

ATHLETE-ROVER-PROTOTYPE-

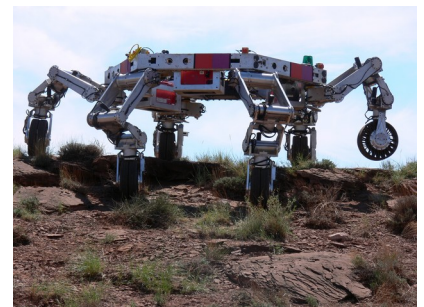
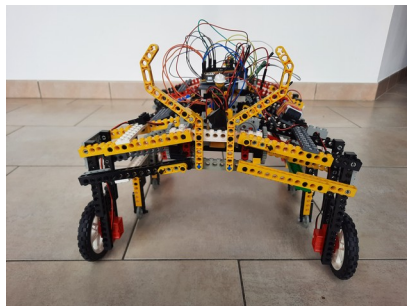
Projet Arduino



*Du 6 décembre 2021
Au 14 Mars 2022*

ÉTUDIANT : **MAXIME AZÉMARD**

ENCADRANT : M.MASSON ; M.PETER



Remerciements

L'équipe de création du prototype de rover Athlete remercie particulièrement M.Masson et son équipe pour leur implication, leur suivi et leurs conseils avisés. Nous remercions M.Juan pour la prise en charge efficace de l'impression des pièces nécessaires, et nous remercions l'université Côte d'Azur et l'école polytechnique universitaire de l'académie de Nice pour avoir permis l'accès au matériel et aux outils de conception utiles à la réussite du projet.

Sommaire

Introduction	p.2
Cahier des charges – objectif de réalisations et contraintes	p.3
Le matériel	p.3
Partie 1 : Le prototype initial	p.4
Partie 2 : Un robot plus modeste	p.6
Partie 3 : Un robot Athlète	p.7
Conclusion – Perspectives d'évolutions	p.9
Bibliographie	p.10

Projet Athlète : « A l'assaut du relief »

Depuis quelques années, la conquête spatiale s'accélère considérablement. Les agences spatiales du monde entier (la NASA, l'ESA, Roscosmos, ect) se préparent à un retour imminent et prolongé sur l'astre lunaire, et les envois de sondes et rovers à but scientifique s'intensifient avec l'objectif de voir, dans un futur proche, le premier être humain sur Mars.

Ces rovers, à l'image de Curiosity, parcourent des kilomètres afin d'étudier les minéraux et les sols extraterrestres. Ils se retrouvent ainsi face à un défi de grande envergure : le relief. Celui-ci se dresse tel un obstacle destiné à freiner leurs progressions. Pour les ingénieurs actuels, la création d'un robot capable de se déplacer aisément sur ce relief représente l'un des principaux enjeux de la conquête spatiale à venir.

C'est dans l'objectif de répondre à cette difficulté que la NASA et le Jet Propulsion Laboratory développent en ce moment même le rover Athlete (All-Terrain Hex-Limbed Extra-Terrestrial Explorer). Ce rover est composé de 6 trains de roues articulés qui s'adaptent au niveau du sol afin que la plateforme du robot reste stable de façon permanente. A l'avenir, l'agence spatiale américaine prévoit de l'envoyer sur la Lune à des fins de transports de marchandises, ou de modules d'habitats pour les futurs arrivants.

L'objectif de ce projet est de comprendre, par l'intermédiaire de la création d'un robot articulé et motorisé, comment se comporte le rover Athlete et de quelle façon il est capable de franchir une différence de relief.

Au cours de ce rapport, après vous avoir présenté le premier prototype initial du robot, nous discuterons de la version simplifiée créée en milieu de projet avant de nous attacher à la présentation du robot finalisé à l'effigie de Athlete.



Photographie de Athlete
transportant un module
d'habitation

Cahier des charges

Objectif : création d'un robot capable de réaliser la montée et la descente d'un obstacle afin de simuler le comportement d'Athlete lors de son déplacement sur des reliefs escarpés. Le robot doit être **manipulé à distance** avec un système de télécommande.

