



BIOLOGICALLY INSPIRED  
ROBOTICS GROUP (BIRG)

# **BoxyBot, le robot poisson**

## **Finitions et Présentation**

EPFL - Projet de semestre

17 Février 2006

Auteur : Ariane Pasquier

Superviseur : Alessandro Crespi

Professeur : Auke Jan Ijspeert

## Résumé

Réaliser un travail en vue d'une exposition représente un challenge des plus motivants. Ce rapport présente les phases qui ont été nécessaires pour que le sujet de ce projet, le robot poisson, soit un produit fini et fiable.

Deux personnes ont déjà contribué à ce projet. Mlle Daisy Lachat s'est penchée sur le design et la réalisation du robot. Elle a passé en revue les divers types de nage possibles ainsi que les robots poissons existants. Elle a étudié les configurations envisageables à partir des modules de l'Amphibot II. Elle s'est également chargée de caractériser les performances du poisson.

M. Sacha Constantinescu s'est lui concentré sur les différents capteurs qui peuvent s'avérer utiles dans le cadre de ce robot.

Ce projet se base sur leurs études pour finaliser le BoxyBot II. Il est donc recommandé au lecteur de s'y référer s'il souhaite disposer de plus amples détails. Ces travaux sont à disposition à partir des sites internet référencés dans la bibliographie.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Buts du projet</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Environnement du poisson</b>	<b>9</b>
2.1	L'aquarium . . . . .	9
2.2	Traitement de l'eau . . . . .	9
2.3	La décoration . . . . .	11
2.4	“L'île” . . . . .	12
2.5	Les lampes . . . . .	13
2.6	Le contact tournant . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Le poisson</b>	<b>15</b>
3.1	Aspect général . . . . .	15
3.2	Design électronique . . . . .	15
3.2.1	Rôle du PIC18 (embarqué) . . . . .	15
3.2.2	Rôle des PIC16 (nageoires) . . . . .	16
3.2.3	Rôle du PIC18 (interface) . . . . .	16
3.3	Les capteurs . . . . .	17
3.3.1	Les moustaches . . . . .	17
3.3.2	Les capteurs de lumière . . . . .	17
3.3.3	Les capteurs d'eau . . . . .	21
3.3.4	Le capteur infrarouge . . . . .	22
3.3.5	L'accéléromètre . . . . .	23
3.4	Les nageoires . . . . .	23
3.4.1	Les nageoires pectorales . . . . .	23
3.4.2	La nageoire caudale . . . . .	24
3.5	L'amortisseur . . . . .	24
3.6	Le flotteur . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Software</b>	<b>27</b>
4.1	Motions . . . . .	27
4.1.1	ACCELERATE . . . . .	27

4.1.2	ACCELERATE_L . . . . .	28
4.1.3	ACCELERATE_R . . . . .	28
4.1.4	BACKWARD . . . . .	28
4.1.5	BACKWARD_L . . . . .	28
4.1.6	BACKWARD_R . . . . .	28
4.1.7	DIVE . . . . .	29
4.1.8	DIVE_L . . . . .	29
4.1.9	DIVE_R . . . . .	29
4.1.10	ROTATE_L . . . . .	29
4.1.11	ROTATE_R . . . . .	29
4.1.12	STAY . . . . .	30
4.1.13	STRAIGHT_FORWARD_BOTH . . . . .	30
4.1.14	STRAIGHT_FORWARD_CAUD . . . . .	30
4.1.15	STRAIGHT_FORWARD_PEC . . . . .	31
4.1.16	TURN_L . . . . .	31
4.1.17	TURN_R . . . . .	31
4.1.18	UPWARD . . . . .	32
4.1.19	UPWARD_L . . . . .	32
4.1.20	UPWARD_R . . . . .	32
4.1.21	NOTHING . . . . .	32
4.1.22	STOP . . . . .	32
4.1.23	CRAWLING . . . . .	33
4.1.24	CRAWLING_BACKWARD . . . . .	33
4.1.25	CRAWLING_L . . . . .	33
4.1.26	CRAWLING_R . . . . .	33
4.2	Les états . . . . .	34
4.2.1	NORMAL_DRY . . . . .	34
4.2.2	NORMAL_WATER . . . . .	34
4.2.3	LIGHT_FOLLOW_DRY . . . . .	34
4.2.4	LIGHT_FOLLOW_WATER . . . . .	35
4.2.5	LIMIT_DRY . . . . .	35
4.2.6	LIMIT_WATER . . . . .	35
4.3	Schéma du fonctionnement du programme . . . . .	35
4.3.1	Initialisation . . . . .	35
4.3.2	Calibration . . . . .	35
4.3.3	Read_sensors - Définir l'état . . . . .	36
4.3.4	Compute_motion - Définir la locomotion . . . . .	37
4.3.5	Synchronisation / désynchronisation . . . . .	39
4.3.6	Set_parameters - Entrer les paramètres . . . . .	39
4.3.7	CPG - Central Pattern Generator . . . . .	39
4.4	Les petits plus . . . . .	39

4.4.1	Passage par en haut lorsque la lumière est trouvée . . .	39
4.4.2	Synchronisation des nageoires pour la marche . . . . .	40
4.4.3	Garder une locomotion dans les états particuliers . . .	40
4.4.4	Transitions du sol à l'eau et de l'eau au sol . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Futur</b>	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>43</b>
<b>A</b>	<b>Paramètres pour les motions</b>	<b>46</b>
<b>B</b>	<b>Positions des nageoires</b>	<b>49</b>

# Table des figures

2.1	L'aquarium . . . . .	10
2.2	L'aquarium et sa décoration . . . . .	11
2.3	L'île, vue de face . . . . .	12
2.4	L'île, vue de côté . . . . .	12
2.5	Les emplacements des lampes . . . . .	13
2.6	Le contact tournant . . . . .	14
3.1	Aspect général du BoxyBot . . . . .	15
3.2	Schéma de l'organisation des PICs . . . . .	16
3.3	Connexion des moustaches . . . . .	17
3.4	Photo des moustaches . . . . .	18
3.5	Schéma des éléments d'une moustache . . . . .	18
3.6	Schéma d'une moustache . . . . .	18
3.7	Les capteurs de lumière . . . . .	19
3.8	Graphique de la lumière captée, de 1.10 m à 10 cm . . . . .	20
3.9	Le capteur d'eau . . . . .	22
3.10	La partie émettrice et la partie réceptrice du capteur infrarouge . . . . .	23
3.11	Les nageoires pectorales d'avant, les nageoires pectorales actuelles . . . . .	24
3.12	La nageoire caudale d'avant, la nageoire caudale actuelle . . . . .	25
3.13	Dessous du poisson . . . . .	25
3.14	Le flotteur . . . . .	26
4.1	Motions : ACCELERATE, ACCELERATE_L et ACCELERATE_R . . . . .	27
4.2	Motions : BACKWARD, BACKWARD_L et BACKWARD_R . . . . .	28
4.3	Motions : DIVE (vue de profil), DIVE (vue de dessus), DIVE_L et DIVE_R . . . . .	29
4.4	Motions : ROTATE_L et ROTATE_R . . . . .	30
4.5	Motions : STAY . . . . .	30

4.6	Motions : STRAIGHT_FORWARD_BOTH, STRAIGHT_FORWARD_CAUD et STRAIGHT_FORWARD_PEC . . . . .	31
4.7	Motions : TURN_L et TURN_R . . . . .	31
4.8	Motions : UPWARD (vue de profil), UPWARD (vue de dessus), UPWARD_L et UPWARD_R . . . . .	32
4.9	Motions : STOP . . . . .	33
4.10	Schéma du programme . . . . .	36
B.1	Valeurs attribuées aux décalages (offset) des nageoires pectorales	49

# Chapitre 1

## Buts du projet

Améliorer les contrôleurs ainsi que l'environnement du robot BoxyBot, lui ajouter des capteurs, en vue de l'exposition qui aura lieu dans le bâtiment BC dès le mois de février.

Les tâches à effectuer :

- Prendre connaissance de l'avancée actuelle des travaux (revue littéraire).

1. Logiciel : Programmer le robot pour divers comportements :

- Nage aléatoire ;
- Phototaxis ;
- Réaction aux chocs ;
- Curieux/craintif ;
- Améliorer les CPGs.

2. Matériel :

- Choisir un aquarium (env 140x70x70), un traitement à appliquer à l'eau, un environnement aquatique facile d'entretien, une surface inclinée sur laquelle le robot pourrait sortir de l'eau ;
- Trouver des lampes émettant suffisamment de rayons infrarouges ;
- Choisir et tester des capteurs de vibration pour les chocs ;
- Mettre en place une interface utilisateur ;
- Préparer le PC : Entrée : interface + capteurs de vibration ; Sortie : lumière, contrôle du robot, (musique ?) ;
- Trouver une webcam afin de pouvoir surveiller à distance ce qu'il se passe ;
- Acquérir un contact tournant et chercher une solution pour que le câble ait toujours une certaine tension ;

- Ajouter au robot des capteurs de distance, par exemple sous forme de “moustaches” ;
  - Ajouter des capteurs d’humidité à l’intérieur du robot afin qu’il se réfugie au sec et lance une alerte s’il prend l’eau ;
  - Choisir et tester les meilleurs filtres pour les capteurs de lumière.
3. Rendu :
- Rédaction du rapport ;
  - Présentation du projet ;
  - Site web.

*Remarque :*

Ce cahier des charges étant lourd à assumer, les tâches marquées d’un long trait sont considérées comme prioritaires. Dans la mesure où le temps le permet, les autres sont mises en oeuvre ensuite.

# Chapitre 2

## Environnement du poisson

Puisque le robot poisson doit figurer dans une exposition, il convient de lui trouver un environnement. Les différentes parties le constituant sont décrites dans ce chapitre.

