

# ***Biomimétisme et transport collectif de charges à différentes échelles :***

Pierre Moretto, CBI-CRCA UMR 5169

**CoBot**

**et**

**BarbaBot**



# Transport collectif de charges

- « La tendance dans la nature de former des ensembles qui sont plus grands que la somme de leurs parties au travers de l'évolution créative » (J.C. Smuts, 1926)
  - « Le tout est plus que la somme des parties » (Upton, Janeka & Ferraro, 2014)
- vs
- « Paresse sociale » (Ingham et al. 1974, Sharp *et al.*, 1997; Wu & Chang, 2010)
  - Approche biomécanique
  - Collaboration biomimétique => Collaborative Robot (Cobotique)
  - Modèles biologiques ?

# Transport collectif de charges

## □ Modèles biologiques

### □ Hommes



80 Amish transportent une maison (YouTube)



*Paratrechina longicornis*,  
Drapin J., Martinique, 2022

### □ Fourmis

# Transport collectif de charges

- Biomimétisme => Efficacité et fonctions ?
  - ▣ Biomécanique
    - Fonctions des collaborateurs
    - Optimalité de l'organisation (individuelle et collective)
    - Evaluation de paramètres biomécaniques => optimisés ?
      - Optimisation par rapport à l'objectif de la tâche (fort, rapide, endurant, précis ...)
      - Proprioception
        - Equilibre
        - Contraintes articulaires et musculaire
        - Cout énergétique ...
    - Collectif => Collaboration <=> Synergies des paramètres biomécaniques

# Transport collectif de charges

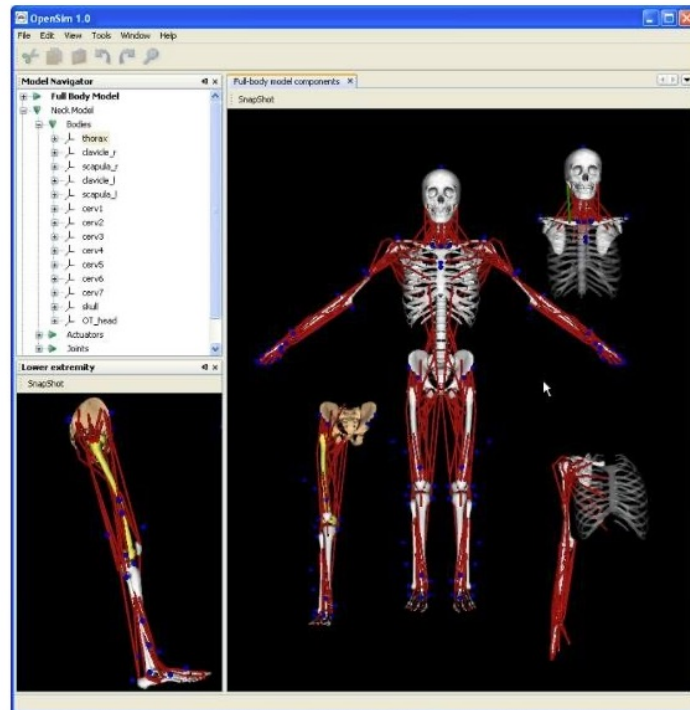
(Biomécanique)

- CoBot / BarbaBot -----
  
- Matériel et méthode
  - ▣ Modèle morphométrique
  - ▣ Cinématique
  - ▣ Cinétique
  - ▣ Dynamique

# Morphométrie et modélisation

(Biomécanique)

## □ Homme



*Opensim*

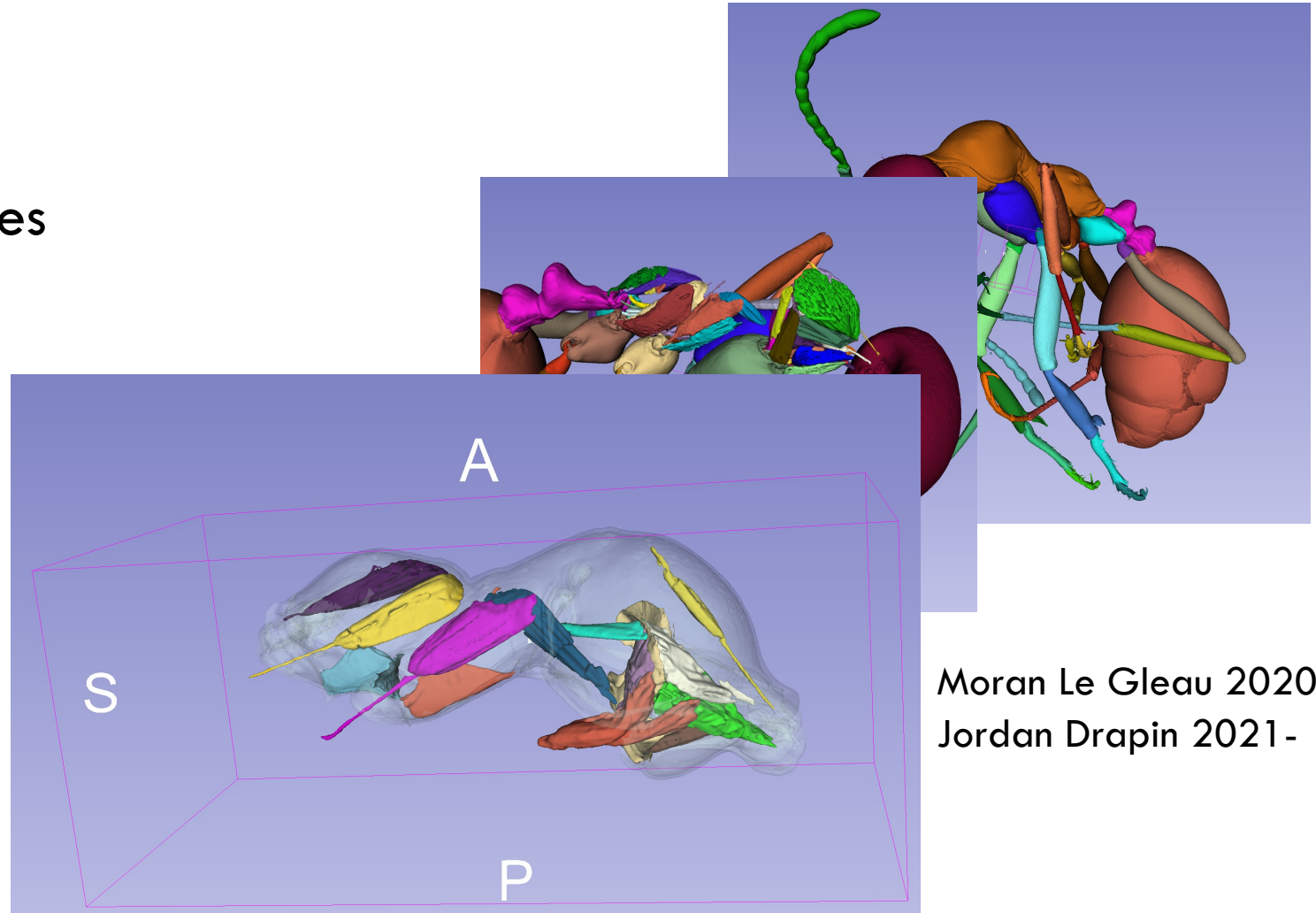
## □ Fourmi



Ex : *Messor barbarus*  
Polymorphisme (Ech 1 à 6)  
Allométrie  
Division du travail (?)

## □ Structures

- ▣ Dimensions
- ▣ Caractéristiques inertielles
- ▣ Articulations
  - ddl
- ▣ Muscles
  - Points d'insertion
  - Section maximale
  - Orientation des fibres
  - Chefs ?
  - Pluri-articulaire ?



