

# Saisie robotique pluri-digitale d'objets en perception mono-point de vue RGB-D par méthodes neurales

*Soutenance de Projet de Fin d'Étude*

Le 5 septembre 2024 à Brest.

Victor BELLOT

TUTEUR ENTREPRISE : **BORIS MEDEN**

TUTEUR ÉCOLE : **GILLES LE CHENADEC**



# 1 Introduction

## Présentation de l'entreprise



# Présentation de l'entreprise

Le CEA s'appuie sur quatre directions *opérationnelles* :

**DAM** La Direction des applications militaires

**DES** La Direction des énergies

**DRT** La Direction de la recherche technologique

**DRF** La Direction de la recherche fondamentale



# Présentation de l'entreprise

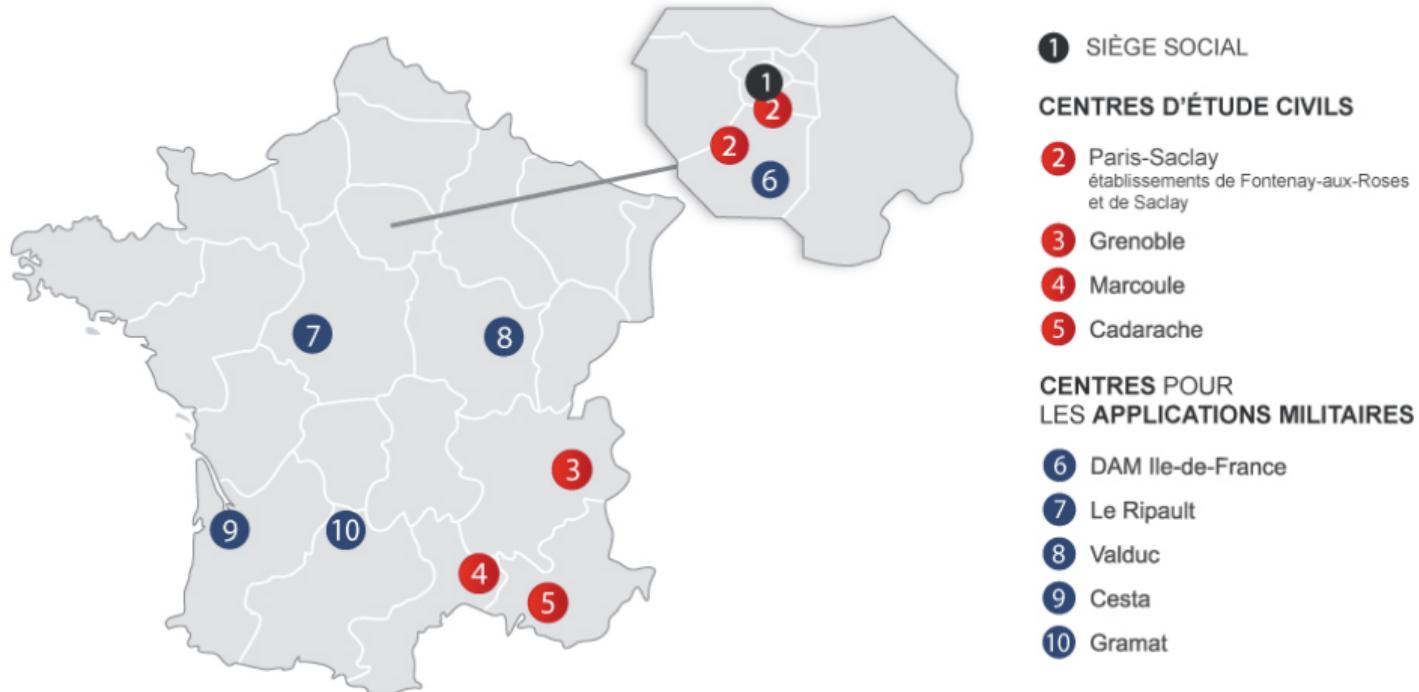


Figure 1: Les sites du CEA en France

# 1 Introduction

## ■ Contexte du stage



## Contexte du stage

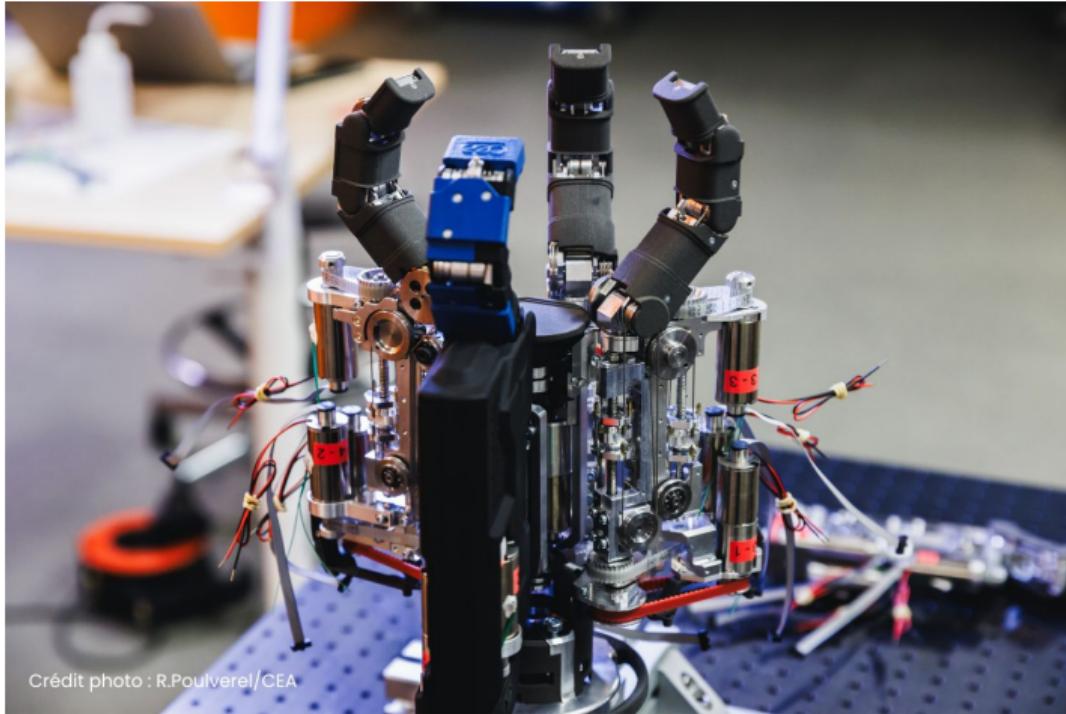


Figure 2: Préhenseur 4 doigts du projet *TraceBot*





# Contexte du stage

## Cahier des charges

- saisir un objet de géométrie inconnue