### 2.1 L'aquarium

Un poisson de cette taille (25 cm de long) ne peut naturellement se contenter d'un bocal. Dans les magasins dédiés aux animaux ou au bricolage des alentours de Lausanne, les plus grands aquariums disponibles mesuraient 1.50 m sur 50 cm. Estimant cette largeur insuffisante, il fut nécessaire de se mettre en quête d'une structure sur mesure. Force fut de constater que cet article n'est pas courant. Beaucoup d'aquariophiles construisent seuls leur bassin mais nous avons jugé périlleux de nous lancer dans une telle entreprise. Après une matinée de recherches infructueuses sur la toile, le site [www.ehab.ch](http://www.ehab.ch) fut découvert. Le magasin Ehab, situé à Berne, est spécialisé dans la vente de produits pour aquariophiles et propose des offres d'aquariums sur mesure. Nous avons passé commande et l'aquarium, aux dimensions idéales de 1.50 m sur 75 cm, nous a été livré après quelques semaines.

### 2.2 Traitement de l'eau

Il est connu que des algues se développent rapidement dans de l'eau stagnant dans un endroit éclairé. Afin de pallier à ce problème, la première solution envisagée était d'ajouter du chlore à l'eau. Cependant, la crainte que l'odeur puisse incommoder les visiteurs, et que le réactif s'attaque aux plastiques du robot, nous a poussé à imaginer une autre alternative. Notre choix



FIG. 2.1 – L'aquarium



FIG. 2.2 – L'aquarium et sa décoration

s'est porté sur des produits anti-algues plus traditionnels. La première disposition prise est d'installer un filtre pour l'eau. L'avantage principal de cet outil est qu'il évite la stagnation de l'eau. Pour limiter les risques de formation d'algues, nous ajoutons de l'algu-min, qui empêche les plantes de pousser.

## 2.3 La décoration

L'aquarium vide paraissait très austère sans la décoration qui lui est habituellement associé. Pour le rendre un peu plus vivant, sans pour autant oublier le côté fonctionnel, du sable, quelques petits rochers et plantes en plastique furent sélectionnés. Pour ne pas gêner le poisson dans ses déplacements, les plus hautes plantes sont placées contre les parois. Par souci pratique, le sable du fond est collé. L'avantage de ce choix réside dans le fait que le vidage de l'aquarium s'en voit grandement facilité.

## 2.4 “L’île”

Comme le robot est capable de se déplacer sur la terre ferme, il devenait dès lors intéressant d’en faire la démonstration. Quelques tests ayant prouvé qu’il est capable de grimper des pentes, un panneau incliné d’une vingtaine de degrés est installé dans l’aquarium. Il mène à une plateforme assez vaste pour que le poisson puisse y effectuer quelques mouvements. Pour éviter que le poisson ne glisse sur la surface, elle a été recouverte d’une peinture à laquelle on a ajouté du sable afin de la rendre très rugueuse. L’espace se trouvant sous “l’île” est utilisé pour placer le filtre. Ce dernier est ainsi caché et ne risque pas de gêner le poisson. Pour que la circulation d’eau puisse se faire, de nombreux ajournements ont été percés dans la façade avant.

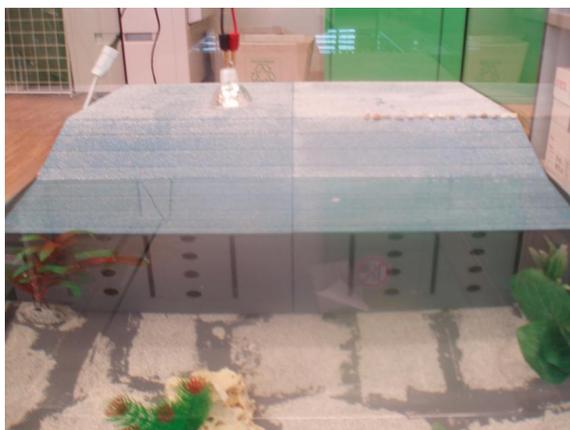


FIG. 2.3 – L’île, vue de face



FIG. 2.4 – L’île, vue de côté

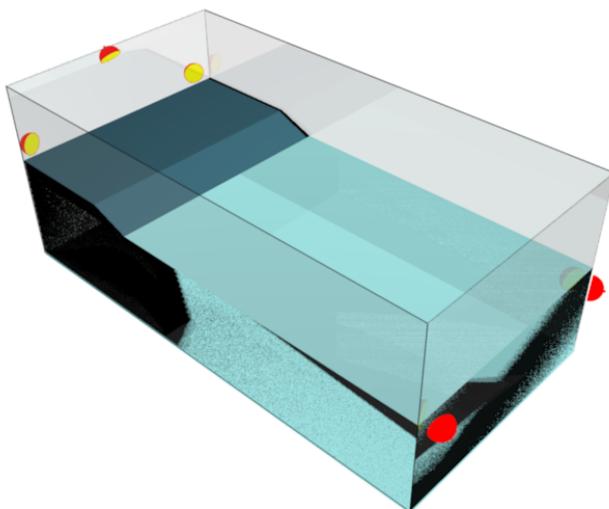


FIG. 2.5 – Les emplacements des lampes

## 2.5 Les lampes

Le robot possède la capacité de repérer des lumières. Les lampes émettant des infrarouges sont particulièrement indiquées car elles diffèrent de la lumière ambiante. Cinq lampes halogènes sont placées aux quatre angles de l'aquarium, la dernière se tenant en haut au centre d'une face. La figure 2.5 représente l'emplacement des cinq sources de lumière (en rouge). Les deux lampes placées derrière l'eau ainsi que celle placée en haut de la face opposée possèdent une puissance de 35 watts, tandis que les deux se trouvant sur les côtés de l'île font 20 watts.

Une interface munie boutons permet d'allumer et d'éteindre manuellement ces lampes. L'interface contrôle qu'il n'y en ait jamais deux allumées en même temps. Lorsqu'aucun interrupteur n'est actionné pendant un certain temps, l'interface peut allumer et éteindre les lumières de manière aléatoire.

Pour que le poisson sorte de l'eau, il est nécessaire d'allumer d'abord la lampe se trouvant au centre en haut. Lorsque le poisson est juste sorti de l'eau alors c'est une des lampes placées sur les côtés de l'île qui prend le relais.

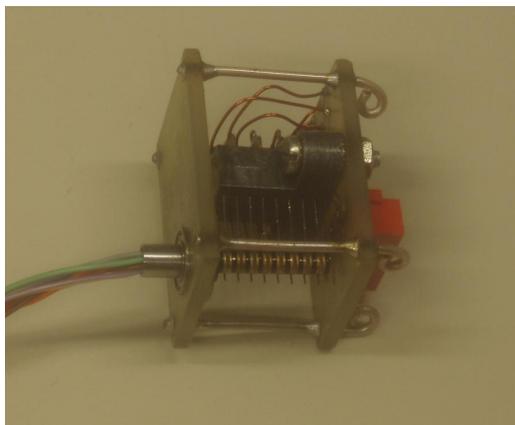


FIG. 2.6 – Le contact tournant

## 2.6 Le contact tournant

Afin d'être constamment alimenté et relié à l'interface extérieure le robot est relié par un câble. Les nombreux mouvement du poisson provoquent un enroulement du câble qui n'est pas souhaitable. Un contact tournant est placé sur le câble afin de limiter ce problème.

# Chapitre 3

## Le poisson

### 3.1 Aspect général

Le BoxyBot est composé de 2 modules de l'Amphibot II. Il dispose de trois degrés de liberté : deux nageoires pectorales et une nageoire caudale.

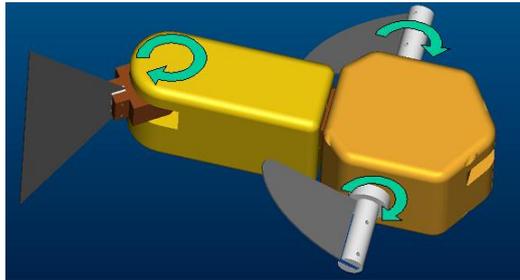


FIG. 3.1 – Aspect général du BoxyBot

### 3.2 Design électronique

Le contrôle à bord est réalisé à l'aide d'un PIC18F2580 en mode I<sup>2</sup>C master. Trois PIC16F876A (un pour chaque moteur) en mode I<sup>2</sup>C esclave y sont reliés par un bus. Un PIC18F6622 est incorporé à l'interface qui relie le robot à l'ordinateur.

#### 3.2.1 Rôle du PIC18 (embarqué)

Ce microcontrôleur représente le cerveau du robot. Il reçoit des informations venant des capteurs (lumière, obstacle...) et s'en sert pour choisir

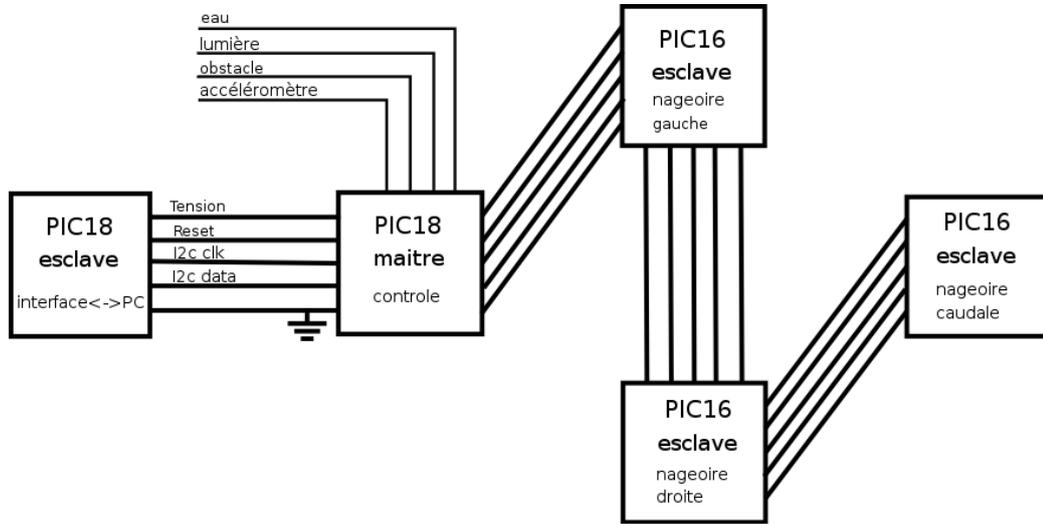


FIG. 3.2 – Schéma de l'organisation des PICs

une locomotion adaptée. Son fonctionnement est décrit plus en détail dans le chapitre 4 à la page 27.

