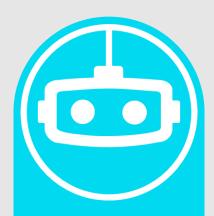
SOUFIANE MRINI Numéro d'inscription 5096





micro-robots
nageurs

<u>Plan</u>

I/-INTRODUCTION ET HISTOIRE.

II/- LA NAGE A L'ECHELLE MICROSCOPIQUE :

- 1- Définition
- 2- La nage à l'échelle microscopique VS la nage à l'échelle macroscopique
- 3- Le Nombre de Reynolds

III/- MODELISATION:

- 1- Modèle théorique:
- 2- Modélisation expérimentale : maquette du nageur 2-palettes :



I/ - INTRODUCTION ET HISTOIRE

La médecine minimalement invasive

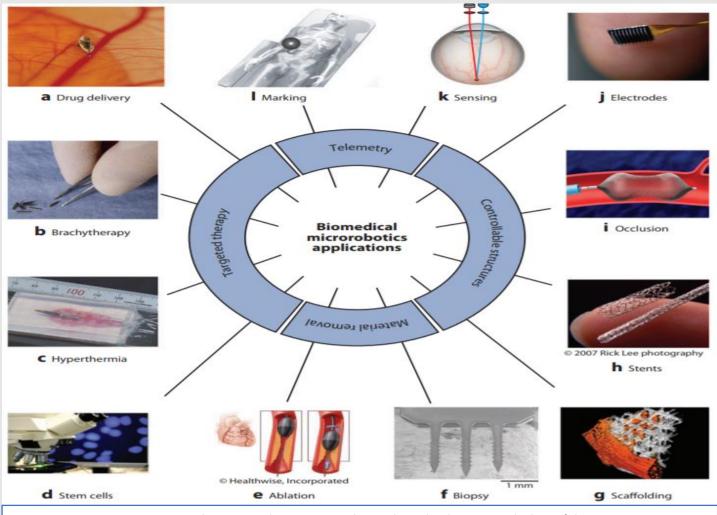


Figure 1 : Applications des micro-robots dans le domaine de la médecine



Dans l'histoire

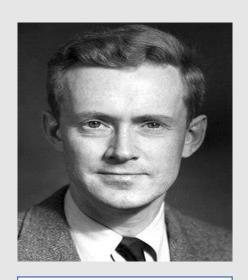


Figure 2 : Edward Mills Purcell et son nageur 3segments

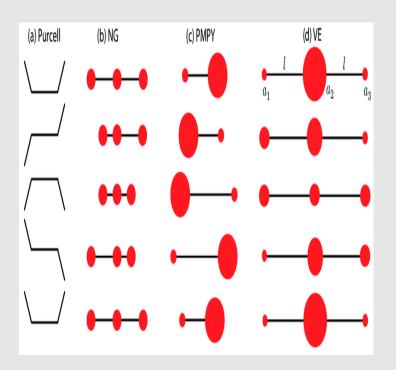


Figure 3 : A quoi ressemblerait un micro-nageur ?

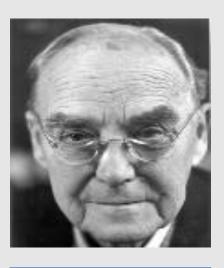


Figure 4 : Sir Geoffrey Ingram Taylor.

II/ - LA NAGE A L'ECHELLE MICROSCOPIQUE

1 - Définition **Natation** Déplacement Fluide Sans forces Brassées extérieures

Figure 5 : Nageur effectuant des brassées





Nager à :

L'échelle macroscopique

- Dimensions grandes, inertie importante
- Forces de frottements visqueux négligées



L'échelle microscopique

- Dimensions négligeables
- Inertie négligée
- Frottements visqueux importants pour l'étude du mouvement





Il faut donc introduire un paramètre qui traduit cette différence.