- percevoir la scène depuis un point de vue d'une caméra RGB-D
- développer une méthode générale pour les préhenseurs *dextres*
- être en mesure de générer une préhension en quelques secondes



# Contexte du stage

## Cahier des charges

- saisir un objet de géométrie inconnue
- percevoir la scène depuis un point de vue d'une caméra RGB-D
- développer une méthode générale pour les préhenseurs *dextres*
- être en mesure de générer une préhension en quelques secondes

## Ce stage ne couvre pas

- la manipulation d'objet
- l'utilisation des capteurs tactiles et des retours d'efforts du préhenseur



# Contexte du stage

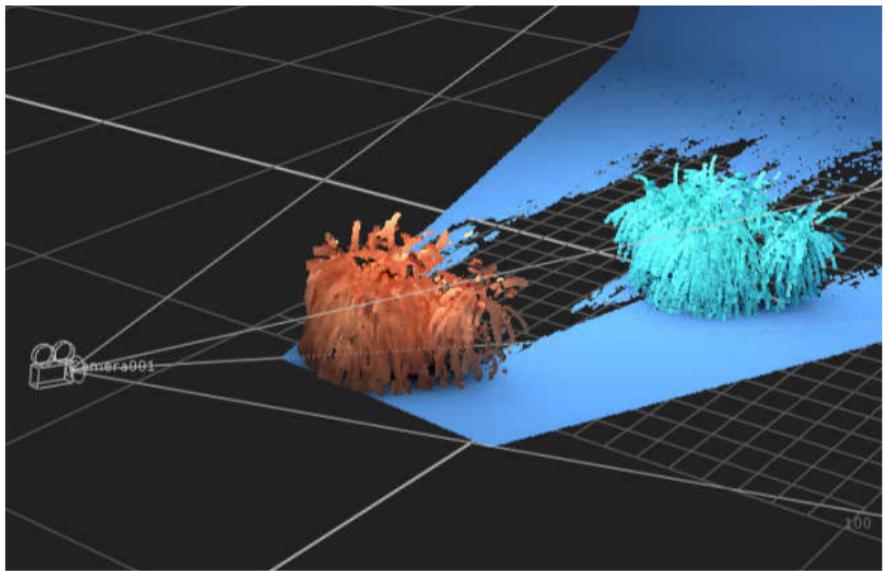


Figure 3: Nuage de points d'une caméra profondeur



Figure 4: Main anthropomorphe *Shadow*

# 2. État de l'art

## Fermeture de force



# Fermeture de force

## Objectifs

- choisir des points de contact à la surface de l'objet
- répartir les efforts du préhenseur en ces points
- assurer des résultantes en force et en moment nulles

