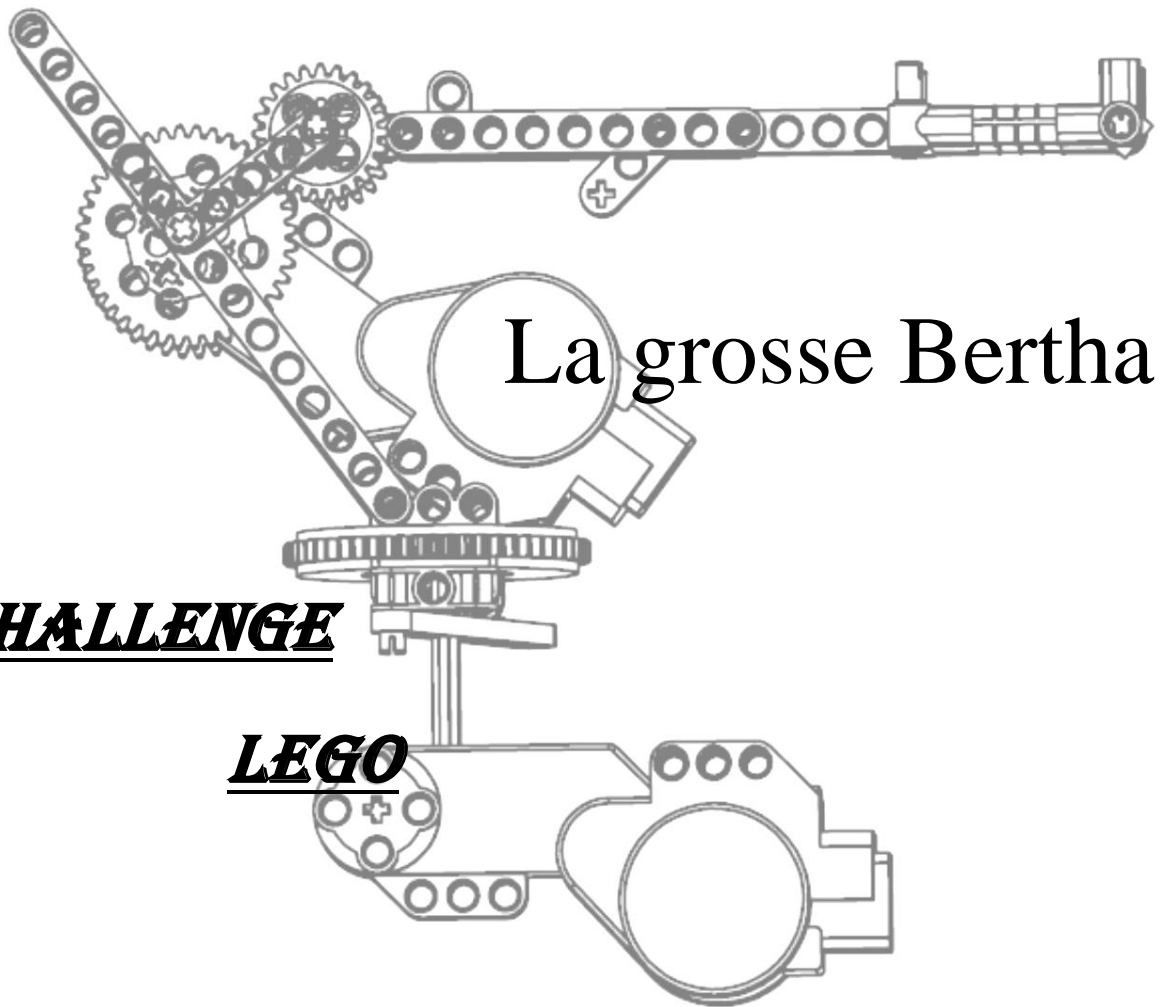


# 2013-2014

Brendan Caër  
Pierre Gac  
Maéva Laguette  
Quentin Roussel



**CHALLENGE**

**LEGO**

## *Remerciements*

Nous tenons à remercier l'équipe pédagogique pour nous avoir proposé cette semaine Lego et permis de créer des liens entre les différentes équipes.

Nous remercions notre tuteur Mr. Laurent Saintis pour nous avoir accompagnés durant cette semaine et soutenus dans notre projet.

Nous remercions Sylvain Cloupet pour son aide à la compréhension théorique du comportement mécanique du système.

Nous remercions aussi l'ensemble de la promo pour leur soutien moral durant les matchs.

Nous tenons à remercier Steria pour le parrainage de notre promotion et pour leur présence lors des phases finales de compétition.

## Table des matières

Remerciements.....	1
Table des matières.....	2
Introduction.....	3
Calculs préalables, le challenge sur papier.....	5
Calculs (formules) .....	6
Application numérique.....	6
Calcul trigonométrique : .....	7
Conception .....	8
Programmation.....	10
Un projet humain.....	12
Gestion de projet : .....	12
Déroulement de la semaine .....	13
Retour d'expérience : .....	17
Conclusion .....	18
Liste des supports annexes rendus avec le rapport papier.....	19
Archive Solidworks.....	19
Archive des programmes NXT .....	19
Sources .....	20

## Introduction

Depuis deux ans, l'ISTIA organise un challenge Lego destiné aux étudiants d'EI3. Ce challenge se déroule en début d'année scolaire et dure une semaine. Ce dernier a plusieurs objectifs. Premièrement, mettre en application les connaissances des étudiants au profit d'un projet concret et ludique. Étant donné que le cycle EI3 regroupe des étudiants de classe préparatoire ainsi que de l'extérieur (IUT, BTS, etc...) les connaissances ne sont pas identiques, ce qui permet une grande mixité du savoir. De plus c'est un bon moyen de faire connaissance. Le challenge est évalué et appartient à l'unité d'enseignement « Mécatronique ». Durant toute la semaine du challenge, les étudiants ont été, en quelque sorte, en condition d'entreprise, ils devaient mettre en œuvre un projet en peu de temps tout en sachant que les concurrents vont tout faire pour être les meilleurs. Ce rapport a pour but de détailler la mise en place de ce projet et d'expliquer comment nous avons mis à profit nos différences compétences ainsi que les méthodes utilisées pour parvenir à un robot fonctionnel.

