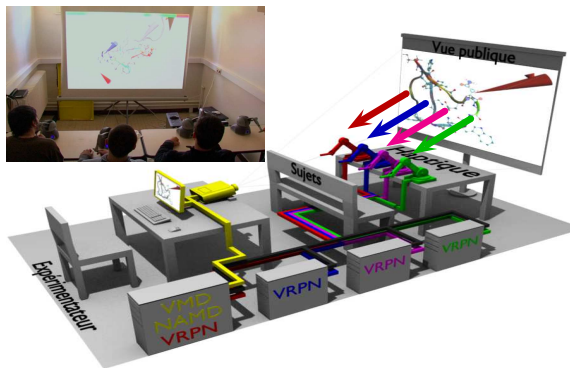


Plate-forme expérimentale

# Organisation logicielle

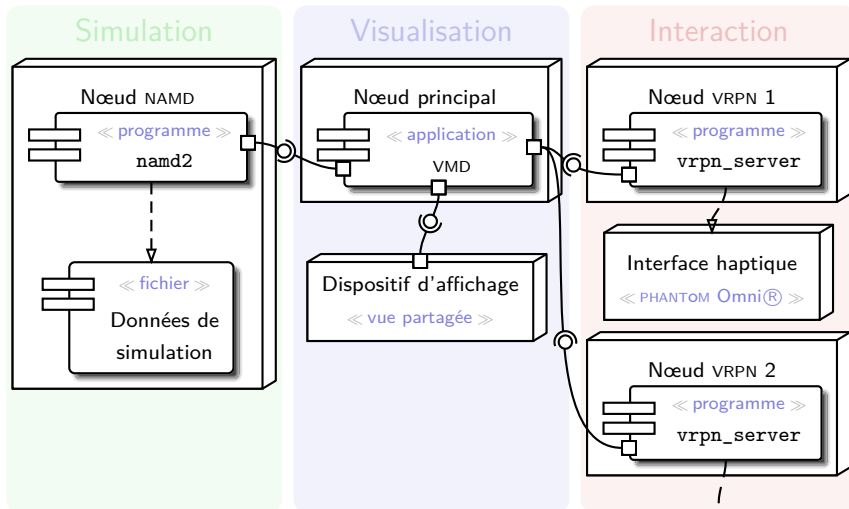


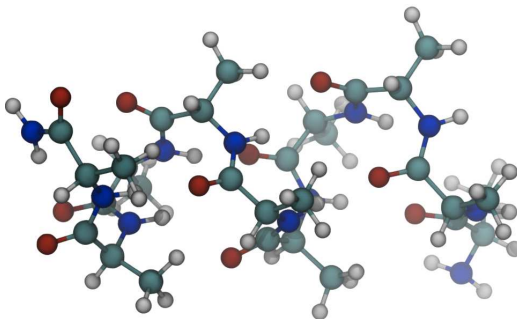
Diagramme de déploiement UML de la plateforme *Shaddock*

# Outils supplémentaires proposés

## Objectif

Faciliter le processus de sélection d'une structure moléculaire dans VMD

- Sélection difficile (nombre d'atomes important, cibles en mouvement, ...)



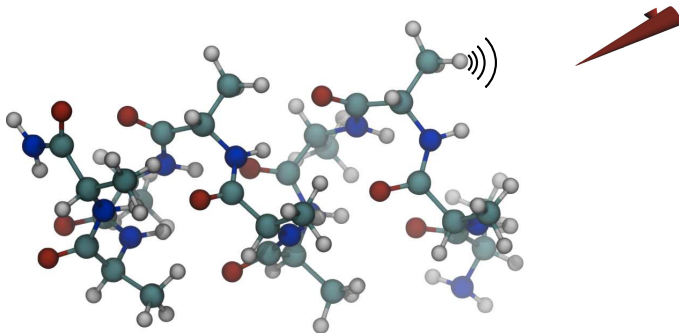
Outil de sélection amélioré

# Outils supplémentaires proposés

## Objectif

Faciliter le processus de sélection d'une structure moléculaire dans VMD

- Attraction haptique sur les structures (champ de potentiel [SIMARD et al. 2009])



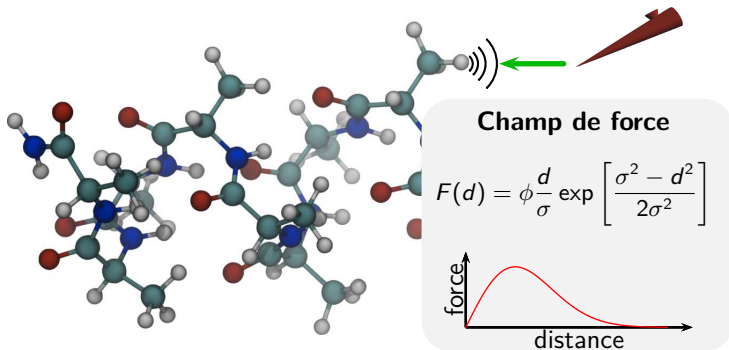
Outil de sélection amélioré

# Outils supplémentaires proposés

## Objectif

Faciliter le processus de sélection d'une structure moléculaire dans VMD

- Attraction haptique sur les structures (champ de potentiel [SIMARD et al. 2009])



Outil de sélection amélioré

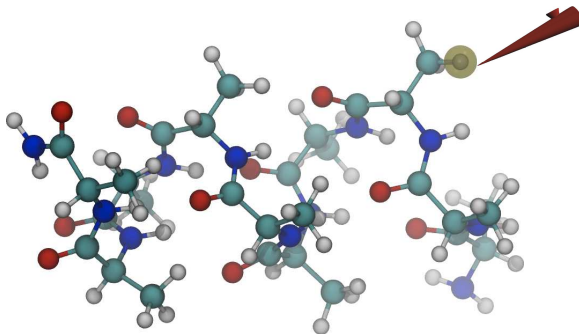


# Outils supplémentaires proposés

## Objectif

Faciliter le processus de sélection d'une structure moléculaire dans VMD

- Possibilité de pointer un atome. . .