## Hypothèses

- les contacts entre le préhenseur et l'objet sont ponctuels et rigides
- leur frottement statique suit la loi de Coulomb



## Fermeture de force

D'après le Principe Fondamental de la Statique, appliquer les forces  $\mathbf{f}_1, \dots, \mathbf{f}_n$  aux points de contact  $c_1, \dots, c_n$  stabilise l'objet si :

$$G \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{f}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{f}_n \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \mathbf{F}_e \\ \mathbf{M}_e \end{bmatrix} \quad \text{avec} \quad G = \begin{bmatrix} I_3 & \dots & I_3 \\ c_1 \wedge & \dots & c_n \wedge \end{bmatrix} \quad (1)$$

sous la contrainte que les forces  $\mathbf{f}_1, \dots, \mathbf{f}_n$  satisfassent la condition d'adhérence.

# 2 État de l'art

## DexGraspNet



# DexGraspNet

## Méthode

- traduire la génération de saisie en un problème d'optimisation énergétique
- faire *converger* le préhenseur depuis une pose éloignée de l'objet

## Hypothèses

- contacts quasi sans frictions
- répartition des forces uniforme
- absence d'effort extérieur

$$\text{Minimiser} \quad \|G\mathcal{N}\|_2 + E_{\text{distance}} + E_{\text{pénétration}} + E_{\text{auto-pénétration}} + E_{\text{articulation}} \quad (2)$$



# DexGraspNet

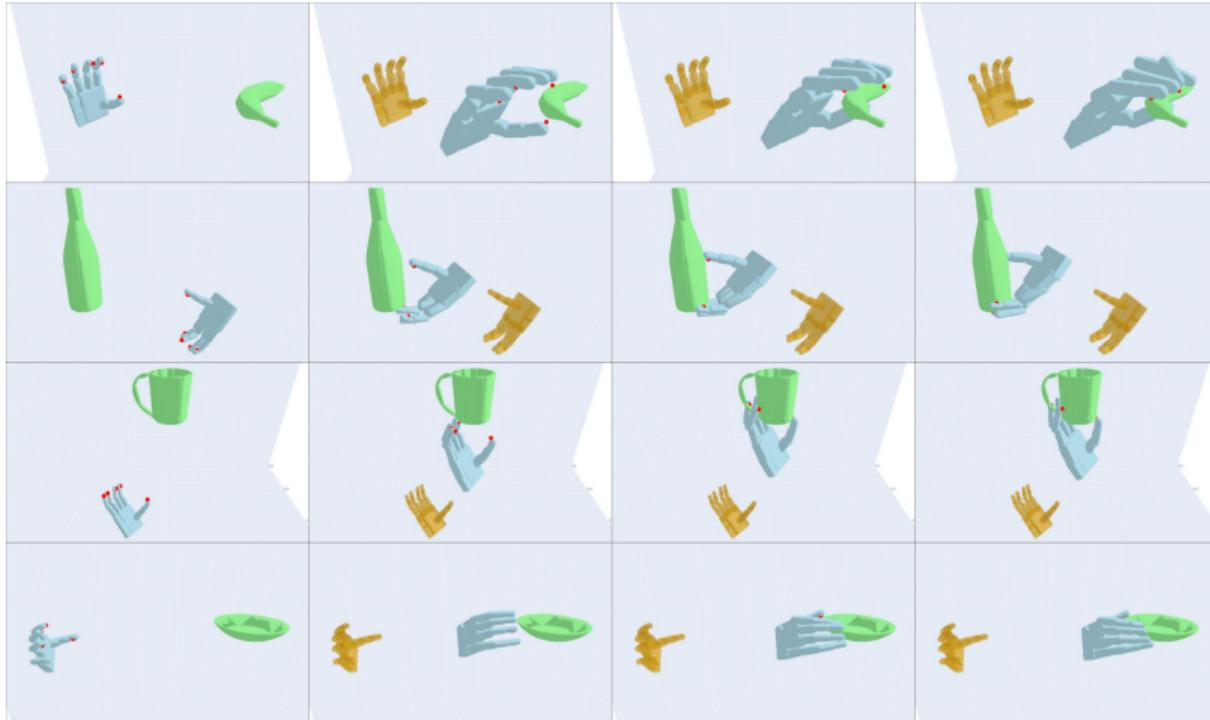


Figure 5: Convergence DexGraspNet sur 4 objets





# DexGraspNet

## Points forts

- optimise la fermeture de force
- génère une grande variété de préhension
- fonctionne pour n'importe quel préhenseur