### 3.2.2 Rôle des PIC16 (nageoires)

Le programme qui tourne sur ces microcontrôleurs a été écrit en assembleur. Il nous a été transmis par un autre laboratoire. Ce PIC implémente un contrôleur de moteur PD. Lorsque le robot est démarré, tous les registres sont initialisés. La valeur du registre de mode spécifie si l'on est en mouvement ou pas, tandis que le registre de setpoint indique la position à atteindre par la nageoire. Dans notre configuration, une position est définie par un entier situé entre -100 et 100 (cf annexe B).

### 3.2.3 Rôle du PIC18 (interface)

Ce microcontrôleur est à l'extérieur du poisson, mais est relié à lui par le même bus I<sup>2</sup>C. Son premier but consiste permettre une communication entre une ordinateur et le robot. Grâce à un système de contrôle, elle peut envoyer un signal de reset au robot si le programme embarqué est planté. Elle est directement reliée aux trois boutons de l'interface utilisateur et c'est elle qui commande l'allumage des lampes quand l'un des boutons est pressé.

## 3.3 Les capteurs

Pour faire interagir le poisson avec son environnement, nous l'avons muni de différents capteurs. Nous allons développer leur fonctionnement dans ce chapitre.

### 3.3.1 Les moustaches

Ces capteurs sont utiles pour prévenir le robot qu'il arrive contre un obstacle. Ils sont composés d'une tige de 8 cm en fibre de carbone d'un diamètre de 1.5 mm, d'un cylindre creux en métal conducteur de 2 cm de long et 5 mm de diamètre ainsi que d'un cylindre caoutchouc qui assure une certaine résistance entre les 2 et étanchéifie le système (cf. figure 3.5 et 3.6). Le cylindre métallique est reliée à une tension de 5 volts. La tige transmet sa tension à l'un des pins du PIC de contrôle. Afin que le signal ne soit pas en haute impédance une résistance pull-down est placée entre la sortie du capteur et le fil de terre. Lorsque la tige est pressée et qu'elle entre en contact avec le cylindre, sa tension est transmise vers le PIC qui la détecte (cf. figure 3.3). Une vidéo du fonctionnement des moustaches est disponible sur le site consacré à ce projet.

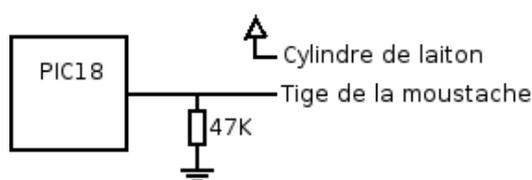


FIG. 3.3 – Connexion des moustaches

### 3.3.2 Les capteurs de lumière

Deux capteurs de lumière sont placés de chaque côté sur le museau du robot. Conformément au travail de M. Sacha Constantinescu à ce sujet, le modèle choisit est le TSLG257. Il a été sélectionné parmi d'autres pour sa sensibilité.

Etant donné que le but recherché dans ce projet se révèle plus complexe que celui du travail précédent (qui consistait simplement à déterminer si la lampe se trouvait à gauche ou à droite), plus de trois jours de tests furent encore nécessaires pour trouver un filtre à appliquer sur les capteurs. En effet, on souhaite que le poisson repère qu'une lumière est allumée à plus de 1 mètre

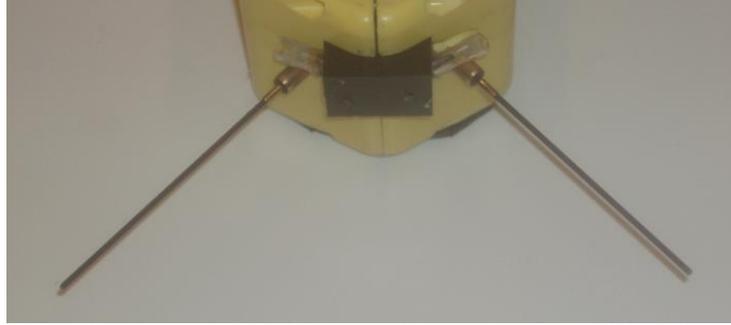


FIG. 3.4 – Photo des moustaches



FIG. 3.5 – Schéma des éléments d'une moustache



FIG. 3.6 – Schéma d'une moustache

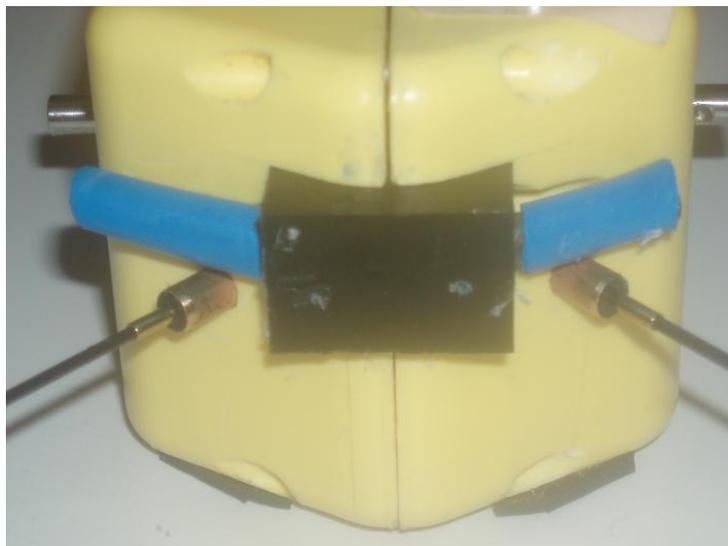


FIG. 3.7 – L'emplacement des capteurs de lumières. Ils sont recouverts de gaines thermo-rétractable

et s'en approche jusqu'à une dizaine de centimètres. C'est seulement au moment où il est droit devant elle que les capteurs saturent et que le robot peut exécuter sa "danse de la lumière".

Les capteurs de lumière fonctionnent selon le principe suivant : ils transmettent au PIC de contrôle une tension proportionnelle à la quantité de lumens qui leur parvient. Le PIC se charge alors de convertir cette tension (de 0 à 5V) en un entier (de 0 à 255). Grâce aux filtres que nous utilisons, la lumière ambiante n'est quasiment pas perçue par les capteurs. La valeur lue par le PIC est en-dessous de 3 en condition normale. Dès qu'une lampe halogène est allumée en face du robot à moins de 1.20 m, cette valeur passe au moins à 5. Elle augmente de manière exponentielle selon le rapprochement de la lumière. Quand les deux capteurs transmettent une tension proche de 5V (proche de 255 une fois convertie), cela signifie que la lampe n'est qu'à quelques centimètres de la tête du poisson. Dans notre programme, le seuil minimum pour que le poisson considère qu'une lumière allumée est 3 tandis que le seuil maximum signifiant la proximité de la lumière est 240.

Nous avons détourné la fonction initiale d'une gaine thermo-rétractable qui s'est révélé être un filtre satisfaisant. Les tests ont montré que les gaines de couleurs sont trop claires pour être efficaces. Une gaine noire masque trop la lumière. Un compromis satisfaisant a été trouvé en superposant deux gaines bleues. Le graphique de la figure 3.8 représente la quantité de lumière mesurée par les deux capteurs, filtrée par deux gaines thermo-rétractables

bleues non rétractées.

Pour réaliser le graphique de la figure 3.8, nous avons bougé la souce de lumière tandis que le poisson restait fixe. Durant les 7 premières secondes, la lampe se trouvait à 1.10 m du robot, sur sa droite. En restant à la même distance, nous l'avons ensuite déplacée vers la gauche. Après 15 secondes, nous sommes resté en face de lui durant 5 secondes puis rapproché de 20 cm. A 90 cm du robot, nous sommes de nouveau partis vers la droite, puis la gauche, puis en face, puis rapprochés. Le tableau figurant sous le graphique précise quels déplacements étaient réalisés à quel moment.

On constate en observant les courbes qu'une différence de quelques millivolts est significative à 1 mètre tandis qu'à 20 centimètres la différence est nettement plus grande. Le critère qui décidera si le poisson doit aller tout droit ou de côté est donc proportionnel à la quantité de lumière captée.

Des vidéos montrant le suivi de lumière hors de l'eau sont disponibles sur le site de ce projet.

