

*Duvivier Valentin* - *Matej Mayet*

L3 CMI

2018 - 2019

Stage Kilobots

-

Etude et optimisation de la motricité de module centimétriques pour une application en essaim

Encadré par Nicolas BREDECHE - Fabien CAURA

**Sommaire :**

1. Introduction :
   1. Cahier des charges et Objectifs
   2. Documentations Kilobots
2. Etude Macroscopique
   1. Comprendre
   2. Optimiser
3. Etude Trajectoires
   1. Modèles Catia
   2. Modèles expérimentaux
4. IMU
   1. Lecture et calibrage des données
   2. Transmission des données

**PLAN Détaillé :**

Cahier des charges et objectifs de stage :

- faire fonctionner un kilobot

- faire des propositions d'autres type de support de locomotion (avec test)

- faire des tests de trajectoire pour les différents prototypes

- faire des tests IMU :

- Test affichage 2D et 3D avec Arduino

- Test envoi de donnée en temps réel avec Kilogrid amateur

Liste protocoles :

* Protocoles Calibration Kilobots ;
* Protocoles Calibration IMU (magnetometre, accelerometre, gyroscope) ;
* Protocole pose IMU : limitation des inégalités symétriques,
* Protocole mesure Trajectoire ;

1. Introduction:

* Se documenter sur les bases
* Comprendre comment fonctionne le Kilobot et le faire marcher sur KiloGui

Données initiales pour compréhension du problème :

* Notice Kilogui : <https://www.kilobotics.com/documentation#advanceduse>
* Guide Codage : <https://www.kilobotics.com/labs>

1. Trouver le meilleur compromis entre la précision, la vitesse et l’équilibre :

Objectifs :

→ Définir quels robots sont viables ;

→ On définit ce qui les rends meilleur ;

→ Conclure sur les matériaux, les formes et les dispositions les plus adaptés.

Comprendre et Optimiser

* 1. Test Macro Forme : On teste les formes existantes pour en déduire un/deux support(s) plus adapté(s) ;

→ On a une idée générale de la forme du Kilobot et de son fonctionnement en application concrète.

* 1. Tests Scientifiques des supports créés afin de vérifier numériquement la fiabilité des hypothèses tenues. Ces tests ne concerne que les prototypes imprimés.

→ On allie les caractéristiques de différents matériaux pour étudier la structure globale.

→ → On justifie les choix déjà pris par les anciens élèves, tout en étudiant de nouvelles possibilités.

1. Etude de trajectoire :

Objectifs :

→ Mesurer les compétences des supports imprimées et les comparer

avec initiaux et voir sur des courbes en quoi ils sont meilleurs. (On recoupe les caractéristiques des robots pour voir ce qui les rends plus performant).

→ On adapte les formes testées aux matières caoutchouc et brosse à dent (*les deux prototypes supplémentaire ne sont pas testé avec de la matière*).

Ils sont tous déjà fait sauf 3 Pattes Brosse à dent et Brosse à dent bas.

On fait les mesures sur les prototypes déjà présent.

→ → → Généraliser

Récapitulatif sur les points forts de chacun et sur le robot idéal. Si on a un résultat précis on donne le robot en question, sinon on en déduit les points qu’il devrait combiner.

1. Tester chacun des robots dans les mêmes conditions :
   1. Utilisation d’un faisceau laser pour calibrer leur trajectoire (ils doivent suivre le faisceau laser);
   2. Filmer ces tests et faire des courbes / nuages de points sur aviméca.

* Ne pas oublier les incertitudes (ainsi que l’incertitude propre des matériaux. On essaie d’avoir une symétrie naturelle, on permet une calibration de chaque moteur comprise entre 65 et 75, et on étudie le tout).
* Déterminer les limites d’écart de trajectoire acceptable pour l’utilisation des robots (ex : si le robot se déplace de 5 mm sur un trajet de 1 mètre il n’est pas nécessaire d’ajouter un correcteur de trajectoire etc… <= écart limite à déterminer par nos tuteurs).

1. Combiner

On combine les formes obtenues avec les matières choisies. En fonction des combinaisons obtenues, on détermine : vitesse de déplacement, **II Trajectoire**, vitesse de rotation, équilibre statique, équilibre dynamique.

Si on remarque que la hauteur a une forte influence dans nos mesures sur Tests matière on crée Brosse à dent basse ; sinon on ne le fait pas.

1. Application d’un IMU

Référence IMU utilisé pour les kilobots :

<https://www.elementzonline.com/mpu6050-gy-521-3-axis-analog-gyro-sensors-accelerometer-module>

Informations générales

* Trouver capacité stockage kilobot : 2Mb ;
* Données pas en temps réel ( → asservissement) : KILOGRID ;
* prise en compte des autre robots : position du choc (sur ce point, l'accéléromètre est bon car “il offre un large spectre de fréquence étudiable”. On fonctionne dans notre cas à de petites fréquence de vibration lors de la collision entre 2 robots, d’où le point positif

<https://www.ni.com/en-au/innovations/white-papers/06/measuring-vibration-with-accelerometers.html>). Toutefois, les faibles fréquences peuvent être facilement mélangées au bruit :

→ distinction difficile.

