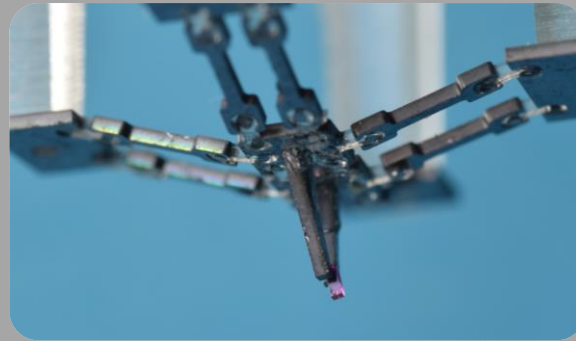
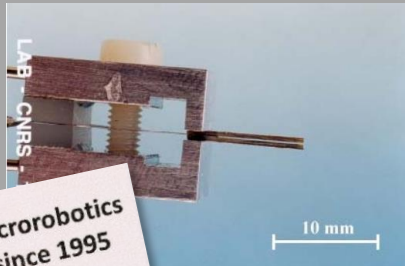


Microrobotique :

La robotique à l'échelle des fourmis

Michaël GAUTHIER, Directeur de recherche CNRS, FEMTO-ST, France



1995  2023  tomorrow





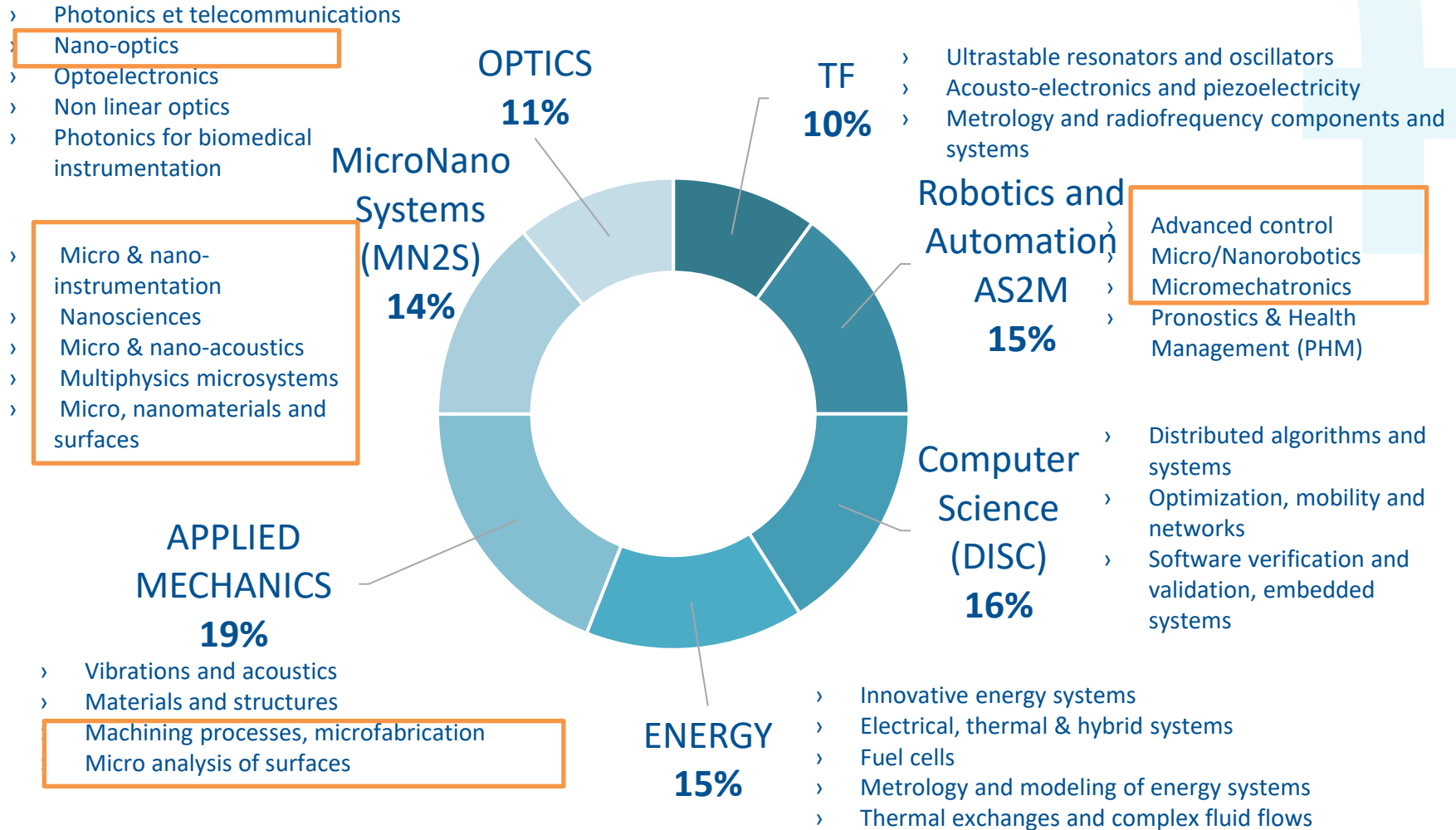
SOCIETAL CHALLENGES ... AND TECHNOLOGY

Develop micro and nano technologies, increase the density of functions, integrate intelligence, for the engineering of components and systems with optimized performances

- ▶ **A culture of innovation, from basic research to industrial partnership and spin-offs**
FEMTO-ST groups most of the STIC/SPI research activities in Franche-Comté
- ▶ **A wide scientific spectrum**
From single molecules to systems
- ▶ **A multi & interdisciplinary vocation**
Transverse research projects (e.g. Biom'Ax, Micro atomic clock, PHM/SHM)
- ▶ **Research based on Technology**
Development of experimental setups demonstrating novel concepts
- ▶ **From basic research to application**



7 SCIENTIFIC DEPARTMENTS



Micro-nanorobotics since 1995

Visual servoing cycle using 2 cameras

Smart Fingers

Force sensors

femto-st SCIENCES & TECHNOLOGIES

10 μm

10 μm

1 mm

5 mm

$M_1^1, M_1^2, M_2^1, M_2^2$