3 - Le Nombre de Reynolds

Re > 1:

Forces

visqueuses

négligées

μ: viscosité dynamique (kg/ms)

p : masse volumique (kg/m^3)

 $Re = \frac{\rho VL}{\mu}$ (Sans dimension)

> L: longueur caractéristi que du nageur (*m*)

Re < 1:

Inertie

négligée

V: Vitesse

débitante

ou du

nageur

(m/s)

Figure 6 : Ordres de grandeur

$$R_e = \frac{L.U}{v}$$

Description	Nombre de Reynolds
Évolution du manteau terrestre	10-20
Glacier	10-11
Bactéries dans l'eau	10-5
Spermatozoïdes dans le liquide séminal	10-3
Bille qui tombe dans du miel	10-2
Poisson d'aquarium	10 ²
Nageur dans l'eau	105
Serpent dans l'eau	10 ⁶
Oiseau	10°
Gros poisson dans l'eau	10 ⁸

Notre cas : Situations à faibles nombres de Reynolds

Figure 7 : Bactérie dans l'eau :
dimensions / vitesses négligeables

Figure 8 :Pouvons-nous nager dans du miel ?

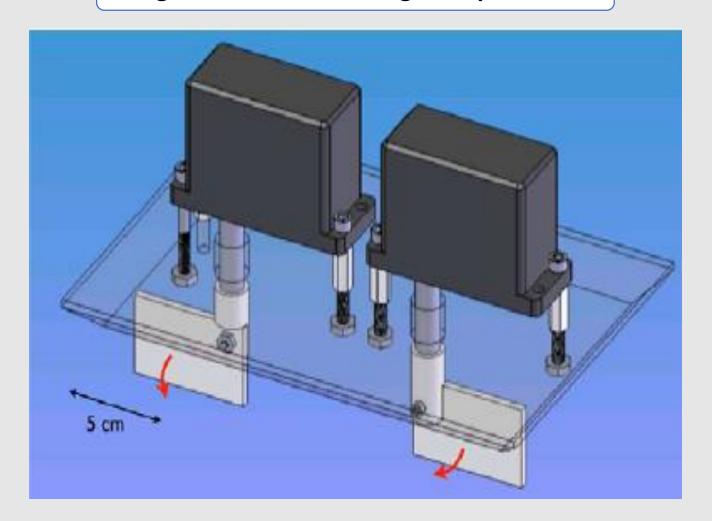


III/ - MODELISATION



1- Modèle théorique:

Figure 9 : Schéma du nageur 2-palettes.



Théoriquement : Comment notre modèle nagerait-il ?

Le nageur change de forme ⇒ pousse le fluide. Celuici réagit en suivant les équations (de Stokes) et déplace le nageur.



Mise en équation



Dans le cas général, les équations de Navier-Stokes s'écrivent :

$$div \vec{u} = 0$$

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} \right) - \mu \Delta \vec{u} + \nabla p = \vec{f}$$

Où:

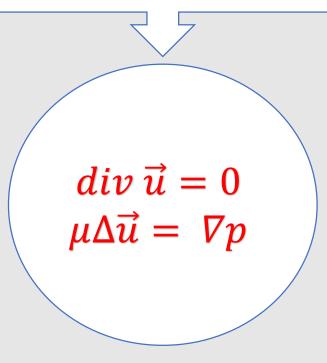
 \overrightarrow{u} : vitesse (en m/s)

 ρ : masse volumique du fluide (en kg/m^3)

p: champ de pression (en Pa)

 \overrightarrow{f} : force inertielle. (en N)