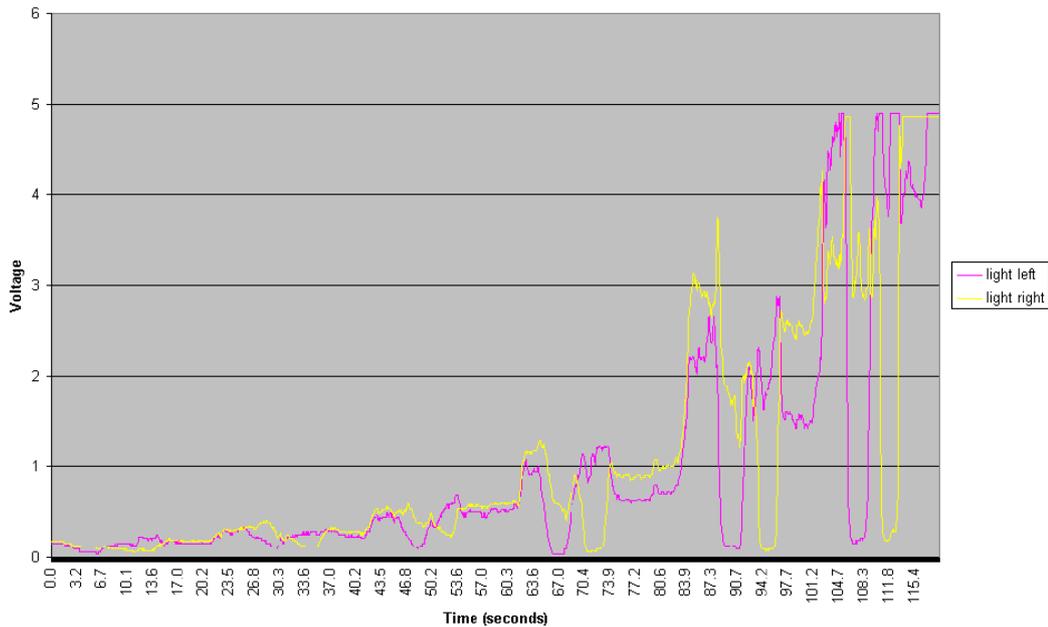


FIG. 3.8 – Graphique de la lumière captée, de 1.10 m à 10 cm

Temps début	Temps fin	Distance	Direction
0	7	1m10	droite
7	15	1m10	gauche
15	20	1m10	en face
20	25	en approche	en face
25	33	90 cm	droite
33	38	90 cm	gauche
38	41	90 cm	en face
41	46	en approche	en face
46	50	70 cm	droite
50	54	70 cm	gauche
54	61	70 cm	en face
61	63	en approche	en face
63	69	50 cm	droite
69	74	50 cm	gauche
74	83	50 cm	en face
83	84	en approche	en face
84	92	30 cm	droite
92	96	30 cm	gauche
96	101	30 cm	en face
101	105	en approche	en face
105	109	10 cm	droite
109	113	10 cm	gauche
113	116	10 cm	en face
116	120	en approche	en face

### 3.3.3 Les capteurs d'eau

#### Le capteur d'eau externe

Ce capteur est constitué de 2 fils qui dépassent de l'avant du robot. L'un de ces fils est relié à la tension tandis que l'autre transmet sa valeur au PIC18 de contrôle. Lorsque de l'eau (ou un doigt mouillé) passe entre les deux contacts, le PIC est notifié de la présence d'eau à travers un transistor. Le poisson peut alors se mettre en mode nage, tandis qu'il est en mode marche tant que de l'eau n'est pas signalée.

#### Les capteurs d'eau internes

L'étanchéité des modules actuels de l'Amphibot II n'étant pas fiable à 100%, nous avons décidé d'introduire également des capteurs d'eau à l'inté-

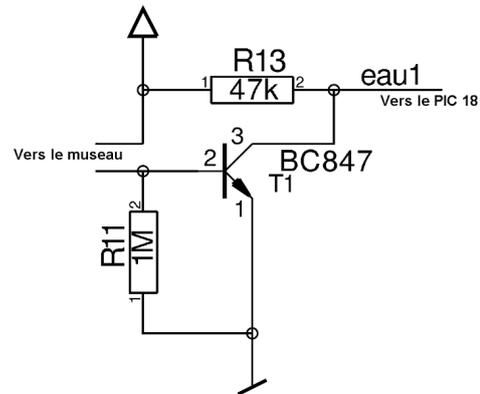


FIG. 3.9 – L'emplacement du capteur d'eau externe et le schéma de son fonctionnement

rieur du robot. Un capteur est placé dans chaque module et fonctionne selon le même principe que le capteur externe. Ce capteur transmet l'information à un microcontrôleur dont la seule fonction est de faire clignoter une led visible depuis l'extérieur si de l'eau est repérée. Il est ainsi possible de savoir en un coup d'oeil si le poisson est en train de se noyer.

### 3.3.4 Le capteur infrarouge

Ce capteur est d'une nature différente. Contrairement à ses homonymes, il n'influence pas le comportement du robot de manière visible. Il est intégré aux circuits électroniques. La présence de ce capteur s'est révélée indispensable pour la calibration en mode marche. En effet, pour que les nageoires puissent réaliser des tours complets, nous devons envoyer un signal particulier (reset) aux contrôleurs de moteur. Ce signal possède malheureusement un effet secondaire : Le contrôleur n'a plus la position exacte de la nageoire, elle est légèrement décalée. Après plusieurs tours, ce décalage se monte à une dizaine de degrés. A chaque tour, lorsque la roue passe devant le capteur, le contrôleur réinitialise la position à 0 grâce à son capteur infrarouge et cet effet de décalage est gommé.

Le fonctionnement du capteur infrarouge est le suivant : Un émetteur et un récepteur infrarouge sont placés de chaque côté de la roue qui transmet le mouvement aux nageoires. Cette roue est percée d'un trou à la hauteur du capteur. Lorsque le trou s'aligne avec le capteur, les rayons infrarouges passent vers le récepteur. Cela signifie que la nageoire est dans sa position 0 (cf. annexe B).

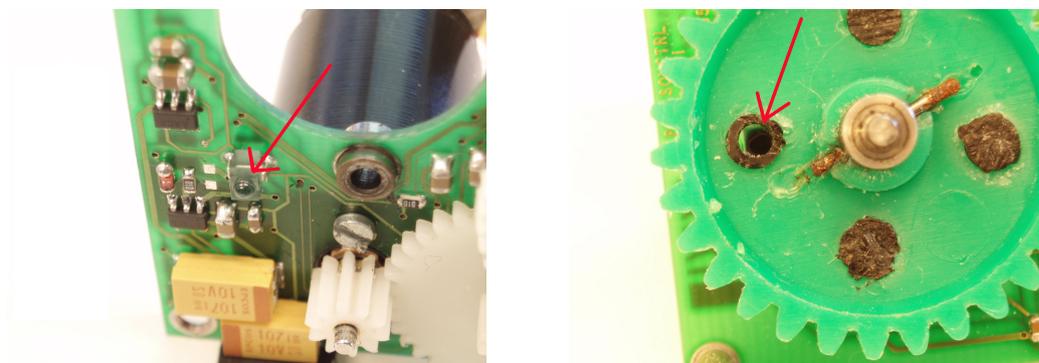


FIG. 3.10 – La partie émettrice et la partie réceptrice du capteur infrarouge

### 3.3.5 L'accéléromètre

A l'intérieur du robot se trouve un accéléromètre, du modèle ADXL103CE. A l'instar des autres capteurs, il est relié au PIC qui l'interroge à chaque itération sur son état. L'accéléromètre transmet deux valeurs : l'inclinaison et le roulis. La première indique si le poisson a la tête vers le haut ou vers le bas tandis que la seconde nous indique si le poisson est penché sur sa droite ou sa gauche.

Lorsque le robot est sensé être droit, si la valeurs de roulis précise que ce n'est pas le cas, alors la position du poisson peut être corrigée en décalant légèrement la nageoire caudale vers le côté opposé de celui qui penche.

L'information concernant l'inclinaison est utilisée lorsque le poisson marche en arrière (CRAWLING\_BACKWARD). Il arrive que dans cette locomotion, le poisson reste vertical la tête en bas contre une paroi. Ses moustaches touchent alors le sol, ce qui lui indique qu'il doit reculer. S'il continue à le faire, il risque de se retourner. Grâce à la valeur de l'inclinaison, nous vérifions à la fin de chaque tour de marche en arrière que le poisson est bien à l'horizontale. Si ce n'est pas le cas alors le poisson doit marcher en avant (CRAWLING). La fin de la vidéo moustache.avi du site du projet montre ce cas de figure.

## 3.4 Les nageoires

### 3.4.1 Les nageoires pectorales

Les nageoires proposées dans le projet de design ne convenaient pas pour ce nouveau robot. En effet, la version "grand format" fonctionnait bien pour la nage mais étaient inutilisables en mode marche. De plus, ces nageoires



FIG. 3.11 – Les nageoires pectorales d’avant, les nageoires pectorales actuelles

étaient si grandes qu’elles buteraient contre les moustaches qui ont depuis été ajoutées. Afin de réaliser un compromis entre les performances, l’esthétique et les contraintes, un nouveau design a été imaginé. Pour la performance, on conserve une partie rigide. Afin de la rendre plus esthétique on lui superpose une couche souple. On a constaté que le robot ne peut marcher et encore moins grimper en s’appuyant avec une nageoire souple. C’est pourquoi le caoutchouc souple dépasse le PVC rigide sur les côtés mais pas aux extrémités.

Pour éviter tout glissement entre l’axe et la nageoire un usinage est creusé sur l’axe, en face de la vis de serrage.

### 3.4.2 La nageoire caudale

Le design de la nageoire caudale s’est aussi vu modifié. En effet la grande hauteur de la version précédente handicapait passablement le poisson pour ses mouvements de marche. Nous avons donc décidé de la refaire moins longue et plus arrondie.