$R_1^1, R_1^2, R_2^1, R_2^2$

$\begin{bmatrix} R_1^1 & 0 & 0 \\ 0 & R_1^2 & 0 \\ 0 & 0 & R_2^1 \end{bmatrix}$

High speed camera

Image fiber bundle

Microrobot

Flexible Laryngoscope

Laser fiber

Laser source

Image fiber bundle

Larynx

Laser beam

Laser spot

Mag = 3000 X

EHT = 3.00 kV

Aperture Size = 80.00 μm

WD = 7.4 mm

Signal = SE2

fpmto-st

10 μm

Initial

$t = 10\text{min}$

$t = 1\text{h}$

$t = 1\text{h}10$

$t = 1\text{h}20$

10 $\times 10^{-5}$

10 $\times 10^{-5}$

y_c

\otimes

$[C](s)$

u

$[G](s, [a])$

y

$[H](s, [b])$

y_c

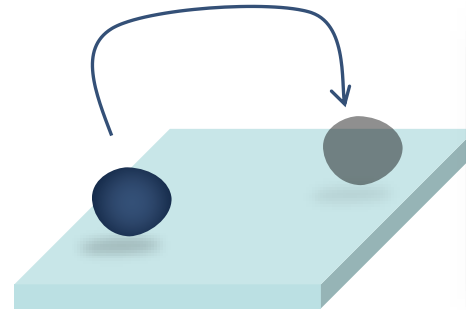
y

Vous avez dit, microrobotique?

Microrobotique

↙ ↘
Micromonde & robotique

- robot capable de manipuler des micro-objets
saisie, déplacement et positionnement d'un objet
- robot ayant des dimensions micrométriques
pouvoir se déplacer dans des environnements très contraints.
- robot réalisé à base de technologies de microfabrication
Conception du robot adaptée aux méthodes de la microfabrication



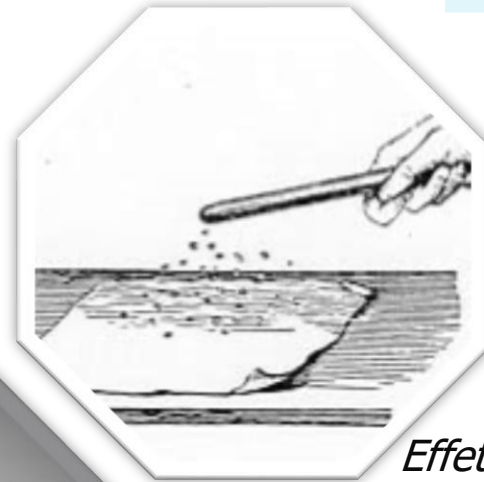
Contexte applicatif général

- miniaturisation continue des produits et des procédés
- marchés: industriel de micro-assemblage; biomédical mini-invasif et ingénierie cellulaire