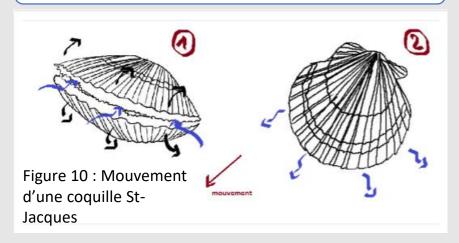
Faible nombre de Reynolds

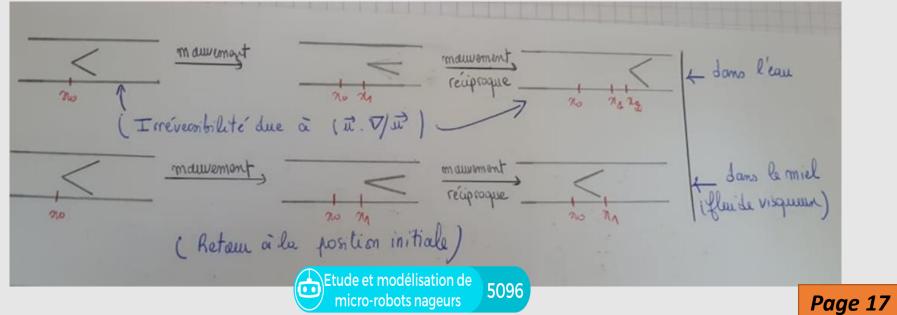


EQUATIONS DE STOKES

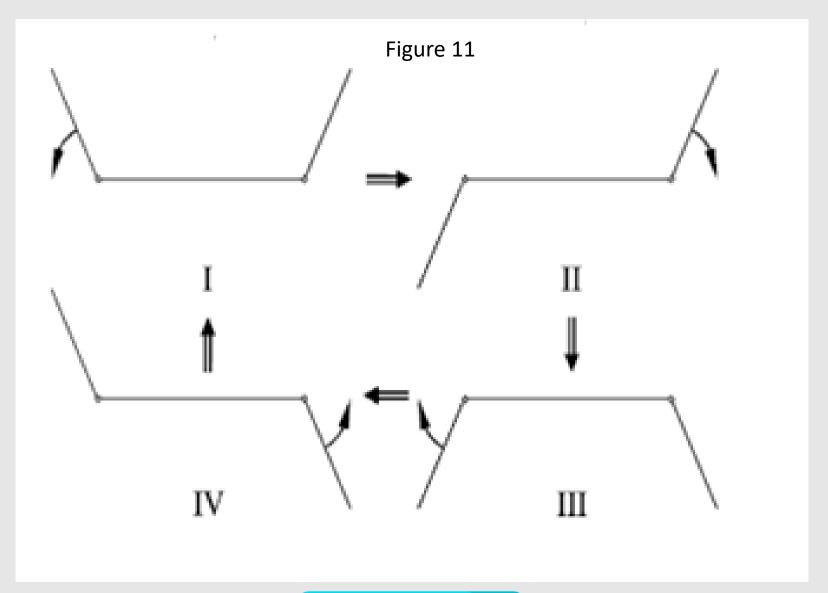
Conséquence : Réversibilité

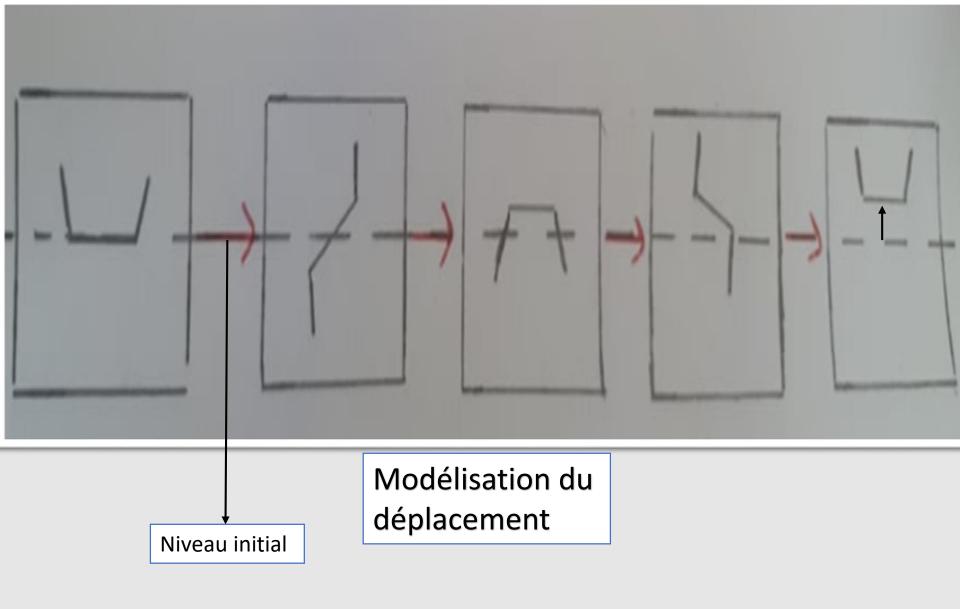
Théorème de la coquille Saint-Jacques





Exemple de cycle non réversible : degrés de liberté > 1







Théorèmes fondamentaux



$$\sum \vec{F} = 0$$

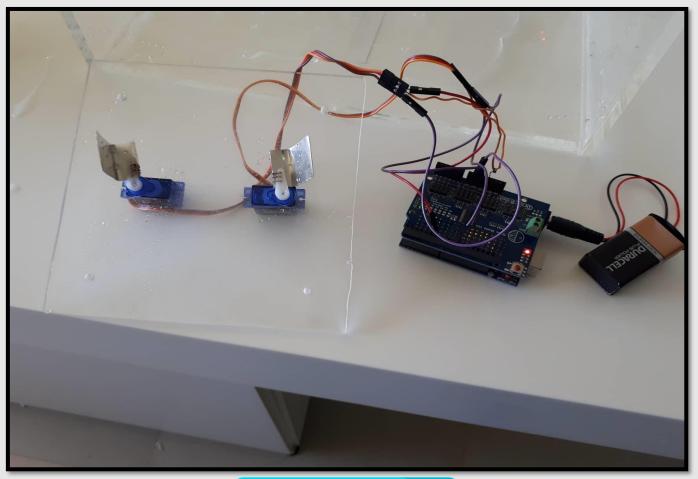
$$\sum_{i} \vec{M} = 0$$

$$\sum_{\overrightarrow{M_1}} \overrightarrow{M_2} = 0$$

