

# Commande par vision

---

INTRODUCTION

[JACQUES.GANGLOFF@UNISTRA.FR](mailto:JACQUES.GANGLOFF@UNISTRA.FR)

# Plan du cours

---

Introduction

Exploitation de l'information visuelle

Estimation de la mesure

Architectures de commande

Exemples

# Plan de l'introduction

---

Définitions et historique

Classification des asservissements visuels

Exemples d'asservissements visuels

Bibliographie

# Définitions et historique

## Définitions

---

### *Capteur extéroceptif*

- Capteur capable d'effectuer des mesures sur l'environnement d'un manipulateur.
- Exemples :
  - Caméra,
  - Capteur à ultra-son,
  - Télémètre LASER, ...

### *Asservissement visuel (visual servoing)*

- Asservissement d'un robot où les grandeurs asservies sont extraites d'une ou de plusieurs images fournies par une ou plusieurs caméras fixant une zone de l'environnement du robot par rapport à laquelle une tâche doit être effectuée.

# Définitions et historique

## Historique

---

### *1973, Shirai et Inoue*

- Tâche de saisie d'un objet cubique
- La caméra est fixe et observe la scène
- Période de l'asservissement : 10s

### *1979, Hill et Parks*

- Tâche de suivi, de saisie et de déplacement par rapport à une scène
- Projection d'un marqueur lumineux pour reconstruire la profondeur et l'orientation
- Étude des effets dynamiques

# Définitions et historique

## Historique

---

### *1979, Prajoux*

- Utilisation d'un observateur pour anticiper le mouvement de la cible
- Tâche de suivi de cible à 2 degrés de liberté
- Temps d'établissement de 1 s

### *1984, Weiss*

- Premier asservissement visuel 2D

### *1990, Venkatesan et Archibald*

- Projection de marqueurs lumineux à l'aide de 2 scanners LASER
- Commande par vision suivant 5 degrés de liberté
- Bande passante de la boucle fermée : 4.5 Hz

# Définitions et historique

## Historique

---

### *1991, Papanikolopoulos*

- Estimation de ma mesure par flot optique
- Tâche de suivi de cible

### *1992, Espiau, Chaumette et Rives*

- Formalisation de la commande 2D par l'utilisation de la notion de fonction de tâche
- Preuve de stabilité
- Validation expérimentale : tâche de suivi de cible

### *1996, Wilson*

- Asservissement 3D, filtrage de Kalman de la mesure
- Tâche de suivi de cible à 5 degrés de liberté
- Fréquence de l'asservissement : 60 Hz

# Définitions et historique

## Historique

---

### *1996, Corke*

- Prise en compte du modèle dynamique du manipulateur pour la synthèse du correcteur
- Tâche de suivi de cible à 2 degrés de liberté
- Fréquence de l'asservissement : 60 Hz

### *1998, Gangloff et al.*

- Modèle dynamique d'un asservissement visuel à 6 DDL
- Asservissement visuel à 120 Hz d'un robot à 6 DDL
- Tâche de suivi de cible

### *1999, Malis et Chaumette*

- Asservissement visuel 2D 1/2
- Tâche de suivi de cible

# Définitions et historique

## Historique

---

### *1999, Nakabo*

- Première utilisation d'un vision chip
- Tâche de suivi de cible avec une caméra orientable (2 degrés de liberté).
- Asservissement visuel à 1000 Hz

### *2005, Ginhoux et al.*

- Asservissements visuels dynamiques pour le médical
- Boucle de vision à 500Hz
- Commande répétitive pour le suivi de cœur battant

# Classification

---

En fonction de la position de(s) caméra(s)