Comportement des insectes



Marche sur l'eau



Effets électrostatiques



Rapidité de mouvement



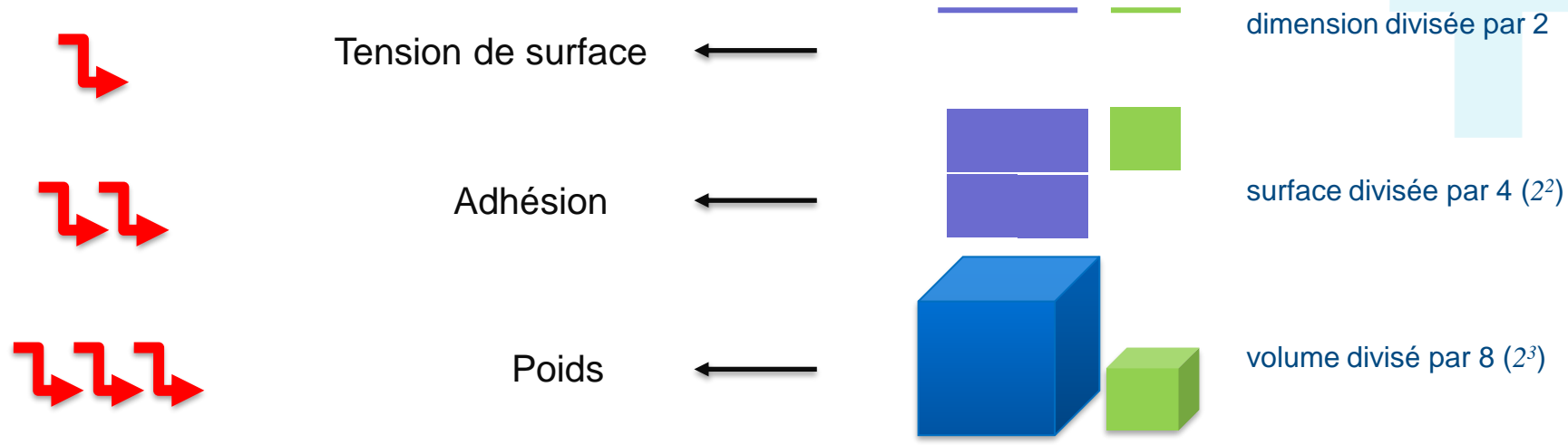
Marche au plafond



Pourquoi le monde des insectes est si différent du notre?

• Principe général

• longueur, surface, volume ne sont pas affectées de la même manière par la miniaturisation



	Tension de surface ↴	Poids ↴↴↴	
Échelle du mètre	1 000 000 <	1 000 000 000	Le poids domine
Échelle du millimètre	1 000 000 >	1 000 000 000	La tension de surface domine

Chacun dans son monde

*Quand je pense qu'une fourmi soulève
50 fois son poids!*



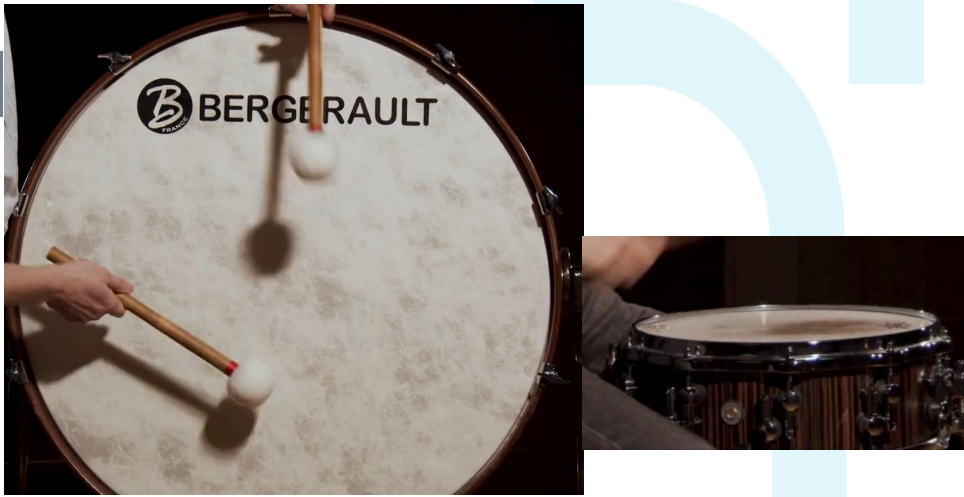
- l'homme porte juste son poids *(et encore)*
- la fourmi porte 50 fois son poids

- La fourmi voit une interface air-liquide comme un mûr
- L'homme traverse les interfaces air-liquide sans problème.