Projet de réalisation : Créer un robot composé de 3 trains de roues qui s'élèvent et s'abaissent successivement afin de se hisser ou descendre d'un obstacle.

Contraintes de réalisation :

- le robot doit être équipé de 3 paires de roues au minimum pour la gestion du centre de gravité.
- les trains avant et arrière doivent posséder des roues motrices et des pneus adhérents au sol afin de pouvoir pousser ou tracter le robot lors des phases de montée et de descente.
- le robot doit pouvoir communiquer à distance avec une télécommande. Un système de transfert de données est donc nécessaire (Bluetooth, ...)
- chaque train doit être capable de fonctionner indépendamment des autres. Mais aussi tous ensemble.
- Le poids et les matériaux utilisés doivent être pris en compte afin de permettre une meilleure gestion du centre de gravité.
- chaque train de roues doit être capable de s'abaisser et se relever. Son articulation nécessite une motorisation
- Le robot nécessite d'avoir avec lui une source d'énergie : pile, etc
- nécessité d'une quantité importante de moteurs et roues
- délais : 8 semaines

Athlete rover prototype



Planning initial du projet

Maxime Azémard

Détails du matériels

Pour débiter, il est nécessaire de bien comprendre le matériel utilisé tout au long de ce projet. En voici quelques descriptions :

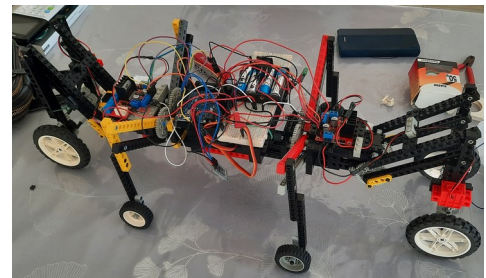
- [La carte Arduino UNO](#) : Une carte programmable standard équipée d'un microcontrôleur. Elle possède 14 entrées numériques dont 6 entrées « Pulse Width modulation » et 5 broches analogiques.
- [La carte Arduino MEGA](#) : Une carte programmable plus avancée que le modèle UNO. Utilisée pour des projets de plus grande envergure, elle possède 54 entrées/sorties dont 16 analogiques et 14 de type PWM.
- [Les ponts en H](#) : Un circuit permettant de contrôler deux moteurs à courant continu, ou un moteur pas à pas. Les ports ENA et ENB permettent de moduler la tension ce qui équivaut à moduler la vitesse des moteurs. Les entrées IN1, IN2, IN3 et IN4 permettent d'indiquer le sens de rotation des moteurs.
- [Le module hc-05](#) : Un module qui fonctionne en Bluetooth et qui permet la communication entre la carte et un appareil externe. Fonctionne de pair avec l'application « Bluetooth electronic »
- [Les moteurs Lego Geek](#) : Des moteurs Lego à courant continu compatible avec Arduino
- [Les moteurs « jaunes »](#) : de simples moteurs à courant continu
- [Les servomoteurs](#) : des moteurs capables de prendre une position spécifique comprise dans un angle allant de 0° à 180°.

Partie 1 : Le prototype initial

L'objectif de cette première partie du projet est d'obtenir un premier prototype fonctionnel du robot. Il faut donc commencer par se poser certaines questions : Comment créer la structure de l'appareil ? Comment articuler les trains de roues et y insérer des moteurs ? Quels matériels utiliser ?

1- La création du premier robot

De par la facilité d'utilisation, la brique Lego s'est avérée être plutôt adaptée à ce projet. Après la création rapide d'un modèle de train pouvant être utilisé, la structure du robot a pu être lancée. Celle-ci se décompose en 4 parties. Les trains avant et arrière qui se déploient vers l'avant et qui sont composés chacun d'un moteur à courant continu compatible avec la structure Lego, qui contrôle l'articulation, et d'un autre moteur Lego qui permet la motorisation des roues. Ce mouvement est possible grâce aux vis sans fin qui maintiennent toute la structure.