En fonction du type de commande

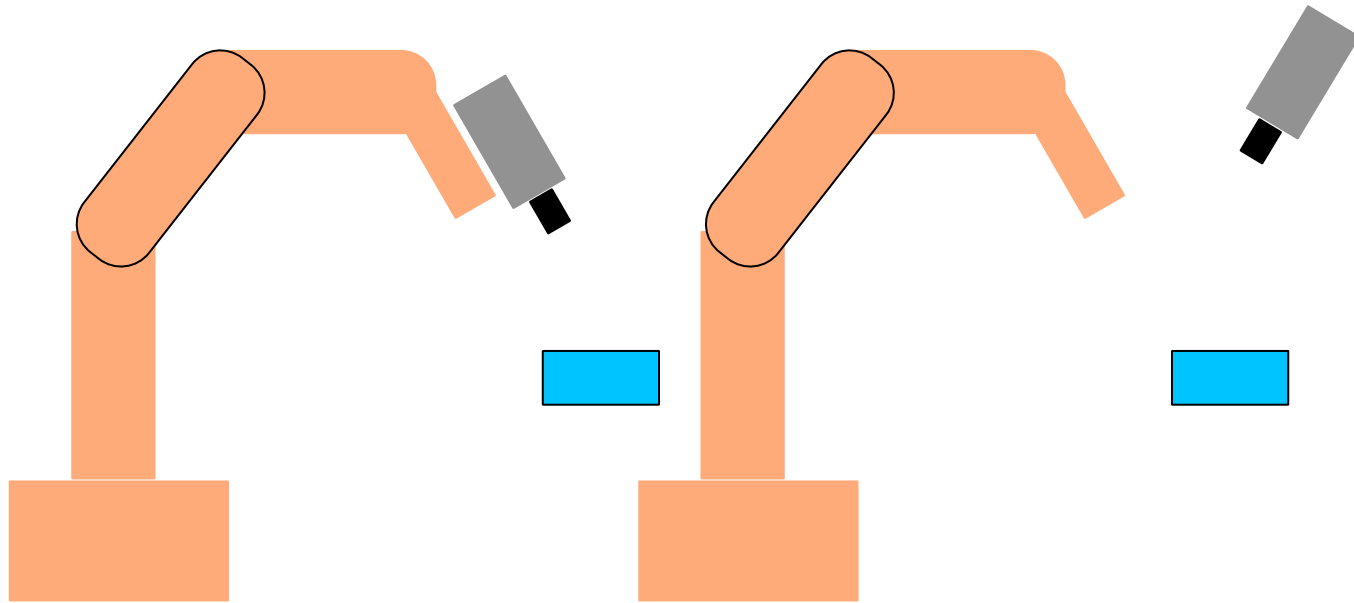
En fonction du type de mesure

En fonction de la rapidité

# Classification

En fonction de la position de la (des) caméra(s)

---

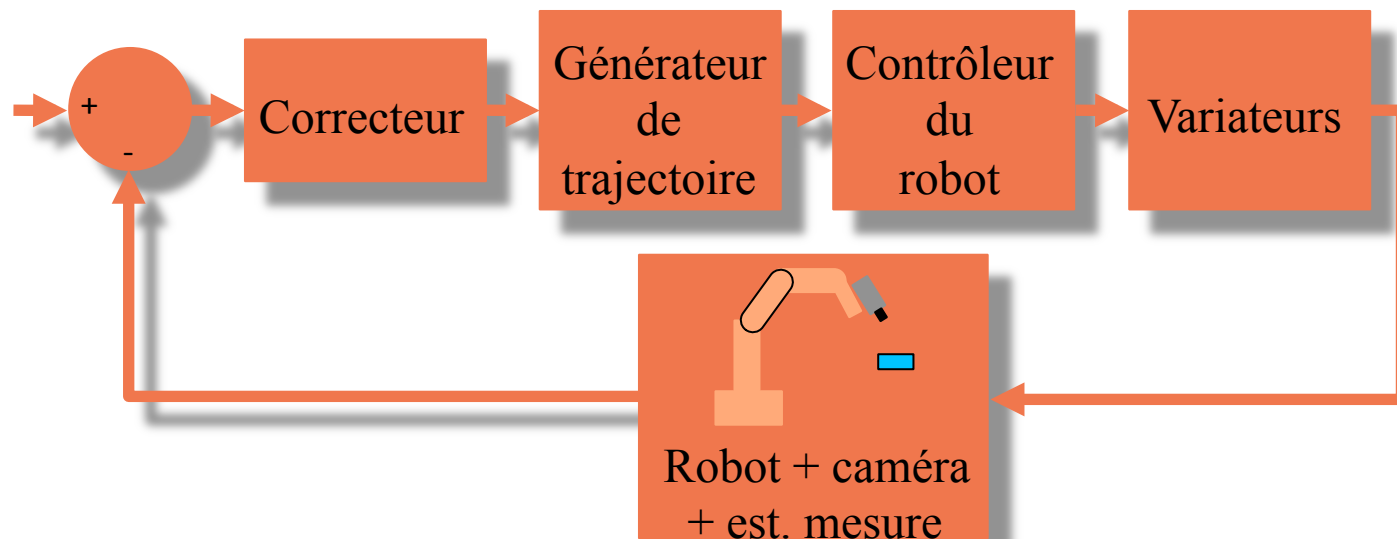


Configuration caméra embarquée (*eye in hand*)