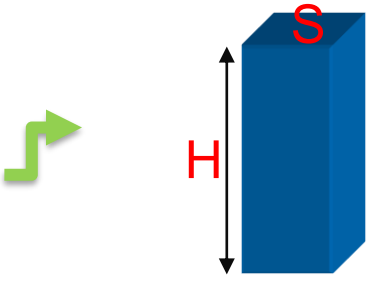
*Quand je pense
qu'un homme
peut traverser cette
surface !*



Exemple d'effet d'échelle



- **Structure mécanique :**



- fréquence : L^{-1}

- **Energie pour passer un obstacle:** sauter de sa propre hauteur

$E_p = H \cdot mg \rightarrow E_p \sim L^4$ meilleur mobilité dans le 'petit'



- **Actionnement :** couple electromagnétique

$M \sim L^3 \text{ à } L^5$ difficulté d'actionnement dans le 'petit'



- **Effets thermiques :**

Temps de réponse : $T \sim L \text{ à } L^2$ Inertie thermique faible dans le 'petit'



- **Energie :** batteries, pétrole : $E \sim L^3$ / cellules photovoltaïques: $E \sim L^2$

difficulté de stockage d'énergie dans le 'petit'



Comportement des insectes



Marche sur l'eau
Tension de surface



Effets électrostatiques
Force électrostatique



Rapidité de mouvement
Faible inertie



Adhésion

Marche au plafond





ThermoBot: A Microrobotic Platform Actuated by Thermocapillary Flows for Manipulation at the Air-Water Interface

Franco N. Piñan Basualdo, A. Bolopion, M. Gauthier, P. Lambert
Transfers Interfaces & Processes (TIPs), École Polytechnique de Bruxelles
FEMTO-ST Institute, CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté

<https://www.youtube.com/watch?v=QthvLJINiGA>

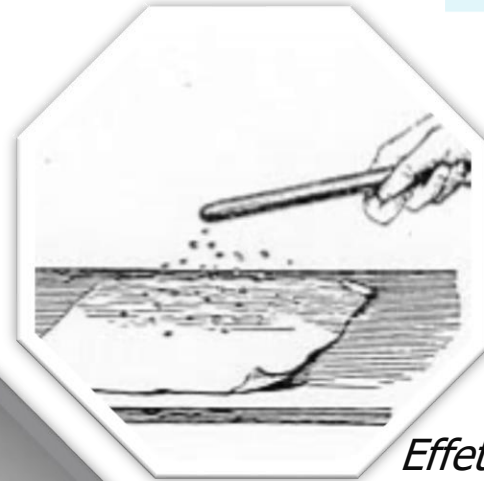
Simultaneous orientation and position control of a four-legged robot following a path

Control of an insect-like robot to
'capture' a floating spherical
particle
while avoiding a floating obstacle

Comportement des insectes



Marche sur l'eau
Tension de surface



Effets électrostatiques
Force électrostatique



Rapidité de mouvement
Faible inertie



Adhésion

Marche au plafond



Exploitation de la faible inertie



General principle and structure of MiGriBot

Maxence Leveziel, Wissem Haouas, Guillaume J. Laurent, Michaël Gauthier, Redwan Dahmouche



<https://www.youtube.com/watch?v=cTpnqgbfGPA>

Science
Robotics

AAAS

Exploitation de la faible inertie



MiGriBot:

Experimental pick-and-place operation of
a micro-object with high-speed cycle (100 ms)

Maxence Leveziel, Wissem Haouas, Guillaume J. Laurent, Michaël Gauthier, Redwan Dahmouche