## 3.5 L’amortisseur

Lorsque le robot marche, il entre violemment en contact avec le sol à chaque tour (cf. vidéo de la marche sur le site de Daisy Lachat [1]). De plus,

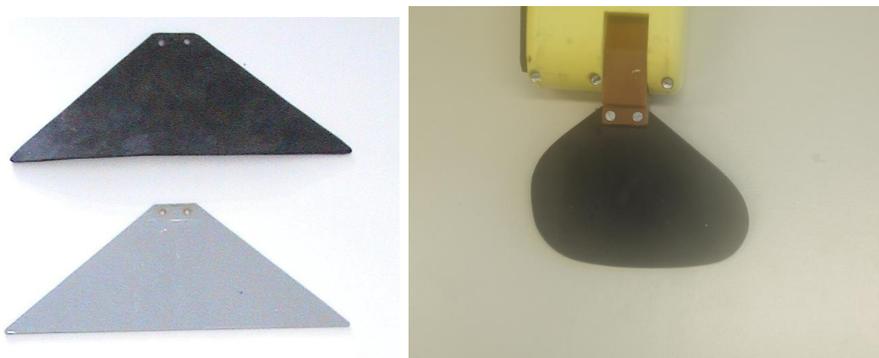


FIG. 3.12 – La nageoire caudale d’avant, la nageoire caudale actuelle

la surface sablée de son île ronge rapidement la coque. C’est pourquoi nous avons doublé le dessous du robot d’une couche de caoutchouc. Cette dernière protège le plastique et limite l’ampleur des chocs. Un défaut cependant est vite apparu : son coefficient de frottement est si grand que les nageoires ne parvenaient plus à faire avancer le poisson. On ajouté un petit patin réalisé dans un plastique plus lisse pour pallier à ce problème.



FIG. 3.13 – Dessous du poisson

## 3.6 Le flotteur

La densité du poisson étant supérieure à celle de l’eau, il est indispensable de le munir d’un flotteur pour qu’il reste proche de la surface. La matière choisie est le styropor. Pour une raison d’esthétisme il est taillé en biais sur tout le contour. Puisque le câble reliant le poisson à l’alimentation sort du dessus du module de tête, on le passe à l’intérieur du flotteur jusqu’à l’arrière afin de l’éloigner des nageoires qui tournent. Pour que l’on puisse continuer

d'ouvrir et fermer les modules quand cela s'avère nécessaire, le flotteur est entaillé au milieu sur toute sa longueur.



FIG. 3.14 – Le flotteur

# Chapitre 4

## Software

### 4.1 Motions

Le poisson est capable de se mouvoir de 26 manières différentes. Ces locomotions sont décrites dans cette section, sous forme de schémas. Les nageoires colorées en vert oscillent tandis que les blanches restent immobiles. La position de base de la nageoire caudale est dans l'axe du corps tandis que celle des pectorales est à l'horizontale, tournée vers l'arrière. Si la fréquence d'oscillation des nageoires n'est pas précisée, elle est tacitement de 7Hz.

#### 4.1.1 ACCELERATE

Le poisson nage tout droit, **de plus en plus vite**, de 1Hz à 7Hz. Sa nageoire caudale restant droite, il fait osciller ses nageoires pectorales.

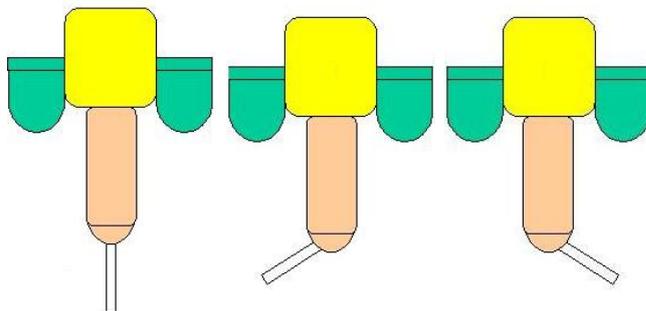


FIG. 4.1 – Motions : ACCELERATE, ACCELERATE\_L et ACCELERATE\_R

### 4.1.2 ACCELERATE\_L

Le poisson nage en tournant sur sa gauche, **de plus en plus vite**, de 1Hz à 7Hz. Sa nageoire caudale restant tout à gauche, il fait osciller ses nageoires pectorales vers l'arrière.

### 4.1.3 ACCELERATE\_R

Le poisson nage en tournant sur sa droite, **de plus en plus vite**, de 1Hz à 7Hz. Sa nageoire caudale restant tout à droite, il fait osciller ses nageoires pectorales vers l'arrière.

### 4.1.4 BACKWARD

Le poisson nage en arrière. Sa nageoire caudale restant droite, il fait osciller ses nageoires pectorales vers l'avant.

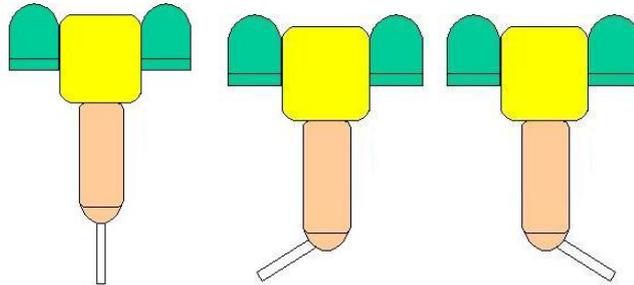


FIG. 4.2 – Motions : BACKWARD, BACKWARD\_L et BACKWARD\_R.

### 4.1.5 BACKWARD\_L

Le poisson nage en arrière en tournant sur sa gauche. Sa nageoire caudale restant tout à gauche, il fait osciller ses nageoires pectorales vers l'avant.

### 4.1.6 BACKWARD\_R

Le poisson nage en arrière en tournant sur sa gauche. Sa nageoire caudale restant tout à droite, il fait osciller ses nageoires pectorales vers l'avant.

### 4.1.7 DIVE

Le poisson nage vers le bas, tout droit. Sa nageoire caudale oscille autour de son centre tandis que ses nageoires pectorales effectuent un mouvement similaire mais avec un décalage vers le haut.

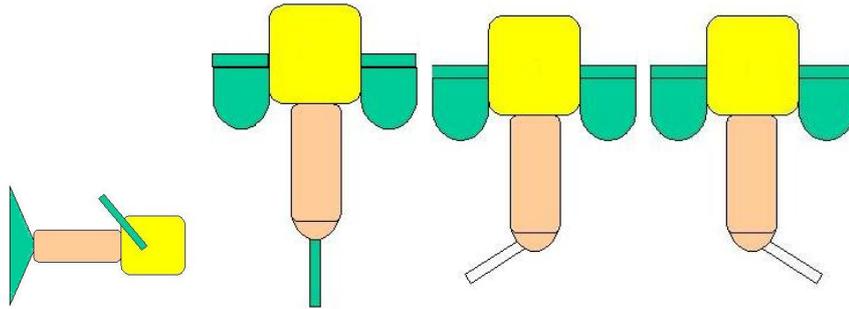


FIG. 4.3 – Motions : DIVE (vue de profil), DIVE (vue de dessus), DIVE\_L et DIVE\_R

### 4.1.8 DIVE\_L

Le poisson nage vers le bas, en tournant à gauche. Sa nageoire caudale restant tout à gauche, il fait osciller ses nageoires pectorales avec un décalage vers le haut.

### 4.1.9 DIVE\_R

Le poisson nage vers le bas, en tournant à droite. Sa nageoire caudale restant tout à droite, il fait osciller ses nageoires pectorales avec un décalage vers le haut.

### 4.1.10 ROTATE\_L

Le poisson nage en tournant sur sa gauche. Sa nageoire caudale restant tout à gauche, il fait osciller ses nageoires pectorales l'une vers l'avant (la gauche) l'autre vers l'arrière (la droite).

### 4.1.11 ROTATE\_R

Le poisson nage en tournant sur sa droite. Sa nageoire caudale restant tout à droite, il fait osciller ses nageoires pectorales l'une vers l'avant (la droite) l'autre vers l'arrière (la gauche).

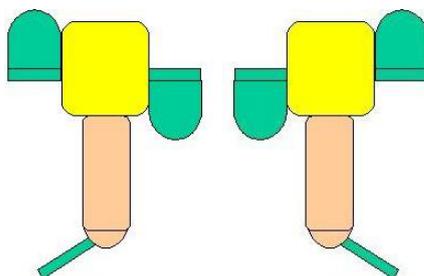


FIG. 4.4 – Motions : ROTATE\_L et ROTATE\_R

#### 4.1.12 STAY

Le poisson reste presque sur place. Sa nageoire caudale restant droite, il fait osciller ses nageoires pectorales tout en haut et **très lentement**, à une fréquence de 0.5Hz. Il utilise cette locomotion lorsqu'il est dans l'eau et a trouvé la lumière.

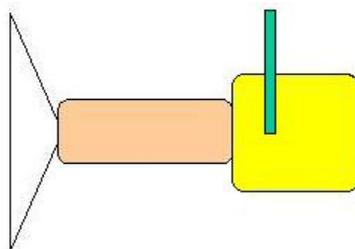


FIG. 4.5 – Motions : STAY

#### 4.1.13 STRAIGHT\_FORWARD\_BOTH

Le poisson nage tout droit. Toutes les nageoires oscillent autour de leur position de base.

#### 4.1.14 STRAIGHT\_FORWARD\_CAUD

Le poisson nage vers le haut, en tournant à droite. Sa nageoire caudale oscille, tandis que les nageoires pectorales restent immobiles.

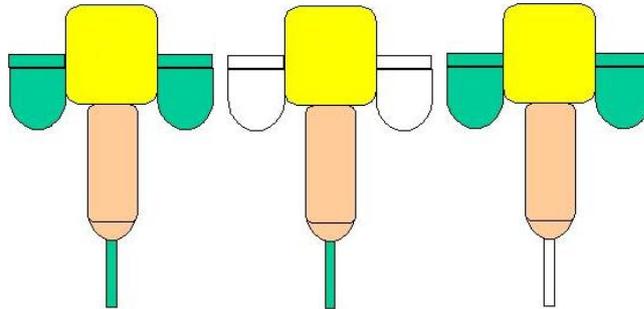


FIG. 4.6 – Motions : STRAIGHT\_FORWARD\_BOTH, STRAIGHT\_FORWARD\_CAUD et STRAIGHT\_FORWARD\_PEC

#### 4.1.15 STRAIGHT\_FORWARD\_PEC

Le poisson nage tout droit. Sa nageoire caudale restant droite, il fait osciller ses nageoires pectorales.