Les deux trains centraux sont équipés de servomoteurs. Par l'intermédiaire d'une pièce de jonction, ceux-ci sont rattachés à des axes Legos qui sont eux-mêmes reliés à des articulations à roulettes. Ici on remarque l'absence des vis sans fin.

L'électronique du robot nécessite l'utilisation de plusieurs modules. En ce début de projet, le choix de l'utilisation de la carte Arduino UNO a été fait afin de faire la liaison entre les commandes informatiques et l'électronique du robot. Ensuite, il a fallu s'équiper de 2 ponts en H qui servent d'intermédiaire entre la carte et les moteurs. Enfin un module de Bluetooth a été rajouté. Tous ces composants ont été ajoutés sur la structure mécanique Lego du robot et les branchements ont pu être effectués. Une platine d'essai s'est avérée indispensable pour permettre la bonne connexion de tous les modules. S'en est suivi l'introduction d'un bloc d'alimentation de 6V par piles et d'un interrupteur.

Enfin il a fallu programmer le prototype. Pour cela, un travail préparatoire a été nécessaire afin de créer des petits sous-programmes destinés aux tests des différents modules. A savoir, les

servomoteurs, les moteurs, et la connexion au module Bluetooth. Pour suivre, la télécommande a pu être créée et le premier programme écrit. L'idée ici est de permettre à l'utilisateur de manipuler tous les trains articulés ainsi que le déplacement de l'engin.

II- Les problèmes rencontrés

Lors de la création de ce premier prototype de machine, plusieurs problèmes mécaniques se sont posés.

Premièrement, la question de l'insertion des moteurs Lego dans les parties avant et arrière ont été un problème. Pour le résoudre et obtenir la structure la moins coûteuse en pièces, il a fallu recréer et modifier plusieurs fois ces zones. Le but est ainsi d'avoir les trains les moins lourds possible.

Un autre problème de mécanique qui est apparu est la faible puissance des moteurs. Ils n'étaient pas capable de relever l'articulation. Pour cela l'utilisation d'engrenages est devenu indispensable. En effet il est possible grâce à eux de décupler la puissance exercée mais cela réduit considérablement la vitesse.

Pour suivre, il était devenu nécessaire de solidariser la structure. En effet les forces d'écartements qui s'exerçaient sur le robot fragilisaient énormément la structure de celui-ci. Ce problème n'a pas pu être complètement résolu mais l'accrochage d'une grande barre Lego traversant tout l'appareil a permis de réduire considérablement cet effet de destruction.

On remarque un autre problème qui vient de la platine d'essai. On remarque qu'elle alourdi le robot alors qu'une grosse partie de la plaque n'est pas utilisée. Ce problème persistera une grande partie du projet. Il est aussi très délicat de trouver de la place pour insérer cette platine dans la structure.

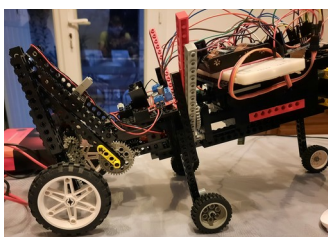
Concernant la programmation, il a fallu s'occuper de certaines difficultés. Notamment liées aux servomoteurs qui ne fonctionnaient pas correctement lorsque l'on ne récupérait pas la valeur du module Bluetooth à chaque instant. Cela diffère de l'idée initiale qui consistait à étudier la valeur du module uniquement lorsque il y avait une modification de cette valeur.

On remarque un important problème sur ce prototype. La perte énorme de tension de 2 à 3V entre la sortie de l'alimentation et l'arrivée aux moteurs. Un problème probablement dû aux pertes dans le circuit et à la répartition de la tension entre tous les modules, ce qui a eu pour conséquence particulière la déconnexion du module Bluetooth. Ce problème est réduit par l'utilisation d'une alimentation filaire de 7,5V qui complète l'alimentation à piles.