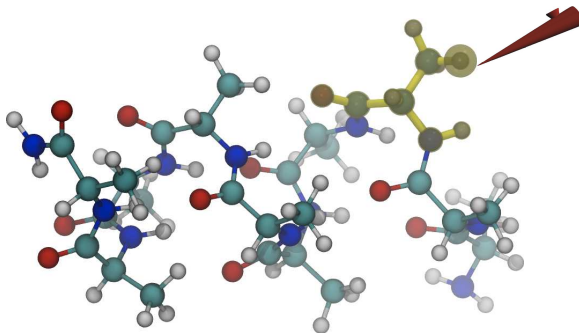
Outil de sélection amélioré

# Outils supplémentaires proposés

## Objectif

Faciliter le processus de sélection d'une structure moléculaire dans VMD

- ... ou un résidue (ou d'autres structures moléculaires)



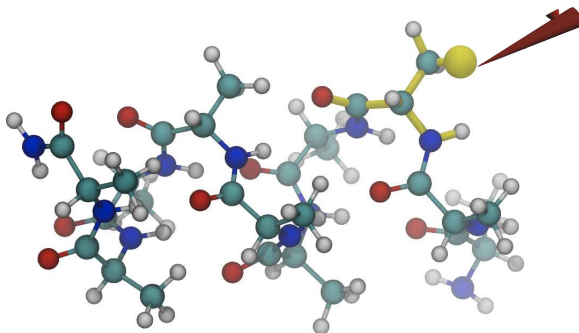
Outil de sélection amélioré

# Outils supplémentaires proposés

## Objectif

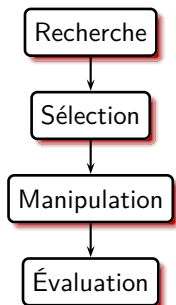
Faciliter le processus de sélection d'une structure moléculaire dans VMD

- Pour enfin le sélectionner



Outil de sélection amélioré

# Primitives Comportementales (PC)

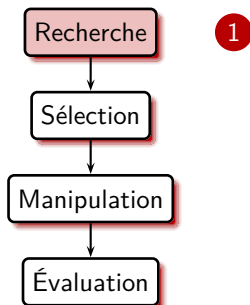


## Manipulation moléculaire

### Description

Basé sur les PC Virtuelles [FUCHS et al. 2006]

# Primitives Comportementales (PC)



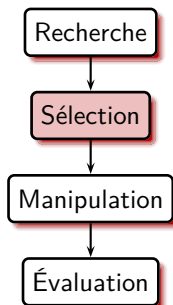
## Description

Basé sur les PC Virtuelles [FUCHS et al. 2006]

**Recherche** Identifier une cible  
(atome, résidue, ...)

## Manipulation moléculaire

# Primitives Comportementales (PC)



2

## Description

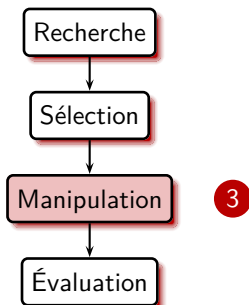
Basé sur les PC Virtuelles [FUCHS et al. 2006]

**Recherche** Identifier une cible  
(atome, résidue, ...)

**Sélection** Sélectionner la  
structure moléculaire  
identifiée

## Manipulation moléculaire

# Primitives Comportementales (PC)



## Manipulation moléculaire

### Description

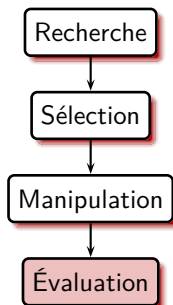
Basé sur les PC Virtuelles [FUCHS et al. 2006]

**Recherche** Identifier une cible (atome, résidue, ...)

**Sélection** Sélectionner la structure moléculaire identifiée

**Manipulation** Déplacer ou orienter la structure moléculaire

# Primitives Comportementales (PC)



4

## Manipulation moléculaire

### Description

Basé sur les PC Virtuelles [FUCHS et al. 2006]

**Recherche** Identifier une cible (atome, résidue, ...)

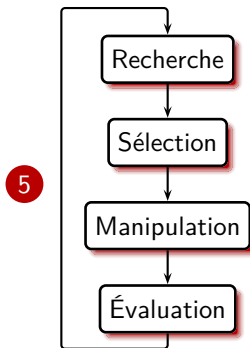
**Sélection** Sélectionner la structure moléculaire identifiée

**Manipulation** Déplacer ou orienter la structure moléculaire

**Évaluation** Évaluer l'équilibre physico-chimique



# Primitives Comportementales (PC)



## Manipulation moléculaire

### Description

Basé sur les PC Virtuelles [FUCHS et al. 2006]

**Recherche** Identifier une cible (atome, résidue, ...)

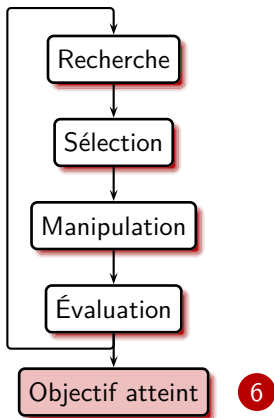
**Sélection** Sélectionner la structure moléculaire identifiée

**Manipulation** Déplacer ou orienter la structure moléculaire

**Évaluation** Évaluer l'équilibre physico-chimique

**Recommencer** Si l'évaluation n'est pas satisfaisante

# Primitives Comportementales (PC)



## Manipulation moléculaire

### Description

Basé sur les PC Virtuelles [FUCHS et al. 2006]

**Recherche** Identifier une cible (atome, résidue, ...)

**Sélection** Sélectionner la structure moléculaire identifiée

**Manipulation** Déplacer ou orienter la structure moléculaire

**Évaluation** Évaluer l'équilibre physico-chimique

**Recommencer** Si l'évaluation n'est pas satisfaisante

# Sommaire

## 1 Introduction

## 2 Plateforme de manipulation moléculaire *Shaddock*

## 3 Caractérisation des approches collaboratives en environnement moléculaire

### ■ Étude 1 – Recherche et sélection collaborative de résidus

- Objectifs
- Présentation de la tâche proposée
- Résultats
- Synthèse

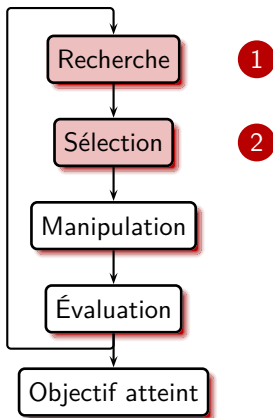
### ■ Étude 2 – Déformation collaborative de molécules

### ■ Étude 3 – Dynamique de groupe

## 4 Communication haptique pour les approches collaboratives

## 5 Conclusion et perspectives

# Primitives Comportementales (PC)



## Manipulation moléculaire

# Objectifs

## Objectif principal

Étudier la contribution et les contraintes de la collaboration dans une tâche de recherche et de sélection de structures moléculaires

