

CONCEPTION D'UN ROBOT POISSON BIO-INSPIRÉ

Tuteur : *M. Cédric ANTHIERENS*

Laboratoire : *COSMER*

*Jack MEZLEF L2SI
2024/2025*

Table des matières

Objectif :

- Concevoir un robot capable d'évoluer dans l'eau en imitant la nage naturelle d'un poisson

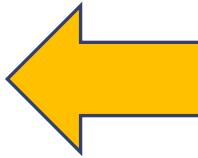
Axes étudiés :

- Introduction
- Pourquoi concevoir un robot poisson bio-inspiré
- Comment a-t-il été conçu par des moyens simples
- Quelles sont améliorations possibles
- Conclusion

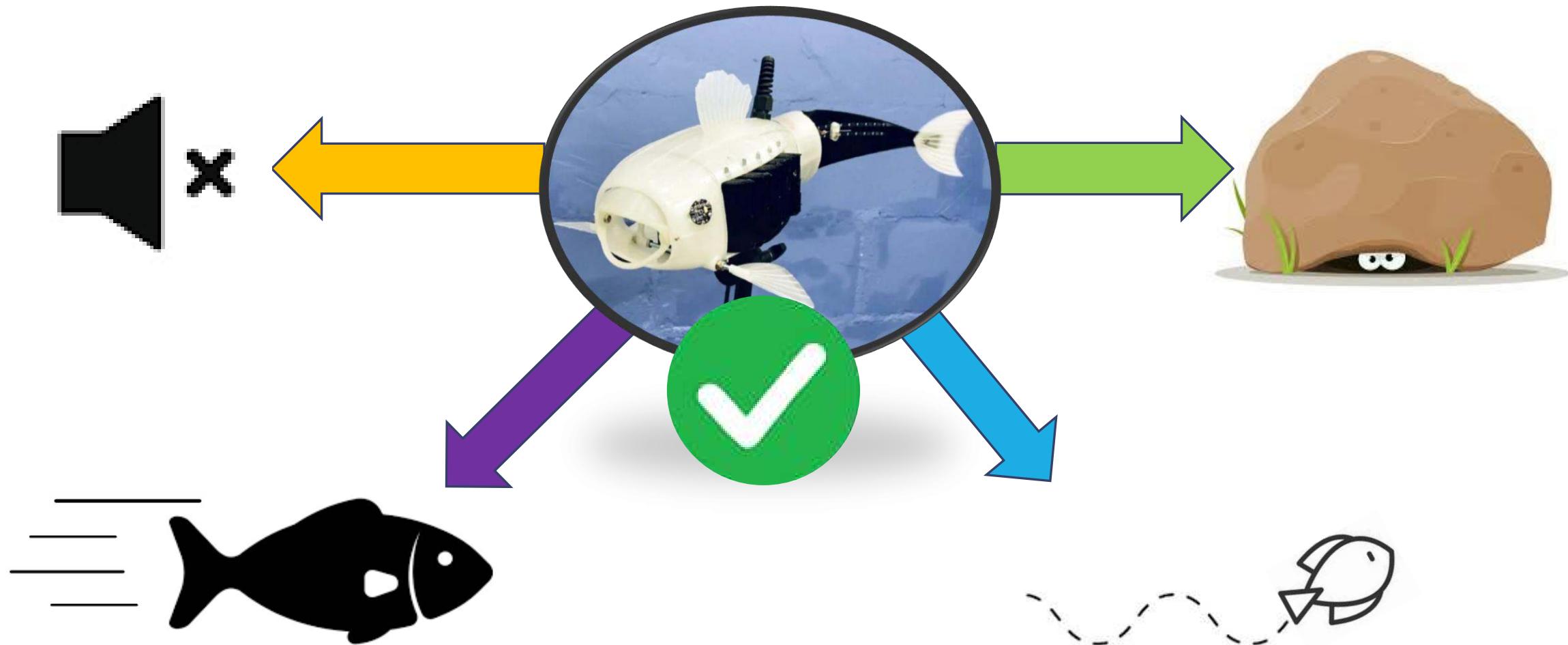
Outils:

- Fusion 360
- Arduino IDE

Pourquoi un robot bio-inspiré ?



Pourquoi un robot bio-inspiré ?



Un exemple : le robot SoFi

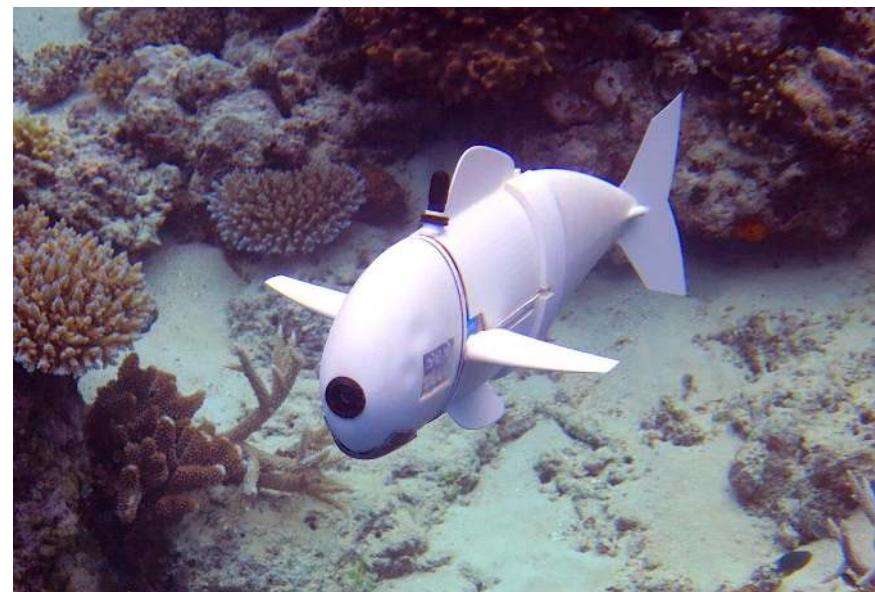
« Soft Robotic Fish »