## Limites

- prend plus d'une minute pour générer une saisie
- suppose le modèle 3D de l'objet connu
- est très dépendant du choix des points de contact

# 2 État de l'art

## GenDexGrasp



# GenDexGrasp

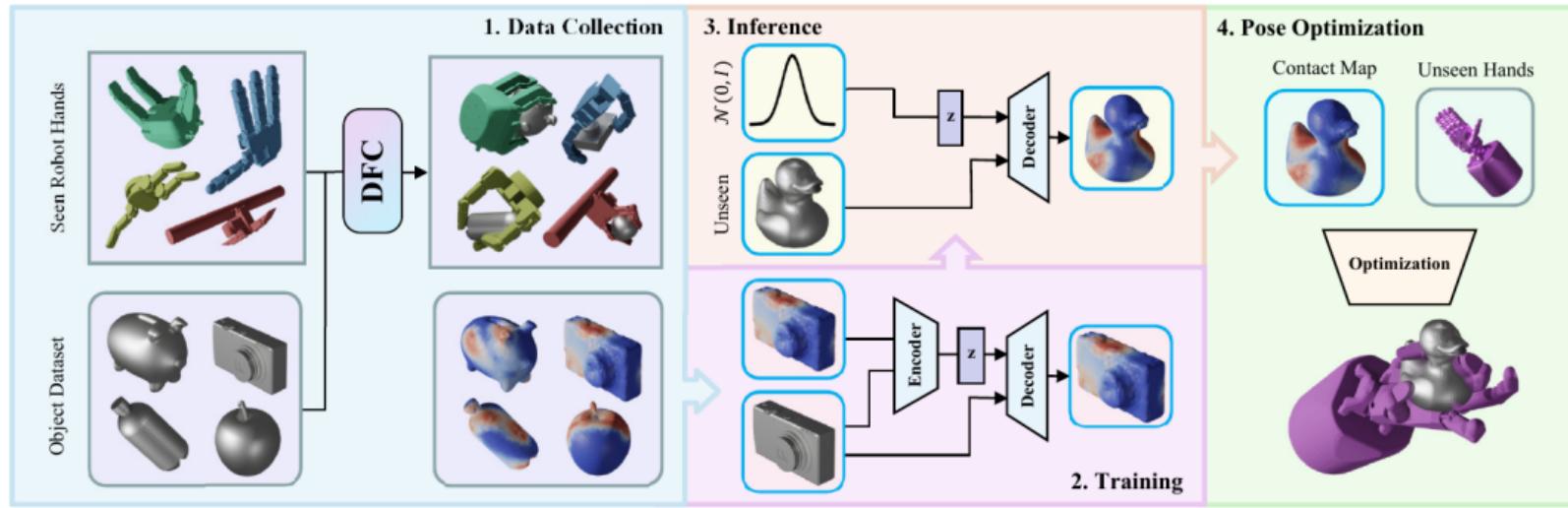


Figure 6: Procédure **GenDexGrasp** de génération de saisie



# GenDexGrasp

## Points forts

- généralise une base de donnée de préhension
- infère une carte de contact rapidement
- n'utilise pas de points de contact

## Limites

- n'assure pas de fermeture de force
- prétend être indépendant du préhenseur
- ne peut pas être adapté en nuage de points partiel