## Hypothèses

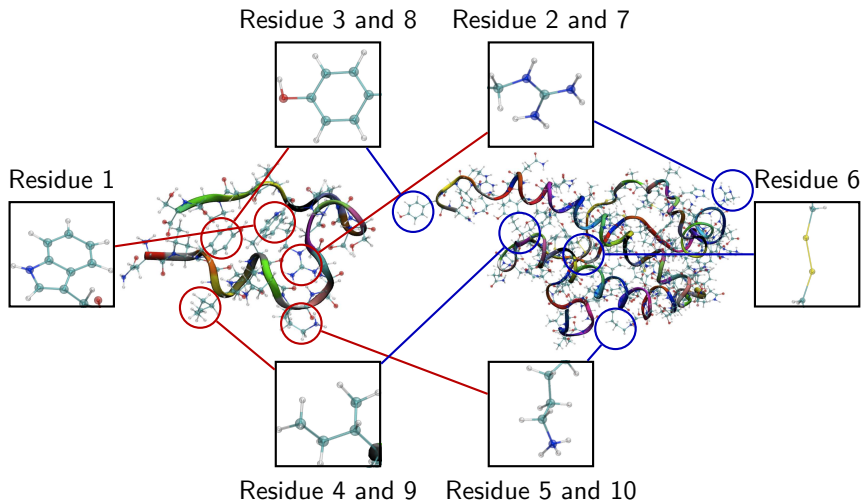
- 1 Amélioration des performances (individuel vs. collaboratif)
- 2 Identifier les stratégies de travail
- 3 Utilisabilité de la plate-forme

## Variables

Nombre de sujets monôme (24 sujets) ou binôme (12 couples)

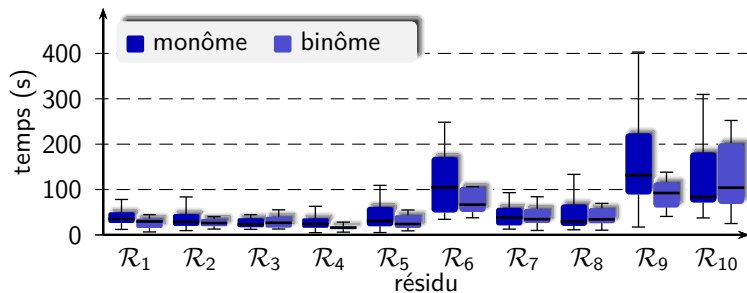
Complexité de la tâche Forme, nature, position, similarités. . .

# Présentation de la tâche proposée



## Répartitions des *residues* sur les molécules (TRP-Cage et Prion)

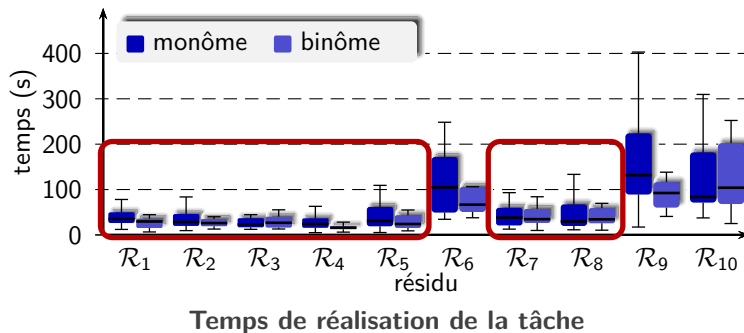
# Amélioration des performances en collaboration



Temps de réalisation de la tâche

## Synthèse

# Amélioration des performances en collaboration

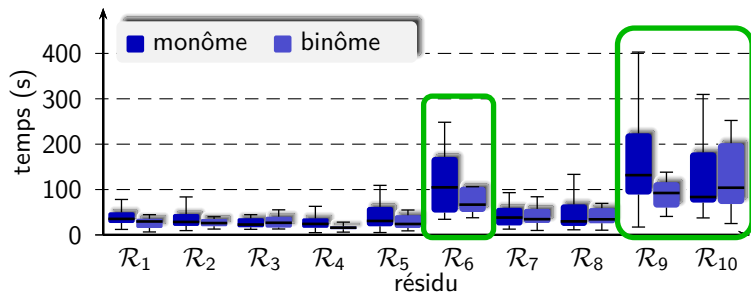


## Synthèse

- Pas d'évolution sur les tâches simples



# Amélioration des performances en collaboration

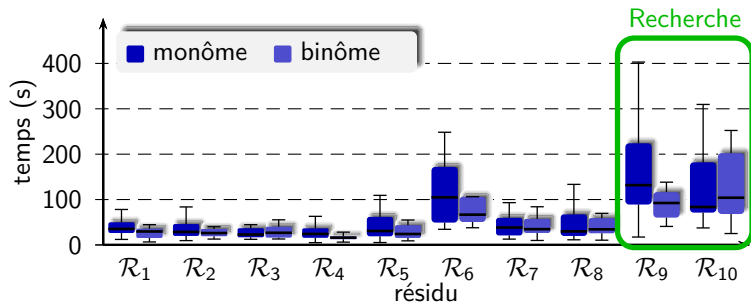


Temps de réalisation de la tâche

## Synthèse

- Pas d'évolution sur les tâches simples
- Une amélioration significative de la collaboration sur les tâches complexes

# Amélioration des performances en collaboration

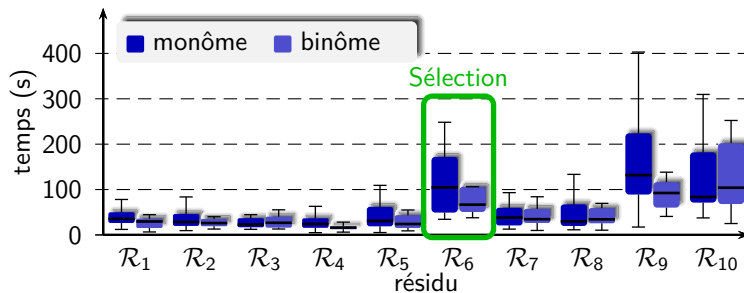


Temps de réalisation de la tâche

## Synthèse

- Pas d'évolution sur les tâches simples
- Une amélioration significative de la collaboration sur les tâches complexes

# Amélioration des performances en collaboration

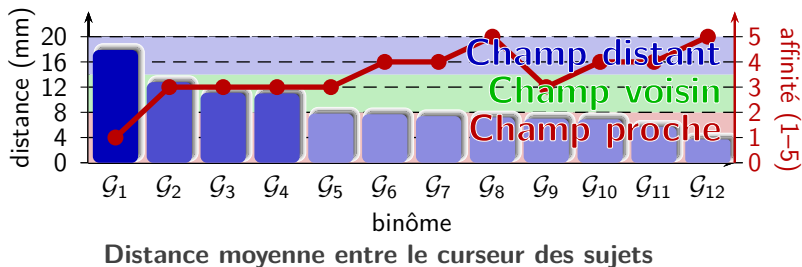


Temps de réalisation de la tâche

## Synthèse

- Pas d'évolution sur les tâches simples
- Une amélioration significative de la collaboration sur les tâches complexes

# Stratégies de travail



## Synthèse

Trois stratégies liées à l'affinité entre les collaborateurs

**Champs distants** Peu de collaboration avec peu de conflits de coordination

**Champs voisins** Bonne collaboration avec conflits de coordination

**Champs proches** Forte collaboration mais conflits de coordination importants

# Synthèse

## Complexité de la tâche

### Résultats

- Amélioration des performances sur les tâches complexes
- Distribution des charges de travail dépendante de la nature de la tâche

### Limites

- Comment définir une tâche *complexe* ?
- La complexité de la tâche influe-t-elle sur les performances ?