Moran Le Gleau 2020,  
Jordan Drapin 2021-

# Modèle musculo-exosquelettique Opensim

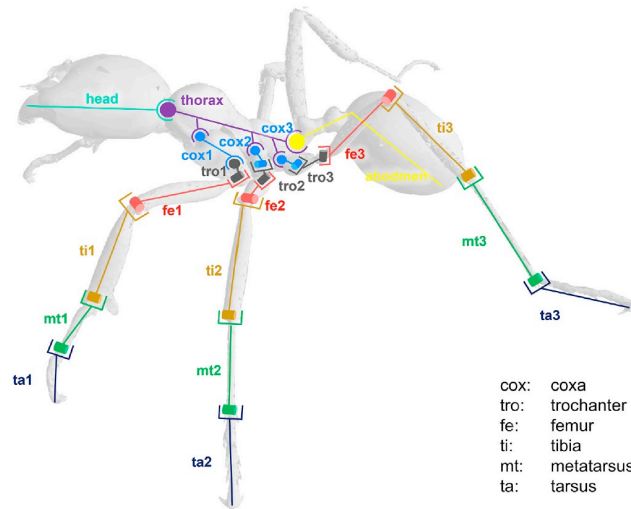
## □ Enveloppe : scan

### ▣ Modèle :

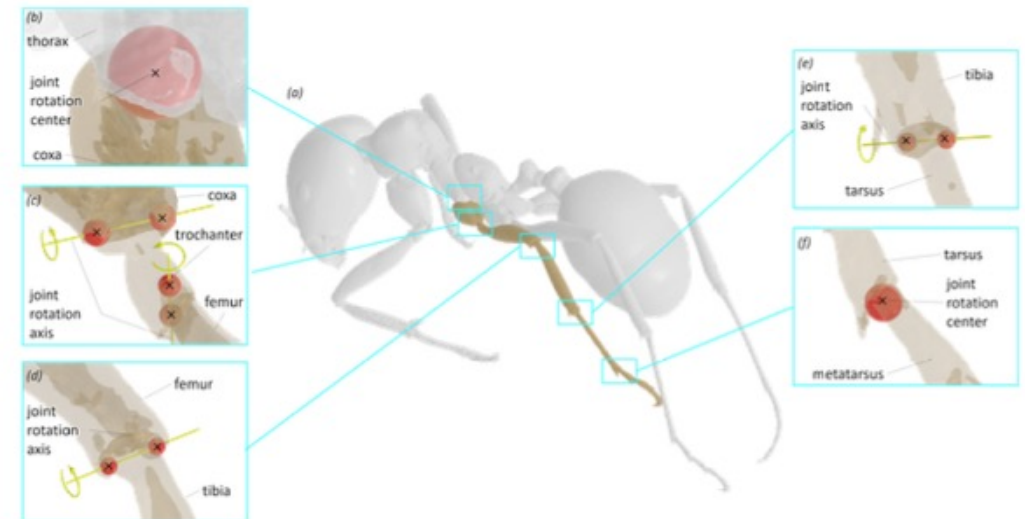
- Types d'articulations

- Muscles

  - Trajet, force max etc...



cox: coxa  
tro: trochanter  
fe: femur  
ti: tibia  
mt: metatarsus  
ta: tarsus



INSTITUT  
DES SCIENCES  
DU MOUVEMENT  
JULES  
MAREY

*Drapin et al., 2021, 2022*

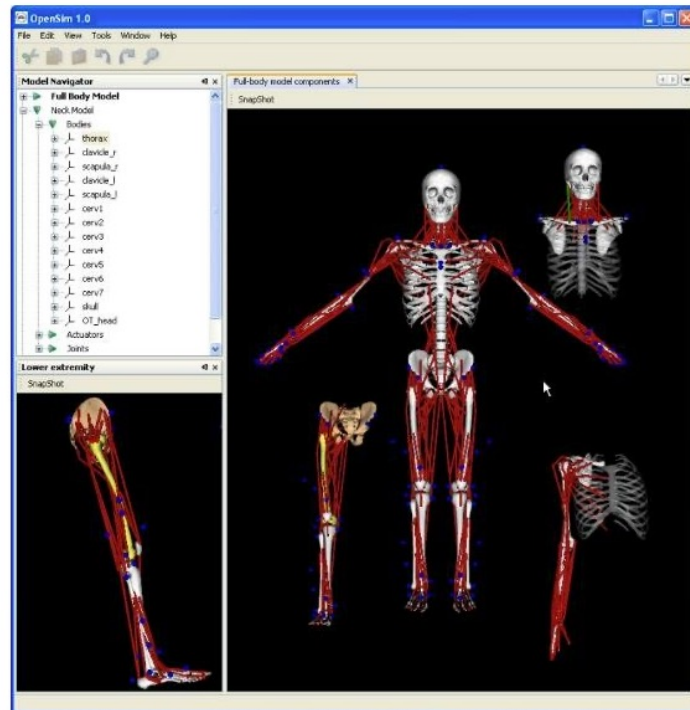
*Arroyave-Tobon et al., 2021, 2022*



# Morphométrie et modélisation

(Biomécanique)

## □ Homme

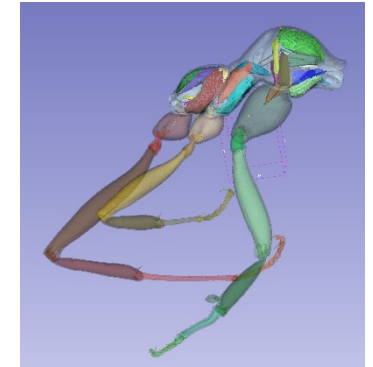


Opensim

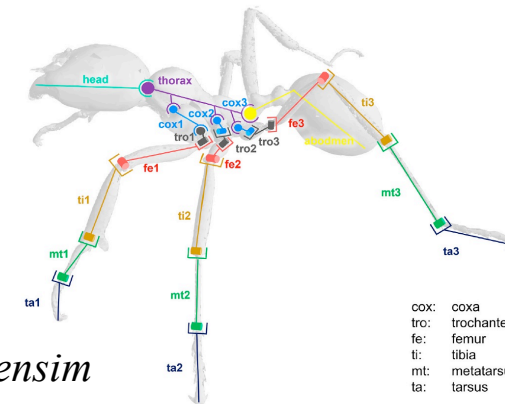
## □ Fourmi



$\mu$ CT



Segmentation



Opensim

cox: coxa  
tro: trochanter  
fe: femur  
ti: tibia  
mt: metatarsus  
ta: tarsus



INSTITUT DES SCIENCES  
DU MOUVEMENT JULES  
MAREY



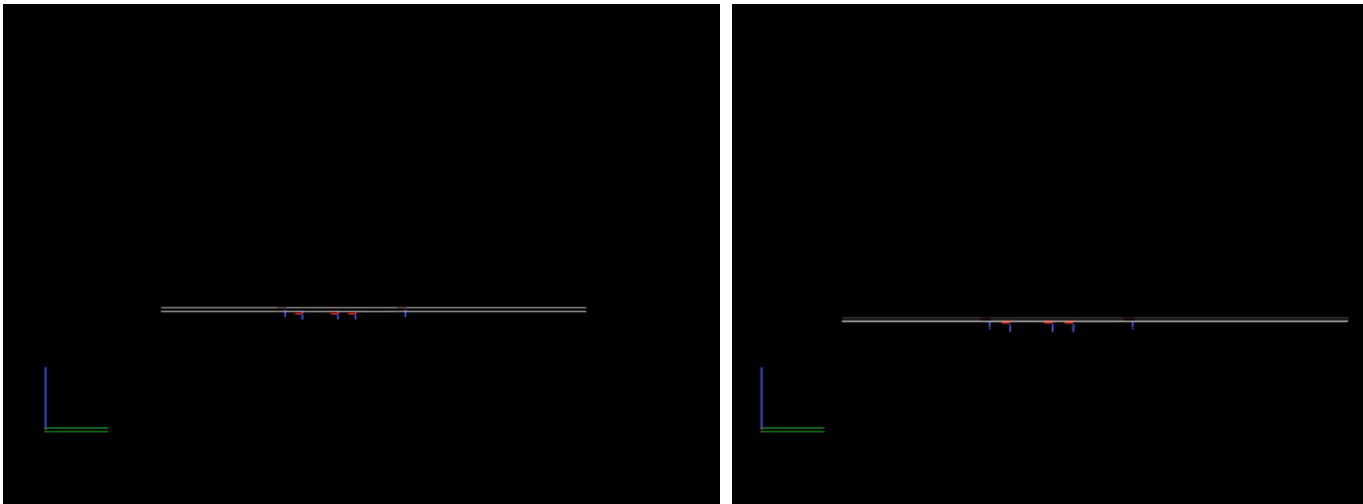
# Transport collectif de charges

- Matériel et méthode
  - ▣ *Modèle morphométrique*
  - ▣ Cinématique

# Cinématique 3D

(Biomécanique)