# 2 État de l'art

## Contact-GraspNet



# Contact-GraspNet

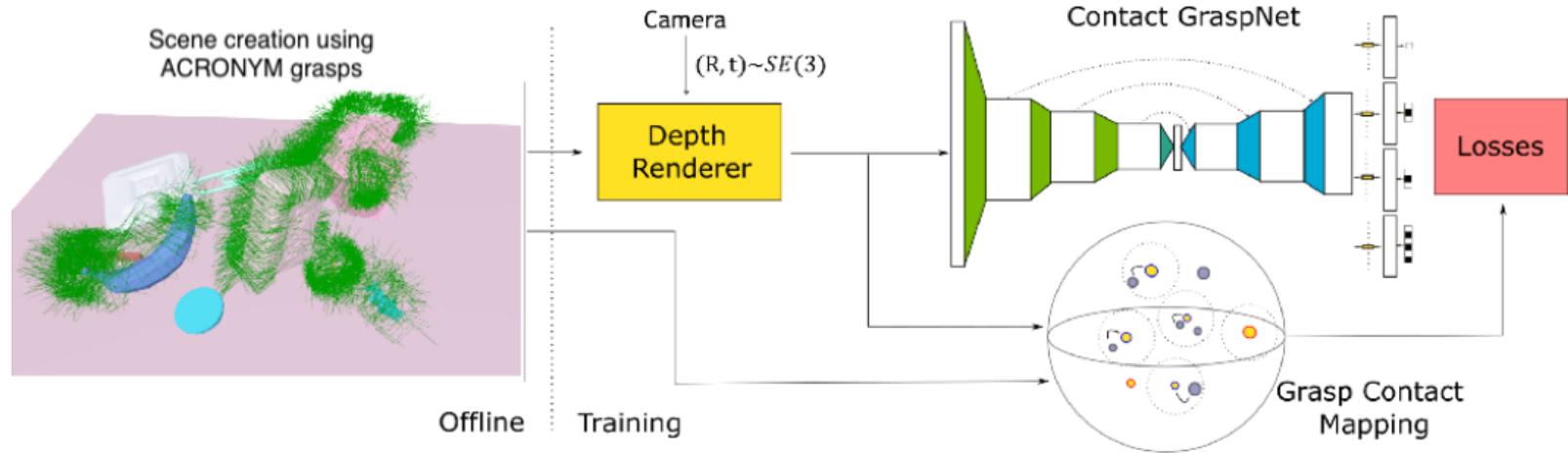


Figure 7: Procédure **Contact-GraspNet** de génération de saisie



# Contact-GraspNet

## Points forts

- se satisfait d'une perception en nuage de points partiel
- propose différentes alternatives sur toute la surface de l'objet
- apprend l'épaisseur des objets