#### 4.1.16 TURN\_L

Le poisson nage en tournant sur sa gauche. Sa nageoire caudale restant tout à gauche, il fait osciller ses nageoires pectorales vers l'arrière.

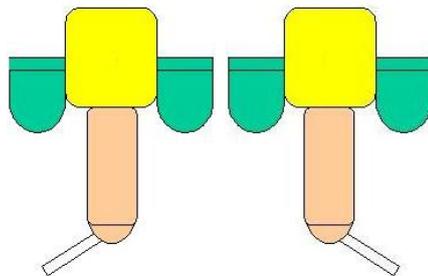


FIG. 4.7 – Motions : TURN\_L et TURN\_R

#### 4.1.17 TURN\_R

Le poisson nage en tournant sur sa droite. Sa nageoire caudale restant tout à droite, il fait osciller ses nageoires pectorales vers l'arrière.

#### 4.1.18 UPWARD

Le poisson nage vers le haut, tout droit. Sa nageoire caudale restant droite, il fait osciller ses nageoires pectorales avec un décalage vers le bas.

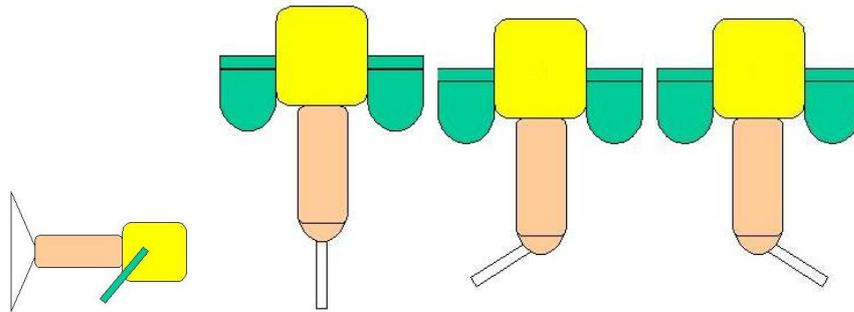


FIG. 4.8 – Motions : UPWARD (vue de profil), UPWARD (vue de dessus), UPWARD.L et UPWARD.R

#### 4.1.19 UPWARD\_L

Le poisson nage vers le haut, en tournant à gauche. Sa nageoire caudale restant tout à gauche, il fait osciller ses nageoires pectorales avec un décalage vers le bas.

#### 4.1.20 UPWARD\_R

Le poisson nage vers le haut, en tournant à droite. Sa nageoire caudale restant tout à droite, il fait osciller ses nageoires pectorales avec un décalage vers le bas.

#### 4.1.21 NOTHING

Le poisson ne fait rien, les nageoires restent en position de base. Cette locomotion n'est jamais utilisée dans le comportement habituel du poisson.

#### 4.1.22 STOP

Le poisson reste presque sur place. Sa nageoire caudale restant droite, il fait osciller ses nageoires pectorales devant lui, à une fréquence de 2Hz. Il utilise cette locomotion lorsqu'il est sur le sol et a trouvé la lumière. C'est sa "Danse de la lumière"

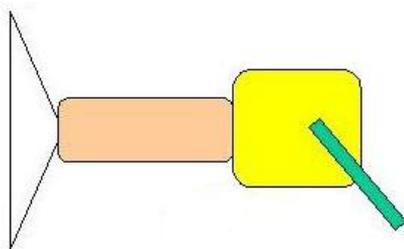


FIG. 4.9 – Motions : STOP

#### 4.1.23 CRAWLING

Le poisson marche droit devant lui. Ses deux nageoires pectorales tournent ensemble à 360 degrés sur leur axe vers l'avant. Lorsqu'elles sont en l'air, elles tournent deux fois plus vite que lorsqu'elles sont au sol. Le fait d'être plus rapide en l'air a pour but d'être plus efficace tandis que le ralentissement au sol permet d'assurer une meilleure adhérence. La nageoire pectorale reste droite vers l'arrière.

#### 4.1.24 CRAWLING\_BACKWARD

Le poisson marche en arrière. Ses deux nageoires pectorales tournent ensemble à 360 degrés sur leur axe vers l'arrière. Lorsqu'elles sont en l'air, elles tournent deux fois plus vite que lorsqu'elles sont au sol. Le fait d'être plus rapide en l'air a pour but d'être plus efficace tandis que le ralentissement au sol permet d'assurer une meilleure adhérence. La nageoire pectorale reste droite vers l'arrière.

#### 4.1.25 CRAWLING\_L

Le poisson marche en tournant sur sa gauche. Pour cela, il fait tourner sa nageoire droite vers l'avant et sa nageoire gauche vers l'arrière. Les deux se croisent lorsqu'elles sont à la verticale. La nageoire caudale est positionnée toute à gauche. Ce choix n'a aucune influence sur le déplacement, mais il permet au poisson de diminuer sa longueur et de se mouvoir ainsi plus facilement dans un espace restreint.

#### 4.1.26 CRAWLING\_R

Le poisson marche en tournant sur sa droite. Pour cela, il fait tourner sa nageoire gauche vers l'avant et sa nageoire droite vers l'arrière. Les deux se

croisent lorsqu'elles sont à la verticale. La nageoire caudale est positionnée toute à droite, pour la même raison qu'elle l'est à gauche dans "CRAWLING\_L".

## 4.2 Les états

Le poisson peut se trouver dans 6 états qui sont "NORMAL\_DRY", "NORMAL\_WATER", "LIGHT\_FOLLOW\_DRY", "LIGHT\_FOLLOW\_WATER", "LIMIT\_DRY" et "LIMIT\_WATER".

### 4.2.1 NORMAL\_DRY

Dans cet état, le poisson n'a pas détecté de paroi ni de lumière particulière. Son capteur d'eau externe lui indique qu'il est au sec. Le poisson se déplace donc de manière aléatoire, choisissant le moyen de se déplacer parmi les motions adaptées au sec : STOP, CRAWLING, CRAWLING\_L, CRAWLING\_R, CRAWLING\_BACKWARD.

### 4.2.2 NORMAL\_WATER

Comme dans l'état précédent, aucun obstacle ni aucune lumière ne sont détectés. Par contre le capteur d'eau donne un signal positif. Le robot choisit donc aléatoirement ses motions parmi les suivantes : BACKWARD\_L, BACKWARD\_R, ROTATE\_L, ROTATE\_R, DIVE\_L, DIVE\_R, UPWARD\_L, UPWARD\_R, TURN\_L, TURN\_R, STRAIGHT\_FORWARD\_BOTH, STRAIGHT\_FORWARD\_PEC, STRAIGHT\_FORWARD\_CAUD, ACCELERATE\_L, ACCELERATE\_R.

### 4.2.3 LIGHT\_FOLLOW\_DRY

Alors qu'il se trouve au sec, le poisson a détecté une lumière se trouvant au dessus du seuil minimal. Il cherche à la rejoindre en marchant tout droit (CRAWLING), vers la droite (CRAWLING\_R) ou vers la gauche (CRAWLING\_L). Lorsque les deux capteurs de lumière sont saturés, cela signifie que le poisson n'est plus qu'à quelques centimètres de la source de lumière. Il effectue alors une petite "danse de la victoire" (STOP) qui consiste à monter et descendre la tête en prenant appui sur les nageoires.

#### 4.2.4 LIGHT\_FOLLOW\_WATER

Alors qu'il se trouve dans l'eau, le poisson a détecté une lumière se trouvant au dessus du seuil minimal. Il cherche à la rejoindre en nageant tout droit (STRAIGHT\_FORWARD\_PEC), vers la droite (TURN\_R) ou vers la gauche (TURN\_L). Lorsque les deux capteurs de lumière sont saturés, cela signifie que le poisson n'est plus qu'à quelques centimètres de la source de lumière. Il effectue alors une petite "danse de la victoire" (STAY) qui consiste à mettre les nageoires à la verticale et les faire osciller d'avant en arrière..

#### 4.2.5 LIMIT\_DRY

Le robot se trouve au sec et ne détecte pas de lumière particulière. Mais une de ses moustaches a heurté un obstacle. S'il est détecté à gauche, le poisson marche vers la droite (CRAWLING\_R). De même s'il est trouvé à droite, le poisson marche vers la gauche (CRAWLING\_L). Si les 2 moustaches sont stimulées cela signifie que l'obstacle est en face et le poisson se met à reculer (CRAWLING\_BACKWARD).

#### 4.2.6 LIMIT\_WATER

Le robot se trouve dans l'eau et ne détecte pas de lumière particulière. Mais une de ses moustaches a heurté un obstacle. S'il est détecté à gauche, le poisson nage vers la droite (ROTATE\_R). De même s'il est trouvé à droite, le poisson nage vers la gauche (ROTATE\_L). Si les 2 moustaches sont stimulées cela signifie que l'obstacle est en face et le poisson se met à reculer (BACKWARD).

### 4.3 Schéma du fonctionnement du programme

#### 4.3.1 Initialisation

Au démarrage, le PIC 18 initialise tous les registres des trois PIC16 à zéro puis leur envoie les paramètres nécessaires à leur bon fonctionnement.