## Stratégie de travail

### Résultats

- Trois stratégies différentes
- Meilleurs résultats avec une stratégie en champs voisins

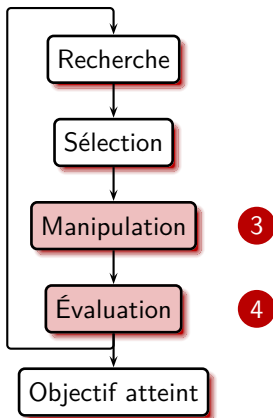
### Limites

- Modification du comportement naturel des groupes
- Conflits de coordination en champs voisins

# Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Plateforme de manipulation moléculaire *Shaddock*
- 3 Caractérisation des approches collaboratives en environnement moléculaire
  - Étude 1 – Recherche et sélection collaborative de résidus
  - Étude 2 – Déformation collaborative de molécules
    - Objectifs
    - Présentation de la tâche proposée
    - Résultats
    - Synthèse
  - Étude 3 – Dynamique de groupe
- 4 Communication haptique pour les approches collaboratives
- 5 Conclusion et perspectives

# Primitives Comportementales (PC)



## Manipulation moléculaire

# Objectifs

## Objectif principal

Quantifier et qualifier les conflits de coordination en fonction de la complexité de la tâche

## Hypothèses

- 1 Amélioration des performances (bimanuel vs. collaboratif)
- 2 La complexité de la tâche influence différemment les performances individuelles et collaboratives

## Variables

Nombre de sujets monôme (12 sujets) ou binôme (12 couples)

Complexité de la molécule 2 molécules (TRP-ZIPPER et TRP-CAGE)

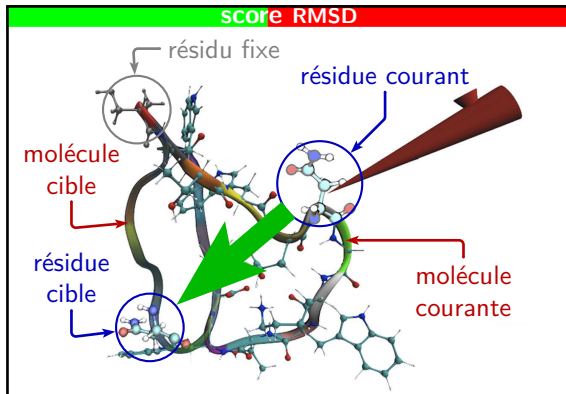
Outil de déformation 2 configuration de déformation (*atom* et *residue*)



# Présentation de la tâche proposée

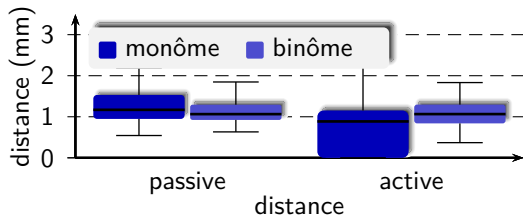
## Scénarios

- 2 niveaux de manipulation
  - Résiduel
  - Atomique
- 4 niveaux de complexité
  - Nombre d'atomes
  - Cassures
  - Champ de force

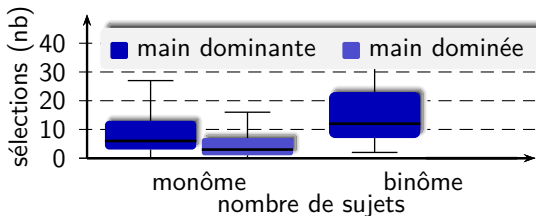


## Tâche de déformation

# Amélioration des performances



Distances passive et active



Nombre de sélections

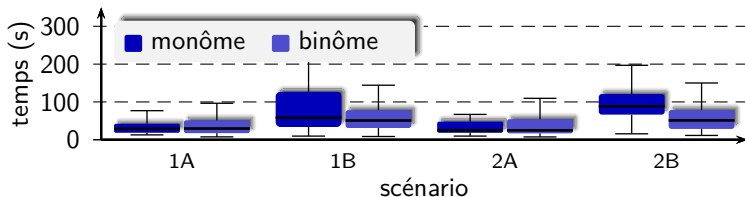
## Synthèse

Manipulation plus efficace en monomanuel

## Synthèse

Meilleure utilisation des ressources disponibles

# Influence de la complexité de la tâche



**Temps de réalisation des scénarios**

Difficulté	Description	Exemple
Simple	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 1 outil est nécessaire</li> <li>– 1 manipulation</li> </ul>	Tâche 1a
Avancé	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 1 outil est suffisant mais 2 sont préférables</li> <li>– 2 manipulations peuvent être coordonnées</li> </ul>	Tâche 2a, 2b
Expert	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 2 outils sont nécessaires</li> <li>– 2 manipulations <b>doivent</b> être coordonnées</li> </ul>	Tâche 1b

# Synthèse

## Charge de travail

### Résultats

- Gestion d'un espace de travail plus grand
- Meilleur rendement des ressources disponibles

### Limites

- Comment répartir équitablement la charge de travail ?

## Conflits de coordination

### Résultats

- Certaines manipulations nécessitent une coordination

### Limites

- La coordination est plus efficace en individuel mais...
  - ...espace de travail restreint
  - ...nombre réduit de tâches élémentaires en parallèle

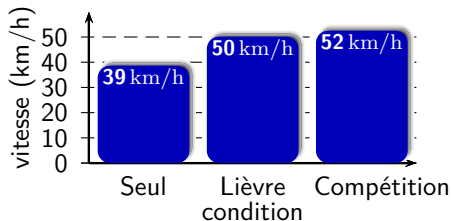
# Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Plateforme de manipulation moléculaire *Shaddock*
- 3 **Caractérisation des approches collaboratives en environnement moléculaire**
  - Étude 1 – Recherche et sélection collaborative de résidus
  - Étude 2 – Déformation collaborative de molécules
  - **Étude 3 – Dynamique de groupe**
    - Notions importantes sur la dynamique de groupe
    - Objectifs
    - Protocole expérimental
    - Résultats
    - Synthèse
- 4 Communication haptique pour les approches collaboratives
- 5 Conclusion et perspectives

# Notions importantes sur la dynamique de groupe

## Facilitation sociale [TRIPLETT 1898]

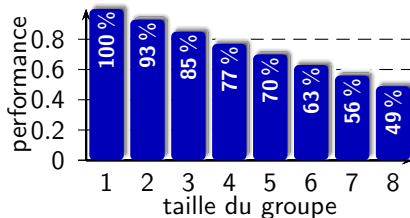
Une action collaborative préparée ou en progression possède une réponse ; la stimulation sociale provoque une augmentation de cette réponse par la perception de collaborateurs effectuant les mêmes mouvements.