Configuration caméra déportée (*eye to hand*)

# Classification

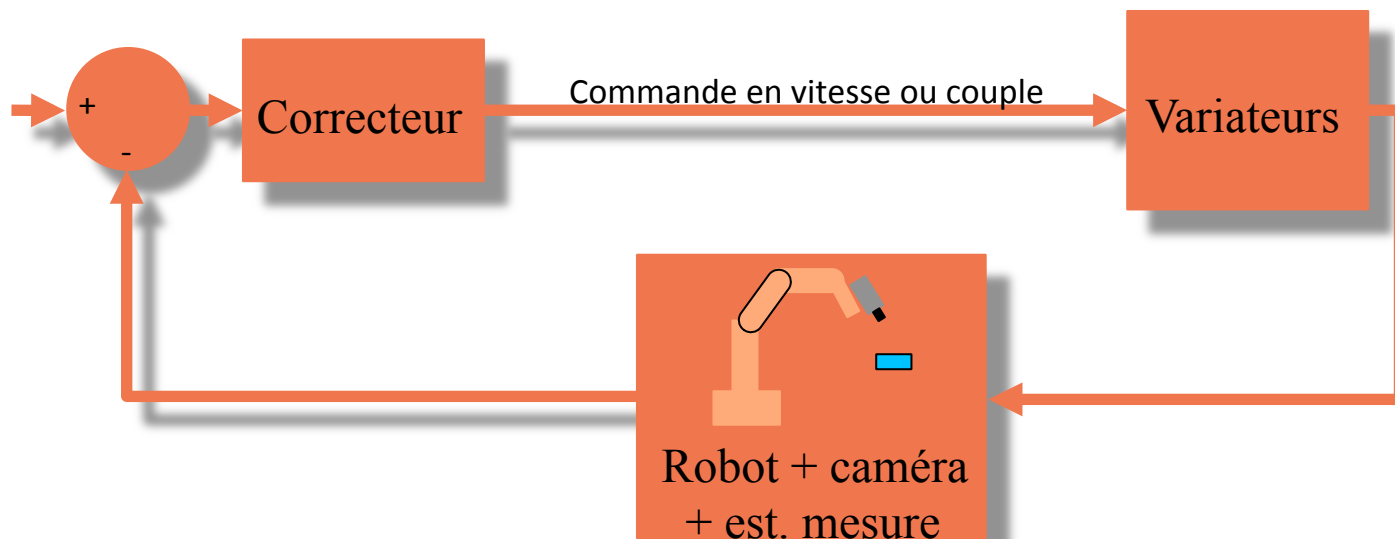
En fonction du type de commande



*Asservissement visuel indirect* : les positions articulaires du robot sont asservies par le contrôleur fourni par le fabricant. Le correcteur de la boucle de vision fournit des consignes de vitesse qui sont transformées en consignes de positions articulaires par un générateur de trajectoire. Ce type d'architecture est utilisé lorsque la période d'échantillonnage de l'asservissement visuel est grande.