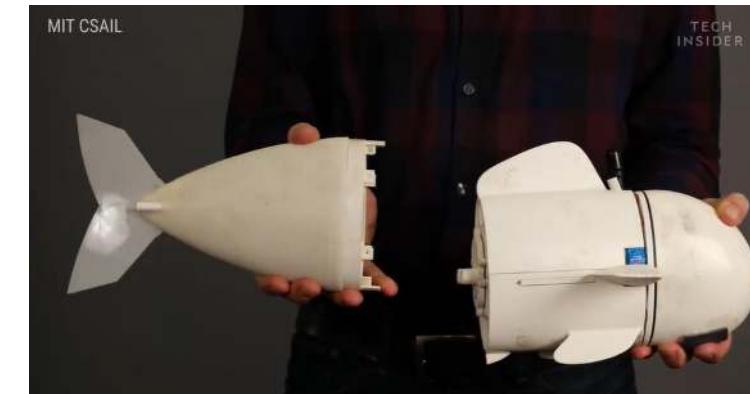
Le circuit électrique



Une queue souple



Robot SoFi en immersion



Assemblage du robot



La pompe hydraulique

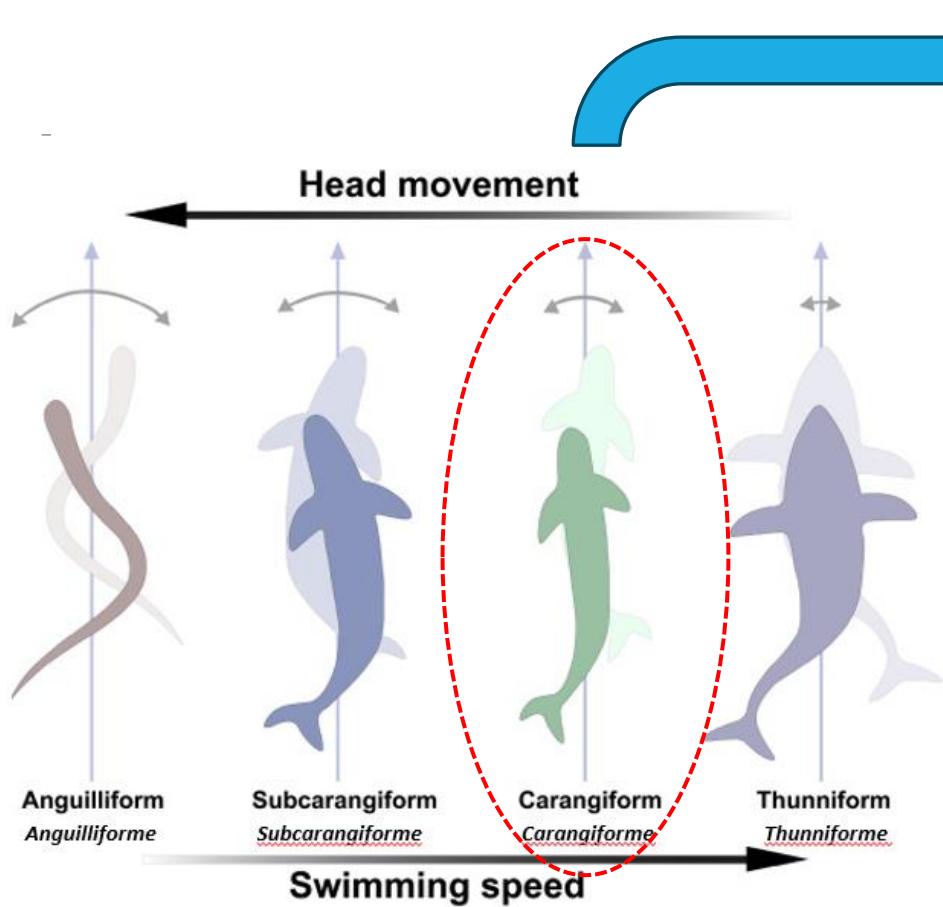
Budget

- Budget maximum prévisionnel : **200 €**
- Coût réel : **196 €**



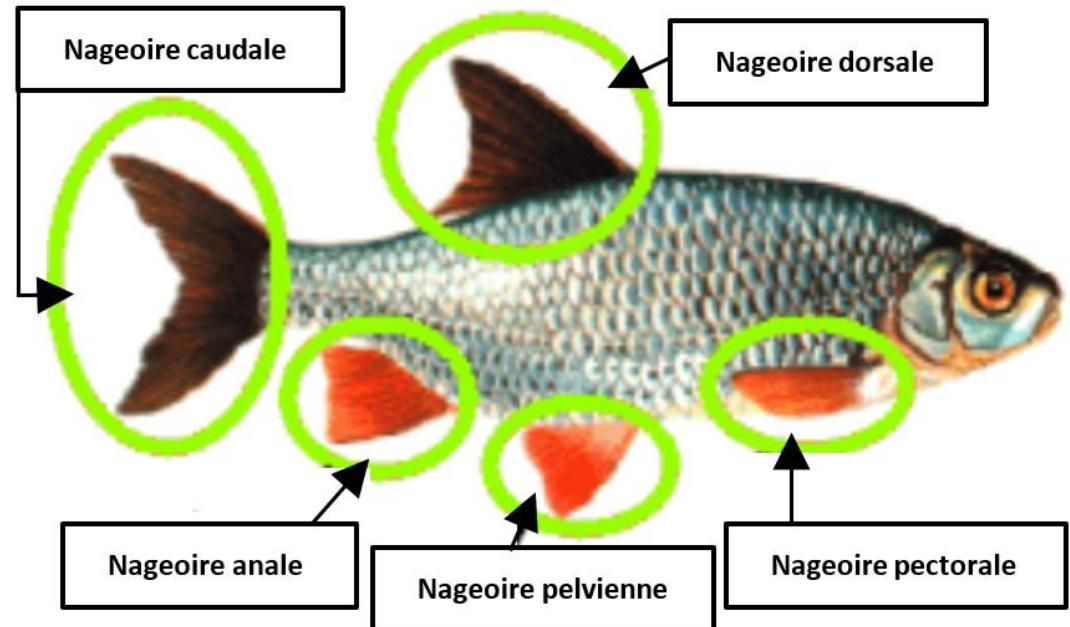
| Composants | Prix |
|---|-------------|
| Arduino Nano | 25€ |
| Servomoteur SG90 | 3€ |
| Batterie LiPo | 24€ |
| Chargeur de Batterie | 17€ |
| Convertisseur de Batterie | 13€ |
| Matériaux d'impression 3D (PLA/TPU) | 53€ |
| Tige métallique de 3 mm | 9€ |
| Fils électriques | 8€ |
| Capteur de température étanche (DS18B20) | 6€ |
| Capteur de distance à ultrasons étanche (HC-SR04) | 4€ |
| Module Bluetooth (HC-05) | 8€ |
| Mini interrupteur à bascule étanche (IP65) | 6€ |
| Joints Toriques en silicone | 10€ |
| Colle époxy : Colle résistante à l'eau | 10€ |
| Total | 196€ |