### **Présentation du groupe**

Comme toutes les équipes de la semaine, la nôtre était composée de 4 participants venus d'horizons scolaires différents : nous étions deux prépas de l'ISTIA, et deux DUT, l'un spécialisé plutôt dans l'informatique et la programmation, et le second dans l'organisation et la qualité. Nous avons donc tous des notions dans de nombreux domaines, mais chacun pouvait les qualités et les compétences de son domaine.

La conception de ce robot est tout d'abord un projet, c'est pourquoi Maéva a apporté ses compétences en gestion de projet et des délais. Pour une meilleure compréhension des capacités du robot et la définition de nos intentions en matière de longueurs, hauteur de tirs etc., nous avons décidé de faire des calculs théoriques et c'est Brendan qui s'en est principalement chargé. Par la suite la conception à proprement dit du robot s'est divisée en deux parties : mécanique pour Quentin et programmation pour Pierre.

Cependant nous n'avons pas perdu de vue l'un des objectifs de la mise en place du projet LEGO de l'ISTIA, qui était d'être un sorte de rappel dans les matières mécanique et programmation. Nous n'avons donc jamais laissé une partie de projet totalement aux mains d'un seul d'entre nous, et avons tous participé à chacune des parties du projet. Par exemple pour la conception mécanique chacun a essayé de trouver des solutions pour construire un système de lancement de balle. Pour la programmation, quand Pierre finissait quelque chose il nous le montrait toujours et expliquait ce qu'il avait fait et comment. Ainsi nous pouvions corriger certaines choses, mais surtout lui en suggérer d'autres, et être actifs malgré tout dans cette partie.

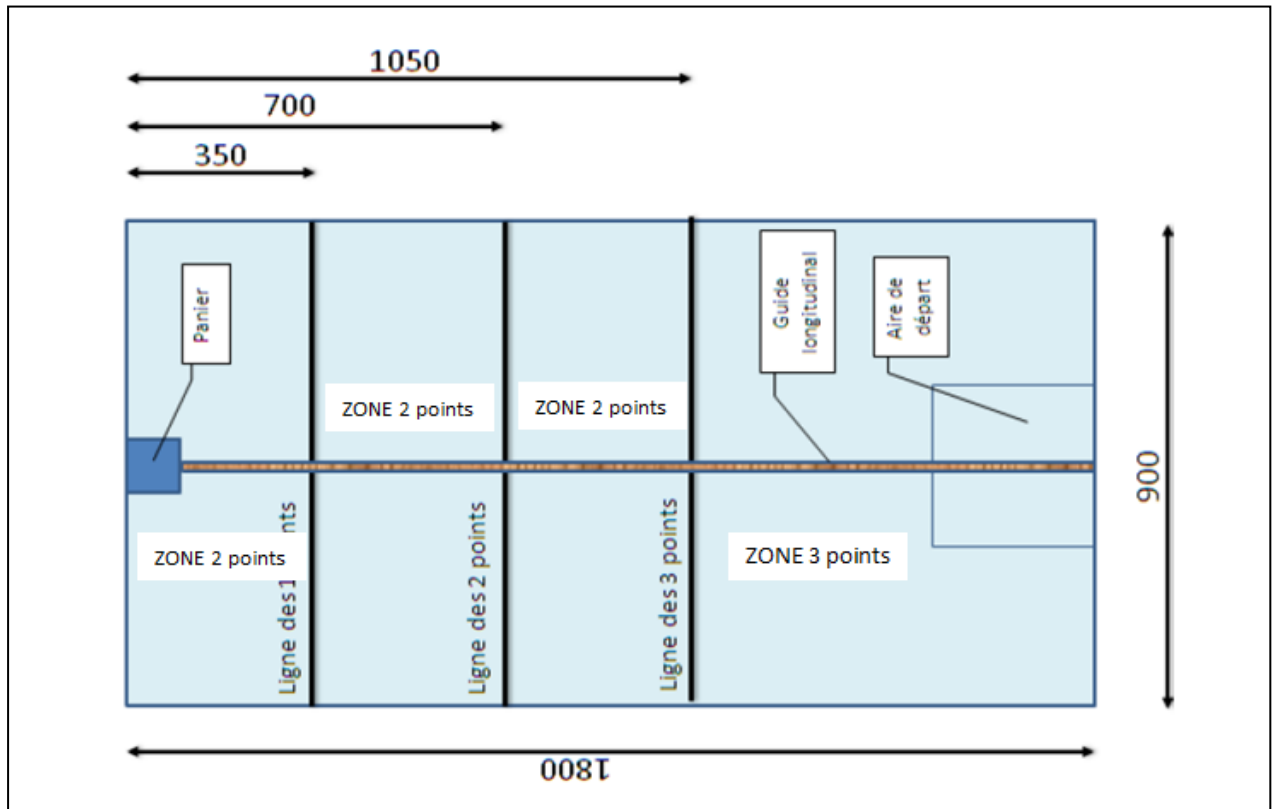
La communication a également été un plus dans notre équipe, ainsi aucun d'entre nous ne prenait une décision importante sans l'avis du groupe. Puisque chacun se sentait impliqué dans toutes les parties et qu'on était au courant de l'avancement de travail des autres, il était facile de s'adapter.

Pour respecter le délai imparti, et arriver vendredi, le jour du challenge, avec un robot terminé, nous avons dû nous imposer quelques règles. A savoir que dès le premier jour nous savions qui ferait quoi, quel jour nous voulions arriver à quel objectif, et nous avons de suite défini notre propre interprétation du cahier des charges. Chaque jour, nous commençons par nous rappeler quels étaient les objectifs quotidiens et puis nous la terminions en faisant un bilan et modifiant si nécessaire les objectifs du lendemain.

## Cahier des charges

Nous devons parvenir à une conception, au montage et à la programmation d'un robot capable de tirer une balle depuis un certain point dans un panier de basket miniature.

Le match se déroule sur un terrain divisé en deux, une partie par adversaire. Chaque terrain est lui-même divisé en 4 parties tel que l'on peut l'observer ci-dessous :



L'objectif du robot est d'avancer tout droit pour aller toucher son panier à l'autre bout de l'aire de jeu. Le premier robot touchant ce point d'arrivée se voit octroyer 1 point. Cependant, durant son trajet, le robot peut s'arrêter pour lancer des balles et ainsi engranger des points supplémentaires à chaque tir réussi, selon la zone de points dans laquelle il se trouve. De plus, l'une des trois balles qu'il lancera pourra être lancée dans le panier adverse, au prix d'un point bonus en plus des points de la zone. Chaque tir doit être effectué après l'arrêt total du robot.