# Classification

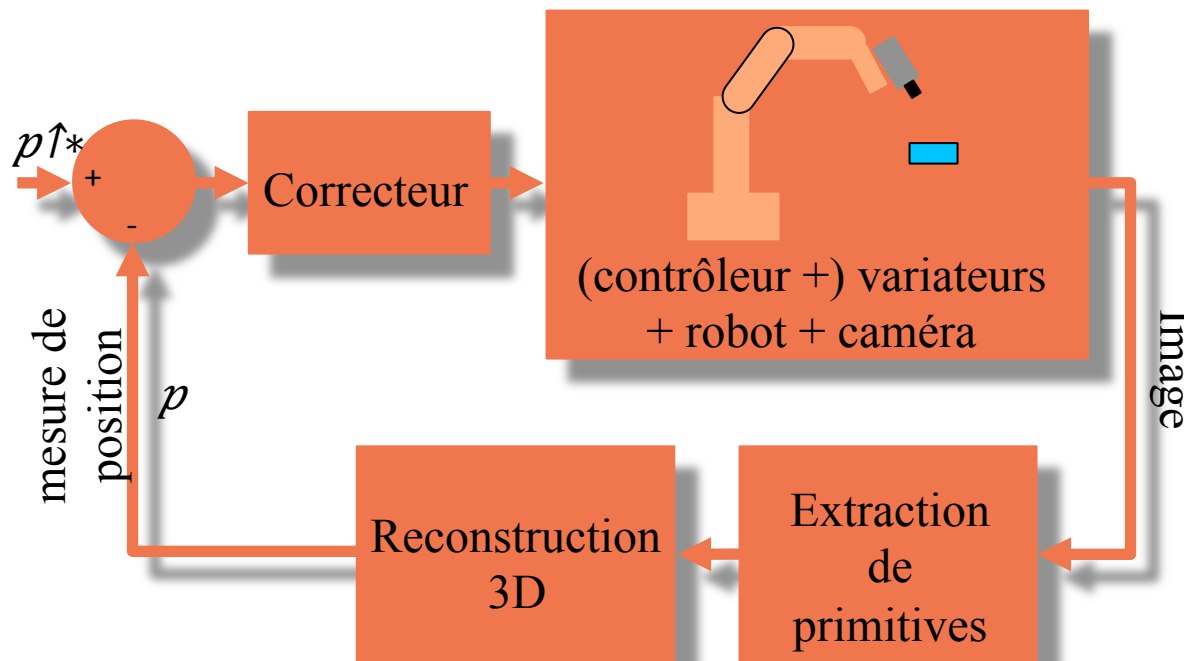
En fonction du type de commande



*Asservissement visuel direct* : les axes du robot sont asservis en vitesse ou en couple par les variateurs. Les commandes du correcteur de l'asservissement visuel sont directement envoyées aux variateurs. L'asservissement de position du robot est réalisé grâce au retour de l'information visuelle. Ce type d'architecture est utilisé pour les asservissements visuels rapides.