Performances de cyclistes

## Paresse sociale [RINGELMANN 1913]

Tendance à fournir un effort moindre lorsqu'une tâche est effectuée en groupe plutôt que de manière individuelle.



Performances au tir à la corde

# Objectifs

## Objectif principal

Observer la dynamique de groupe lors d'une coordination étroitement couplée

## Hypothèses

- 1 Amélioration des performances en fonction du nombre de sujets
- 2 Analyse des rôles dans le groupe
- 3 Influence d'une étape de *brainstorming* sur les performances

## Variables

Nombre de participants 8 couples et 4 groupes

Tâches différentes 2 molécules (tâche faiblement et fortement couplées)

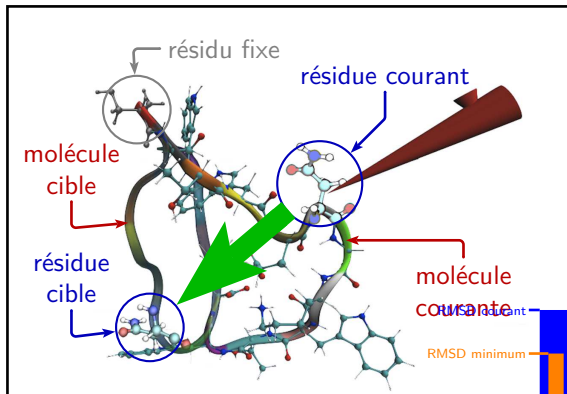
Stratégie de travail Étape de *brainstorming*

# Présentation de la tâche proposée

## Scénarios

2 niveaux de complexité

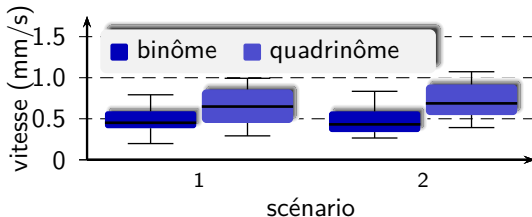
- faiblement couplé
- fortement couplé



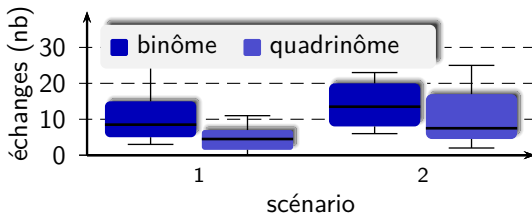
## Tâche de déformation



# Amélioration des performances



Vitesse moyenne



Nombre d'échanges verbaux

## Synthèse

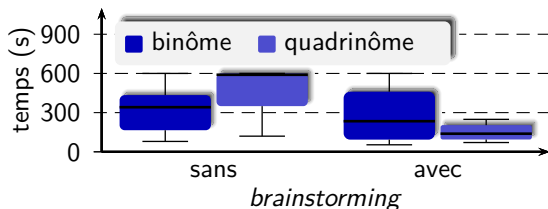
Une vitesse moyenne de travail supérieur : phénomène de facilitation sociale

## Synthèse

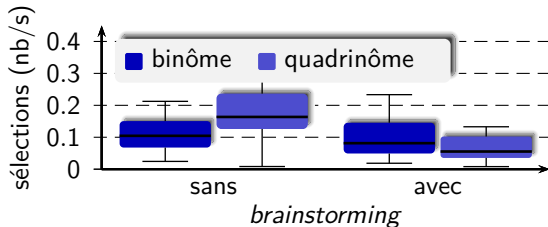
Paresse sociale

- Spécialisation
- Personnalité
- Paresse

# Influence du *brainstorming*



Temps de réalisation



Fréquence des sélections

## Synthèse

Le *brainstorming* permet l'élaboration d'une stratégie : gain en performances

## Synthèse

Meilleur rendement des actions effectuées

# Synthèse

## Paresse sociale

### Résultats

- Déséquilibre important dans la répartition des charges de travail
- Potentiel collaboratif non-exploité au maximum

### Limites

- Comment redonner de l'importance à chaque membre du groupe ?

## Brainstorming

### Résultats

- Amélioration importante des performances
- Conflits de communication pendant le *brainstorming*
- Réduit les conflits de coordination

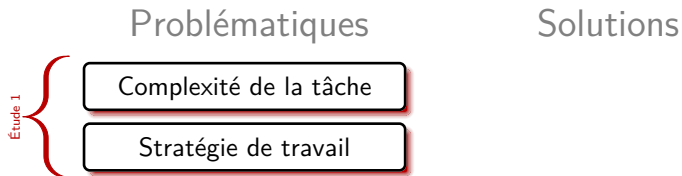
### Limites

- Comment optimiser cette étape ?

# Sommaire

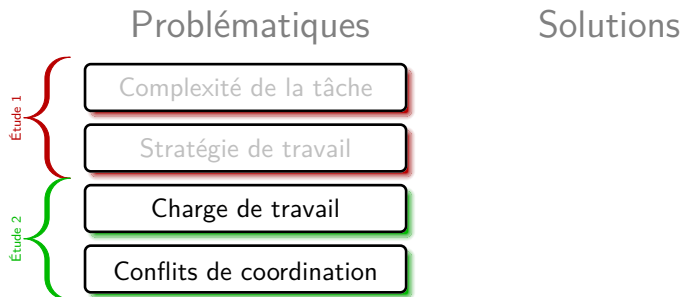
- 1 Introduction
- 2 Plateforme de manipulation moléculaire *Shaddock*
- 3 Caractérisation des approches collaboratives en environnement moléculaire
- 4 Communication haptique pour les approches collaboratives
  - Étude 4 – Assistance haptique et stratégie de travail
    - Synthèse des études effectuées
    - Présentation des solutions proposées
    - Objectifs
    - Résultats
- 5 Conclusion et perspectives