III- Bilan du prototype

Le premier test du robot ne s'est pas avéré concluant. En effet il ne remplit pas les critères indiqués dans son cahier des charges. Lors de la phase de test le robot n'est pas capable de maintenir son propre poids. La force exercée sur les servomoteurs étant trop importantes lorsque le train avant se soulève, le robot s'écrase sur lui-même.

Nous sommes alors à la moitié du délai imposé pour la réalisation de ce projet. Il faut donc réadapter le planning afin de pouvoir obtenir un engin opérationnel



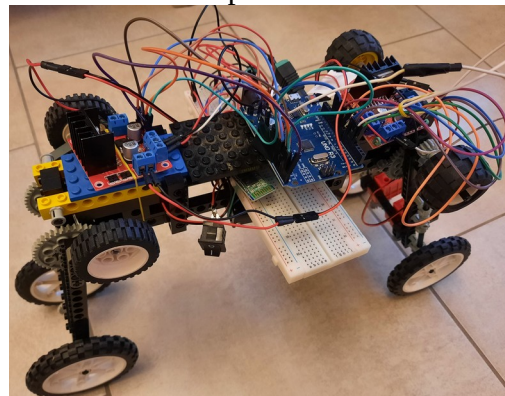
Photographie traduisant l'écrasement du robot lorsque le train avant monte

Partie 2 : Un robot plus modeste

A présent, il s'agit d'obtenir une deuxième version du robot qui réponde complètement à la contrainte initiale de création : monter sur un obstacle. Le premier prototype a permis de déduire que l'utilisation de servomoteurs était superflu et que les vis sans fin sont indispensables à la réussite de l'opération.

I- Création d'une version simplifiée du prototype initial

Afin d'obtenir une structure plus légère. Il a été nécessaire de se dispenser des deux trains de roues centraux. Il ne reste alors que les trains avant et arrière. L'un des moteurs responsable de la motorisation arrière a été basculé sur la partie avant. Il y a donc maintenant un moteur par roue avant. La principale modification de la structure provient des trains articulés. Ils ne se décomposent plus en deux parties mais en seulement une. Les roues retirées sur les trains centraux ont été rajoutées sur les trains avant et arrière mais positionnées en début d'articulation. L'idée est que lorsque les roues avant se soulèvent, elles seront remplacées par ces roues plus petites qui viennent prendre appui avec le sol. Grâce à un ingénieux système d'axe et d'engrenages, l'énergie du moteur de la roue avant est retransmise à la roue de remplacement qui devient alors motorisé. La structure a aussi été renforcée par des entretoises qui solidarisent le socle du robot afin d'éviter une destruction des pièces.



L'électronique de ce robot a ensuite été branchée sur la carte Arduino UNO puis accrochée au niveau de la partie centrale. La platine d'essai est insérée orthogonalement aux axes qui maintiennent l'agencement de l'appareil et on dispose dessus le module Bluetooth. Le bloc d'alimentation est accroché avec des élastiques sous le robot mais il n'est pas utilisé dans l'immédiat. Les ponts en H et la carte sont simplement fixés sur le socle central. L'alimentation filaire remplace les piles en attendant une évolution permettant de s'en dispenser en conservant une tension suffisante.

Le code enregistré pour l'utilisation de ce robot est une version simplifiée du premier programme destiné au prototype initial. On remarque l'absence du code rattaché aux servomoteurs puisqu'ils ont été retirés. La télécommande a aussi dû être légèrement réadapté pour l'utilisation de l'appareil.

II- Les problèmes rencontrés

L'une des difficultés lors de cette création a été de placer la platine. Elle est trop longue pour le robot. Il a donc fallu la mettre orthogonalement à la structure ce qui n'est pas très esthétique, et pratique pour les déplacements.

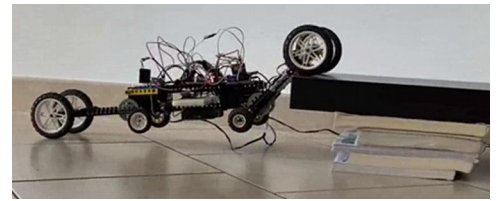
Initialement, l'un des moteurs était resté sur le train arrière pour motoriser la roue et l'autre était à l'avant. Mais les engrenages avaient tendances à se déloger dans cette configuration et les moteurs forçaient plus que nécessaire. Cela a été résolu en mettant les deux moteurs à l'avant. Mais en contrepartie nous perdons la motorisation du train arrière.