#### 4.3.2 Calibration

Il démarre les capteurs infrarouges des deux nageoires pectorales et interroge leurs contrôleurs respectifs sur les valeurs transmises. Il fait avancer les nageoires jusqu'à ce que les émetteurs infrarouge se trouvent en face des

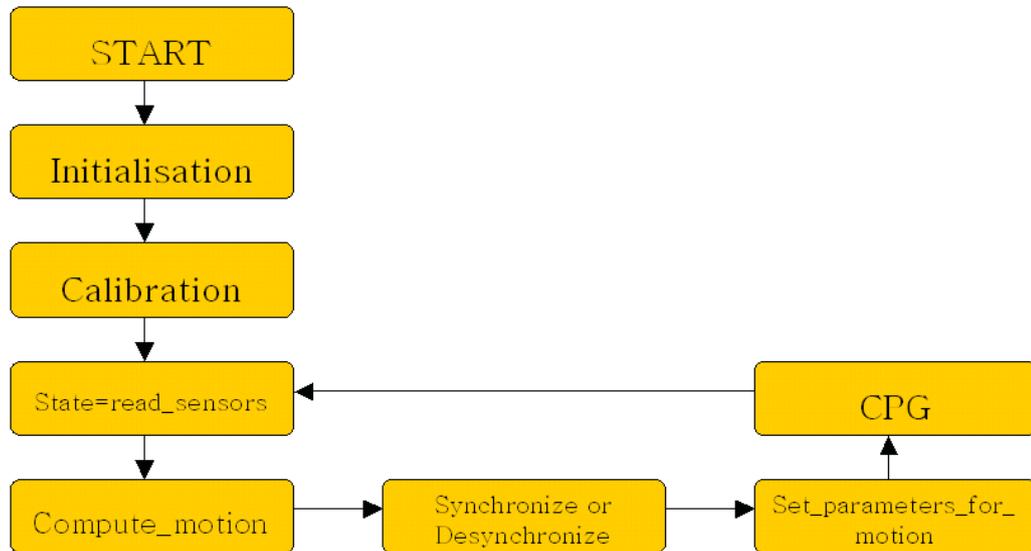


FIG. 4.10 – Schéma du programme

récepteurs. Une boucle infinie peut alors commencer.

### 4.3.3 Read\_sensors - Définir l'état

Le PIC lit les valeurs des capteurs de lumière. Si l'une d'elles est supérieure au seuil minimum alors le robot sait qu'il est dans un état de suivi de lumière. L'information donnée par son capteur d'eau détermine s'il est dans l'état LIGHT\_FOLLOW\_DRY (suivi de lumière au sec) ou LIGHT\_FOLLOW\_WATER (suivi de lumière dans l'eau).

Si le PIC n'a pas capté de lumière, il interroge alors ses moustaches. Dans le cas où au moins l'une d'entre elle est activée, cela signifie qu'il se trouve dans un état de rencontre d'obstacle. Grâce au capteur d'eau externe, il peut connaître si son état est LIMIT\_DRY (obstacle au sec) ou LIMIT\_WATER (obstacle dans l'eau). S'il n'a repéré ni lumière, ni obstacle, le robot se trouve dans un état normal. Il ne tient compte que du capteur d'eau pour décider s'il est dans l'état NORMAL\_DRY (normal au sec) ou NORMAL\_WATER (normal dans l'eau).

Le tableau ci-dessous résume comment se passe le choix de l'état selon les capteurs. Un '0' signifie qu'il n'y a pas de lumière, respectivement pas d'obstacle, respectivement pas d'eau. Un '1' signifie qu'il y en a.

lumière	obstacle	eau	état
0	0	0	NORMAL_DRY
0	0	1	NORMAL_WATER
0	1	0	LIMIT_DRY
0	1	1	LIMIT_WATER
1	0	0	LIGHT_FOLLOW_DRY
1	0	1	LIGHT_FOLLOW_WATER
1	1	0	LIGHT_FOLLOW_DRY
1	1	1	LIGHT_FOLLOW_WATER

#### 4.3.4 Compute\_motion - Définir la locomotion

À partir du moment où l'état est choisi, on peut décider de la locomotion en utilisant des critères plus précis sur les capteurs. Le tableau suivant décrit comment est choisie la locomotion lorsqu'on est dans l'état **LIGHT\_FOLLOW\_DRY** (suivi de lumière au sec). Comme nous l'avons vu dans la section 3.3.2, notre seuil minimum est 3 et le seuil maximum est 240.

Pour que le comportement soit réaliste, on ne peut se contenter d'observer si la valeur renvoyée par le capteur gauche est plus grande que celle du capteur droit ou inversement. Il convient de conserver une marge dans laquelle on décide de continuer d'aller tout droit. Cette marge est calculée par la formule suivante :  $marge = \frac{valeur_{gauche} + valeur_{droite}}{light\_div} + 2$ . La variable *light\_div* est à choisir selon la précision souhaitée. Plus la variable est petite, plus la différence entre les deux capteurs doit être grande pour être prise en compte et faire partir le robot vers un côté plutôt qu'en face. Dans notre programme, nous avons fixé *light\_div* à 5.

Légende du tableau : g=gauche, d=droite, m=marge.

à gauche	à droite	critère	locomotion
> min	< min		CRAWLING_L
> min	> min	$g - m > d$	CRAWLING_L
< min	> min		CRAWLING_R
> min	> min	$d - m > g$	CRAWLING_R
> min	> min	$g - (+) m < (>) d$	CRAWLING
> max	> max		STOP

Le tableau suivant décrit comment est choisie la locomotion lorsqu'on est dans l'état **LIGHT\_FOLLOW\_WATER** (suivi de lumière dans l'eau). Les critères pris en compte pour que le poisson se dirige vers la gauche ou la droite sont les mêmes que pour le suivi au sec.

à gauche	à droite	critère	locomotion
> min	< min		TURN_L
> min	> min	$g - m > d$	TURN_L
< min	> min		TURN_R
> min	> min	$d - m > g$	TURN_R
> min	> min	$g - (+) m < (>) d$	STRAIGHT_FORWARD_PEC
> max	> max		STAY

Le tableau suivant décrit comment est choisie la locomotion lorsqu'on est dans l'état **LIMIT\_DRY** (obstacle rencontré au sec). Quel que soit le côté où l'obstacle est repéré (à gauche, à droite ou en face), le robot commence à faire un tour en arrière (**CRAWLING\_BACKWARD**) pour être sûr de se dégager. Les motions indiquées dans ce tableau sont celles qu'il adopte après avoir réalisé ce tour en arrière.

lim. gauche	lim. droite	locomotion
oui	non	CRAWLING_R
non	oui	CRAWLING_L
oui	oui	CRAWLING_BACKWARD

Le tableau suivant décrit comment est choisie la locomotion lorsqu'on est dans l'état **LIMIT\_WATER** (obstacle rencontré dans l'eau). A l'instar de son comportement hors de l'eau, il choisit d'abord de faire trois oscillations dans la locomotion **BACKWARD** avant d'utiliser celle de ce tableau

lim. gauche	lim. droite	locomotion
oui	non	ROTATE_R
non	oui	ROTATE_L
oui	oui	BACKWARD

Lorsqu'on est dans l'état **NORMAL\_DRY** (normal au sec), la locomotion est choisie de manière aléatoire parmi STOP, CRAWLING, CRAWLING\_L, CRAWLING\_R et CRAWLING\_BACKWARD.

Lorsqu'on est dans l'état **NORMAL\_WATER** (normal au sec), la locomotion est choisie de manière aléatoire parmi BACKWARD\_L, BACKWARD\_R, ROTATE\_L, ROTATE\_R, DIVE\_L, DIVE\_R, UPWARD\_L, UPWARD\_R, TURN\_L, TURN\_R, STRAIGHT\_FORWARD\_BOTH, STRAIGHT\_FORWARD\_PEC, STRAIGHT\_FORWARD\_CAUD, ACCELERATE\_L et ACCELERATE\_R.

### 4.3.5 Synchronisation / désynchronisation

Comme décrit plus loin au paragraphe 4.4.2 il est important de synchroniser les nageoires pour les motions utilisées au sec. Cette synchronisation se fait donc après le choix de la locomotion, si celle-ci n'est pas la même que la précédente.

### 4.3.6 Set\_parameters - Entrer les paramètres

Dans cette phase, on règle le décalage (offset), l'amplitude et la fréquence des nageoires pour les oscillations qui seront générées par le CPG. L'annexe A décrit ces paramètres pour chaque locomotion.

### 4.3.7 CPG - Central Pattern Generator

La procédure du CPG a été reprise du travail précédent (de Daisy Lachat). Elle génère les oscillations des nageoires ainsi que leurs position lorsqu'elle réalisent des tours complets.

## 4.4 Les petits plus

Afin que le comportement du poisson soit crédible, quelques petites améliorations ont dues être rajoutées au programme de base.

### 4.4.1 Passage par en haut lorsque la lumière est trouvée

En s'approchant de la lumière, les capteurs saturaient généralement avant que le dernier pas soit effectué. Cela avait pour conséquence que la locomotion STOP soit choisie. Le poisson ramenait alors ses nageoires vers l'avant,

ce qui le faisait reculer. Les capteurs n'étaient alors plus saturés et la locomotion CRAWLING était sélectionnée, ce qui rapprochait le poisson de la source de lumière, saturait les capteurs, et ainsi de suite.

Pour éviter ce comportement peu souhaitable, la position des nageoires est contrôlée au moment où la lumière maximale est détectée. Si cette position n'est pas aux alentours de celle désirée pour la locomotion STOP, les nageoires sont forcées de continuer à avancer jusqu'à ce qu'elles l'aient rejointe.

#### 4.4.2 Synchronisation des nageoires pour la marche

Dans le CPG, le couplage est toujours à 0 lorsque les nageoires effectuent des tours complets (CRAWLING, CRAWLING\_L, CRAWLING\_R, CRAWLING\_BACKWARD). Ainsi, si au moment de passer à la locomotion CRAWLING ou CRAWLING\_BACKWARD les nageoires ne sont pas parallèles, elles avancent respectivement reculent en maintenant l'écart initial.