# Classification

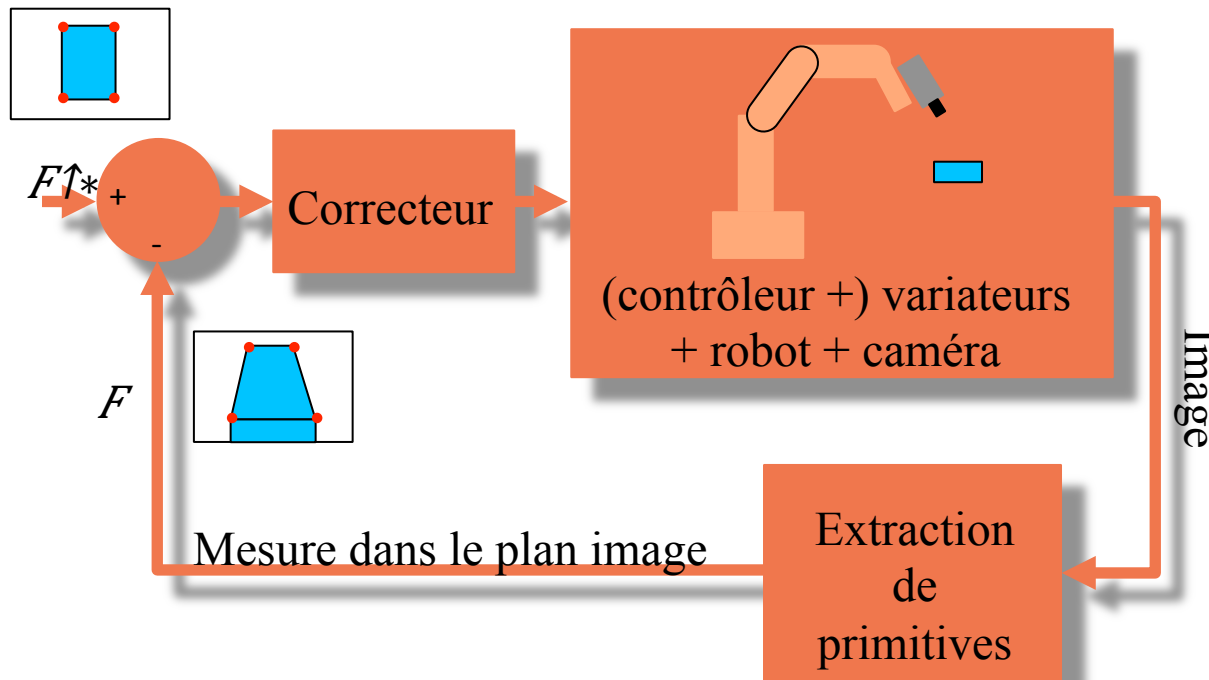
En fonction du type de mesure



*Asservissement visuel 3D (position based) : la consigne et la mesure sont des coordonnées d'attitude (pose). Afin d'estimer la mesure, il est nécessaire de connaître la géométrie de l'objet d'intérêt.*

# Classification

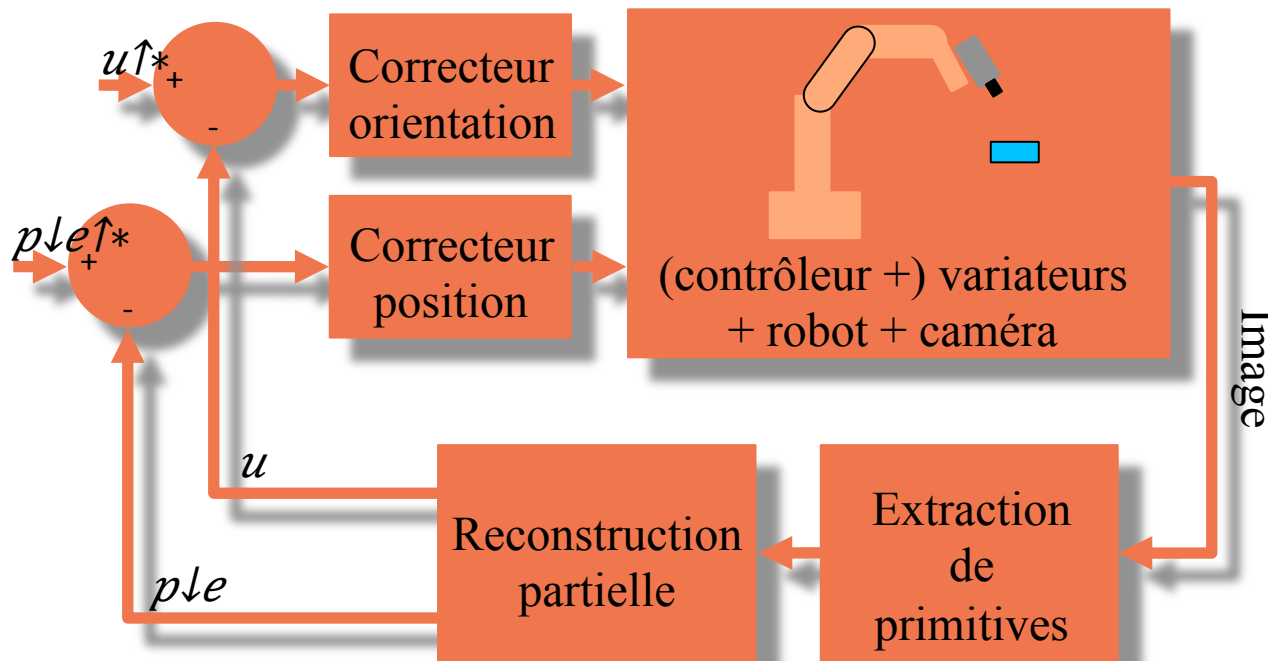
En fonction du type de mesure



*Asservissement visuel 2D (image based) : la consigne et la mesure sont des coordonnées de primitives visuelles (features). L'asservissement 2D ne comporte pas de reconstruction 3D. Une connaissance limitée de la géométrie de la scène est suffisante.*

# Classification

En fonction du type de mesure



*Asservissement visuel 2D 1/2 :*  
l'asservissement de l'orientation est un asservissement 3D.  
L'asservissement de position est un asservissement 2D ( $p_e$  contient des coordonnées image étendues). Les 2 boucles d'asservissement sont découplées.