Une fois encore la structure mécanique du robot a dû être modifiée plusieurs fois. Il a fallu retirer un maximum de pièces afin d'alléger l'ensemble, d'autant plus que la platine est très lourde. Le système d'engrenages en sortie des moteurs reste indispensable.

La perte de tension est toujours présente sur cette version du robot. Une des difficultés est de fournir suffisamment d'énergie aux moteurs pour qu'ils puissent relever les articulations. Pour cela il est toujours nécessaire d'utiliser l'alimentation filaire.

III- Bilan de test

Finalement, cette version du robot s'éloigne du comportement attendu dans le projet de réalisation, mais les tests s'avèrent concluants ! Le robot est capable, par inversion du sens des trains de roues, de monter un obstacle de 15cm de haut ainsi que de le redescendre. La création de cette version remaniée du robot aura nécessité 1 séance de cours en plus du travail personnel effectué.



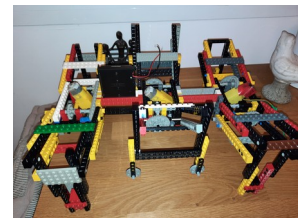
Cette version du robot garantit la réussite du projet dans les délais attendus. Mais on remarque qu'il ne se comporte pas comme le rover Athlete et il va nous falloir faire encore évoluer le projet afin d'obtenir le prototype attendu.

Partie 3 : Un robot Athlete

Dans cette dernière partie, l'objectif est d'obtenir un robot fonctionnel le plus proche du comportement de Athlete. Il faut donc résoudre les problème de la première version du robot.

I- Le robot final

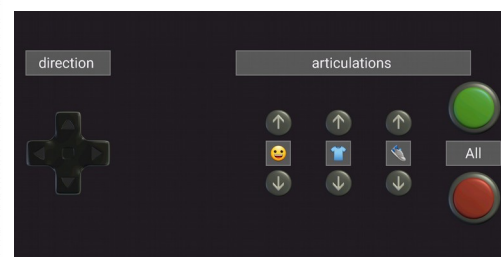
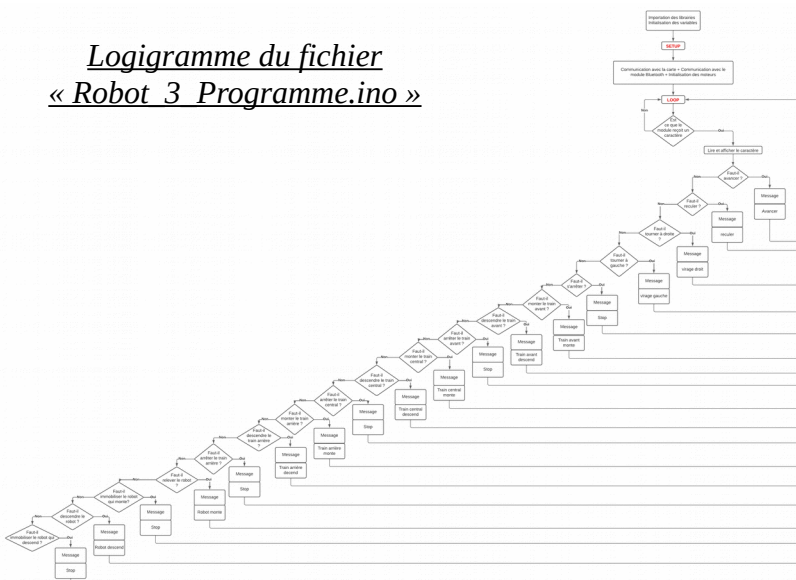
En ce qui concerne la structure, le robot ré-adapte l'utilisation d'un train central. Il se décompose en 3 parties Lego symétriques. Les parties aux extrémités possèdent des roues motorisées par les moteurs Legos. Et le train central possède deux paires de roulettes non motorisées. Chaque partie possède un moteur jaune classique afin d'articuler le mouvement de montée et de descente des trains. Chaque moteurs est relié à une vis sans fin qui va pouvoir retenir le poids de l'ensemble ce qui empêche tout problème de chute. Les 3 parties sont rattachées entres elles par des plaques verticales.