## □ Homme

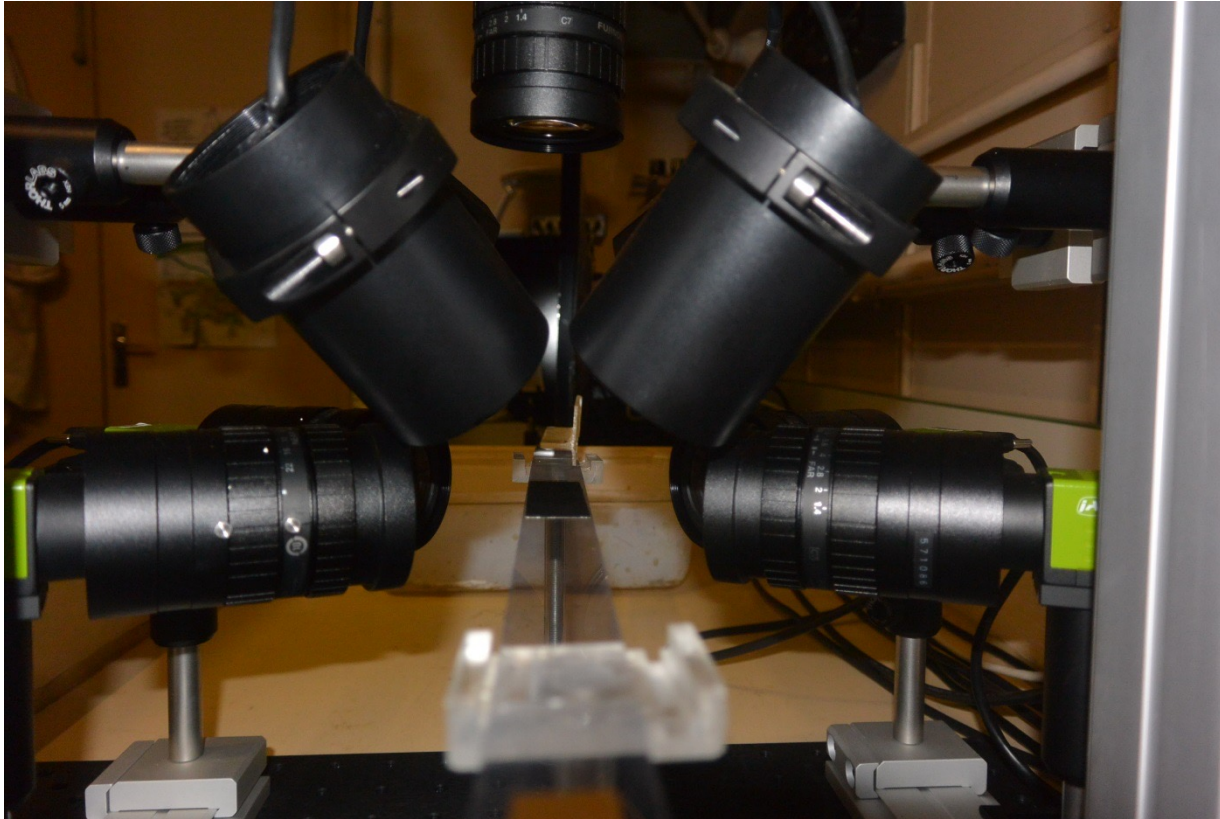


*Vicon Nexus*

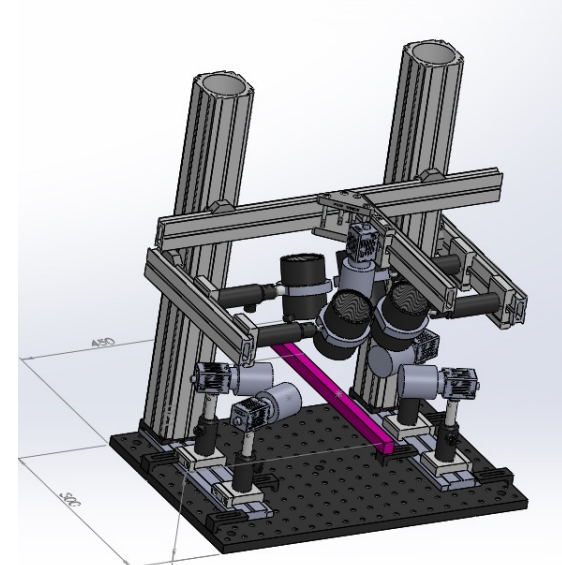
## □ Fourmi



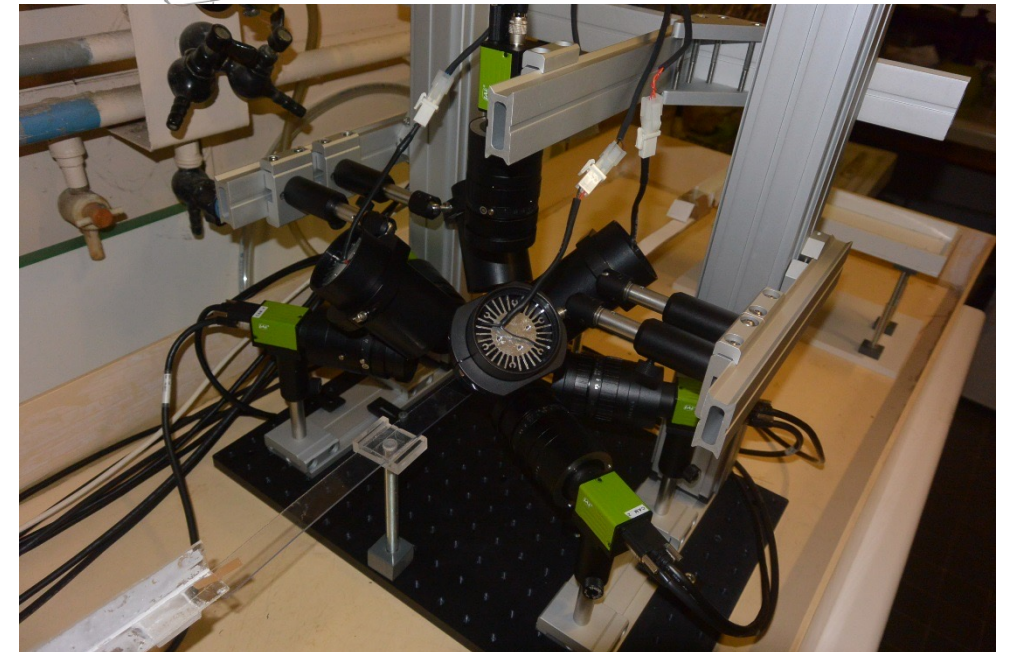
# Cinématique 3D

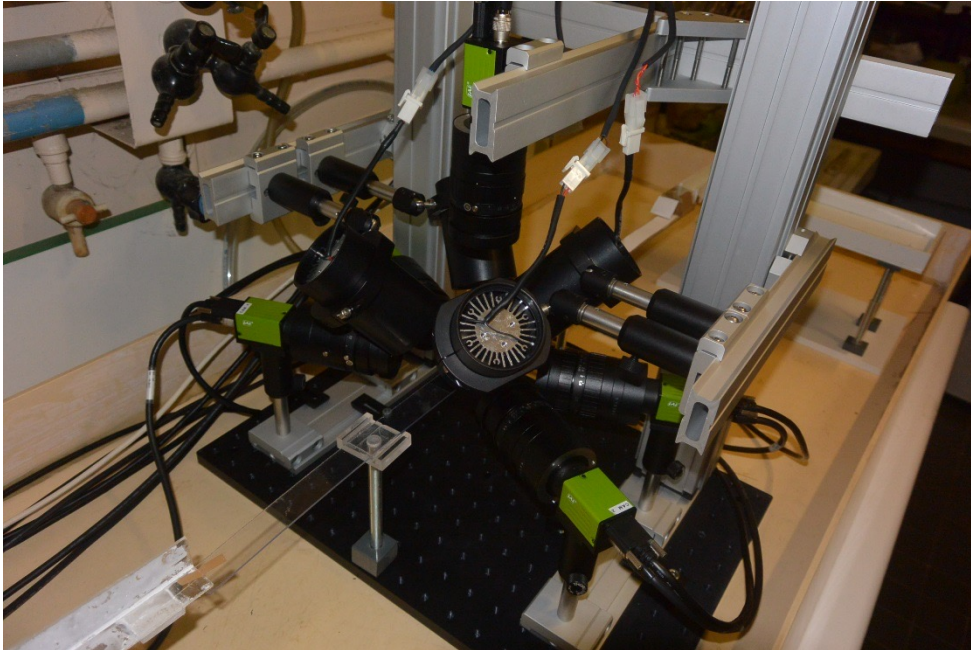


- 5 cameras
- 4 IR spots
- Fréquence d'acquisition: 250-400Hz
- Resolution :  $12\mu\text{m}/\text{pixel}$



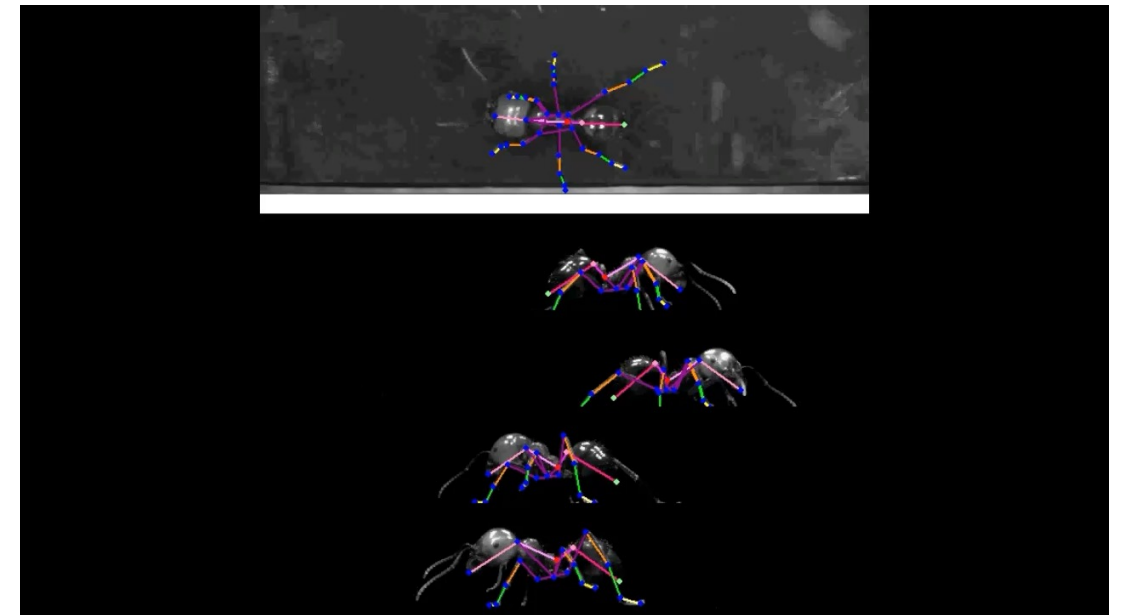
Pierre MORETTO  
Vincent FOURCASSIE





R&D Vision

Vicon Peak Motus



« Pattern matching recognition » de 43 points  
=> Deep learning (Mathieu Moreau, Jordan Drapin, CRCA)

# Transport collectif de charges

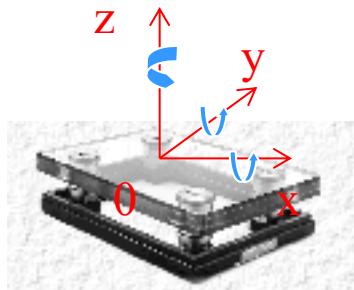
- **Matériel et méthode**
  - ▣ *Modèle morphométrique*
  - ▣ *Cinématique*
  - ▣ **Cinétique**

# Cinétique 3D

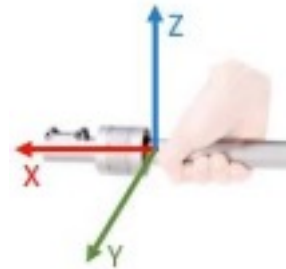