Science
Robotics

AAAS

Comportement des insectes



Marche sur l'eau
Tension de surface



Effets électrostatiques
Force électrostatique



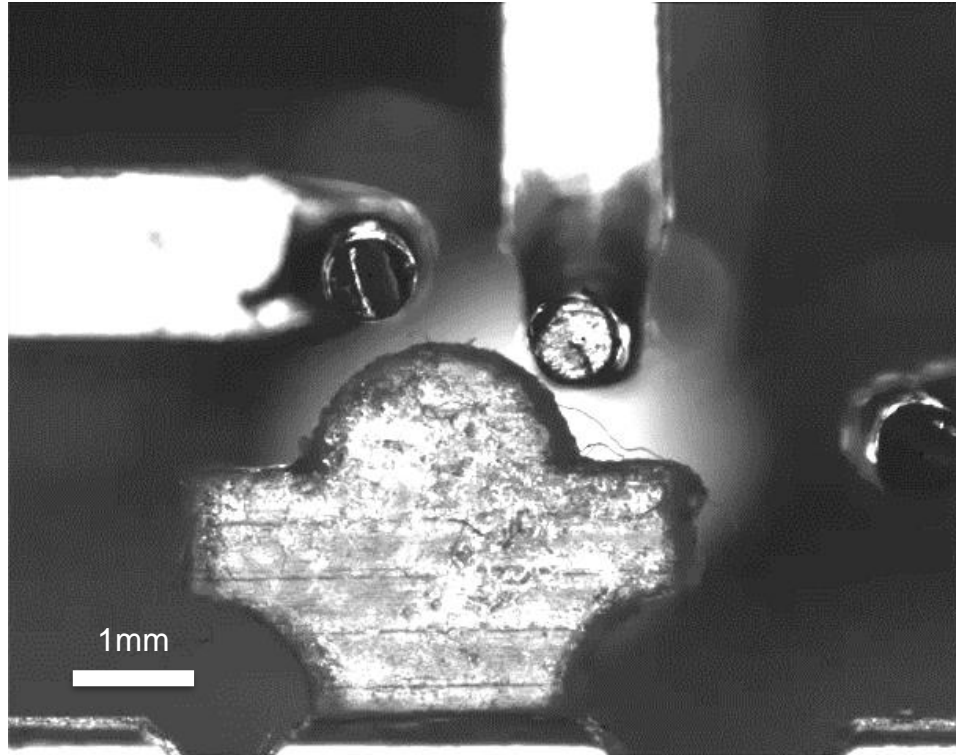
Rapidité de mouvement
Faible inertie



Adhésion

Marche au plafond

Exploitation de l'adhésion



Trans. On Robotics

Comportement des insectes



Marche sur l'eau
Tension de surface



Effets électrostatiques
Force électrostatique



Rapidité de mouvement
Faible inertie



Adhésion

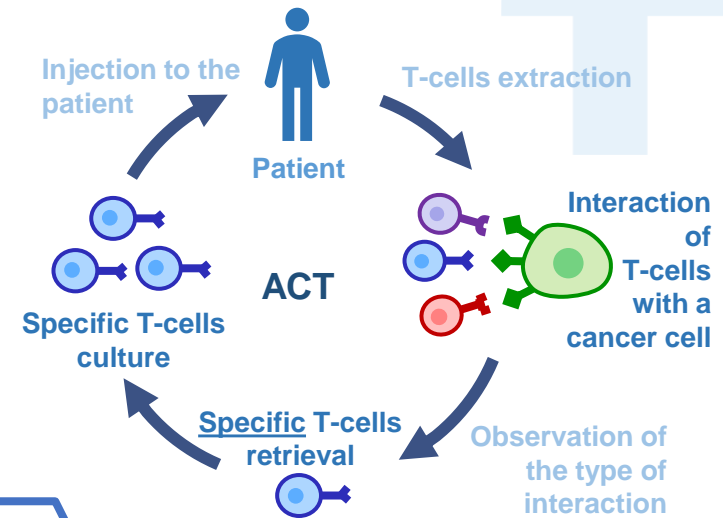
Marche au plafond



Exploitation des forces électrostatiques

- New cancer treatments using the patient immune cells
 - › Adoptive Cell Therapy (ACT)