Les balles seront déposées manuellement avant le début du match sur le robot, mais par la suite aucune intervention par la suite n'est autorisée.

Pour un maximum de point, le robot devra être capable de lancer une balle à plus d'un mètre, de reconnaître quand il change de zone et de s'y arrêter, et de s'arrêter au bout du terrain.

Pour la conception du robot nous disposons uniquement des éléments de 2 boîtes de Lego constituée de composants, engrenages, 3 moteurs, 4 capteurs, roues, etc. Les balles utilisées sont en mousse, avec un diamètre de 45mm.

Le robot n'a aucune limite en hauteur, mais en largeur et longueur oui puisqu'une fois posé sur une feuille A4, sa projection au sol ne doit pas dépasser la feuille.

## Problématique

Comment avons-nous répondu au cahier des charges ? Quelle a été notre stratégie ?

### Calculs préalables, le challenge sur papier

Au sein de cette partie nous allons aborder celle la plus théorique du projet tout en s'appuyant sur l'organisation, les apports techniques et humains qui ont été fondamentale tout au long de ce travail.

Le fait de modéliser le comportement physique de notre robot par des équations nous aura dans un premier temps permit d'appliquer nos connaissances dans un cas concret. Puis dans un second temps le fait de réfléchir à « comment retranscrire ce comportement par des calculs ? » nous aura permis d'isoler les variables les plus importantes, et de « jouer » sur ces dernières, dans le but d'atteindre notre objectif, c'est-à-dire de réaliser à coup sûr des lancés à trois points dans le meilleur des cas.

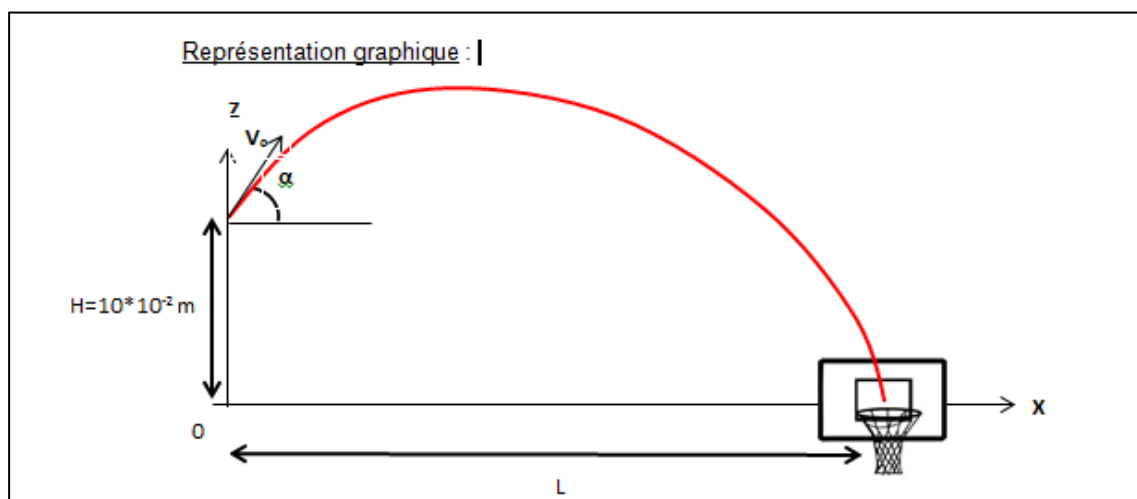
Comme il est dit précédemment nous avons mené ce travail en divisant les taches afin d'obtenir un bon rendement. Quand le travail de la conception fut finie certaines personnes ce sont occupées de la mécanique théorique pendant que d'autres se penchaient sur la programmation.

Ainsi il était possible de connaitre les dimensions exactes du robot pour recueillir des informations, telles que la hauteur de la catapulte au moment où elle lâche la balle, ou encore la position de la catapulte par rapport au robot.

En plus d'utiliser des outils tels qu'internet et livres, nous nous sommes dirigé vers l'équipe pédagogique mise en place pour la semaine LEGO, ce qui a constitué un réel apport technique, ainsi qu'humain.

Nos calculs se sont basés sur les trajectoires paraboliques. C'est-à-dire qu'une fois la balle expulsée de la catapulte, elle ne se trouve soumise qu'à son propre poids.

Les paramètres importants sont donc la vitesse initiale  $v_0$  qui nous a posé quelques problèmes, l'angle de tir  $\alpha$ , la distance à laquelle on se trouve du panier et la hauteur qu'il y a entre la catapulte et le panier de basket.



### Calculs (formules)

$$Vo = \begin{pmatrix} Vo * \cos(\alpha) \\ 0 \\ Vo * \sin(\alpha) \end{pmatrix} \text{ à } t=0s$$

$$OM = \int v(t)dt = \begin{pmatrix} Vo * \cos(\alpha)t + K4 & (1) \\ K5 \\ -\frac{1}{2} * gt^2 + Vo \sin(\alpha)t + K6 & (2) \end{pmatrix}$$

(Avec OM vecteur position, K4, K5 et K6 les constantes)

$$(1) \quad t = \frac{x(t) - K4}{Vo * \cos(\alpha)}$$

$$(1) \& (2) : z(t) = \frac{-g}{2Vo^2 \cos^2(\alpha)} * (x(t) - K4)^2 + \frac{Vo * \sin(\alpha) * (x(t) - K4)}{Vo * \cos(\alpha)} + K6$$

$$Xo = \begin{pmatrix} K4 = 0 \\ K5 = 0 \\ K6 = 10.10^{(-2)} \end{pmatrix} \quad X_o : \text{position initiale de la balle}$$

$$z(t) = \frac{-g}{2Vo^2 \cos^2(\alpha)} * x(t)^2 + \tan(\alpha) * x(t) + K6$$

$$\text{Avec } \frac{1}{\cos^2(\alpha)} = \frac{\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha)}{\cos^2(\alpha)} = 1 + \tan^2(\alpha)$$

On obtient donc :

$$\frac{-g * x(t)^2}{2Vo^2} * \tan^2(\alpha) - x(t) * \tan(\alpha) + z(t) - K6 + \frac{g}{2 * Vo^2} * x(t)^2 = 0$$

Qui est de la forme  **$aX^2 + bX + c = 0$**  avec  **$X = \tan(\alpha)$**

$$\text{Position du panier } Xp = \begin{pmatrix} X_{max} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Maintenant voici les résultats pour  $X_{max} = 1.427m$  (tir à 3 points dans le panier adverse)