Pour pallier à ce défaut, une procédure de re-synchronisation est prévue à chaque fois que l'on sélectionne l'une de ces deux motions. Lorsque que la marche s'effectue vers l'avant, l'offset de la nageoire la plus avancée est assignée à l'autre nageoire. Similairement, l'offset de la nageoire la plus en arrière est assigné à l'autre lorsque le poisson doit reculer.

#### 4.4.3 Garder une locomotion dans les états particuliers

Lorsqu'il suit la lumière, si les capteurs sont pris en compte sans arrêt, le poisson risque de changer de locomotion alors qu'il se trouve au milieu d'un mouvement puisqu'il aura modifié sa position. Pour éviter ces brusques changements, le poisson mesure la lumière, décide de la locomotion et la conserve pour un tour complet (marche) ou plusieurs ondulations (nage).

#### 4.4.4 Transitions du sol à l'eau et de l'eau au sol

Lorsque le poisson passe du sol à l'eau, il descend le long de sa pente. Ayant le museau penché vers l'avant, il croit être dans l'eau alors que ses nageoires n'y sont pas encore. Il se met donc à nager mais cela n'est pas très efficace dans l'air. Pour qu'il ne se mette à nager que lorsqu'il est vraiment dans l'eau, on lui fait effectuer un tour complet en plus dès qu'il touche l'eau. Quand le poisson cherche à sortir de l'eau cela n'arrive que quand une lumière au dessus de l'île est allumée il reste coincé contre la pente car il est juste à fleur de l'eau. Ce cas se révèle nettement plus complexe que le précédent. Il n'a pas pu être résolu dans le cadre de ce projet. La solution imaginée est de compter le temps à partir duquel le poisson cherche une lumière se

trouvant au dessus de la plateforme. Il peut savoir que la lumière allumée est dehors de l'eau en interrogeant un registre du microcontrôleur externe (cf. paragraphe 3.2.3. Si après 10 secondes son capteur d'eau indique toujours la présence d'eau, il y a de fortes chances qu'il soit contre la montée de la plateforme. Il change alors de locomotion et se met à marcher (CRAWLING). Au lieu d'utiliser le temps comme critère, des essais prouveront peut-être qu'il est également possible de se servir de la valeur de l'accéléromètre pour déterminer si le poisson se trouve échoué contre la pente.

# Chapitre 5

## Futur

Des améliorations possibles du robot sont citées ici.

Un système de recharge des batteries sans câble s'avérerait extrêmement intéressant car alors le poisson pourrait être entièrement autonome et débarrassé de son câble.

A l'instar de l'Amphibot II, le poisson pourrait disposer d'une interface wireless pour communiquer avec un ordinateur. Il n'était pas possible de l'inclure dans le robot actuel car l'intérieur des modules en plastique est déjà saturé de circuits, mécaniques et câbles. L'idéale serait que l'interface lui permette également d'être programmé à distance.

Dans une future version du robot on pourrait inclure les capteurs d'eau internes aux circuits, ce qui diminuerait le nombre de câbles et connecteurs volumineux. Actuellement des diodes de protection sont bricolées dans les câbles pour éviter des trop fortes tensions sur le bus I<sup>2</sup>C. Il serait judicieux d'inclure ces diodes également sur les circuits imprimés.

Finalement, une coque légèrement plus épaisse augmentera les chances d'étanchéité du système.

# Chapitre 6

## Conclusion

Le moment est venu de dresser le bilan de ce qui a été accompli. Si l'on se réfère au cahier des charges (chapitre 1) établi au moment de débiter ce projet, on s'aperçoit que les tâches jugées prioritaires ont pu être réalisées. En effet, BoxyBot II est maintenant capable de passer de manière aléatoire d'une locomotion à une autre. Des filtres pour les capteurs de lumière ainsi que des lampes adaptées ont été trouvés pour que le poisson soit capable de suivre une source lumineuse. Des capteurs de distance ont été ajoutés sous forme de moustaches et les réactions à adopter lorsqu'elles sont activées ont été programmées. A l'occasion de l'exposition dans laquelle il figurera dans quelques jours, le poisson pourra s'ébattre dans un spacieux aquarium construit sur mesure, muni d'une plateforme sur laquelle il peut grimper. D'un point de vue personnel le bilan s'avère encore plus positif. La réalisation de ce projet m'a demandé un grand investissement mais qui fut récompensé par les résultats obtenus. Du fait que des problèmes hardware ou mécaniques sont souvent apparus et menaçaient l'avancée du projet, j'ai participé à leur résolution. Ces tâches supplémentaires ont contribué à enrichir les connaissances acquises au cours d'un tel travail.

# Remerciements

Je souhaite remercier Alessandro Crespi, superviseur de ce projet, qui a donné de son temps et beaucoup d'énergie pour le mener à bien.

Ma reconnaissance va également à Auke Ijspeert, professeur responsable, pour son soutien, son enthousiasme et son optimisme.

Je tiens à souligner la présence de Messieurs André Badertscher et André Guignard car sans ce dernier le BoxyBot n'existerait pas et sans le premier, il serait vide, sans circuits!

Ce projet a poussé à bout la patience de certains, aussi je veux leur envoyer un immense merci pour l'avoir supporté jusqu'à la fin.

# Bibliographie

- [1] Daisy Lachat *Boxybot : design and realization of a fish robot* Biologically inspired robotic group, EPFL, Lausanne, Suisse, 2005.
- [2] Daisy Lachat, Alessandro Crespi, and Auke Jan Ijspeert *BoxyBot : a swimming and crawling sh robot controlled by a central pattern generator* Biologically inspired robotic group, EPFL, Lausanne, Suisse, 2005.
- [3] Sacha Constantinescu *Design of fish robot sensory system* Biologically inspired robotic group, EPFL, Lausanne, Suisse, 2005

# Annexe A

## Paramètres pour les motions

Note : MAX\_FREQ = 7 Hz.

Locomotion	Nageoire	fréquence	amplitude	offset
ACCELERATE	pect. gauche	variable	11	0
	pec. droite	variable	11	0
	caudale	0	0	0
ACCELERATE.L	pect. gauche	variable	11	0
	pec. droite	variable	11	0
	caudale	0	0	-127
ACCELERATE.R	pect. gauche	variable	11	0
	pec. droite	variable	11	0
	caudale	0	0	127
BACKWARD	pect. gauche	MAX_FREQ	11	100
	pec. droite	MAX_FREQ	11	100
	caudale	0	0	0
BACKWARD.L	pect. gauche	MAX_FREQ	11	100
	pec. droite	MAX_FREQ	11	100
	caudale	0	0	-127
BACKWARD.R	pect. gauche	MAX_FREQ	11	100
	pec. droite	MAX_FREQ	11	100
	caudale	0	0	127
DIVE	pect. gauche	MAX_FREQ	11	-35
	pec. droite	MAX_FREQ	11	-35
	caudale	MAX_FREQ	42	0
DIVE.L	pect. gauche	MAX_FREQ	11	-35
	pec. droite	MAX_FREQ	11	-35
	caudale	0	0	-127

Motion	Nageoire	fréquence	amplitude	offset
DIVE_R	pect. gauche	MAX_FREQ	11	-35
	pec. droite	MAX_FREQ	11	-35
	caudale	0	0	127
ROTATE_L	pect. gauche	MAX_FREQ	11	100
	pec. droite	MAX_FREQ	11	0
	caudale	MAX_FREQ	17	-110
ROTATE_R	pect. gauche	MAX_FREQ	11	0
	pec. droite	MAX_FREQ	11	100
	caudale	MAX_FREQ	17	110
STAY	pect. gauche	0.5	20	-50
	pec. droite	0.5	20	-50
	caudale	0	0	0
STRAIGHT_FORWARD_BOTH	pect. gauche	MAX_FREQ	11	0
	pec. droite	MAX_FREQ	11	0
	caudale	MAX_FREQ	42	0
STRAIGHT_FORWARD_CAUD	pect. gauche	0	0	0
	pec. droite	0	0	0
	caudale	MAX_FREQ	42	0
STRAIGHT_FORWARD_PEC	pect. gauche	MAX_FREQ	11	0
	pec. droite	MAX_FREQ	11	0
	caudale	0	0	0
TURN_L	pect. gauche	MAX_FREQ	11	0
	pec. droite	MAX_FREQ	11	0
	caudale	0	0	-127
TURN_R	pect. gauche	MAX_FREQ	11	0
	pec. droite	MAX_FREQ	11	0
	caudale	0	0	127
UPWARD	pect. gauche	MAX_FREQ	11	30
	pec. droite	MAX_FREQ	11	30
	caudale	MAX_FREQ	42	0
UPWARD_L	pect. gauche	MAX_FREQ	11	30
	pec. droite	MAX_FREQ	11	30
	caudale	0	0	-127
UPWARD_R	pect. gauche	MAX_FREQ	11	30
	pec. droite	MAX_FREQ	11	30
	caudale	0	0	127
STOP	pect. gauche	2	11	70
	pec. droite	2	11	70
	caudale	0	0	0

Motion	Nageoire	fréquence	amplitude	offset
NOTHING CRAWLING CRAWLING_BACKWARD	pect. gauche	0	0	
	pec. droite	0	0	
	caudale	0	0	0
CRAWLING_L	pect. gauche	0	0	
	pec. droite	0	0	
	caudale	0	0	-127
CRAWLING_R	pect. gauche	0	0	
	pec. droite	0	0	
	caudale	0	0	127

# Annexe B

## Positions des nageoires

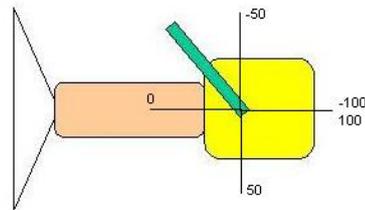


FIG. B.1 – Valeurs attribuées aux décalages (offset) des nageoires pectorales