- Need for tools to put cells in interaction and sort them afterwards



Challenges

Fast manipulation of a large amount of single-cells

1

No cell modifications or damages

2

Cells interaction and separation afterwards

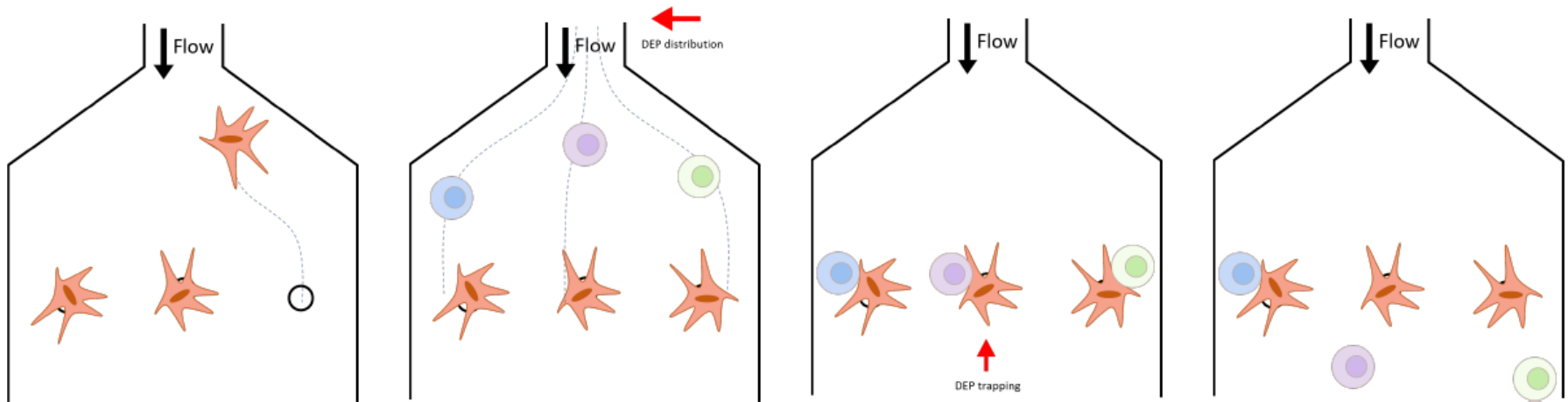
3

Cost affordable

4

Exploitation des forces électrostatiques

- General principle

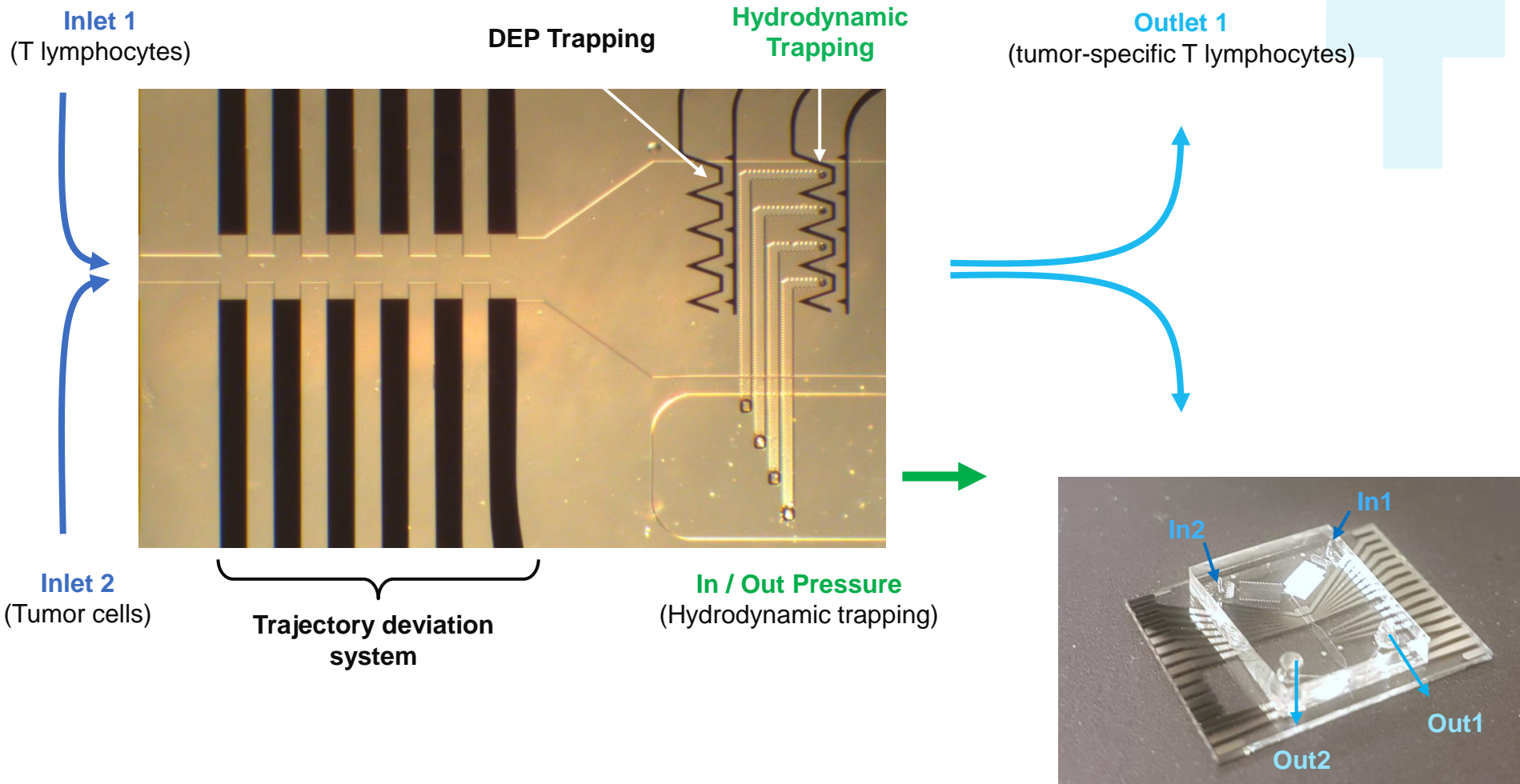