### Application numérique

Il faut d'abord calculer le discriminant :

On a  $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$  ;  $x(t) = X_{max} = 1.427m$  ;  $Vo = 2 \text{ m.s}^{-2}$  (observé à l'aide d'un programme informatique) et  $z(t) = 0$ .

$$a = 2.499 \quad b = 1.427 \quad \text{et} \quad c = -2.599$$

$$\Delta = 28.02$$

On ne retiens que la solution positive :  $\tan_1(\alpha) = 0.773$  donc  $\alpha = \tan^{-1}(0.773)$

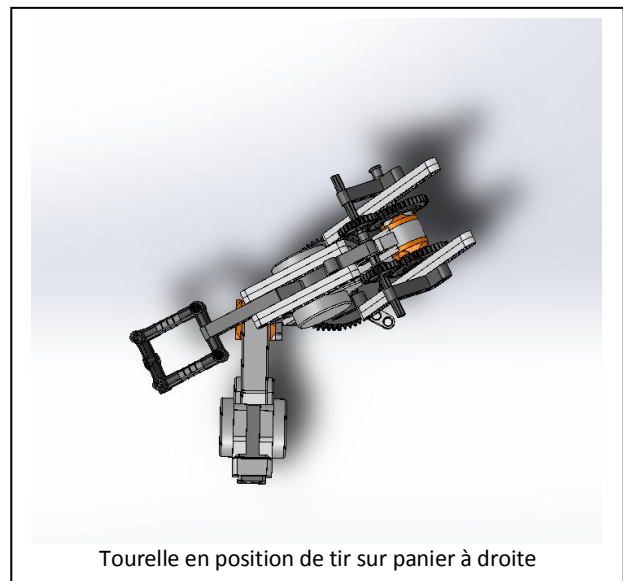
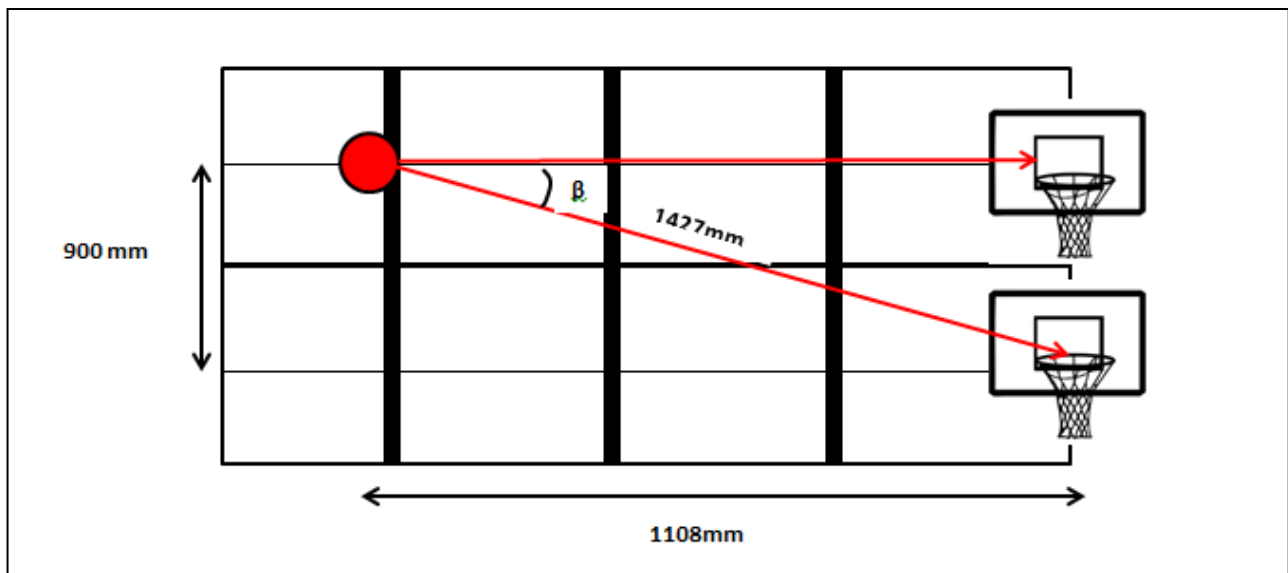
$$\alpha = 37.72^\circ$$

On réitère le procédé pour  $X_{max} = 1.108m$  (tir aux 3 points)

$$a = 1.5054 \quad ; \quad b = 1.108 \quad \text{et} \quad c = -1.605$$

$$\Delta = 10.89$$

$$\alpha = 36.05^\circ$$



### Calcul trigonométrique :

$$\cos(\beta) = 900/1427$$

$$\beta = 39,086^\circ$$

**Remarque :** Nous pouvons observer qu'avec une vitesse constante  $V_0$  l'angle de tir ne varie pas énormément, et à l'aide d'un programme informatique il n'aurait pas été si compliqué de parvenir à un ajustement adéquat. Cependant le manque de temps nous aura été « fatal » dans le sens où nous ne sommes pas parvenus à aboutir à ces résultats dans le temps imparti.

Nous et tous les groupes avons rencontré le même problème obtenir un  $V_0$  constant en fonction du niveau de la batterie. À l'aide des connaissances qui nous ont été enseignées en ce début d'année il aurait été possible d'ajuster le tout à l'aide d'un programme informatique afin d'ordonner à la batterie de mettre un certain temps  $T$  à atteindre la vitesse  $V_0$  en tenant compte du niveau de batterie (en asservissant le moteur). Malheureusement nos calculs n'ont pas abouti en ce qui concerne cette problématique.



## Conception

Nous avons axé le déroulement de notre projet en deux grandes étapes. La phase de conception, qu'elle soit mécanique ou numérique. Nous avons en effet développé le programme en même temps que nous construisions le robot. Pour ce faire, nous développons le programme par fonctions afin de pouvoir ne modifier que certaines d'entre elles au fur et à mesure de notre avancement dans la construction mécanique. Nous allons ici détailler le mécanisme de notre robot, qui est le cœur même de notre stratégie de jeu.