# Classification

## En fonction de la rapidité

---

### *Asservissement visuel lent*

- Aussi appelé *asservissement visuel cinématique*.
- On approxime la fonction de transfert du robot entre consigne de vitesse et mesure de vitesse par un simple gain.
- Cette approximation est valable pour des déplacements lents du robot et lorsque la commande est du type indirecte (asservissements imbriqués de position articulaire).
- Le correcteur est un simple gain ce qui permet de démontrer une convergence exponentielle de la mesure vers la consigne.

# Classification

## En fonction de la rapidité

---

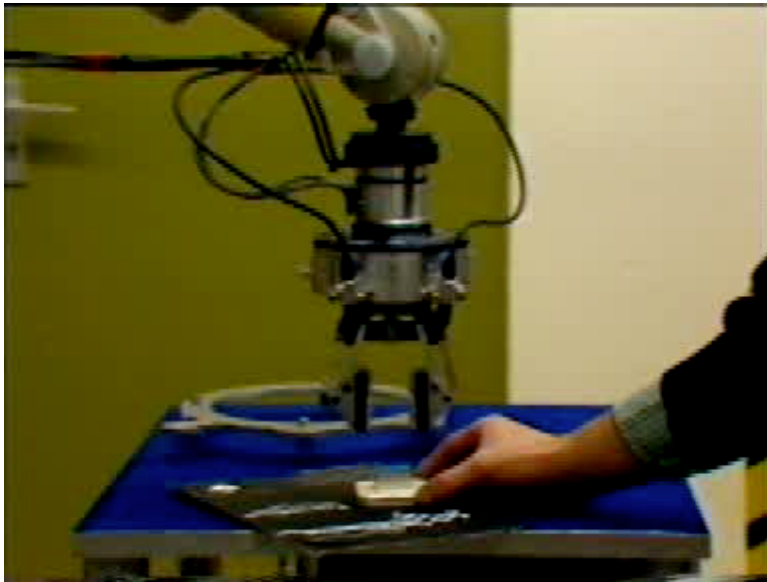
### *Asservissement visuel rapide*

- Aussi appelé *asservissement visuel dynamique*.
- Le modèle dynamique du manipulateur est pris en compte dans la synthèse du correcteur.
- Etant donné le comportement dynamique moyen de la plupart des manipulateurs, on considère que 50 Hz fixe la limite à partir de laquelle il est nécessaire de tenir compte du modèle dynamique pour améliorer les performances.
- La commande est du type directe. Il peut s'agir d'une vitesse ou d'un couple.

# Exemples

## Tâches de suivi de cibles

---



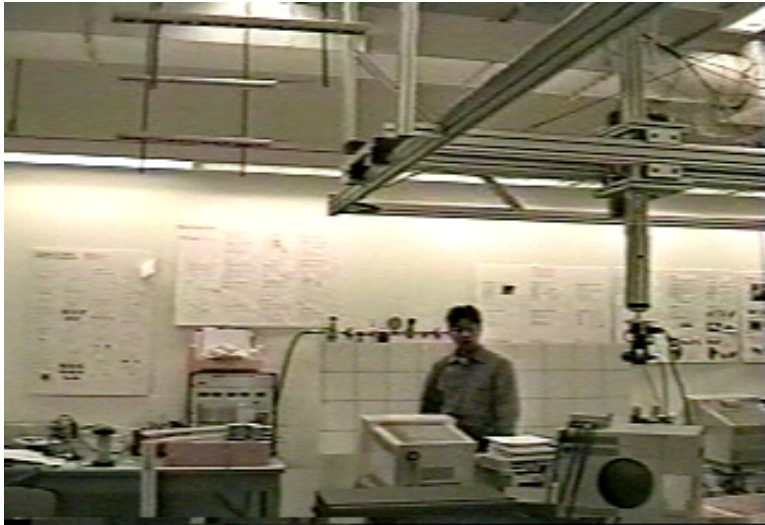
*Expérience de suivi d'objet suivant 6 DDL (Allen et al., Université Columbia)*