Pour suivre, les différents modules ont été associés à la structure mécanique. Les ponts en H et le module Bluetooth sont rattachés aux jonctions verticales. Une carte de type MEGA est maintenant attachée avec des élastiques sur une plaque Lego située au centre de l'appareil. La platine d'essai disparaît pour ne laisser que 4 colonnes de la platine dont deux sont associées à des alimentations et les autres à la masse. Cette alimentation est double. La carte et le module Bluetooth sont alimentées par les piles de 6V et les moteurs sont alimentés par une pile de 9V.

Le programme associé au robot finalisé est une complexification du code de la 2^e version. Chaque caractère envoyé est étudié. Si on trouve une correspondance avec une opération, alors le code impose d'afficher dans le moniteur un message, et d'effectuer cette opération. Une nouvelle

Logigramme du fichier « Robot 3 Programme.ino »

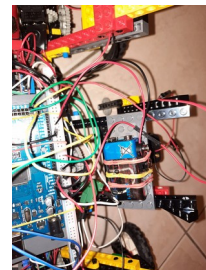


Télécommande du robot sur Bluetooth electronic

télécommande a été réalisée. Elle est composée de 8 boutons de mouvements des articulations et un bouton de contrôle des déplacements, notamment les virages.

II- De multiples problèmes

Pour commencer, on remarque que la structure est très lourde de part la taille des différents trains. Pour pouvoir avoir assez de puissance pour soulever cette structure, il a été nécessaire de multiplier par 120 la puissance des moteurs et de les alimenter en 9V indépendamment des autres modules. Cette multiplication a été possible par l'utilisation d'engrenages de 8 dents, 24 dents et 40 dents. Cela justifie aussi l'utilisation des deux types d'alimentations et permet de résoudre la perte de tension. De plus cela permet l'abandon définitif de la connexion filaire.



Ici encore, la jonction entre les moteurs jaunes et les axes Legos était impossible. Une pièce spécifique a donc été imprimée afin de résoudre ce problème.

Beaucoup de forces s'appliquent sur le robot. Cela provoque la destruction de la structure. Pour éviter cela, plusieurs pièces font office d'entretoises. Notamment au niveau des sorties moteurs ou lorsque les pièces bougent, l'engrenage relié à la vis sans fin se déplace et paralyse le train concerné.

Le nombre insuffisant de ports sur la carte Arduino UNO était aussi un élément à résoudre. Pour cela cette carte a été abandonnée au profit du modèle MEGA.

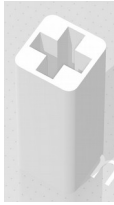
Afin de distinguer tous les différents modules, il a fallu procéder à un tri et une codification particulière des câbles colorés. Cette rigueur était importante puisque trois alimentations différentes se répartissent dans le robot. Les piles apportent 6V, la pile de lithium produit 9V et la carte Arduino permet d'obtenir une 3^e alimentation de 5V. Appliquer une mauvaise tension sur un module pourrait le détruire.

Afin de connecter tous les modules nécessitant du 5V au seul port rattaché à cet effet, l'utilisation de raccord emboîtables c'est révélée la mieux adaptée. En effet sur les colonnes d'alimentation issues de la platine, nous avons 4 zones spécifiques. Les deux zones indicées par le symbole « + » servent d'alimentation. Les deux zones indicées « - » servent de masse. Il aurait été possible d'utiliser l'une de ces colonnes de masse comme une colonne d'alimentation de 5V mais le risque était la présence du signe « - » sur cette endroit. Nous aurions pu confondre cette zone durant le projet et ainsi détruire un composant en pensant le rattacher à la masse. Le choix a donc été d'opter pour des raccords.