(Biomécanique)

## □ Homme

- Plateforme de force et capteurs de force



Sensix@



(a) Vue de face : Dispositif à vide double tâche



Masse = 13,41 kg  
Dimension =  
1,16x0,4x0,28m  
(L x l x h)

(b) Vue de face : Dispositif à vide type table



Masse = 24 kg  
Dimension =  
0,75x0,8x0,84m  
(L x l x h)

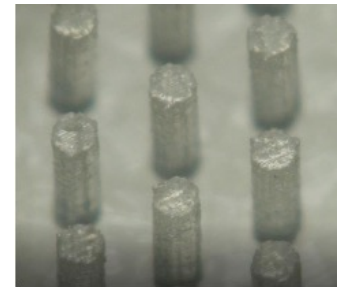
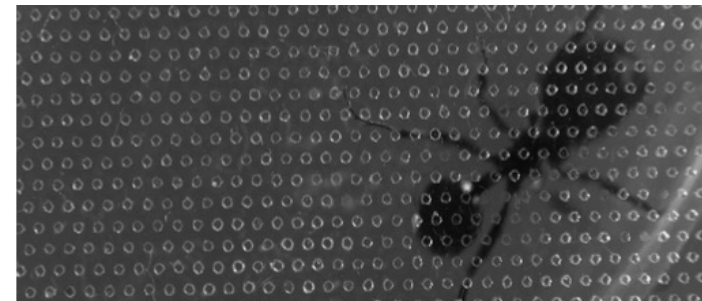
(c) Vue de profil : Dispositif à vide type brancard



Masse = 23 kg  
Dimension =  
0,30x1,46x0,84m  
(L x l x h)

## □ Fourmi

- Tapis de Micro piliers PDMS
- Mesure forces de réaction du sol

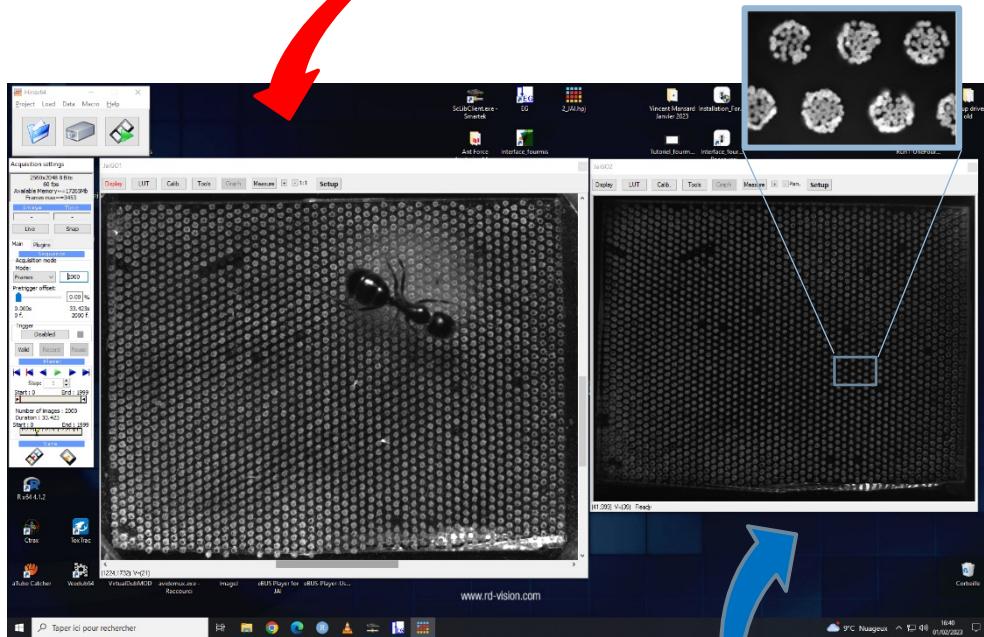


CRCA

LAAS  
CNRS

- Dorian Gautier, Vincent Mansard,  
Vincent Fourcassié, Paul-Alain Raynal

# Cinétique $\mu\text{N}$



Top camera

Lens

IR Spot  
(850 nm)