## Limites

- génère des préhensions en pince

# 3 Méthode IronMan



# IronMan

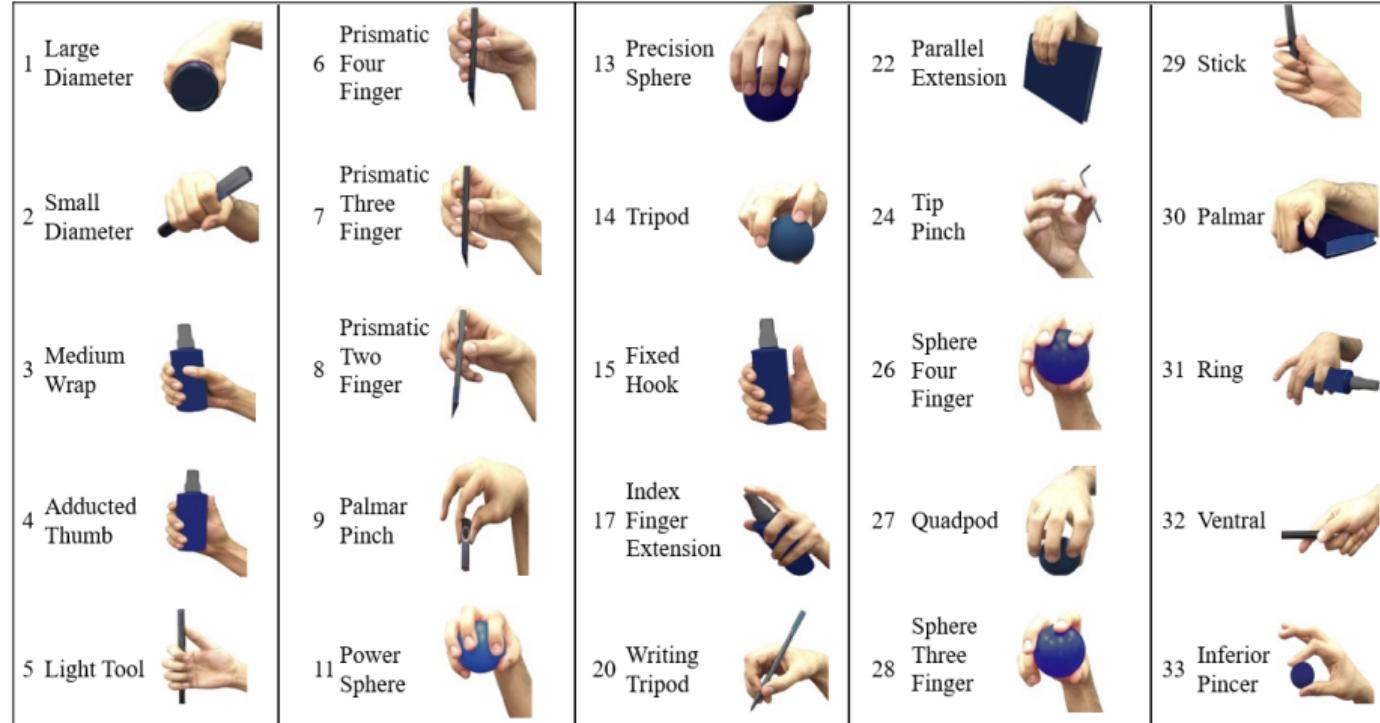


Figure 8: La taxonomie des préhensions humaines





# IronMan

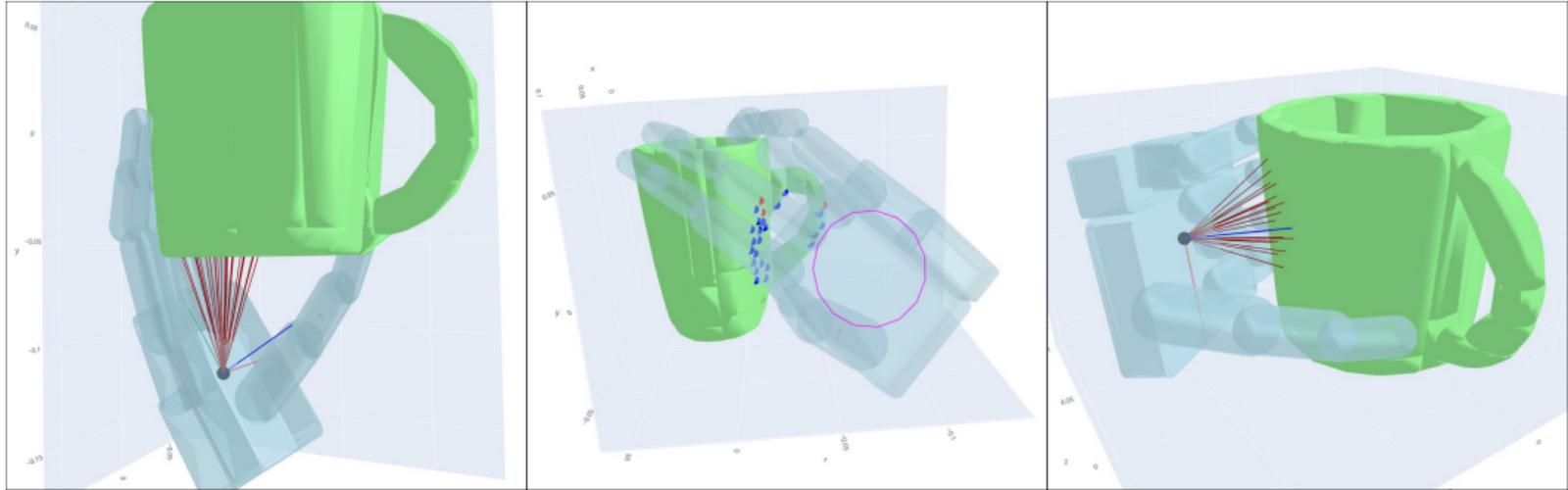


Figure 9: Associations entre les préhensions et les points de l'objet



# IronMan

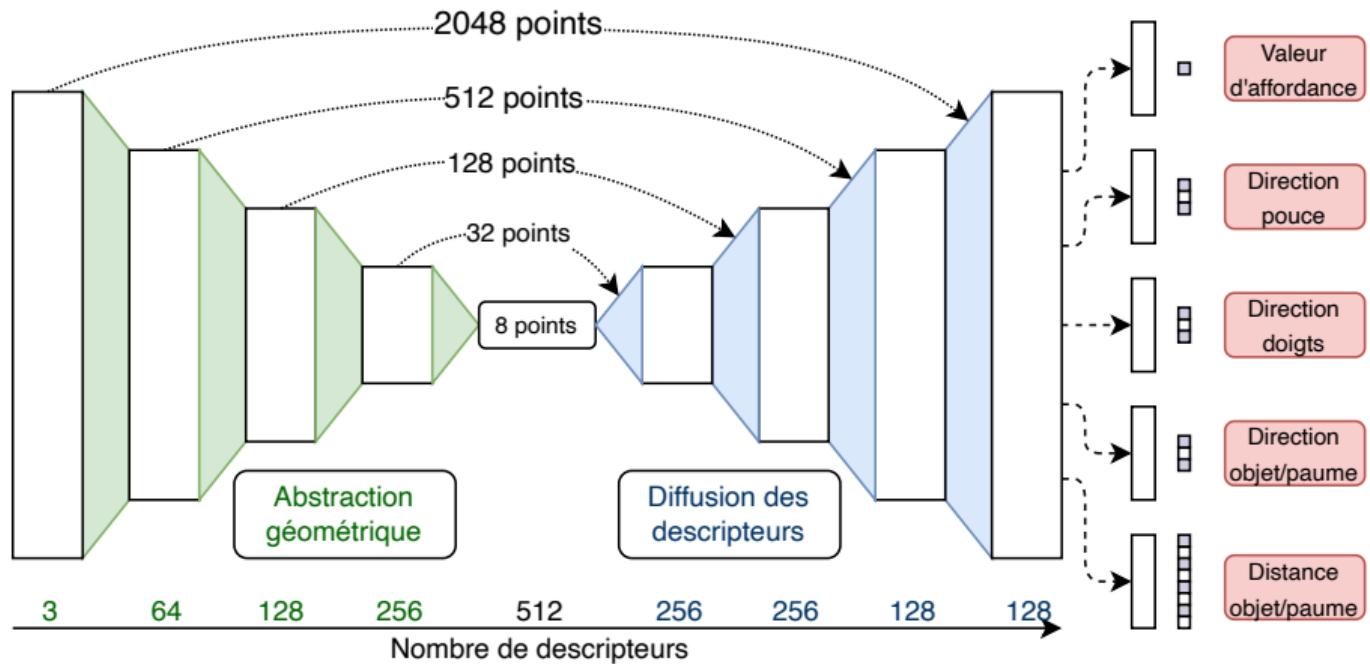


Figure 10: Architecture du modèle IronMan



# IronMan

L'erreur liée à la prédiction du champ de valeurs d'affordances vaut :

$$\mathcal{L}_{\text{affordance}} = - \sum_{c \in \mathcal{C}} \frac{1}{2n_{s_c}} [s_c \log(\hat{s}_c) + (1 - s_c) \log(1 - \hat{s}_c)] \quad (3)$$

L'erreur liée à la prédiction de l'orientation de la paume correspond à l'écart angulaire entre les rotations  $\hat{\mathcal{R}}$  et  $\mathcal{R}$ .

L'erreur liée à la prédiction de la direction objet/paume correspond à la distance entre les vecteurs unitaires  $\hat{t}$  et  $t$ . La distance objet/paume est apprise comme un problème de classification parmi 8 distances.