Lors de la lecture du cahier des charges, nous sommes tous tombés d'accord sur le fait que nous allions tenter de maximiser le nombre de points obtenus en tirant dans le panier adverse. Cela nous permettait en effet d'obtenir le score de  $3+3+4 = 10$  points en tirant 3 balles depuis la zone à trois points et éventuellement 11 points en arrivant le premier au panier (calculs effectués dans le cas d'une réussite de 100% des tirs). Nous avons donc réfléchi aux différentes méthodes permettant cette performance. Notre première idée fut de placer deux catapultes sur notre robot, l'une tirant dans notre panier et l'autre visant le panier adverse. Cependant, cette stratégie impliquait un réglage très manuel des catapultes car il aurait fallu désolidariser et re-solidariser la catapulte visant le camp adverse entre chaque rotation de placement sur l'arène de jeu, hors nous n'avions théoriquement que 45 secondes pour le placement du robot et cela aurait nuit à notre précision. De plus, deux catapultes impliquait de les espacer suffisamment pour que les bras ne se gênent pas, ce qui était compliqué au regard des conditions d'homologation. Nous sommes donc partis sur un système complètement automatisé sur l'angle de tir en choisissant de faire une tourelle pivotante. Avec ce système, nous pouvions agir sur l'angle de tir avec le programme, ce qui nous offrait beaucoup plus de liberté.

Une fois cette voie choisie, nous avons construit la catapulte. La puissance du moteur et la capacité de notre batterie (8,3 volts au mieux) ne nous permettait pas de fournir assez de vitesse à la balle pour marquer un 3 points depuis notre ligne, nous avons installé un multiplicateur afin d'augmenter la vitesse (et en réduisant le couple). Après plusieurs essais sur les engrenages, nous en avons conclu que le meilleur rapport couple/vitesse que nous pouvions obtenir était en couplant la roue la plus grande fournie : 40 dents, avec celle de 24 dents (voir schéma 1). De ce fait, nous obtenions un rapport de  $r = 40/24 = 1.666$ . (Rappel : rapport de transmission = nombre de dents de la roue menante / nombre de dents de la roue menée).

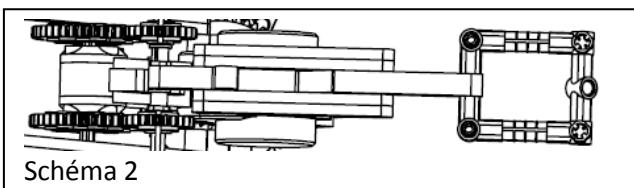
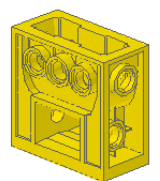


Schéma 2

Nous avons construit un bras de catapulte résistant mais assez léger afin de ne pas nécessiter un couple trop grand (important étant donné qu'avec un multiplicateur on réduit le couple transmis)(voir schéma 2).

Le problème suivant était de gérer la rotation de notre catapulte afin de pouvoir viser le panier adverse. Il nous fallait un système qui puisse être le plus précis possible étant donné que les Legos ne permettent pas une précision excellente. Nous avons alors réfléchi et observé le matériel qui était mis à notre disposition. Dans la boîte nous avons trouvé une boîte engrenage / vis sans fin (voir schéma 3). Nous tenions alors notre solution : l'assemblage roue/vis sans fin nous permettait de faire tourner la tourelle via le moteur sans que la tourelle puisse tourner seule. De cette manière, nous pouvions



Technic, Gearbox 2 x 4 x 3 1/3

Schéma 3

réduire au maximum les imprécisions au niveau de l'angle de tir. Cependant, nous avons remarqué qu'il y avait du jeu entre les différents engrenages du système et la vis sans fin, ce qui se traduisait par un jeu de quelques degrés au niveau de la tourelle. Notre but était donc de nous adapter et d'adapter au maximum le code afin de palier à ce jeu.

Dans le boîtier roue/vis sans fin, nous avons placé la seule vis sans fin (une vis sans fin de 6 filets) disponible dans la boîte et une roue de 24 dents. De ce fait nous obtenions un rapport de  $6/16 = 3/8$ , (Voir schéma 4).

Bien entendu cette idée de tourelle était possible car il y avait une pièce bien précise dans la boîte : la table tournante technique qui permettait, en fixant l'une des deux parties, de faire tourner l'autre via un système d'engrenage (voir schéma 5).

Nous avons donc relié de manière simple notre système de roue/vis sans fin à cette plateforme tournante via un axe visible sur le schéma 4 sur lequel était placé une roue de 16 dents qui venait engrener la plateforme tournante avec un rapport de  $16/24 = 2/3$ .

Ceci étant la dernière étape de transmission entre le moteur et la plateforme nous obtenions un rapport de  $3/8 * 2/3 = 6/24 = 1/4$ . Ce rapport est très important car c'est celui qui nous permettra de programmer la rotation de l'angle de tir. On peut maintenant voir sur le schéma 6 une représentation de l'ensemble du système (le boîtier de la roue/vis sans fin n'étant pas représenté).

Une fois tous ces détails réglés, il ne restait qu'une chose à faire au niveau conception : le système de chargement. Ce système fut l'un de nos problèmes les plus compliqués à résoudre, nous l'avons terminé le matin même de l'homologation. Nous devions soit réaliser un système fixe, placé derrière la tourelle, soit un système solidaire de la tourelle, tournant avec celle-ci. La première solution nous paraissait la plus sûre, cependant les contraintes de l'homologation nous empêchaient de la réaliser : après plusieurs essais, nous ne parvenions pas à la faire rentrer dans le format A4 imposé. L'autre contrainte était bien sûr de faire un système purement mécanique car nos 3 moteurs étaient déjà utilisés. Il convient de rappeler que nous n'avions pas prévu le système de chargement à l'avance, ce qui nous a aussi contraint au niveau des pièces restantes. Ce sont à notre avis, des erreurs à ne pas reproduire lors de la gestion de projet, nous n'avions pas réfléchi à l'ensemble du projet avant de la commencer, ou du moins pas à tous les détails d'importance. Nous avons donc construit différents systèmes de chargements successifs avant de parvenir à une solution qui fonctionnait bien que ne nous paraissant pas satisfaisante car n'étant pas optimisée ni sûre comme le reste de notre machine. Il s'agit d'un système mécanique actionné par la catapulte elle-même et revenant en place par le biais d'un élastique. Le problème de ce système est qu'il est lourd et ainsi incline légèrement la catapulte, nous devons donc en prendre compte pour les mouvements de la tourelle et les positions de tir. Nous avons essayé de positionner des contrepoids mais cela ne changeait pas grand-chose mis à part alourdir l'ensemble de la structure. Nous pensons qu'avec légèrement plus d'analyse de notre projet et peut être légèrement plus de temps nous aurions pu poser toutes ces contraintes avant de commencer la conception et ainsi gagner du temps sur les essais infructueux effectués à tâtons.