Le type de déplacement choisi : La nage Carangiforme



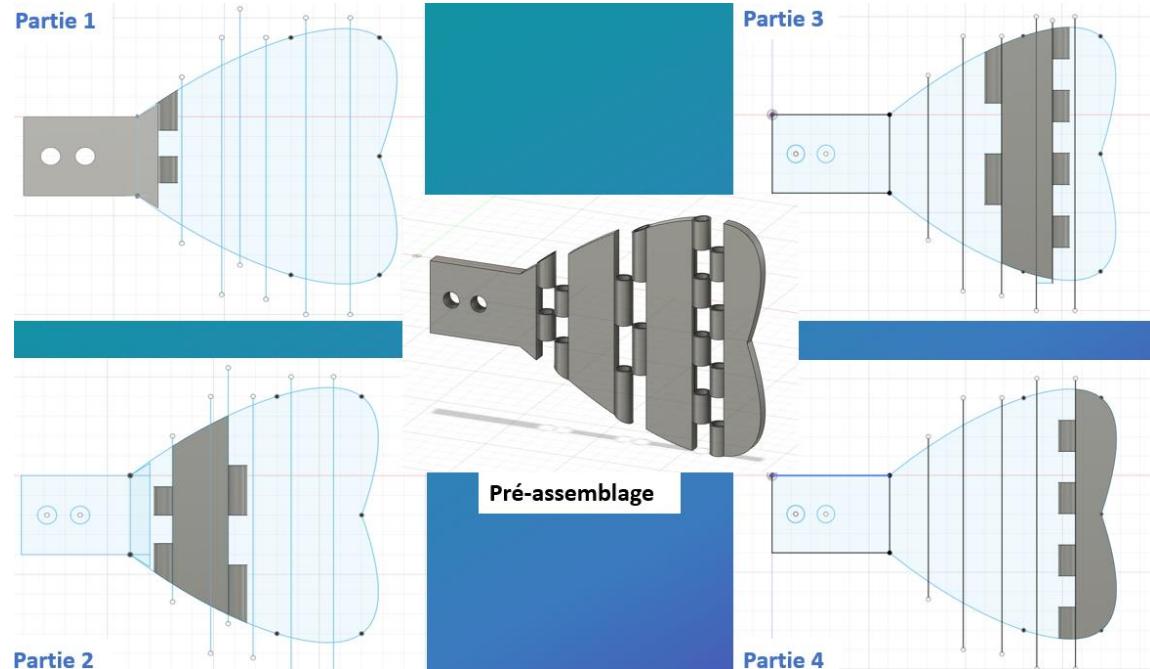
Types de Nages

Types de Nageoires

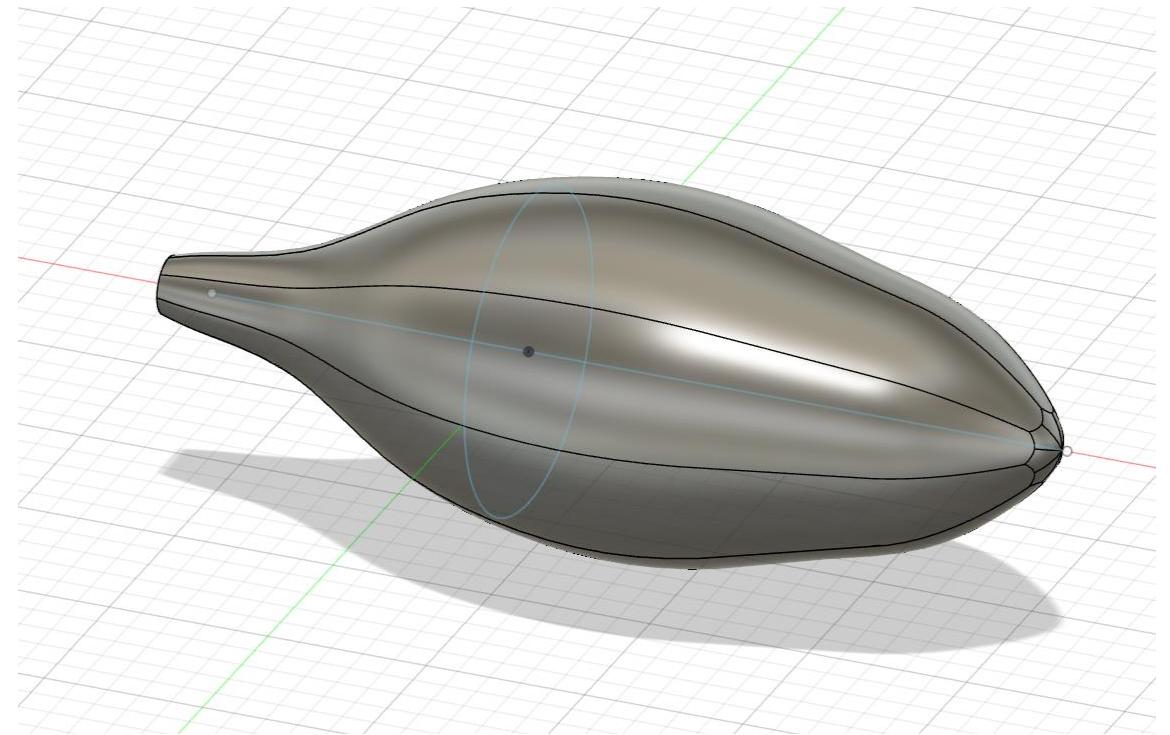


Conception mécanique

➤ La nageoire caudale



➤ Le corps rigide





► Le Servomoteur SG90

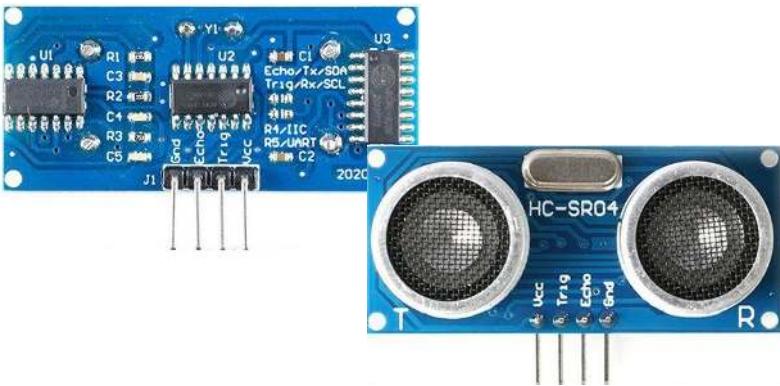


Code

```
1 int servoPin = 9;
2 int angleGauche = 60;
3 int angleDroite = 120;
4
5 // void setup() {
6 //   pinMode(servoPin, OUTPUT);
7 // }
8
9 // void loop() {
10  envoyerSignalServo(angleGauche);
11  delay(300);
12
13  envoyerSignalServo(angleDroite);
14  delay(300);
15 }
16
17 // void envoyerSignalServo(int angle) {
18  int impulsion = map(angle, 0, 180, 544, 2400);
19
20  for (int i = 0; i < 50; i++) {
21    digitalWrite(servoPin, HIGH);
22    delayMicroseconds(impulsion);
23    digitalWrite(servoPin, LOW);
24    delayMicroseconds(20000 - impulsion);
25  }
26 }
```



➤ Capteur de distance à ultrasons étanche (HC-SR04)



Code

```
CodeCapteurs.ino
1 #include <OneWire.h>
2 #include <DallasTemperature.h>
3
4 int servoPin = 9;
5 const int trigPin = 10;
6 const int echoPin = 11;
7 #define ONE_WIRE_BUS 2
8
9 OneWire oneWire(2);
10 DallasTemperature sensors(&oneWire);
11
12 int angleGauche = 60;
13 int angleDroite = 120;
14 int vitesse = 50;
15 bool nage = true;
16 int seuilDistance = 20;
17
18 void setup() {
19   pinMode(9, OUTPUT);
20   pinMode(10, OUTPUT);
21   pinMode(11, INPUT);
22   Serial.begin(9600);
23   sensors.begin();
24 }