- Robotic challenges

- Controlling the cell trajectory
- Measuring the cell trajectory

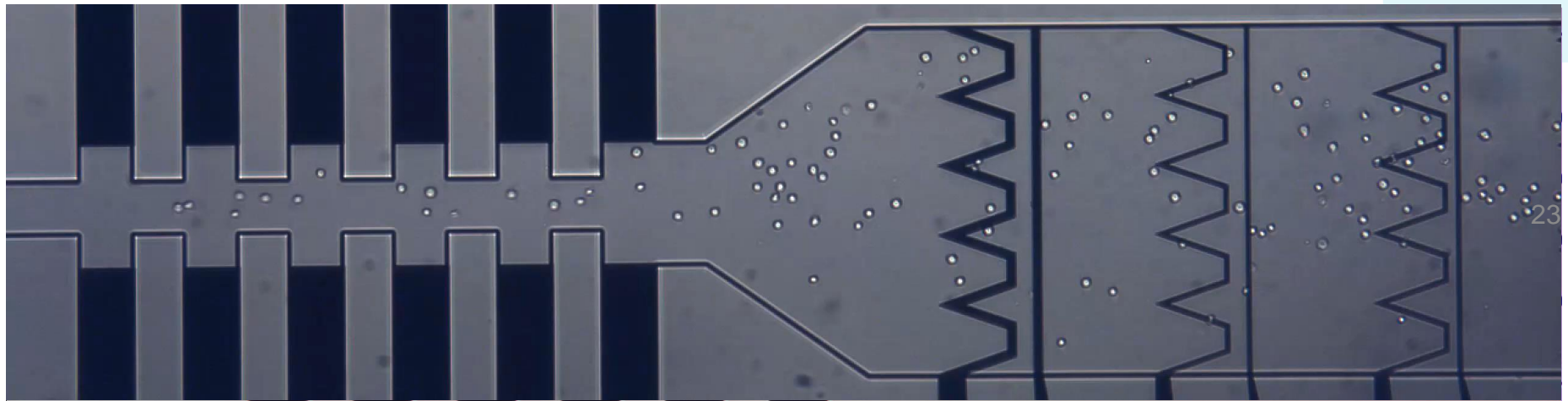
Exploitation des forces électrostatiques

- Design and manufacturing of the combined-actuation device



Test of the dielectrophoresis actuation

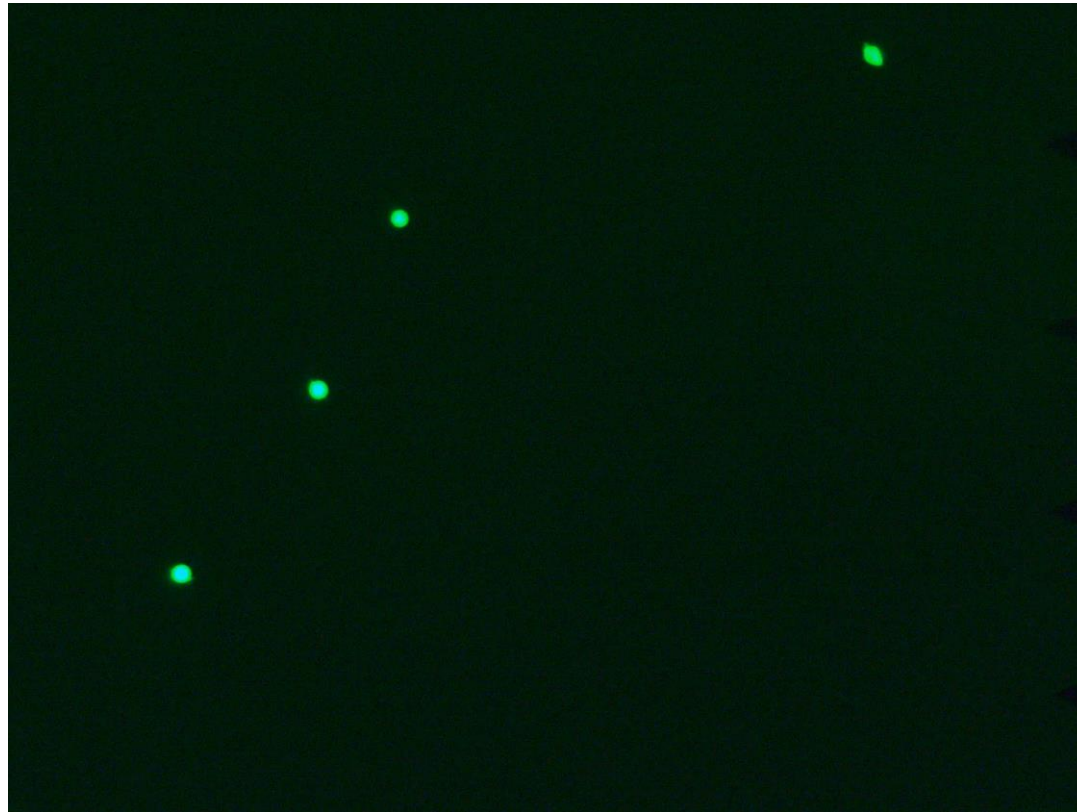
- Experimental verification of the dielectrophoretic actuation on particles