Un autre défi à relever était le choix des roues. Trouver le meilleur compromis entre des roues qui adhèrent suffisamment lors des phases de traction et en même temps des roues capable d'avoir un frottement minimal au sol lors de la montée des trains n'était pas chose aisée. Finalement nous avons choisi des roues fines à pneus caoutchoucs.

Ensuite, un souci venant des câbles est descendu. Beaucoup se détachent avec les forces de tractions notamment un câble vert à l'origine du contrôle des roues droites du robots. Pour résoudre cela, plusieurs câbles ont été soudés ou accrochés avec du ruban adhésif.

Pour finir un problème lié à la programmation a du être résolu. Lors des virages le robot tournait sur lui-même ce qui appliquait énormément de forces sur la structure et détachait plusieurs pièces régulièrement. Cela a été modifié afin que le robot tourne en effectuant des virages. La réduction de sa vitesse globale a permis aussi de réduire les chocs subit par l'ensemble lors de l'arrêt.



Représentation numérique 3D de la pièce de jonction

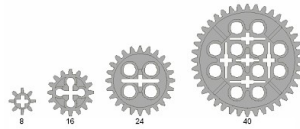
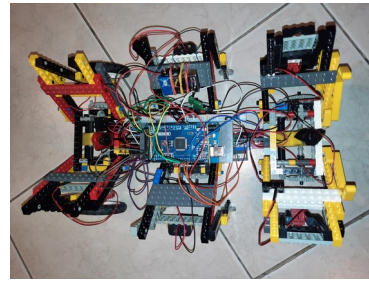


Image représentant les différents engrenages Legos



Photographie verticale du robot présentant la carte et les colonnes d'alimentations



Image d'une vis sans fin Lego

III- Bilan du robot Athlete

Le test final du robot Athlete s'avère être une réussite. En effet le robot est capable de se redresser sur lui même et de relever successivement ses différents trains de roues afin de monter sur un socle d'environ 20cm de hauteur. Il peut ensuite en redescendre et se rabaisser pour continuer son chemin.

Conclusion, comparaison et perspectives d'évolution

Finalement, après 9 semaines de projet, le robot est fonctionnel. Sa compétence de déplacement sur des obstacles de différents niveau le rapproche considérablement du rover Athlete ce qui était attendu initialement. Ce robot est capable lors de son test de s'avancer jusqu'à l'obstacle. Il se redresse pour être le plus haut possible puis son train avant se relève. Par poussée des roues arrières il s'avance et les roues avants prennent appui sur le socle. Puis le train central effectue le même mouvement. Enfin le train arrière peut se relever puisque tout le poids se situe sur l'avant du robot. Le robot Athlete atteint donc l'objectif de réalisation. Par le mouvement inverse il peut aussi en redescendre. Puis il continue sa route en avançant, reculant et effectuant des virages, l'ensemble selon le choix de l'utilisateur.

De part certaines difficultés rencontrés, le projet initial a été modifié. On remarque que l'objectif d'utiliser des servomoteurs n'a pas pu être atteint pour des raisons de puissances et d'équilibre. Cela a été remplacé par des moteurs classiques. Le mouvement des trains avant et arrière a aussi été modifié par rapport à l'idée initiale puisque les trains s'ouvrent à présent sur les côtés. Ces changements ont impacté la répartition des tâches dans le planning.