25
26 void loop() {
27   float temperature = lireTemperature();
28   int distance = lireDistance();
29
30   Serial.print("Température : ");
31   Serial.print(temperature);
32   Serial.println(" °C");
33
34   Serial.print("Distance : ");
35   Serial.print(distance);
36   Serial.println(" cm");
37
38
39   if (distance < seuilDistance) {
40     nage = false;
41     Serial.println("Obstacle détecté, arrêt du robot.");
42   } else {
43     nage = true;
44   }
45
46   if (nage) {
47     for (int i = 0; i < vitesse; i++) {
48       envoyerSignalServo(angleGauche);
49       delay(300);
50       envoyerSignalServo(angleDroite);
51       delay(300);
52     }
53   } else {
54     delay(1000);
55   }
56 }
57
58 void envoyerSignalServo(int angle) {
59   int impulsion = map(angle, 0, 180, 544, 2400);
60   for (int i = 0; i < 50; i++) {
61     digitalWrite(9, HIGH);
62     delayMicroseconds(impulsion);
63     digitalWrite(9, LOW);
64     delayMicroseconds(20000 - impulsion);
65   }
66 }
67
68 float lireTemperature() {
69   sensors.requestTemperatures();
70   return sensors.getTempCByIndex(0);
71 }
72
73 int lireDistance() {
74   digitalWrite(10, LOW);
75   delayMicroseconds(2);
76   digitalWrite(10, HIGH);
77   delayMicroseconds(10);
78   digitalWrite(10, LOW);
79
80   long duree = pulseIn(11, HIGH);
81   int distance = duree * 0.034 / 2;
82   return distance;
83 }
```

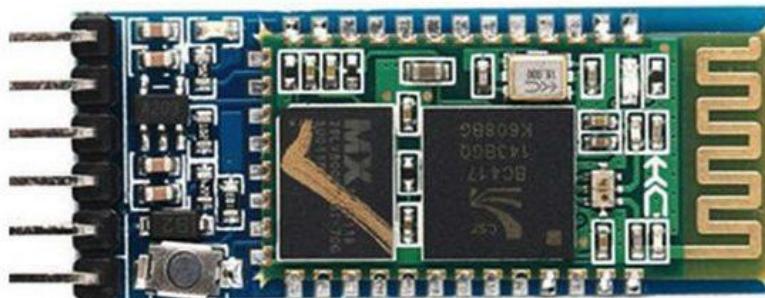
➤ Capteur de température étanche (DS18B20)