	Dielectrophoretic actuation		Particle	Buffer solution	
	Signal frequency	Signal amplitude	Type and diameter	Chemical composition	Conductivity
Beads	$f = 100\text{kHz}$	$V_{pp\ focus} = 16V$	$\emptyset 10\mu\text{m}$ Polystyren Beads	10% PBS 90% DI Water 0,1% Tween 20	$\sigma = 2,5\ \text{mS/cm}$
Cells	$f = 100\text{kHz}$	$V_{pp\ focus} = 10V;$ $V_{pp\ traps} = 4V$	$\emptyset 10\mu\text{m}$ Human T – cells (CEM)	40% RPMI 60% DI Water Dextrose for osmolarity	$\sigma = 6,4\ \text{mS/cm}$

<https://www.youtube.com/watch?v=Mtz1mzfRHcl>

Exploitation des forces électrostatiques



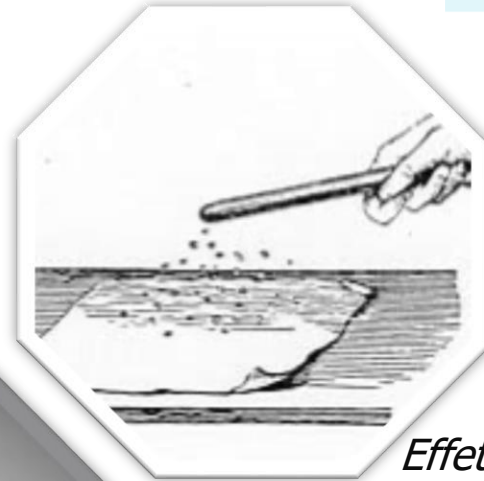
	Type of particle	Coating
Particle 1	Human tumor cells COLO205	Red fluorescence
Particle 2	T-CD4 human lymphocytes cells JURKAT	Green fluorescence

Testing DEP control
on two types of cells

Comportement des insectes



Marche sur l'eau



Effets électrostatiques



Rapidité de mouvement

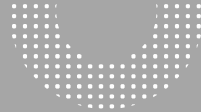


Marche au plafond



Autonomie

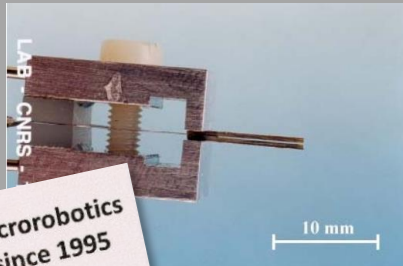




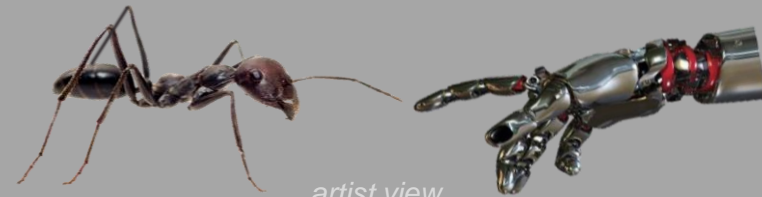
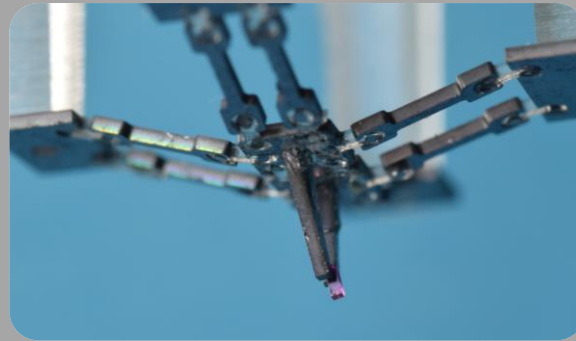
Microrobotique :

La robotique à l'échelle des fourmis

Michaël GAUTHIER, Directeur de recherche CNRS, FEMTO-ST, France



microrobotics
since 1995



artist view

1995 ————— 2023 ————— tomorrow