# 3 ■ Méthode Résultats



# Résultats

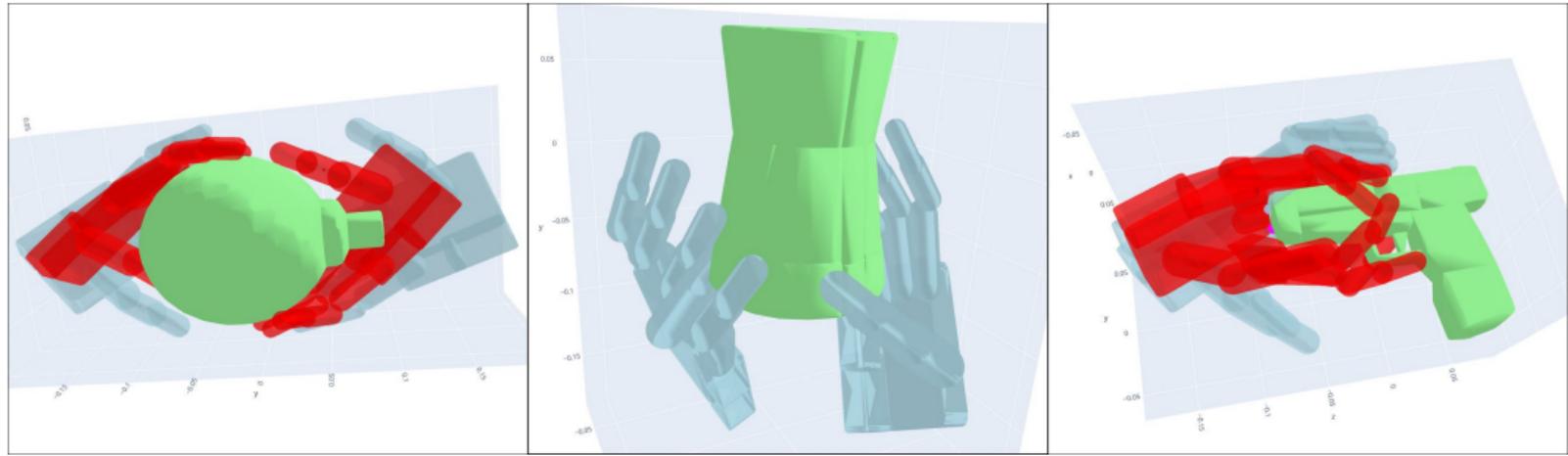


Figure 11: Prédictions de paume IronMan



# Résultats

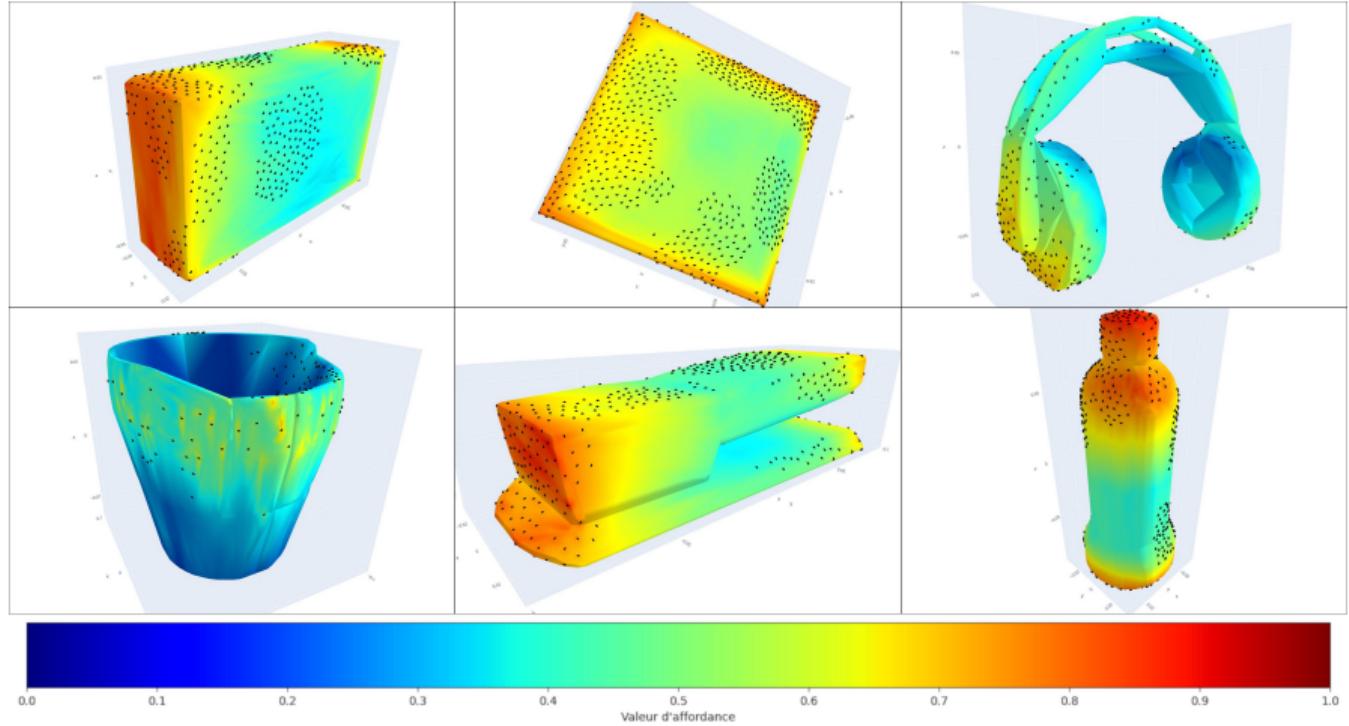


Figure 12: Cartes d'affordances IronMan



# Résultats



Figure 13: Fermeture initialisée par IronMan



# Résultats

## Points forts

- généralise **Contact-GraspNet** aux préhenseurs pluri-digitaux
- inférence rapide sur nuage de points partiel
- construit une compréhension géométrique de la scène

## Limites

- nécessite une convergence finale

# 4. Conclusion



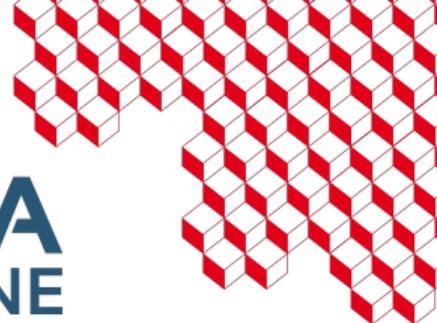
# Conclusion

## Contributions

- analyse et critique de l'état de l'art
- développement de **IronMan**

## Travaux Futurs

- étendre les descripteurs géométriques *PointNet++* avec *DINOv2*
- étudier la fermeture sur nuage de points partiel
- tester la méthode sur un robot réel



Merci pour votre attention !