High pass filter  
( $> 600 \text{ nm}$ )

Ant  
PDMS Micro-pillar array

Glass

Bandpass filter  
(592-648 nm)

Ring green LED  
light (525nm)

Bottom camera

Lens

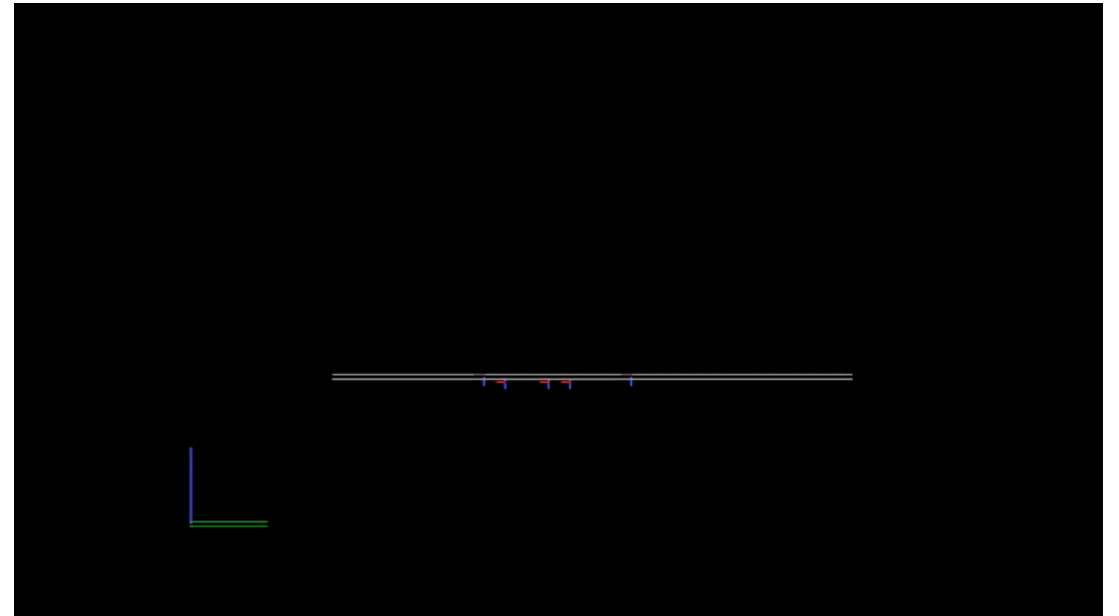
Basement

Gautier et al., 2023



# Quelques résultats dynamiques

- **CoBot**
  - PACS
  - Comportement pendulaire
    - Si charge  $< 30\%$
  - Fonctions :
    - Guide (Horizontal)
    - Soutien (Vertical)
      - Jusqu'à 70% de la charge
      - Pas de dispersion d'énergie
      - Pb contraintes articulaires épaules et dos
    - Si charge  $> 30\%$ , fonctions disparaissent
  - Synergies et optimalité (?!)



Fumery et al., 2021, Sghaier et al, 2022, 2023

# Quelques résultats



## □ BarbaBot

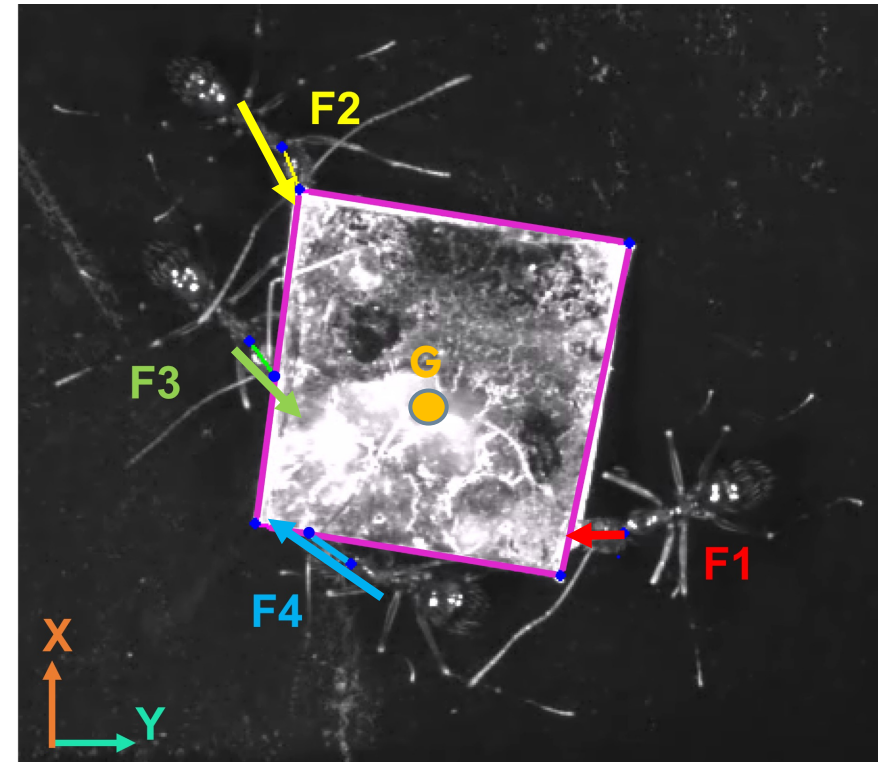
- Cinématique de l'hexapode
  - Sensibilité à la charge: Tripode  
*Mérienne et al., 2020; 2021*
- Collectif (en cours)
  - Dans le plan horizontal
  - Postulat : Tête signe action
  - Etude translation et rotations