- L'objet est une pièce cubique
- La caméra est placée au centre de l'outil pour avoir un angle de vue optimal lors de la saisie de l'objet

# Exemples

## Tâches de suivi de cibles

---



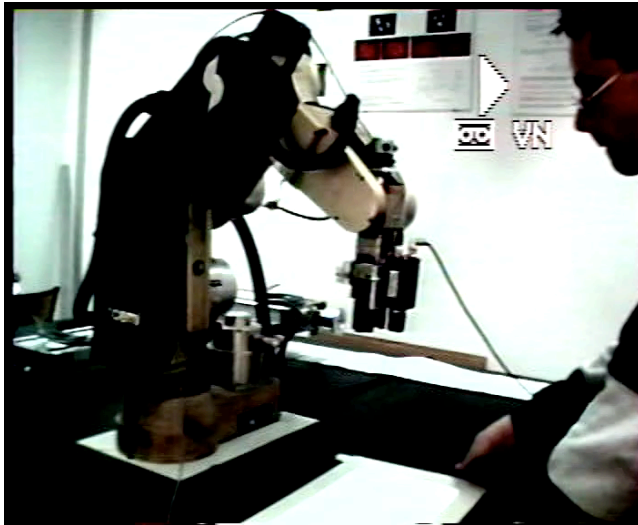
*Expérience de suivi de visage à 3 DDL (Allen et al., Université Columbia )*

- Asservir la position et la taille d'un visage dans l'image : 3 DDL
- Le robot possède 6 DDL
- Asservissement visuel découplé (*partitionned*)
  - l'asservissement de l'orientation de la caméra est rapide
  - l'asservissement de position de la caméra est lent