→ le but est que le robot connaisse sa position. Pour cela, on utilise un IMU qui comprend un accéléromètre et un gyroscope : 6 degré de liberté.

1. Positionnement De l’IMU

**Protocole**

1. Récupération Données

Dans tous les cas, on récupère la position pour tracer des courbes et les données du Gyroscope pour la rotation sur ez.

Voir en quoi la rotation sur ez est importante, manière optimale de récupérer les données, application diverse de l’IMU et en quoi il pourra servir plus tard.

**Filaire** :

Connectique :

On connecte l’IMU à de la tension (VCC), la terre (GND), le signal d’horloge (SCL) et les données de position que l’IMU calcule (SDA), sont envoyées à l’

Arduino Nano (codes similaires avec ATMEGA328P et Arduino UNO).

**Liste :**

**3D** :

**Arduino** - **Processing** :

**Matlab** :

**IR** :

**BONUS** :

→ Détection de collision ;

→ Faire une map qui affiche en temps réel la position des robots selon ce qu’ils envoient.

1. Importance et nécessité
2. Amélioration supports :

Observations macroscopiques

| **Test Macro** | Vitesse de déplacement (entre 80, 100) | Trajectoire | Vitesse de rotation | Equilibre statique |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Basique | 15/20  P = 80 | P > 80 : Biaisée  P < 80 : Bonne | 16/20  P = 70  Lent et précis | Axial : 8/10  Latéral : 8/10 |
| Brosse à dent - Double | 20/20  P = peu importe | Bonne pour n’importe quelle puissance | 20/20  P = 100  Rapide et précis | Axial : 4.5/10  Latéral : 9/10 |
| Brosse à dent - Triple | 7/20  P = 100 | Mauvaise | 4/20  Mauvaise | Axial : 4/10  Latéral : 4/10 |
| Caoutchouc | 15/20  P = peu importe | Bonne pour n’importe quelle puissance | 15/20  Rot G bancale,  Rot D bonne | Axial : 6/10  Latéral : 5/10 |
| Bloc circulaire | 9/20  P = 100 | Mauvaise | 18/20  P = 100  Lent et précis | Axial : 10/10  Latéral : 9/10 |
| Bande arrière - courte | 11/20  P = 100 | Fiable à faible puissance | 11/20  P = 90  Lent et tourne pas sur lui même | Axial : 8/10  Latéral : 6/10 |
| Bande arrière large | 10/20  P = 100 | Fiable à faible puissance | 14/20  P = 90  Moyenne et tourne pas sur lui même | Axial : 8/10  Latéral : 8/10 |
| Position Grenouille | 11/20  P = 100 | Fiable à faible puissance | 12/20  P = 90  Lent et tourne pas sur lui même | Axial : 7/10  Latéral : 5.5/10 |

fig 1 : tableau des tests sur la fiabilité et les “compétences” des supports existant

1. **Bilan Individuel :**

Double brosse à dents : À basse vitesse on remarque une désynchronisation entre les fils des brosses à dents qui font que le robot tremblotte, il n’est pas précis. L’écart de fréquence d'oscillation des fils se dissipe en augmentant la puissance des vibreur.

Basique : Le robot est réactif et précis mais simplement sur certaines plages de puissance ( entre 60 et 80 ). Pour des travaux de précisions sans contrainte de temps, c’est adapté, sinon : à améliorer.

Caoutchouc : Rotation imprécise parfois (sûrement dû aux coefficients de frottement de la matière utilisée), les pieds accrochent à la surface et freinent la rotation. Aucun problème en translation. Le gros soucis est l’équilibre malgré un centre de gravité bas (par rapport aux autres robots plus stables).

Bloc circulaire : Trop de surface d’application et trop de poids, le robot a du mal à déplacer la grosse structure. En terme de rotation il est bon, mais lent.

1. **Bilan Comparatif :**

* Surface arrière comprise entre bande courte et grenouille. Ne doit pas dépasser un certain volume (trop de ralentissements sinon).
* Bande arrière large tourne mieux que courte car centre d’inertie plus proche du centre de gravité du robot (dû à la bande plus large et plus proche du centre).
* Equilibre latérale meilleur dans le cas de bandes continues; La stabilité est meilleure là où le centre de gravité est au centre du robot : bloc circulaire et bande large. Privilégier les système à pattes éloignées.

1. **Autre**

* Préférable d’avoir deux surfaces arrières minimums : bande arrière qui semblent moins fiable en terme de direction.
* Moins de visibilité IR pour bande arrière large que pour bande arrière courte.