# Paratrechina



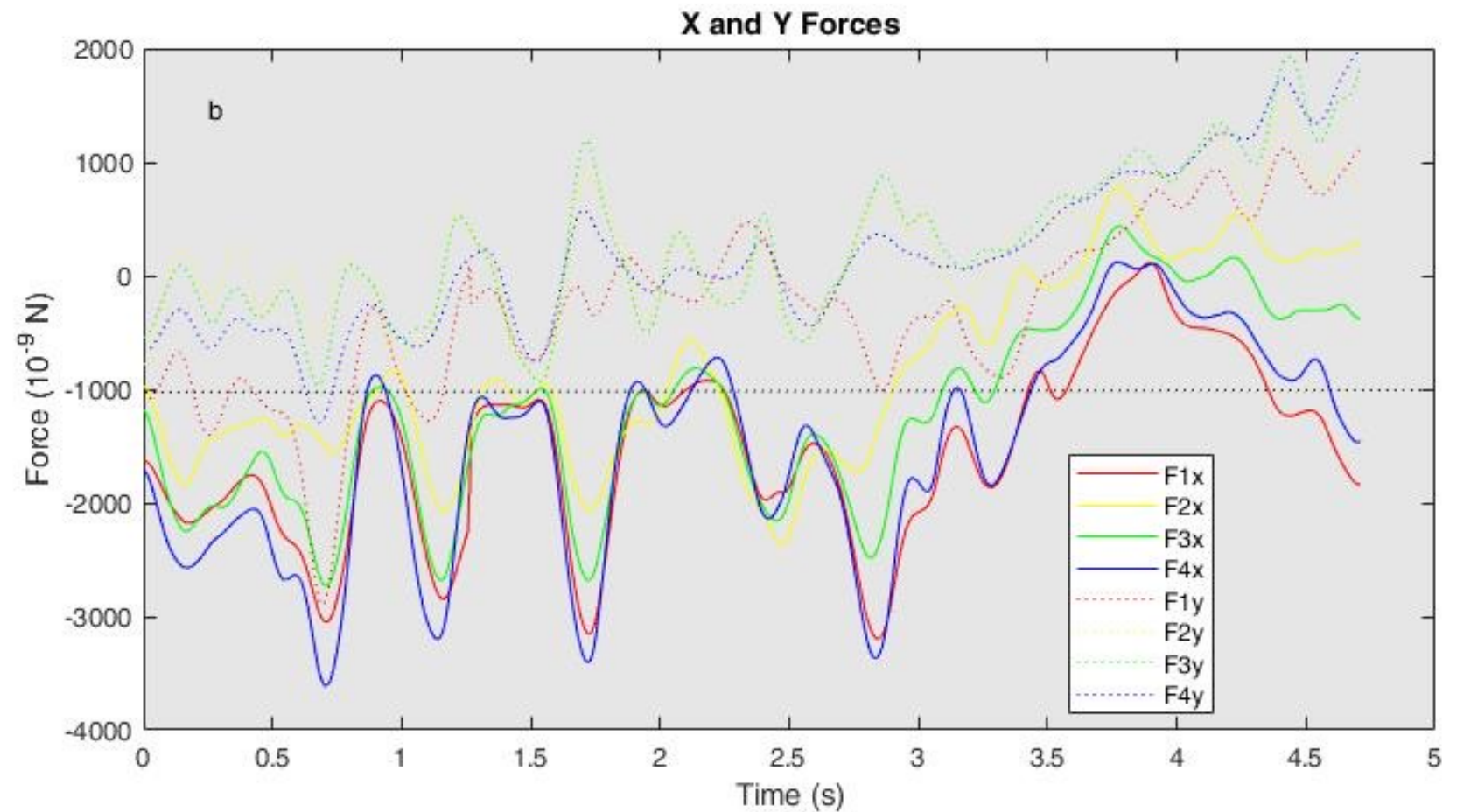
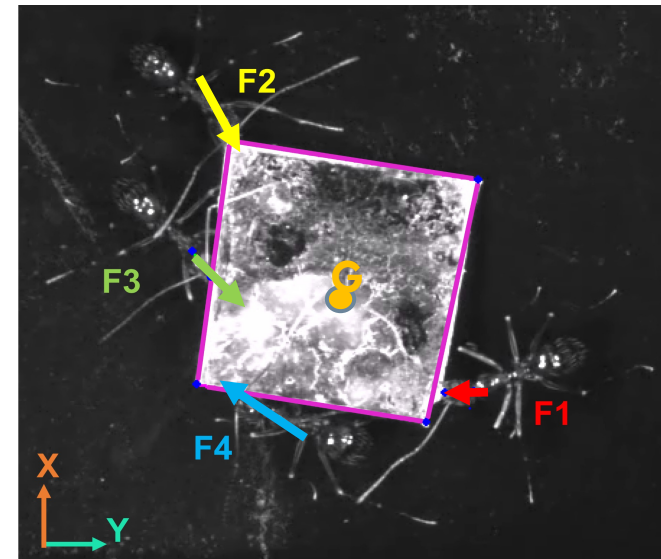
# PFD : forces $\Rightarrow$ accélérations linéaires

- $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ 
  - *2<sup>nd</sup> Newton law*
    - *F, Force;*
    - *m, masse;*
    - *a, acceleration*
  
- $\sum \vec{F}_{ext} = m \cdot \vec{a}_G$ 
  - *F<sub>ext</sub>, External force*
  - *m, mass*
  - *a<sub>G</sub>, center of gravity acceleration*