Code



➤ Module Bluetooth (HC-05)



Code

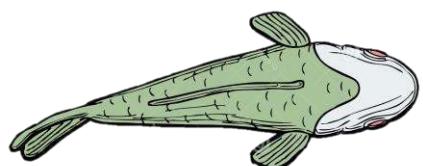
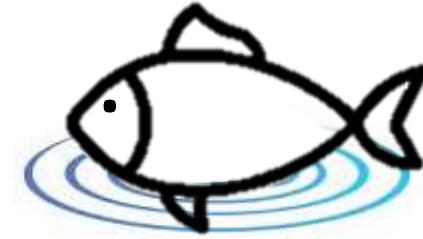
```
1 int servoPin = 9;
2 int angleGauche = 60;
3 int angleDroite = 120;
4 int vitesse = 50;
5 bool nage = false;
6
7 void setup() {
8     pinMode(servoPin, OUTPUT);
9     Serial.begin(9600);
10 }
11
12 void loop() {
13     if (Serial.available()) {
14         char commande = Serial.read();
15
16         if (commande == 'G') {
17             nage = true;
18         } else if (commande == 'S') {
19             nage = false;
20         } else if (commande == 'U') {
21             vitesse += 10;
22             if (vitesse > 100) vitesse = 100;
23         } else if (commande == 'D') {
24             vitesse -= 10;
25             if (vitesse < 10) vitesse = 10;
26         }
27     }
28     if (nage) {
29         for (int i = 0; i < vitesse; i++) {
30             envoyerSignalServo(angleGauche);
31             delay(300);
32             envoyerSignalServo(angleDroite);
33             delay(300);
34         }
35     }
36 }
37 void envoyerSignalServo(int angle) {
38     int impulsion = map(angle, 0, 180, 544, 2400);
39
40     for (int i = 0; i < 50; i++) {
41         digitalWrite(servoPin, HIGH);
42         delayMicroseconds(impulsion);
43         digitalWrite(servoPin, LOW);
44         delayMicroseconds(20000 - impulsion);
45     }
46 }
```

Tests envisagés



Test
d'étanchéité

Test de
flottabilité



Test de nage



Test des Capteurs



Test du Module
Bluetooth

Calculs des performances

- **La Force de poussée dans l'eau (formule simplifiée)**

$$F_p \propto C \times \rho \times S \times A^2 \times f^2$$

Données:

- C = **1** (dépend du type de nageoire)
- $\rho = \text{1000 kg/m}^3$ (dans l'eau douce)
- S = longueur x largeur = $0.07 \times 0.08 = \text{0.0056 m}^2$
- A = Longueur de la nageoire x $\Delta\theta = 0.07 \times (120^\circ - 60^\circ) = 0.07 \times \pi/3 = \text{0.0733 m}$
- f = 1/(battement aller-retour) = $1/(300 \text{ ms} + 300 \text{ ms}) = 1/0.6 = \text{1.67 Hz}$

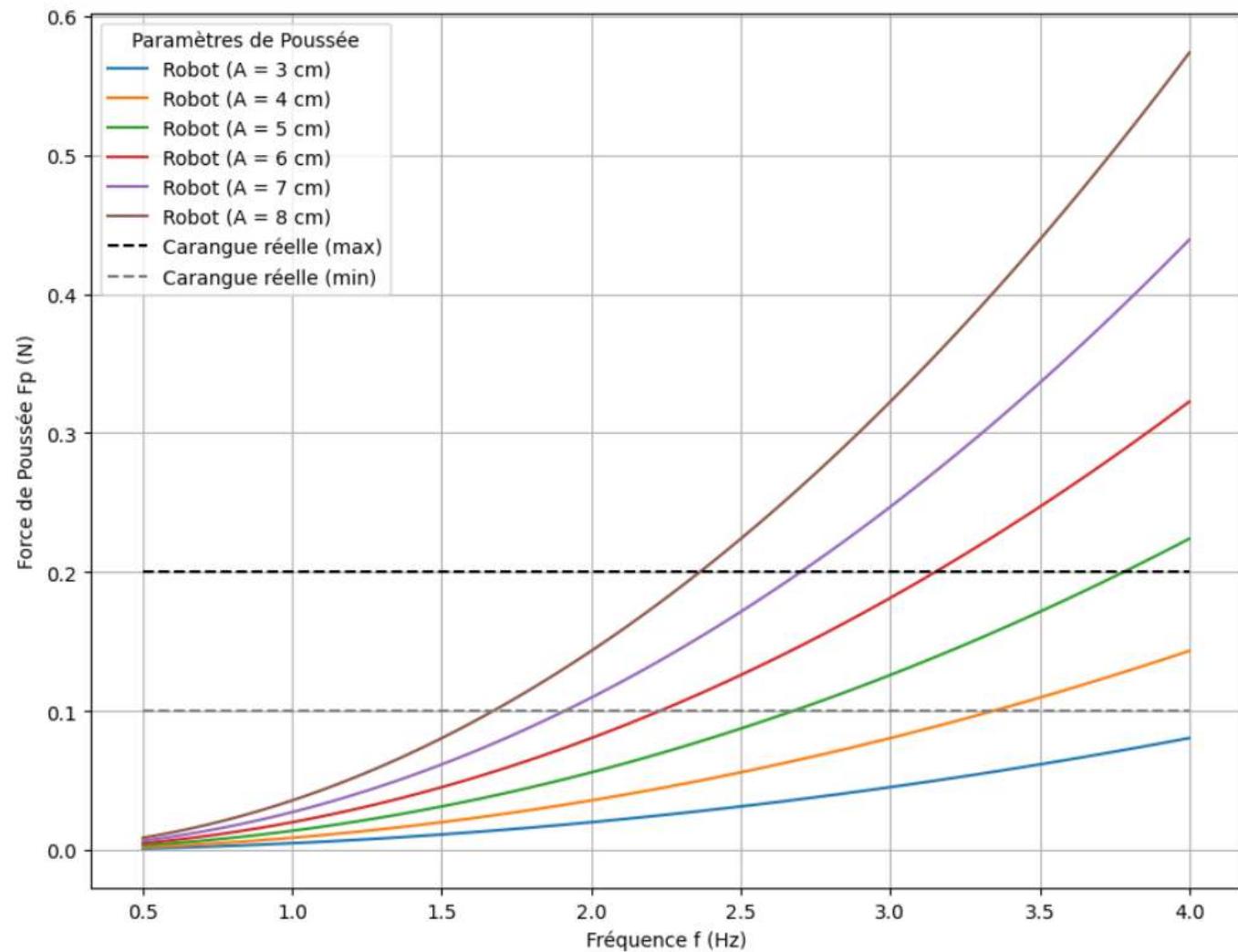
- **La Force de poussée dans l'eau (formule simplifiée)**