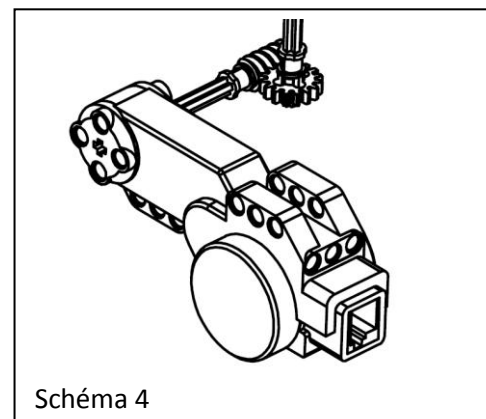


Schéma 4

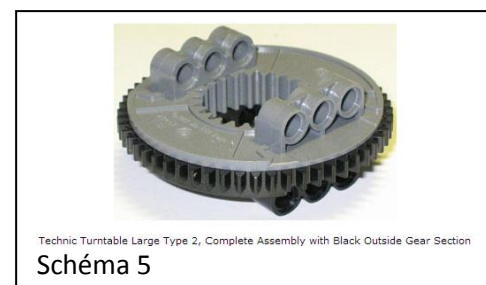


Schéma 5

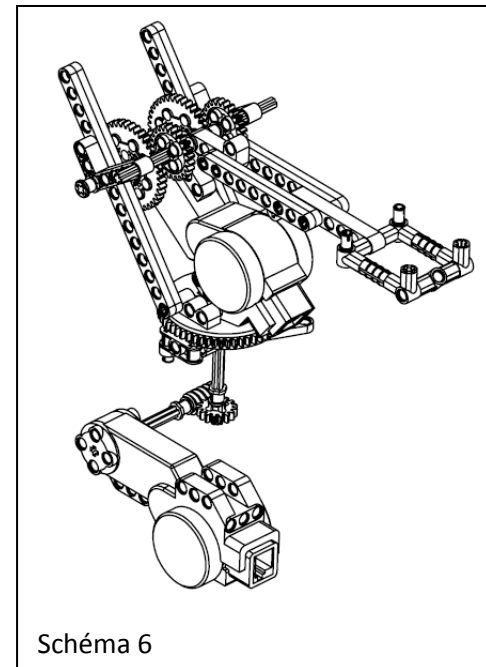


Schéma 6

## Programmation

Avant de se lancer dans la mise en place d'un programme pour piloter l'intégralité du robot, il a fallu dans prendre en main le logiciel de programmation (Bricks Commander). Ce logiciel utilise un langage C simplifié appelé NXC (Not Exactly C). C'est une forme de C et qui contient toutes les fonctions nécessaire au bon fonctionnement de la brique Lego Mindstorm.

La conception du robot avançait, nous avons donc commencé à programmer les différentes parties du robot en parallèle pour gagner du temps.

En effet, nous avons voulu optimiser notre gestion du temps et il était évident que nous ne pouvions être 4 à nous occuper de la conception. Dans un premier temps, nous avons mis au point des programmes de tests afin de pouvoir nous assurer du bon fonctionnement de chaque module utilisé dans notre robot. L'écran de la brique Mindstorm permet d'afficher la valeur des capteurs en temps réel, ce qui est très pratique pour pouvoir les calibrer.

Nous avons réalisé un programme pour tester les moteurs (séparément et simultanément), un autre pour le capteur à ultrasons, le capteur de luminosité, etc.... Ceci nous a permis de corriger des problèmes mineurs ainsi que de calibrer les différents capteurs.

Nous avons pu optimiser la conception car le fait de programmer en même temps que de construire permet de se rendre compte de certaines erreurs ou d'optimiser certain pan de la conception. Ces différents petits programmes nous ont été d'une grande utilité et l'un des autres avantages de réaliser ces petits programmes de test était la capacité que nous avions de tester différentes solutions techniques et de parcourir différentes solutions. Nous pouvions ainsi monter certaines parties du robot à part (comme la catapulte) et les tester comme en entreprise, nous pouvions ainsi facilement changer le système opérant de notre machine.

Nous avons plusieurs solutions envisageables et nous les avons testées au fur et à mesure de la conception. Ceci nous a permis d'optimiser notre montage et de choisir entre les différentes idées apportées par les membres de l'équipe (après test ou réflexion pour chacune d'elle).

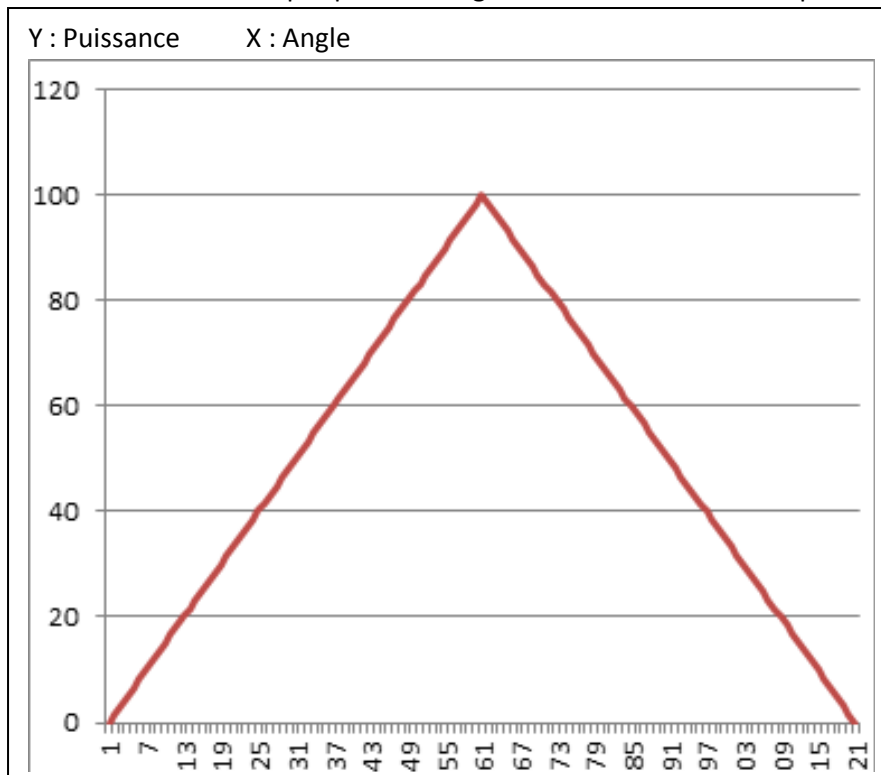
Cependant, ces recherches ne furent pas sans échecs, nous avons en effet rencontré un certain nombre de problèmes. La puissance de notre batterie étant l'un d'eux. Nous avons constaté que la puissance délivrée par la batterie diminuait rapidement. Suite à ce constat, nous avons développé un programme d'affichage en temps réel des données de la batterie : puissance, pourcentage....