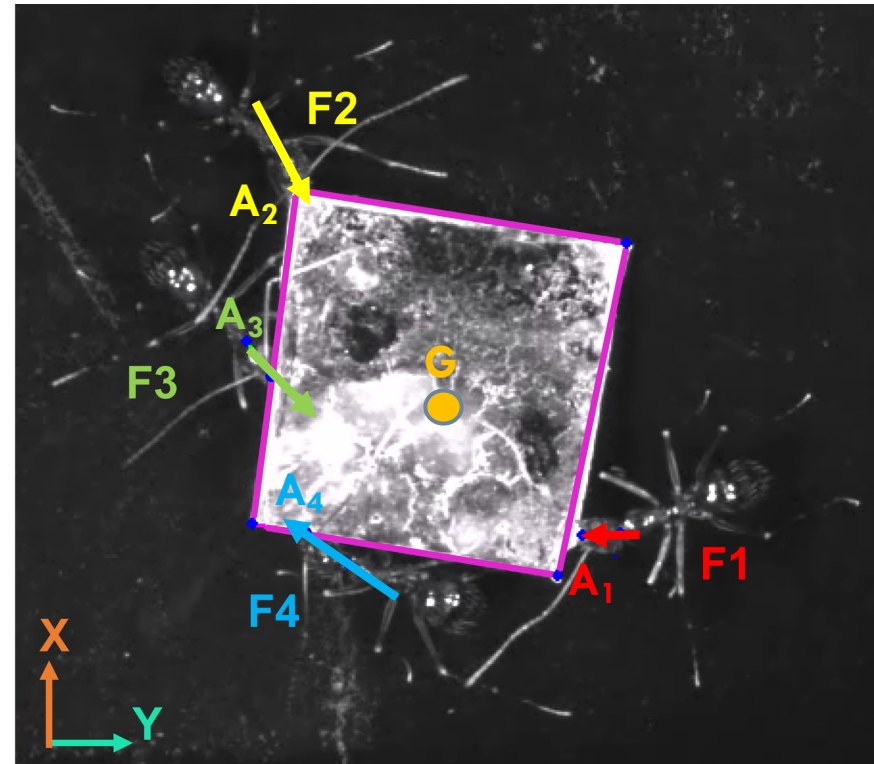
# Resultats

# Distribution des forces



## PFD : Moment de Force => Accelerations angulaires (Rotation)

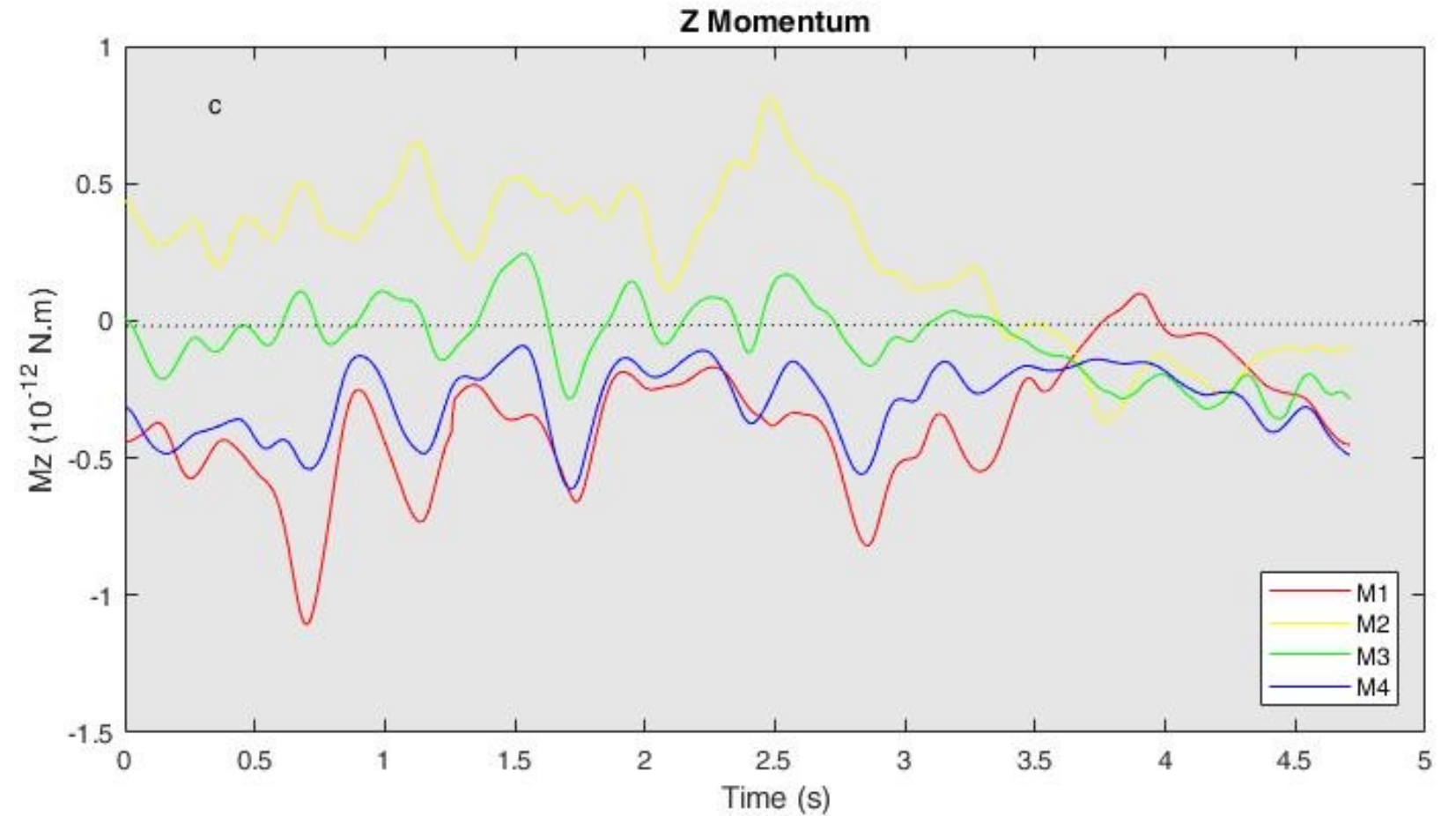
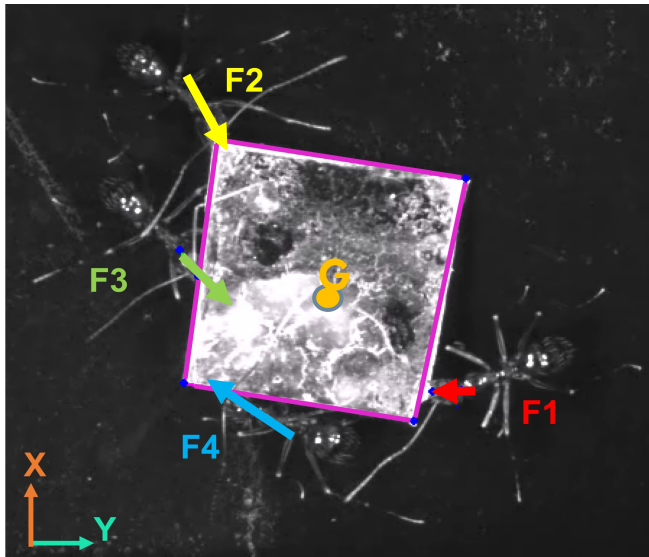
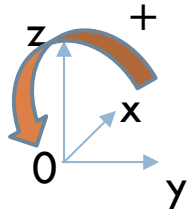
- $\vec{M}_{Fi}^t = \vec{F}_i \wedge \vec{GA}_i$ 
  - ▣  $\vec{M}_F^t$ , *Moment of force*,
  - ▣  $F_i$ , *Force*
  - ▣  $GA_i$ , *Lever arm*
  
- $\sum \vec{M}_{F_{ext}}^t = I \cdot \vec{\alpha}_G$ 
  - ▣ *Moments of external forces*
  - ▣  $I$ , *Inertia momentum*
  - ▣  $\alpha_G$ , *angular acceleration*



$$\vec{M}_{Fi}^t = \vec{F}_i \wedge \vec{GA}_i$$

# Resultats

# Distribution des Moments de Forces



# Futures investigations

- 3D système polyarticulé

- $\sum \overrightarrow{F}_{ext} = m. \overrightarrow{a}_G$

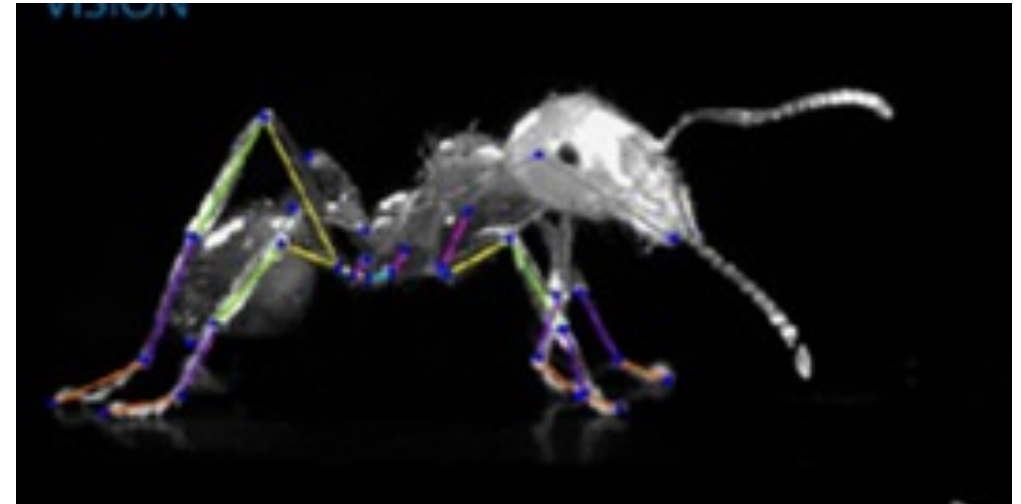
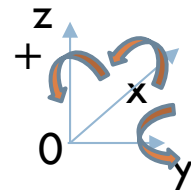
- $\sum \overrightarrow{M}_{F_{ext}}^t = I. \overrightarrow{\alpha}_G$