$$F_p \propto C \times \rho \times S \times A^2 \times f^2$$

Application numérique :

► $F_p \propto 1 \times 1000 \times 0,0056 \times 0,0733^2 \times 1,67^2$

► $F_p \propto 0,083 \text{ N}$



Graphique de la Force de poussée dans l'eau en fonction de l'amplitude et de la fréquence

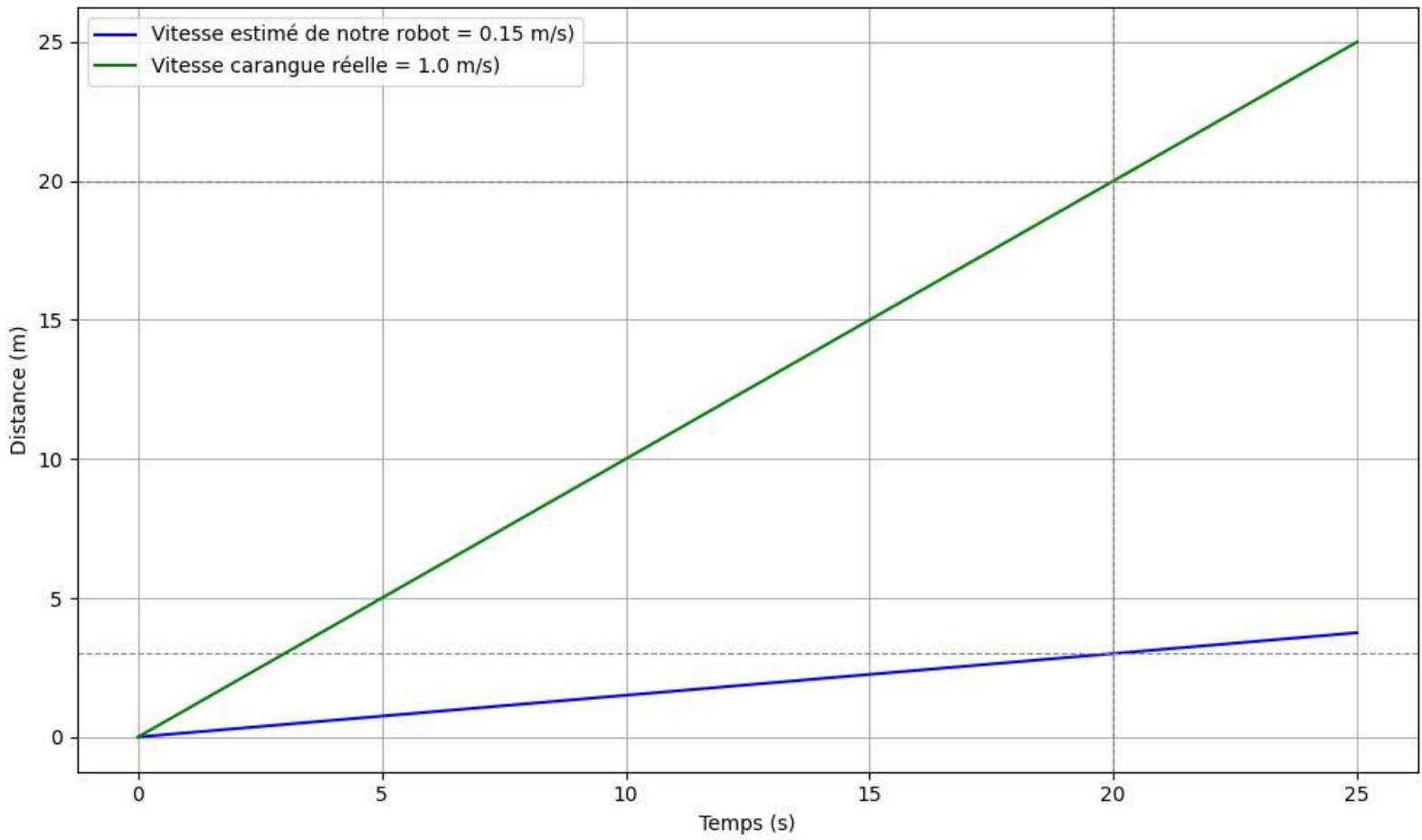
• La vitesse de nage

$$v = \frac{\text{distance}}{\text{temps}}$$

Application numérique :

- Distance estimée = **3 m**
- Temps estimé = **20 s**

► $v = \frac{3}{20} = 0,15 \text{ m/s}$



*Graphique de la vitesse de nage en fonction
de la distance et du temps*

Consommation

| Composants | Consommation électrique |
|------------------------|-------------------------|
| Arduino Nano | ≈ 50 mA |
| Servomoteur SG90 | ≈ 600 mA |
| Capteur de température | ≈ 2 mA |
| Capteur de distance | ≈ 15 mA |
| Module Bluetooth | ≈ 40 mA |
| Total | ≈ 707 mA |