Ceci nous a été grandement utile pour la suite du projet. Connaissant la tension de la batterie, nous avons pu faire nos tests en tenant compte de la tension. Une fois le hardware terminé (conception), nous nous sommes concentrés sur le software (programmation) et plus particulièrement sur la mise en place du programme permettant la rotation de la tourelle. En effet, il nous a fallu un temps important pour pouvoir réussir à étalonner cette dernière. Il nous fallait calculer les différents angles de tirs ainsi que la distance à parcourir avant de tirer. Le tout en prenant en compte la puissance délivrée par la batterie.

Une des difficultés rencontrées fut le jeu mécanique présent au niveau du système rotatif (entre 20 et 30°). Ce jeu était très pénible car il nous empêchait de marquer avec autant de précision que lorsque nous avions un système sans rotation. Par conséquent il a fallu adapter le programme afin de

trouver des angles qui nous assurent une plus grande probabilité de marquer. Le problème se traduisait par un décalage de quelques degrés lors de la rotation. Nous avons identifié la source de ce décalage : il s'agissait du jeu mécanique mais aussi de la brusque accélération du moteur. Il en était de même pour la décélération. C'est à ce moment-là que nous avons eu l'idée de faire un algorithme qui fait démarrer le moteur progressivement et le faire ralentir de la même façon. En théorie on obtient une courbe parabolique inverse, mais en pratique il est plus simple de faire une approximation linéaire de la chose. L'algorithme nous permet donc de faire un démarrage progressif jusqu'à la moitié de l'angle désiré, et de ralentir ensuite jusqu'à l'arrêt complet.

Voici un exemple pour un angle désiré de 120° et une puissance maximale admissible de 100. Le



démarrage se fait donc de façon progressive, et l'arrêt fait de même

Tout ceci n'est que théorique et a été obtenu sous un autre logiciel de programmation. Une fois que l'algorithme fut mis au point, nous avons décidé de l'implémenter dans le robot, mais nous nous sommes heurtés à un problème de taille. Le langage utilisé pour programmer les lego Mindstorm semblent de pas prendre en compte les nombres flottants qui sont nécessaires au bon fonctionnement de l'algorithme. Par conséquent nous avons décidé d'abandonner l'idée, essentiellement par soucis de temps. Nous avons choisis de

faire tourner la tourelle le plus lentement possible pour éviter tous les problèmes avec le jeu. Le programme utilisant cet algorithme est cependant disponible dans le dossier électronique remis avec le dossier, il s'agit de « Algo tourelle ».

Une fois tous les tests effectués, nous nous sommes concentrés sur le programme du match. Nous avons besoin de deux programmes. Un pour le parcours de gauche et l'autre pour celui de droite. Ils sont identiques à un détail près : les valeurs d'angles (dû au positionnement de la tourelle sur l'aire de jeu). Nous avons choisi de faire des machines à états en guise de base informatique. Ce choix peut s'expliquer par la clarté du résultat ainsi que la fiabilité de ce système. En effet, il est plus simple de se relire ou d'éditer quand on a fait une machine à états. L'une des difficultés principales a été de faire en sorte que le programme ne se bloque pas. Si le programme se bloque, notre robot ne peut plus rien faire et c'est la défaite assurée.

Nous avons choisi de réécrire quelques fonctions Mindstorm pour rendre l'ensemble plus compréhensible. Ceci ne change rien au niveau du code, cela permet juste aux personnes du groupe qui n'ont pas programmés de pouvoir relire facilement le code ainsi que de le comprendre plus aisément.

Nous avons donc divisé le match en plusieurs parties et nous les avons incorporés dans la machine à états. Par exemple, la première étape consiste à initialiser toutes les sorties ainsi que les variables.

Ensuite on attend le signal de départ. Nous avons aussi profité du fait que la brique Mindstorm possède un écran pour y afficher diverses informations telles que l'étape de machine à états, les variables, etc.... Ceci nous a été très utile pour corriger les bugs du programme.

Au final, le programme a très bien fonctionné mis à part les problèmes de batteries qui nous ont assez restreint, nous avons réussi à corriger des problèmes mécaniques grâce au software (exemple : le jeu de la tourelle).

## *Un projet humain*

### *Gestion de projet :*

Nous avons appris beaucoup de choses vis-à-vis de la gestion d'un projet tel que le challenge Lego. Nous nous sommes rendus compte que dans ce genre de concours, la solution la plus simple et évidente peut paraître la meilleure. En effet, au début de la conception nous avons voulu nous concentrer sur le panier adverse, car en théorie cette stratégie est la meilleure. Dans un cas où toutes les balles des deux robots rentraient dans le panier, nous ne pouvions, au pire, qu'égaliser avec 2 tirs dans notre panier 3 points plus un tir dans le panier adverse depuis la ligne des deux points ce qui nous offrait un  $3+3+(2+1)=9$  points. La théorie de départ était de faire un 10 points avec un tir adverse depuis la ligne 3 points  $(3+1)=4$  points mais notre batterie ne nous le permettait pas.

Nous avons cependant décidé de garder cette solution bien que l'une des plus complexes à mettre en place. Nous l'avons gardé d'une part pour tenter le maximum de points en optimisant notre lecture du cahier des charges mais aussi et surtout pour le « beau jeu » : le spectacle (ambiance de suspens donné par la rotation de la tourelle). De plus, nous n'avions plus le temps de partir sur une autre solution technique. Le tir dans le panier adverse depuis la ligne des deux points étant possible, notre stratégie restait efficace.

Pour ce qui est de la gestion de notre temps, nous avons travaillé sur le robot du lundi au jeudi de 8h à 18h. Nous n'avons choisi de passer du temps sur la partie de conception car ce sont des Legos, par conséquent il y a un certain nombre d'imprécisions mécaniques.

Afin de palier à ce problème, nous avons passé du temps à bien choisir nos pièces. La partie programmation nous a, elle aussi, prit un temps assez conséquent. Le temps de programmation est assez conséquent du fait que nous programmions les tests durant la conception.