Mesures et Écart Kilobots :

Basique : Ecart entre 2 pattes diagonale : 2.8 cm

Ecart arrière : 2.6 cm

*Ruban mesureur pour approximation rayon kilobot → 1.615 cm*

Rayon patte 0.6 - 0.7 mm

(Distance patte paroi : 1 mm à partir du centre de la patte)

| **Mesures** | Pattes arrières (cm) | Pattes diagonales (cm) | Rayon kilobot (cm) | Diamètre Pattes (mm) | Diamètre trou Pattes (mm) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Basique | 2.50 - **2.55** | 2.80 | 1.615 | 0.60 - 0.70 | NF |
| Bloc circulaire | 2.65 | 2.87 - 2.88 | NF | X | 2.0 |
| Grenouille | 2.55 - **2.6** | 2.74 - 2.75 | NF | X | 2.4 - **2.5** |
| Bande Large | 2.70 | 2.70 | NF | X | 2.0 sur 2.5 |
| Bande Courte | 2.60 | 2.75 | NF | X | 2.5 |

fig 2a : Tableau mettant en lien les mesures des supports et leurs points forts/faibles

| **Mesures** | Longueur patte  (cm) | Diamètre patte imprimée (mm) | Ecart Arr / Diag |
| --- | --- | --- | --- |
| Basique | 1.9 - 1.95 | X | X |
| Bloc circulaire | 1.94 - 1.95 | X | +0.05 / [0.07;0.08] |
| Grenouille | 1.96 | 0.8 | [-0.05;0.00] / [-0.06;-0.05] |
| Bande Large | 1.95 | 0.89(20) | +0.1/-0.1 |
| Bande Courte | 1.95 | 0.82 | 0.00/0.05 |

fig 2b : Tableau mettant en lien les mesures des supports et leurs points forts/faibles

| **Mesures** | Écart pattes arrières (cm) | Écart pattes diagonales (cm) | Diamètre trou Pattes (mm) | Longueur patte (cm) | Diamètre patte imprimée (mm) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Basique | 2.55 | 2.80 | Pas de trou | 1.9 - 1.95 | Pas de patte |
| Bloc circulaire | 2.65 | 2.88 | 2.0 | 1.94 - 1.95 | Pas de patte |
| Grenouille | 2.60 | 2.75 | 2.5 | 1.96 | 0.8 |
| Bande Large | 2.70 | 2.70 | 2.5 | 1.95 | 0.89 |
| Bande Courte | 2.60 | 2.75 | 2.5 | 1.95 | 0.82 |

(Voir la différence de matière entre grenouille et bande arrière large. Pour cette dernière, la matière rend peu précise les trous effectués (nettement moins précis que grenouille). Toutefois, pour une matière équivalente, bande arrière courte ne présente pas cette même imprécision).

**Bilan : Contraintes mesures et modélisations.**

* Il faut un écart minimum pour laisser passer les pattes → contrainte immuable si on veut tester sans casser.
* Dans les cas de bande arrière longue et court, il faut veiller à avoir une certaine surface (ni trop peu, ni pas assez) de surface sans contraindre le robot : il y a un écart minimal entre les pattes à cause du basique et il faut s’y soumettre. Toutefois, on ne peut laisser une patte dans le vide par risque de perte d’énergie évidente → Contraignant (*retour après mesures : on a besoin d’un diamètre de trou >= 1.5mm au minimum. Nous prenons 1.9mm*).

→ Il faut un rayon assez large pour être sur que la patte rentre mais pas trop afin de limiter les pertes d’énergie.

Écarts :

En comparant les données du tableau portant sur les mesures, on remarque les choses suivantes :

* l’écart diagonal entre les pattes doit être de 2.8 +/- 0.05. En tout cas on a de fortes déformations à partir de +/- 0.7 (bloc circulaire, bande large).

→ Problématique : bande arrière large, plus proche du centre mais contraint par les pattes du robots qui sont plus éloignées. Par ailleurs, on ne peut envisager de laisser les pattes dans le vide sous risque de perte d’énergie.

* l’écart arrière entre les pattes doit être de 2.55 +/- 0.08. En privilégiera un écart de +/- 0.05 max.