# Synthèse des études effectuées et solutions



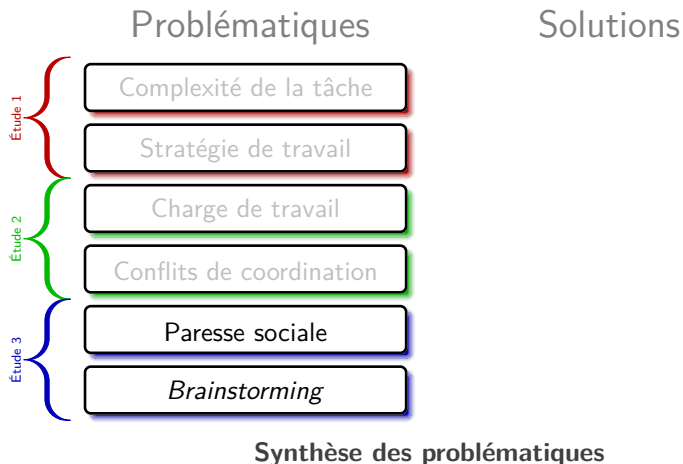
## Synthèse des problématiques

# Synthèse des études effectuées et solutions

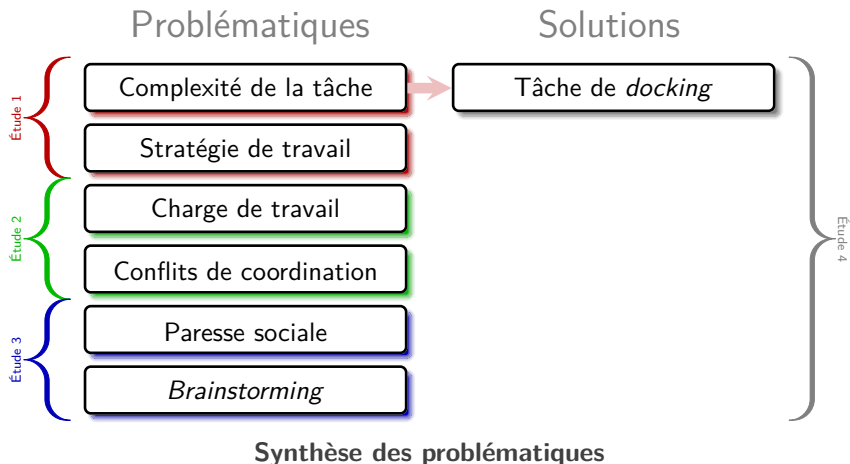


## Synthèse des problématiques

# Synthèse des études effectuées et solutions

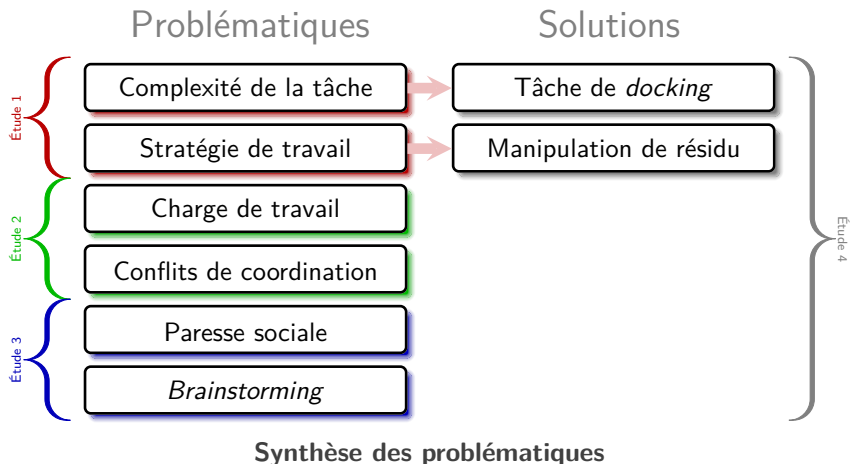


# Synthèse des études effectuées et solutions

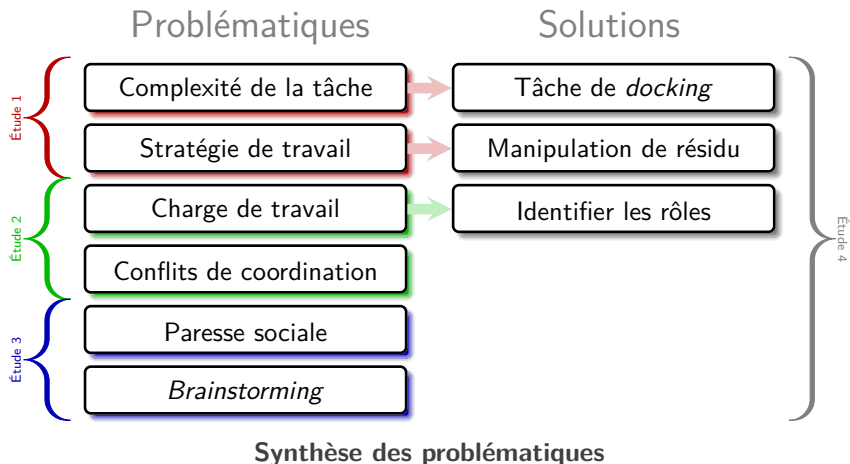




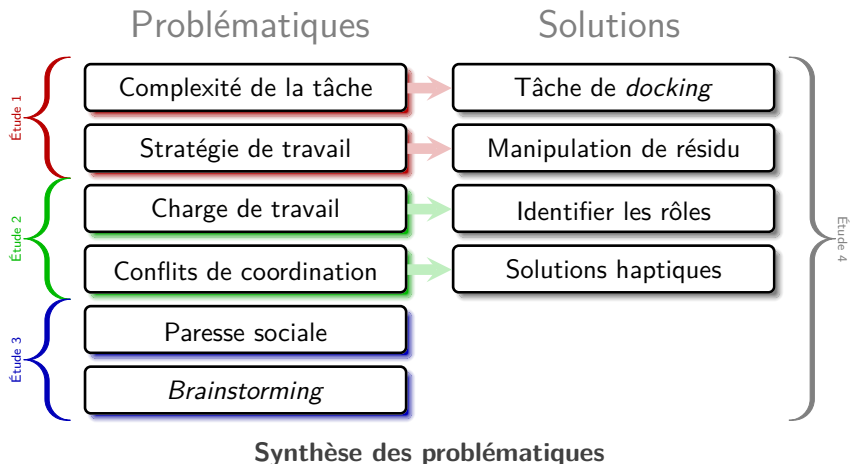
# Synthèse des études effectuées et solutions



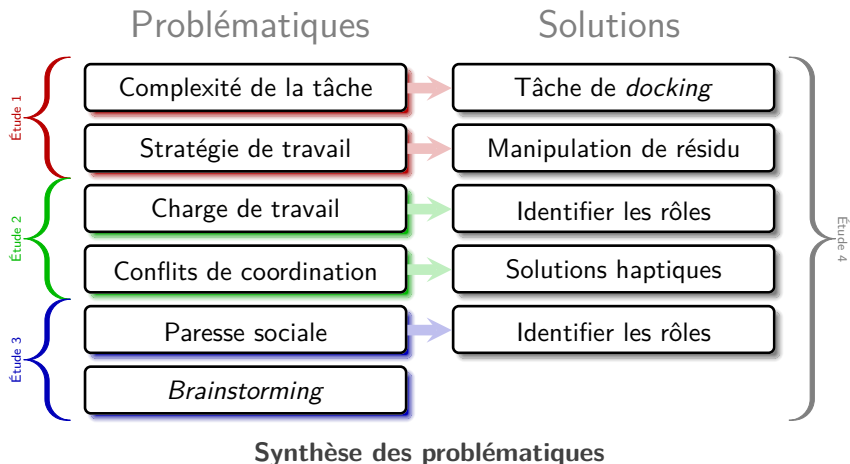
# Synthèse des études effectuées et solutions