- + mesures de forces de réaction du sol

- Confrontation cinématique vs cinétique

- $\sum \overrightarrow{F}_{ext} = m. \overrightarrow{a}_G$

- $m. \overrightarrow{a}_G = \sum m_i. \overrightarrow{a}_i$

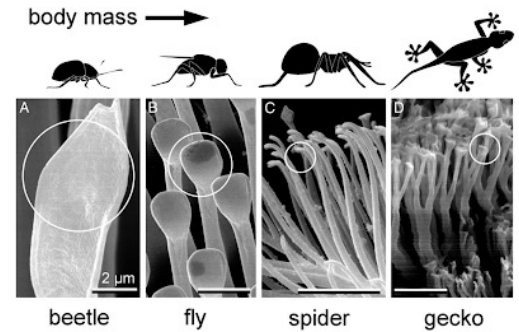
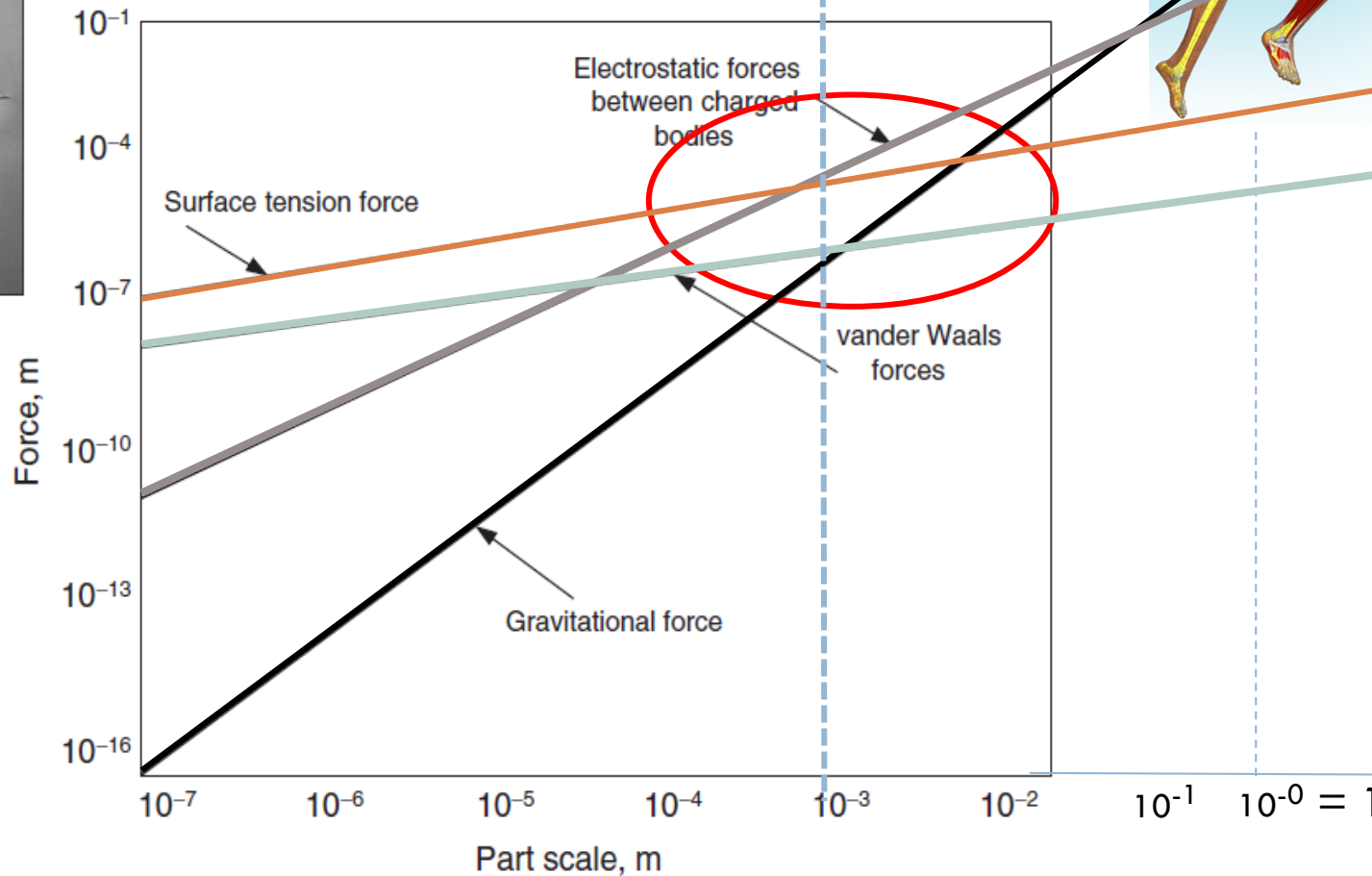
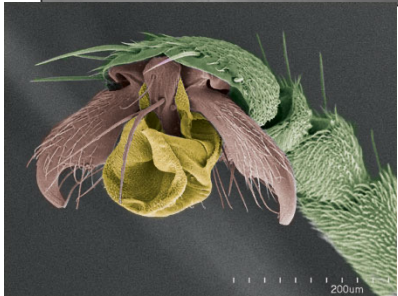
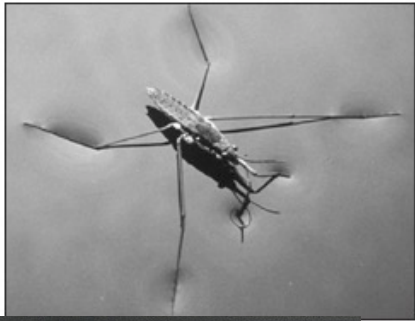


- Optimisation et synergies (individuelle et collective)



# Cosmos to $\mu$ -cosmos

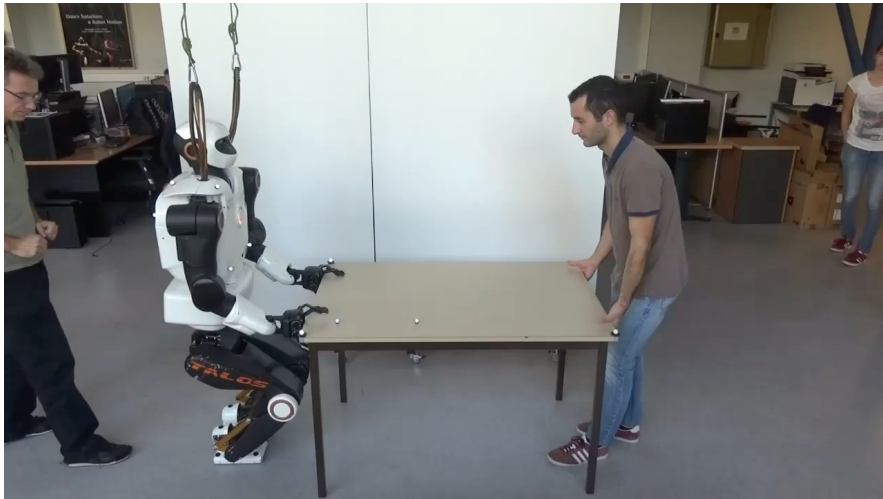
## Different physical phenomena



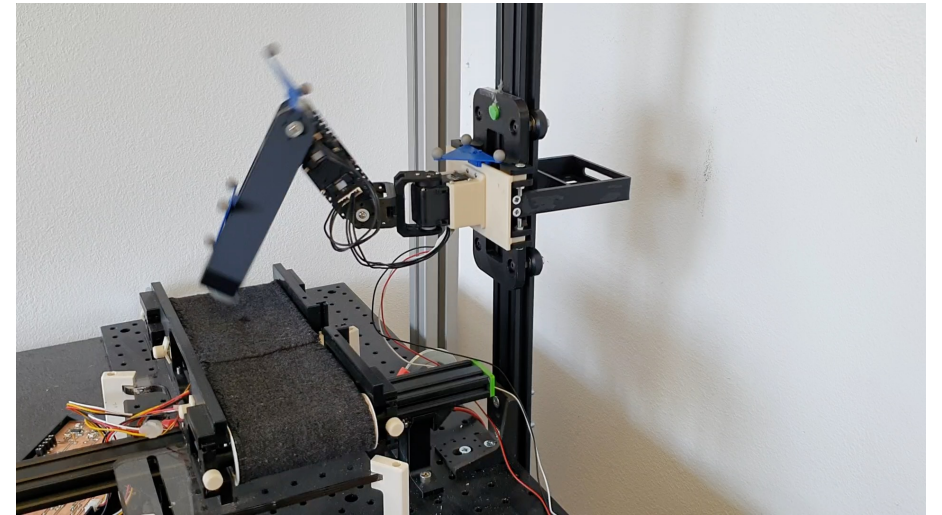
# Transport collectif de charge

(Biorobotique)

## □ Collaborative roBot (CoBot)



## □ AO MITI Barbarus – Mimic-Ant



# Un travail collectif et pluridisciplinaire



- IOST (Okinawa, Japan)
  - ▣ Evan ECONOMO
  - ▣ Francisco HITA GARCIA
- ISM (SBI, Marseille)
  - ▣ Julien SERRES
  - ▣ Santiago ARROYAVE-TOBON
  - ▣ Jean-Marc LINARES
- CRCA (CAB, Toulouse)
  - ▣ Vincent FOURCASSIE
  - ▣ Mathieu MOREAU
- LAAS (Toulouse)
  - ▣ Bruno WATIER,
  - ▣ Vincent MANSARD, Paul-Alain RAYNAL
- IRISSE (Tampon, La Reunion)
  - ▣ Nicolas TURPIN
- Etudiants co-encadrés :
  - Pierre-Alexandre GROTT (M1)
  - Dorian GAUTIER (M2)
  - Moran Le GLEAU (M2),
  - Hugo MERIENNE (PhD), Jordan DRAPIN (- PhD), Ilya BRODOLINE (PhD)
  - Nour SGHAIER (PhD)