→ Problématique : On est limité au niveau de l’équilibre latérale par cette contrainte de largeur. En addition à la problématique précédente, elle nous contraint à privilégier une forme arrondie (ou de petites bandes de chaque côté).

|  | Vitesse  Avancée ( en m/s)  80 120 250 | Vitesse  Rotation  (en tr/min)  P = 80 | Précision  Trajectoire  (en m/0.5m)  P = 80 | Précision  Trajectoire  (en m/0.5m)  P = 120 | Précision  Trajectoire  (en m/0.5m)  P = 255 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Basique | 0.008 0.03 Inf | 7.5 | 0.250 | Inf | Inf |
| Brosse à dent, modification | Inf 0.098 0.3 | 14 | Inf | 0.300 | 0.110 |
| Brosse à dent, exosquelette | 0.019 Inf Inf | 1.3 | Inf | Inf | Inf |
| Courbé, exosquelette | 0.006 0.064 Inf | 3.70 | 0.030 | 0.270 | Inf |
| Triangle Penché, exosquelette | Inf 0.085 0.18 | Inf | Inf | Inf | 0.325 |
| Spider, exosquelette | 0.0064 Inf 0.026 | Inf | 0.205 | Inf | 0.005 |

Inf = Infini (le robot fait n’importe quoi donc on décide de ne pas prendre en compte cette mesure)

Caractéristiques à valoriser :

* Penchée :
* Grande Surface d’application :
* Forme :
* Ensuite on fait les tests IMU sur 2 prototypes (1 pour chaque type de forme) : 3 Pattes et Bandes.

→ Le but est bien de tester l’IMU sur nos prototypes mais surtout de généraliser sur la position, l’efficacité et le fonctionnement de l’IMU.

IMU : Rouge - Marron Jaune - Orange

| Longueur trajet  (en cm) | Roulis  départ IMU  (en °) | Roulis  arrivée IMU  (en °) | Écart roulis  IMU  (en °) | Écarts roulis expérimental (en °) | Écart relatif IMU/expérimental (en %) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 100 | -1.81 | -2.08 | 0.27 | 3.2 | 8.5 |
| 100 | -2.92 | -2.65 | 0.27 | 3.4 | 8.1 |
| 100 | -2.34 | -2.50 | 0.16 | 2.1 | 7.6 |
| 100 | -3.70 | -3.21 | 0.49 | 4.1 | 12 |
| 100 | -4.02 | -3.59 | 0.43 | 3.9 | 10.8 |
| Moyenne | X | X | 0.324 | 3.38 | 9.4 |
| - | - | - | - | - | - |
| 60 | -4.32 | -4.30 | 0.02 | 0.8 | 2.5 |
| 60 | -4.27 | -3.94 | 0.31 | 5.1 | 6.1 |
| 60 | -4.65 | -4.18 | 0.47 | 4.3 | 10.9 |
| 60 | -4.28 | -3.89 | 0.39 | 3.6 | 11 |
| 60 | -4.35 | -4.03 | 0.32 | 2.7 | 11.8 |
| Moyenne | X | X | 0.302 | 3.3 | 8.46 |
| - | - | - | - | - | - |
| 120 | -3.24 | -2.97 | 0.27 | 3.0 | 9.1 |
| 120 | -4.70 | -2.93 | 1.77 | 4.2 | 42.1 |
| 120 | -4.85 | -3.99 | 0.86 | 2.0 | 43.0 |
| Moyenne | X | X | 0.97 | 5.8 | 31.4 |

Le projet SMAVNET de l'EPFL (~2010): drones volants pour reconstruire un réseau de communication -- <https://smavnet.epfl.ch/>

Flotte de drone marin pour faire du monitoring en haute mer (Duarte et Christensen au Portugal, 2017?) -- <https://www.youtube.com/watch?v=JBrkszUnms8&feature=emb_title>

Flotte de drone marin pour faire du monitoring de niveau d'oxygénation dans le lagon de Venise (projet européen Subcultron 2014-2019) -- <http://www.subcultron.eu/>

Développement en cours pour les drones agricoles -- p.ex.: <http://echord.eu/will-precision-agriculture-bring-food-grown-swarm-robots/index.php.html>

Réseaux de senseurs (mobiles mais pas actifs: c.a.d robots portés par le courant marin ou aérien, ou un flux d'eau -- <https://www.phoenix-project.eu/tiki-index.php>

[1] A. Font Llenas, M.S. Talamali, X. Xu, J.A.R. Marshall, A. Reina (2018) Quality-sensitive

Foraging by a robot swarm through virtual pheromone trails, in ANTS 2018.

Disponible sur :<https://github.com/DiODeProject/PheromoneKilobot>

[Consulté le: 15-déc-2019].

[1] J. Metge, « Etude de la calibration et de l’intégration sur mini-drone d’un système caméra-capteurs inertiels et magnétiques et ses applications », Université de Bordeaux, Bordeaux, 2016. [Thèse]. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210650217308398>.

Documentation composants IMU page 41 - 42

Calibration expérimentale IMU page 50

[Consulté le : 16-déc-2019].

[1] Caroline Perry, « A self-organizing thousand-robot swarm », *Harvard Scholl of Engineering*, 14-août-2014. [En ligne]. Disponible sur:<https://www.seas.harvard.edu/news/2014/08/self-organizing-thousand-robot-swarm>. [Consulté le: 16-déc-2019].