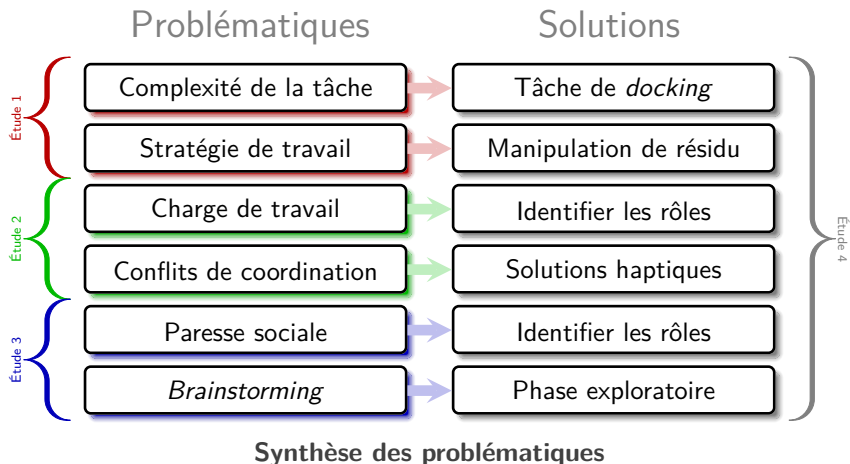
# Synthèse des études effectuées et solutions



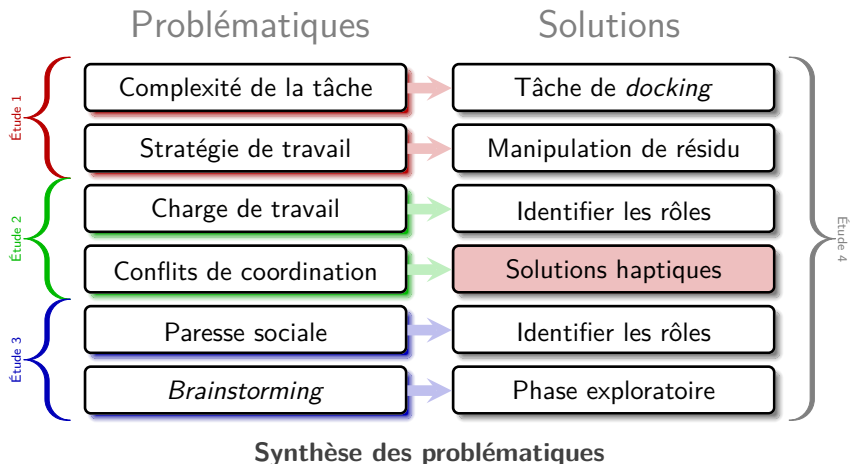
# Synthèse des études effectuées et solutions



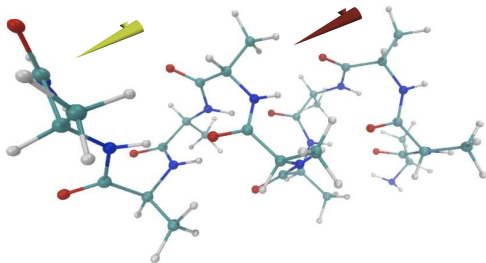
# Synthèse des études effectuées et solutions



# Synthèse des études effectuées et solutions



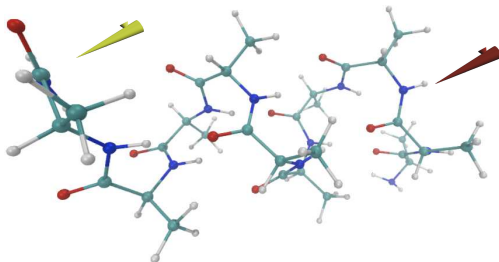
# Présentation des solutions proposées



Outil de désignation

## Étapes de la désignation

# Présentation des solutions proposées



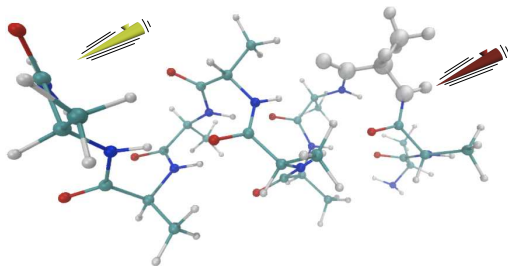
Outil de désignation

## Étapes de la désignation

- 1 Recherche d'une structure à manipuler (coordinateur)



# Présentation des solutions proposées

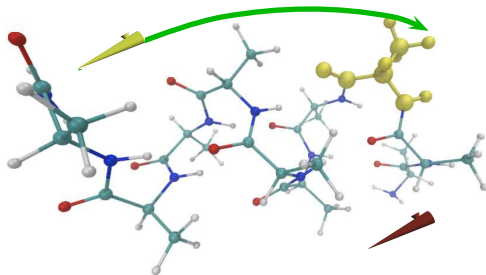


Outil de désignation

## Étapes de la désignation

- 1 Recherche d'une structure à manipuler (coordinateur)
- 2 Désignation de la structure (coordinateur)

# Présentation des solutions proposées

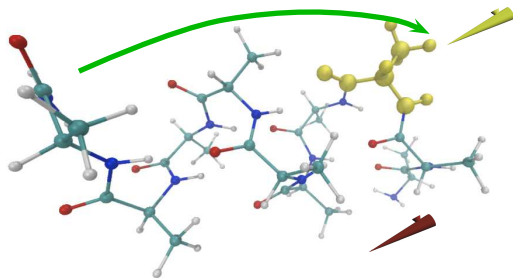


Outil de désignation

## Étapes de la désignation

- 1 Recherche d'une structure à manipuler (coordinateur)
- 2 Désignation de la structure (coordinateur)
- 3 Acceptation par le manipulateur