Autonomie

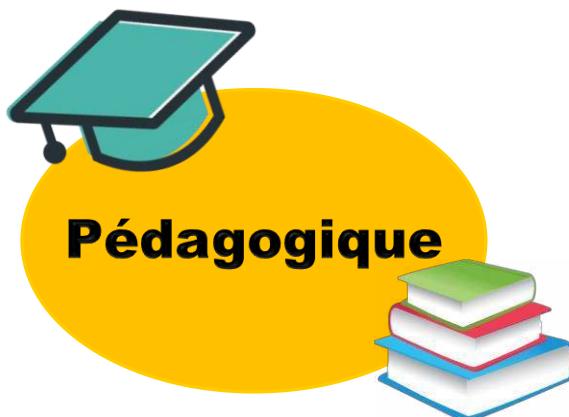
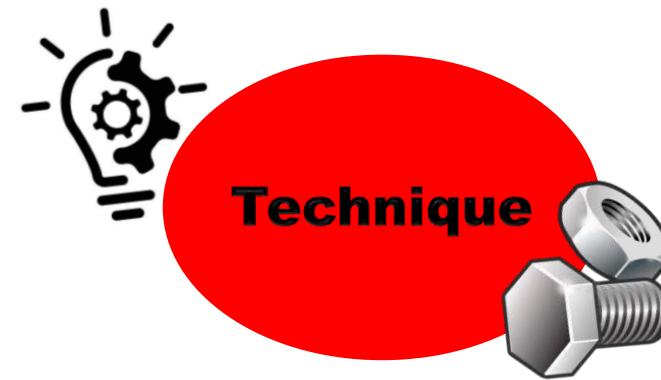
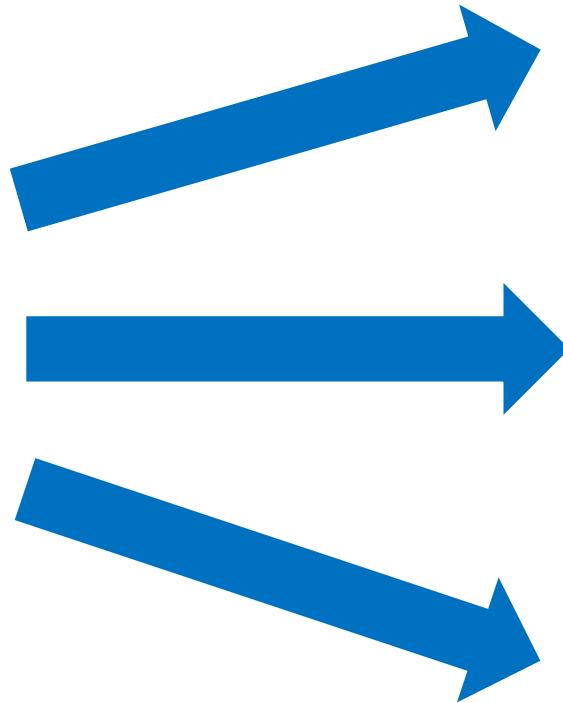
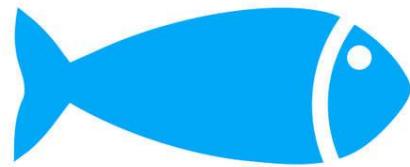
$$Autonomie = \frac{\text{Capacité de la batterie (en mAh)}}{\text{Consommation totale (en mA)}}$$

Application Numérique :

- Capacité de la batterie (en mAh) = **1000 mAh**
- Consommation totale (en mA) = **707 mA**

► $Autonomie = \frac{1000}{707} \approx 1,41h \approx \textcolor{green}{1h24}$

Améliorations possibles dans différents domaines



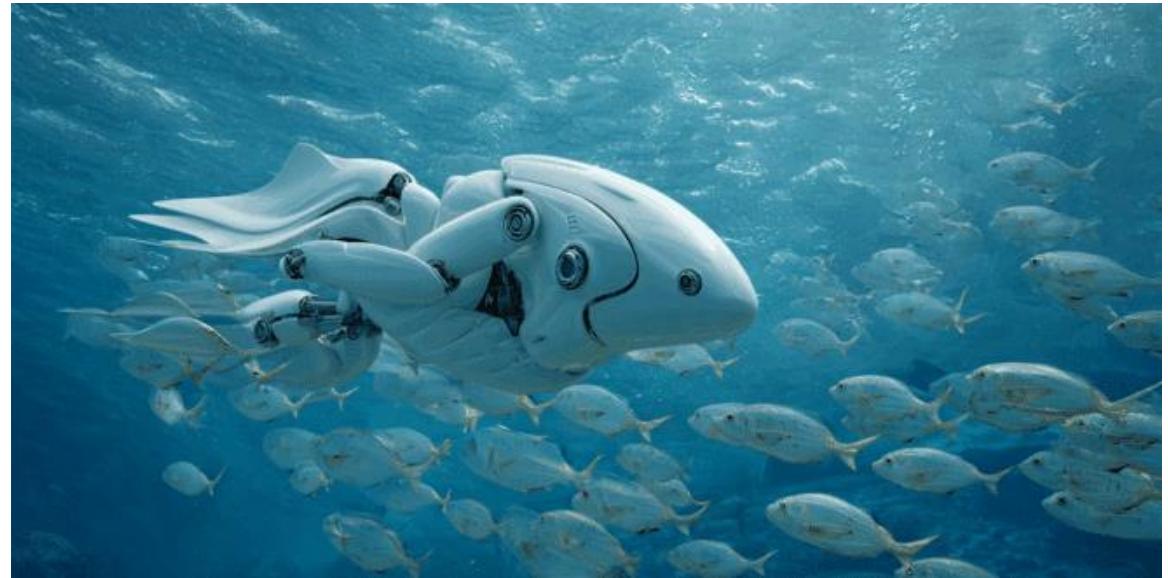
Pour conclure ...