$$\overrightarrow{M_1} - \overrightarrow{M_2} = cste$$

2- Modèle expérimental:

Vue d'ensemble de la maquette



Objectifs

Fabriquer un simple robot capable de se mouvoir dans les fluides

Observer et caractériser le mouvement dans des fluides visqueux

Etude expérimentale Vérifier différentes combinaisons pour la propulsion

Calculer la vitesse de déplacement et vérifier le nombre de Reynolds

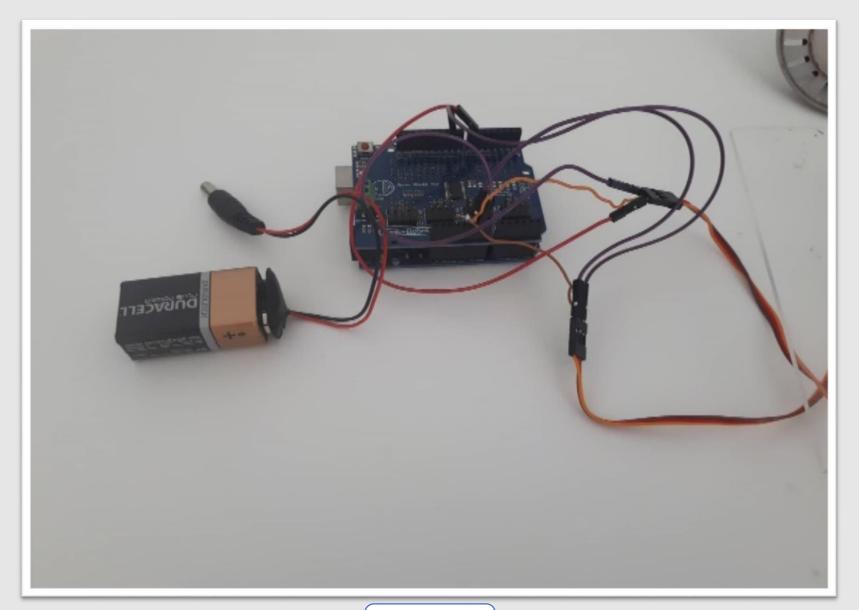
5096

2-1- Matériel et protocole



Bassin





-Carte Arduino -Alimentation





Glycérol:

-Masse

volumique:

 $1260 kg/m^3$

-Viscosité

dynamique:

1,49 *kg/ms*

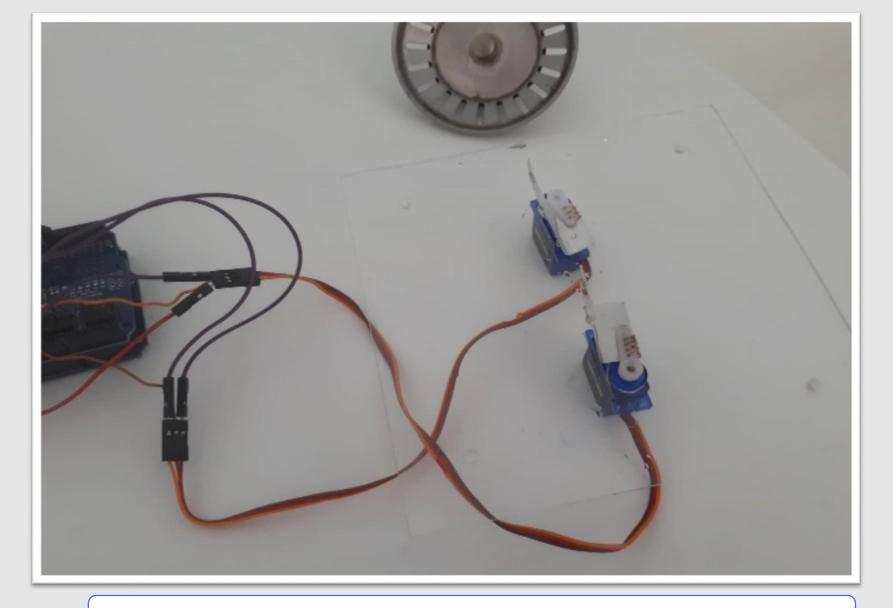
Glycérol



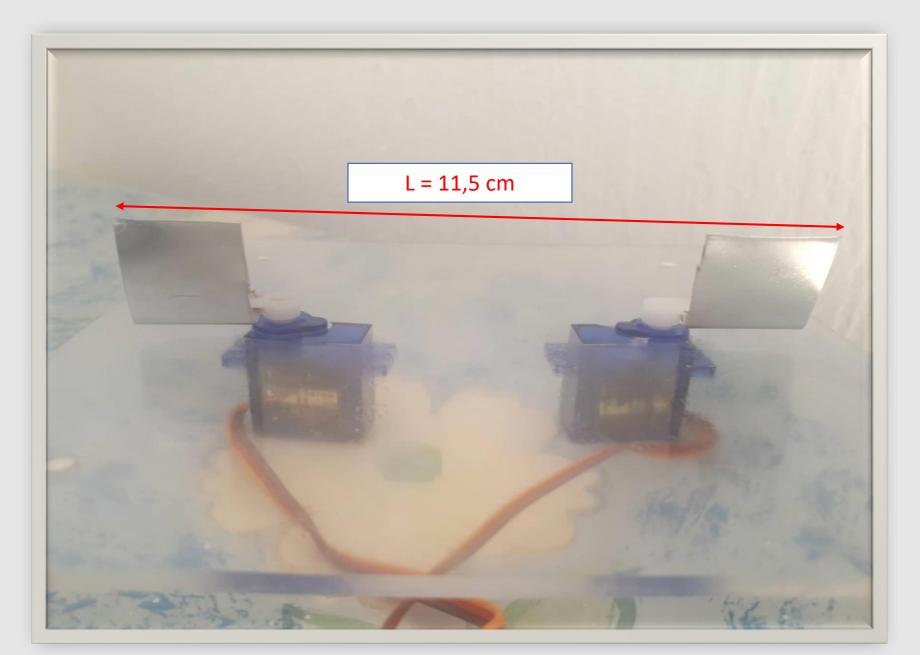
Masse volumique $1,45 kg/m^3$

Viscosité dynamique: 10 kg/ms

Miel

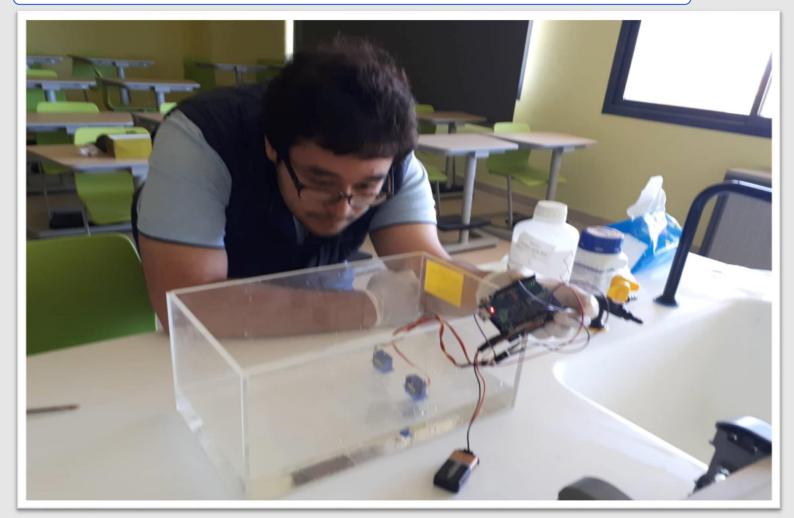


Robot : 2 servomoteurs + une plaque en verre + 2 palettes

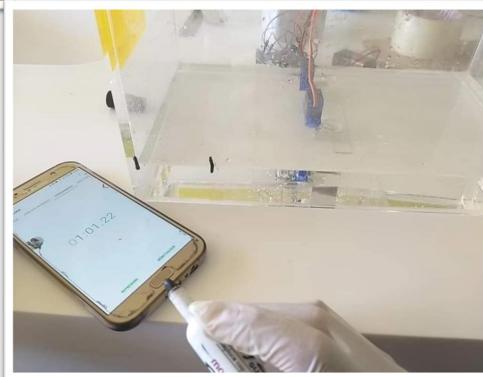


2-2- Résultats expérimentaux

Mesures et remarques dans le glycérol. 1







Mesures	Vitesse expérimentale (cm /s)	Nombre de Reynolds (Sans unité)
1	0,11 cm/s	0,104
2	0,10 cm/s	0,098
3	0,083 cm/s	0,081
4	0,0908 cm/s	0,088
5	0,091 cm/s	0,089
6	0,10 cm/s	0,098