# Exemples

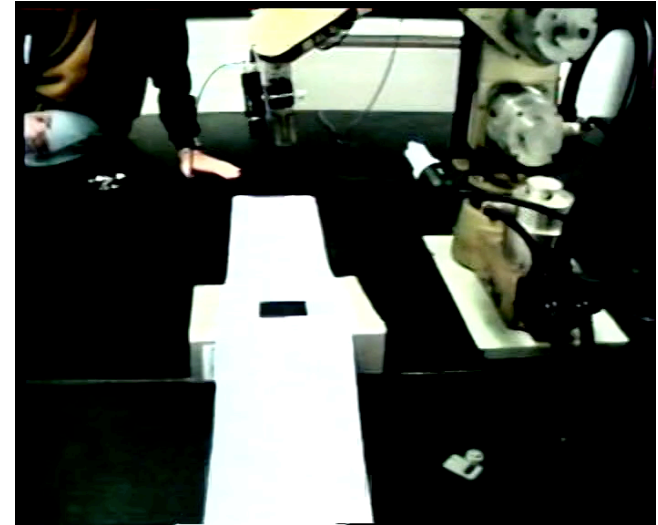
## Tâches de suivi de cibles

---



*Suivi de cible rapide à 6DDL (Gangloff et al., Université de Strasbourg )*

- Asservissement visuel dynamique à 120 Hz
- Commande directe 2D en vitesse

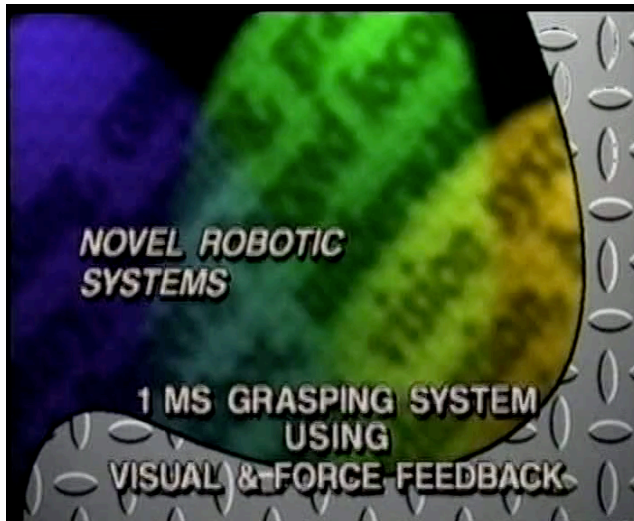


*Suivi de profilé rapide (Gangloff et al., Université de Strasbourg )*

- Asservissement visuel dynamique à 50Hz
- Commande directe 3D prédictive

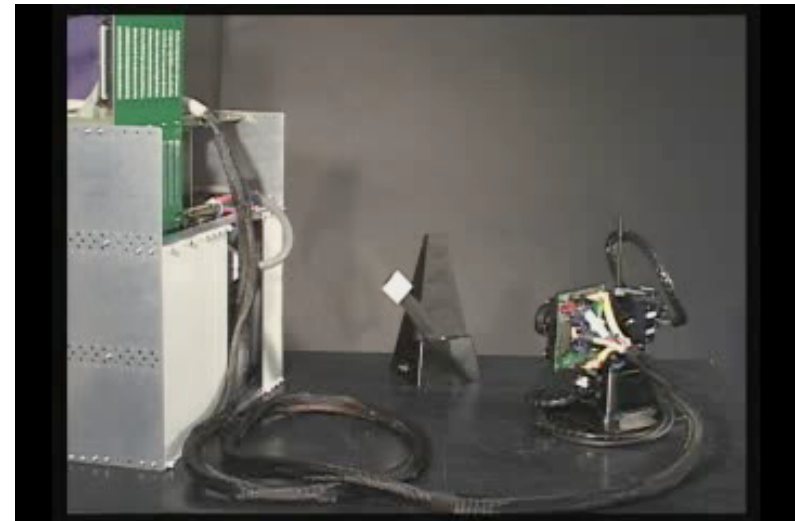
# Exemples

## Tâches de suivi de cibles



*Suivi rapide 2D de cible à 1kHz  
(Université de Tokyo, Nakabo et al.)*

- Vision chip 32x32 pixels
- Optical flow
- Asservissement visuel 2 DDL
- Robot pan/tilt direct drive



*Dernière génération de vision chip  
(Université de Tokyo, Nakabo et al.)*

- Résolution 128x128
- 1 kHz
- Double pan/tilt

# Exemples

## Tâches de suivi de cibles



### *Robot joueur de beach-volley (Toshiba)*

- Tête stéréo pour le suivi de la balle.
- Asservissement visuel 2D, 2DDL.
- Extrapolation de la trajectoire de la balle.
- La frappe est réalisée avec une approche « look then move »

# Exemples

## Tâches de suivi de cibles

---



*Suivi de cœur battant  
(UdS, Ginhoux et al.)*

- Asservissement visuel 2D
- Caméra déportée 500 Hz
- Commande dynamique répétitive

# Exemples

## Tâches d'insertion

---



*Insertion de piston dans culasse  
(DLR, Hirtzinger et al.)*

- Asservissement visuel 3D
- Caméra embarquée
- Commande vision + efforts



# Exemples

## Tâches d'insertion

---



### *Récupération de satellite (DLR, Hirtzinger et al.)*

- Asservissement visuel 3D
- Caméra embarquée
- Commande vision + efforts + télémètre laser
- Simulateur d'apesanteur



# Exemples

## Utilisation de marqueurs

---



**Laboratoire des sciences de l'image  
de l'informatique et de la télédétection**

**Equipe Automatique Vision et Robotique**  
<http://eavr.u-strasbg.fr>



### *Robotique médicale (UdS/Icube/AVR)*

- Utilisation de marqueurs lumineux ou radio-opaques
- Caméra déportée
- Utilisation d'un imageur médical

# Bibliographie

---

## Revue :

- IEEE Transactions on **RO**botics (IEEE TRO)
- International **J**ournal on **RO**botics **R**esearch (IJRR)
- Articles tutoriaux :
  - F. Chaumette, S. Hutchinson - Visual Servo Control, Part I: Basic Approaches and Part II: Advanced Approaches, IEEE Robotics and Automation Magazine 13(4):82-90, Décembre 2006 and 14(1):109-118, Mars 2007.
  - IEEE transactions on robotics and automation, *special issue on visual servoing*, volume 12, numéro 5, 1996

## Ouvrage :

- Peter I. Corke, *Visual control of robots*, John Wiley & sons inc

# Quizz

---

<https://goo.gl/zJLtmo>