➤ **Plusieurs domaines de l'ingénierie réunis autour d'un seul projet**

➤ **Découvertes concrètes :**

- Biomimétisme en robotique
- Electronique embarquée
- Programmation
- Modélisation

➤ **Bilan Personnel**



Bibliographie

- « Introduction à la bio-inspiration » : ► https://www.editions-ellipses.fr/PDF/9782340024342_extrait.pdf
- « Biomimétisme : définition et exemples », Youmatter.world, (4/12/17) :
 - <https://youmatter.world/fr/definition/biomimetisme-definition-exemples/>
- **Le Robot SoFi (MIT)**
 - « Robot sous-marin exploration à contrôle acoustique biomimétisme SoFi Soft Robotic Fish MIT », Leobotic.fr, (2/06/21) :
 - <https://www.leobotics.fr/comparateur-robot/robot-professionnel-industrie-telecommunication-axes-mobile-agv-pro-leobotics-robotics/recherche-et-developpement-robot-etude-laboratoire-humanoide-biomimetisme-quadrupede-mini-micro-robotics/robot-biomimetisme-animal-insecte-oiseau-humain/robot-sous-marin-exploration-a-controle-acoustique-biomimetisme-sofi-soft-robotic-fish-mit/>
 - Robert Katzschmann, Joseph DelPreto, Robert MacCurdy, Andy Marchese, Daniela Rus – « SoFi - The Soft Robotic Fish », Csail.mit.edu, (7/12/18) : ► <https://www.csail.mit.edu/research/sofi-soft-robotic-fish>
 - Maïa Wasszeman, « L'exploration sous-marine grâce à un poisson-robot », LeParisien, (5/09/18) :
 - <https://www.leparisien.fr/high-tech/l-exploration-sous-marine-grace-a-un-poisson-robot-05-09-2018-7869036.php>
- Maëva AUTET, Julia CAUDRON, Inès GRUWEZ - « Conception d'un banc de test pour l'étude des nageoires bio-inspirées : MINA », (2023/2024) : ► https://drive.google.com/file/d/18m8nqb6JRtsrrwcyjuxaLp5vpz1u_N5S/view?usp=sharing

— Composants

- Jack MEZLEF, « Matériaux (lien) pour la conception du robot poisson », (2024/2025) :
► <https://drive.google.com/file/d/1TxbU4MOApW83PG8vrsAnw6qrWewLPPed/view?usp=sharing>
- Kaouther Draif, « Comment utiliser SG90 servomoteur avec Arduino », moussasoft,com, (20/01/23) :
► <https://www.moussasoft.com/sg90-servo-moteur-arduino/>
- Le Disrupteur Dimensionnel, « Contrôler un servomoteur avec une plaque Arduino. Servo SG90, », (9/12/20) :
► <https://ledisrupteurdimensionnel.com/arduino/controler-un-servomoteur-avec-une-plaque-arduino-servo-sg90/>
- Kaouther Draif, « Comment utiliser DS18B20 capteur de température numérique avec Arduino », moussasoft,com, (18/01/23) :
► <https://www.moussasoft.com/ds18b20-arduino/>
- Kaouther Draif, « Comment utiliser HC-SR04 capteur ultrason avec Arduino », moussasoftcom, (10/01/23) :
► <https://www.moussasoft.com/hc-sr04-capteur-ultrason-avec-arduino/>
- Kaouther Draif, «Comment utiliser HC-05 et HC-06 module bluetooth avec Arduino », moussasoft,com, (3/02/23) :
► <https://www.moussasoft.com/modules-hc-05-et-hc-06-avec-arduino/#:~:text=Les%20modules%20HC%2D05%20et,d'autres%20informations%20%C3%A0%20distance.>
- GO TRONIC, « Guide de mise en marche du module Bluetooth HC-05. » :
► https://www.gotronic.fr/pj2-guide-de-mise-en-marche-du-module-bluetooth-hc-1546.pdf?srsltid=AfmBOop44AlV5mS2woCxqJ1K77xt_MTdOLFjuzcmKI5yAXPTALymzkW2

- Daisy Lachat, « Design et construction d'un robot poisson », Powerpoint, (20/06/23) :
 - <https://biorob2.epfl.ch/pages/studproj/birg57462/presentation.pdf>
- Ifremer, « Comment se déplacent-ils ? », peche.ifremer.fr, (07/01/11) :
 - <https://peche.ifremer.fr/Le-monde-de-la-peche/Les-ressources/comment/Deplacement#:~:text=Pour%20se%20d%C3%A9placer%20les%20poissons,en%20agissant%20comme%20un%20gouvernail>
- Wikipédia « Nageoire », fr.wikipedia.org, (13/02/24) :
 - <https://fr.wikipedia.org/wiki/Nageoire#:~:text=La%20nageoire%20caudale%20est%20la,et%20donc%20de%20se%20propulser>

— Calculs de performances :

- « Formules T.P.E fusée à eau », webnode,fr :
 - <https://tpe-fusee-a-eau.webnode.fr/les-/calculs-de-poussee/>
- Andrew D Marchese, Cagdas D Onal, Dabiela Rus - « Autonomous Soft Robotic Fish Capable of Escape Maneuvers Using Fluidic Elastomer Actuators », (01/03/14) : ► <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4997624/#s008>
- sales@dnkpower.com, « **How To Calculate Battery Run Time** », DNKpower, (2008/2025) :
 - <https://www.dnkpower.com/how-to-calculate-battery-run-time/>
- « Mah Power Consumption Calculator », iCalculator™, (2009/2025) :
 - <https://engineering.icalculator.com/mah-power-consumption-calculator.html>

Remerciements

Je souhaite adresser tous mes remerciements à mon professeur tuteur, Monsieur Cédric ANTHIERENS du laboratoire COSMER pour son aide, son soutien et ses conseils.