7	0,093 cm/s	0,091
8	0,0925 cm/s	0,089



Vitesse moyenne: 0.10 cm/s

Nombre de Reynolds Moyen

•

0.09 < 1







Utilisation de miel. Bassin plus grand.

Remarque:
Changement
du code
Arduino

Mise en position





Le nageur tourne

- On dirait qu'il rampe



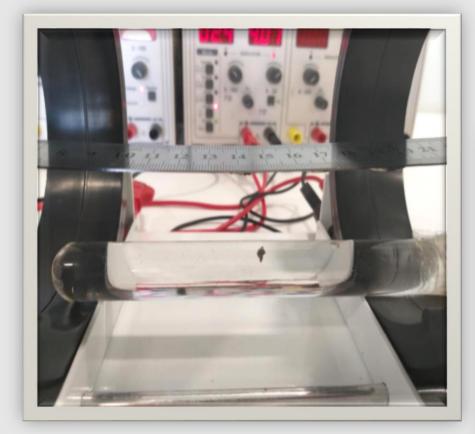
Mesures	Vitesse expérimentale (cm /s)	Nombre de Reynolds (Sans unité)
1	0,083 cm/s	0,0138
2	0,078 cm/s	0,0130
3	0,080 cm/s	0,0133
4	0,083 cm/s	0,0138
5	0,068 cm/s	0,0113



Vitesse moyenne : $0.08 \ cm/s$

Nombre de Reynolds Moyen : 0.01304 < 1





1^{ière} expérience



2^{ième} expérience

IV/ - CONCLUSION

Merci pour votre attention.