SÉANCES	6 Déc	13 Déc	3 Janv	10 Janv	31 Janv	7 Févr	21 Févr	28 Févr
Création structure robot 1								
électronique robot 1								
Programme de test								
Communication Bluetooth								
Programmation robot 1								
Gestion de l'alimentation robot 1								
Structure robot 2								
électronique robot 2								
Programmation robot 2								
Structure robot 3								
Électronique robot 3								
Programmation robot 3								
Gestion de l'alimentation robot 3								

Planning réalisé

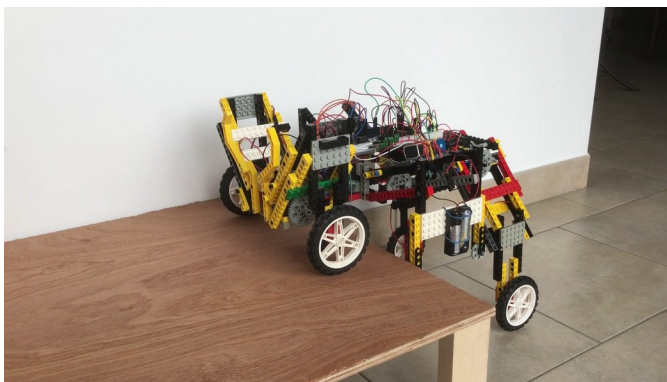
Il est important de remarquer que certaines difficultés persistent. En effet nous atteignons la limite des Legos. La structure se déforme sous les forces qui s'exercent et les engrenages subissent énormément de pression ce qui pourrait détruire des dents. De plus la perte de tension qui est dû aux rallonges et autres liaisons nécessite deux alimentations spécifiques pour être compensé ce qui est

très coûteux en énergie. Enfin les roues actuelles ne sont pas les plus adaptés puisqu'elles frottent contre le sol lors du mouvement (adhérence).

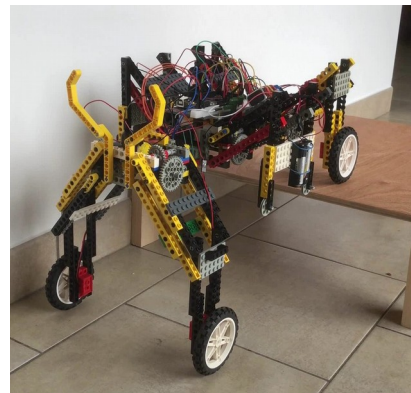
Avec 9 séances de plus sur ce projet il serait possible de modifier le type de roues afin de réduire les frottements latéraux lors des phases de montée et descente. Ensuite la structure pourrait être renforcée. En ce qui concerne les évolutions possibles, nous pourrions envisager l'automatisation du robot avec un module de son qui distingue la distance avec les obstacles. Des diodes lumineuses et des capteurs sur les trains pourraient aussi être rajoutées. Lorsque l'angle limite d'un train est atteint, une diode s'allume. Enfin un capteur d'horizontalité pourrait être rajoutée afin d'indiquer à l'utilisateur lorsque le robot bascule trop en avant ou en arrière. Dans le but de corriger la trajectoire.

Pour conclure, ce projet a pu apporter de multiples connaissances mécaniques et électroniques. Nous avons appris à évoluer face à l'échec, et s'adapter aux différentes situations nouvelles en restant autonome. Malgré tout, l'expérience montre que certains éléments auraient pu être abordés différemment. La connaissance des limites des servomoteurs auraient permis de comprendre qu'ils ne seraient pas adaptés ce qui aurait éviter la perte de temps occasionnée par la création du premier prototype non fonctionnel. Les Legos n'étaient pas non plus les mieux adaptés puisqu'ils sont lourds. Enfin le problème de l'énergie aurait pu être solutionné dans l'immédiat.

Le temps gagné sur ces éléments aurait pu permettre d'envisager de faire plus évoluer les compétences du robot, et d'envisager une automatisation.



Le robot Athlete en phase de montée



Le robot Athlete en phase de descente

Bibliographie

<https://www.locoduino.org/spip.php?article62>

https://www.youtube.com/watch?v=4w3_zbaPdcS

<http://users.polytech.unice.fr/~pmasson/Enseignement.htm>

<https://en.wikipedia.org/wiki/ATHLETE>

<https://www.youtube.com/watch?v=MwHHErfX9hI>

Lego mindstorms - Baum (Auteur)

- Les créations robotiques de Dave Baum-Paru en novembre 2000-Livre-jeu (Livre CD-ROM)