# Présentation des solutions proposées

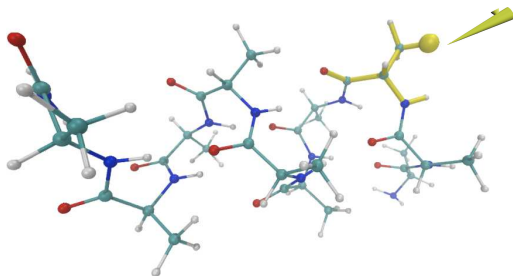


Outil de désignation

## Étapes de la désignation

- 1 Recherche d'une structure à manipuler (coordinateur)
- 2 Désignation de la structure (coordinateur)
- 3 Acceptation par le manipulateur

# Présentation des solutions proposées



Outil de désignation

## Étapes de la désignation

- 1 Recherche d'une structure à manipuler (coordinateur)
- 2 Désignation de la structure (coordinateur)
- 3 Acceptation par le manipulateur
- 4 Sélection par le manipulateur

# Objectifs

## Objectif principal

Proposer et évaluer des outils haptiques pour assister la coordination

## Hypothèses

- 1 Influence de l'outil proposé associé à la configuration
- 2 Influence des propositions sur la communication
- 3 Évaluations des propositions par des bio-informaticiens

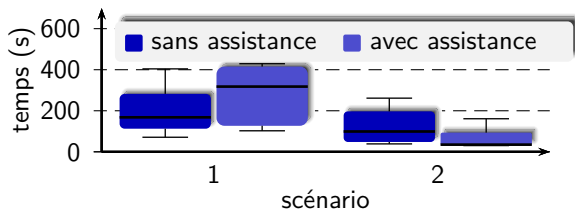
## Variables

Nombre de participants 8 trinômes

Tâches différentes 2 molécules (tâche faiblement et fortement couplée)

Métaphore haptique Avec ou sans assistance

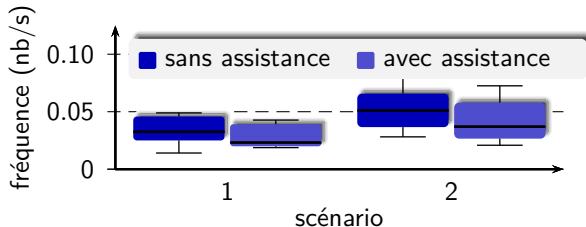
# Efficacité de la collaboration



## Synthèse

Manipulation plus efficace sur le scénario le plus complexe

## Temps pour atteindre le score RMSD minimum

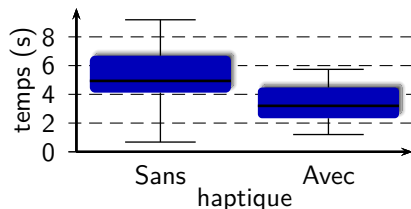


## Synthèse

Meilleur rendement pour l'utilisation des ressources

## Nombre de sélections par seconde effectuées

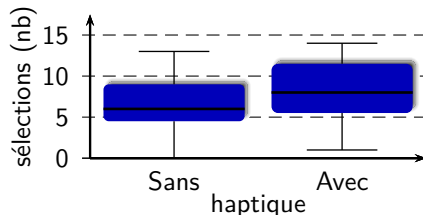
# Amélioration de la communication



## Synthèse

Communication haptique plus rapide que la communication verbale

## Temps d'acceptation d'une désignation



## Synthèse

Meilleur taux d'acceptation pour les désignations du coordinateur

## Nombre de désignations acceptées

# Conclusion

## Plateforme *Shaddock*

- Plateforme validée
- Des améliorations sont encore nécessaires

## Travail collaboratif

- Adapté pour l'appréhension de tâches très complexes
- Nécessité d'améliorer les canaux de communication

## Communication haptique

- Remplace la communication verbale dans certains cas
- Plus efficace et plus rapide



# Perspectives

## Plus loin dans l'étude du travail collaboratif...

- Collaboration distante
- Collaboration multi-experts
- Apprentissage en collaboration

## Comment expérimenter le travail collaboratif ?

- Comment mesurer les conflits de coordination et de communication ?
- Comment définir un protocole expérimental pour le collaboratif ?
- Comment mesure la charge de travail de chaque collaborateur ?

# Publications internationales

## Journaux internationaux avec comité de relecture

GIRARD, Adrien, Mehdi AMMI, **Jean Simard** et Malika AUVRAY (2012a). « Collaborative metaphor for haptic designation in complex 3D environments ». Dans : *Transaction on Haptics*.

**Simard, Jean**, Mehdi AMMI et Malika AUVRAY (2012b). « Collaborative strategies for 3D targets search during the molecular design process ». Dans : *Transaction on Multimedia Computing, Communications and Applications*.

**Simard, Jean**, Mehdi AMMI et Anaïs MAYEUR (2012c). « Comparative study of the bimanual and collaborative modes for closely coupled manipulations ». Dans : *International Journal of Human-Computer Studies*.

**Simard, Jean** et Mehdi AMMI (11/2011a). « Haptic interpersonal communication : gesture coordination for collaborative virtual assembly task ». Dans : *Springer on Virtual Reality*, pages 1–14.

## Journaux internationaux avec comité de relecture

GIRARD, Adrien, Mehdi AMMI, **Jean Simard** et Malika AUVRAY (2012b). « Improvement of collaborative selection in 3D complex environments ». Dans : *Haptics Symposium*.

**Simard, Jean** et Mehdi AMMI (06/2012a). « Haptic communication tools for collaborative deformation of molecules ». Dans : *Proceedings of Eurohaptics*.

**Simard, Jean**, Mehdi AMMI et Anaïs MAYEUR (2012d). « How to improve group performances on collocated synchronous manipulation tasks ? ». Dans : *International Symposium on Haptic Audio-Visual Environments and Games (IEEE HAVE)*.

**Simard, Jean**, Mehdi AMMI et Anaïs MAYEUR (09/2011b). « How to improve group performances on collocated synchronous manipulation tasks ? ». Dans : *Proceedings of Joint Virtual Reality Conference (JVRC – EuroVR-EGVE)*.

**Simard, Jean** et Mehdi AMMI (09/2010a). « Gesture coordination in collaborative tasks through augmented haptic feedthrough ». Dans : *Proceedings of Joint Virtual Reality Conference (JVRC)*, pages 43–50.

**Simard, Jean**, Mehdi AMMI et Malika AUVRAY (11/2010b). « Closely coupled collaboration for search tasks ». Dans : *Proceedings of the 17th ACM symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST)*, pages 181–182.

**Simard, Jean**, Mehdi AMMI et Malika AUVRAY (09/2010c). « Study of synchronous and collocated collaboration for search tasks ». Dans : *Proceedings of Joint Virtual Reality Conference (JVRC)*, pages 51–54.

**Simard, Jean**, Mehdi AMMI, Flavien PICON et Patrick BOURDOT (05/2009). « Potential field approach for haptic selection ». Dans : *Proceedings of Graphics Interface (GI)*, pages 203–206.

# Questions

Merci pour votre attention