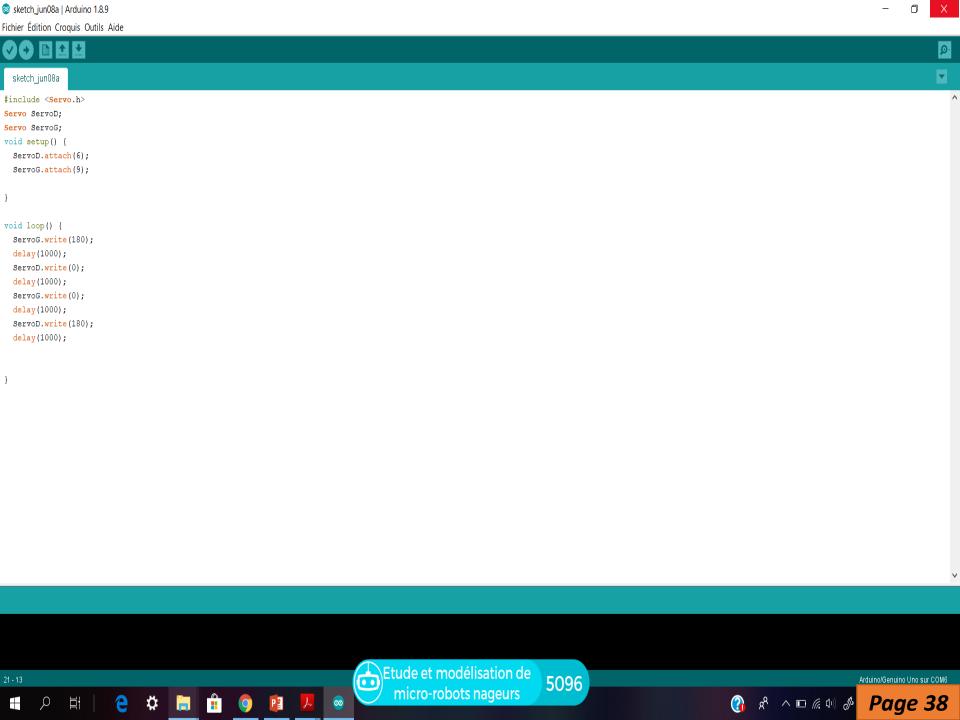


Annexe

```
richier Edition Croquis Outils Aide
  MicroRobNag
 #include <Servo.h>
 Servo ServoD;
  Servo ServoG;
  void setup() {
    ServoD.attach(6);
    ServoG.attach(9);
   void loop() {
     ServoG.write(180);
     ServoD.write(0);
     for (int position = 0; position <= 180; position++) {
        ServoG.write(position);
        delay(15);
    for (int position = 180; position >= 0; position--) {
         ServoD.write(position);
         delay(15);
                 Etude et modélisation de
```

micro-robots nageurs

5096



Références des figures

- -Figures 1 et 11: Bradley J. Nelson, Ioannis K. Kaliakatsos, Jake J. Abbott: Microrobots for Minimally Invasive Medicine: Annual Review of Biomedical Engineering, 2010, pp.55-85.
- -Figures 2 et 4 : Wikipedia
- -Figure 9 : Greg Huber, Stephan A. Koehler, Jing Yang : Micro-swimmers with

hydrodynamic interactions: Mathematical and Computer Modelling Volume 53,

Issues 7–8, April 2011, Pages 1518-1526

Figures 5, 7, et 8: Images quelconques de google image