La partie calculatoire nous a été d'une très grande aide. Sans elle nous n'aurions pu prétendre à arriver en quart de finale. En effet, grâce aux calculs nous avons pu prévoir et concevoir le robot en fonction des contraintes (physiques) du terrain. Sachant que nous possédions une tourelle rotative, nous devons connaître les angles de tirs pour atteindre le panier adverse. Il en est de même pour la vitesse initiale que la balle doit avoir pour atteindre notre panier et ce, en fonction de la position de notre robot. Ces calculs nous ont aussi permis de corriger des petits problèmes de conceptions telle que la catapulte, en effet nous ne comprenions pas pourquoi la balle ne partait pas très loin. Les calculs nous ont permis de trouver la solution à ce problème.

Enfin il a fallu trouver un nom à notre équipe. Ayant d'abord donné un nom au hasard, nous avons réfléchi et sommes tombé d'accord sur « La grosse Bertha ». Pourquoi ce nom ? Tout simplement en référence historique au canon allemand Dicke Bertha (La grosse bertha) qui était une pièce

d'artillerie utilisée pour le bombardement de Paris. Comme nous visions le panier adverse, nous avons fait ce parallèle.

### Déroulement de la semaine

Durant la semaine nous avons tenu un carnet de bord que voici :

#### **Lundi**

- Réunion d'information
- Rencontre avec l'équipe et notre tuteur
- Découverte du matériel
- Discussion à propos des règles, et du fonctionnement futur du robot, notamment à propos de la façon de lancer la balle (catapulte, rails tournants ou rampe de lancement ?)
- Montage de du corps du robot, des moteurs, et du logiciel Brixcc pour essais et compréhension du fonctionnement

Après avoir monté et essayé une catapulte avec un système à élastiques qui s'est révélé peu solide, peu précis, et difficilement rechargeable, bien qu'assez puissant, essayé en vain de construire un éjecteur à rails tournants qui ne propulsait jamais la balle assez loin, nous avons monté un nouveau système de catapulte à moteur qui s'est avéré fonctionner de façon satisfaisante. Celui-ci fonctionne tout simplement avec deux roues dentées identiques de chaque côté de la sortie du moteur : les roues avec le plus grand nombre de dents (40 dents). Celles-ci sont chacune liée à un des roues avec les plus petit nombre de dents (8 dents), lesquelles sont montées sur un même arbre qui actionne la catapulte. Cependant nous n'avons pas pu prendre le temps de le tester suffisamment la catapulte, ni d'optimiser le système, puisqu'il reste un simple prototype.

Pour ce qui est de la partie programmation, nous préférons anticiper et préparer dès maintenant toutes les fonctions types que nous pensons utiliser dès demain ainsi que la un trame pour les tests du fonctionnement de différentes parties du robot, tels que le test du fonctionnement du bras de la catapulte, le test des capteurs, etc. Ceci nous permettra, dès le robot en partie monté de tester au fur et à mesure du montage n'importe quelle partie du robot.

Ainsi nous avons pu gagner du temps dès le premier jour et répartir les tâches.

#### **Mardi**

La journée a commencé avec l'observation du système de la veille, et une première question « pour tirer dans le camp adverse, le robot aura-t-il nécessairement besoin de savoir dans quel terrain il se situe, et de s'adapter seul pour tirer dans le camp adverse du bon côté ? Ou peut-on construire un robot adaptable, que l'on modifierait dans les 45 secondes précédant le match ? »

Cette question répond à un problème auquel nous nous confrontons depuis hier : le nombre de moteurs. En effet, le fonctionnement des roues nécessite un moteur, il nous en reste deux. Cependant, selon le fonctionnement du robot choisi, nous avons trois éventuelles fonctions à remplir :

- le lancement des balles
- le rechargement des balles
- le changement de direction du tir
- les marches avant et arrière du robot

Soit, une fonction de plus que le nombre de moteurs disponibles. S'il n'est pas possible d'avoir deux catapultes, nous devons donc choisir et ne pas répondre l'une de ces fonctions, effectuer l'une d'entre elles mécaniquement ou en effectuer deux avec le même moteur.

En attendant la réponse des tuteurs, ainsi que l'arrivée cet après-midi du terrain, nous poursuivons les essais et améliorations de la catapulte motorisée choisie pour le moment. Nous construisons également un second système identique, dans l'hypothèse où nous pourrions avoir deux catapultes

sur le robot, l'une pour le panier en face au bout de notre terrain, la seconde que nous pourrions positionner juste avant le match en direction du panier adverse. Construits sur le même fonctionnement, chacune des deux catapultes est montée différemment et sont régulièrement testées pour vérifier l'influence de paramètres tels que l'inclinaison du moteur, l'amplitude du bras etc., grâce aux différents programmes de tests dont nous disposons.

Nous avons eu une notre réponse et nous pouvons bien avoir deux catapultes dont une que l'on repositionnerait juste avant chaque match en fonction du côté de notre terrain. Seulement nous venons de réaliser que si on voulait que deux catapultes que nous venons de monter soient montées sur un même robot et qu'elles puissent fonctionner sans s'encombrer entre elle, cela impliquerait que le robot dépasse de la surface d'une feuille A4. De plus nous n'arrivons pas à concevoir un distributeur de balles au fonctionnement mécanique qui ne gênerait pas l'une des catapultes.

Pourtant satisfaits du fonctionnement de nos catapultes nous décidons de n'en démonter qu'une et de simplement chercher à optimiser la seconde. En effet, après quelques tests nous venons de réaliser, il est clair que la catapulte ne lance pas la balle assez loin. Nous modifions donc à tâtons choses suivantes :

- longueur du bras de la catapulte
- poids de la catapulte
- forme du réservoir de la catapulte pour la balle
- inclinaison du moteur auquel est reliée la catapulte
- position de lâcher de la balle
- hauteur de la catapulte
- vitesse du moteur

Pour l'utilisation du dernier moteur nous avons donc le choix

Pour terminer la journée, à la suite de la réunion, nous décidons de tester le robot après avoir optimisé au maximum tous ces paramètres. Il s'avère que le robot n'a pas un tir assez puissant, puisqu'il n'est capable de marquer des paniers qu'à partir de la zone à 2 points. Cependant le point positif est qu'il est stable, et donc régulier dans ses tirs. En effet il a effectué 11 paniers sur 12 tirs consécutifs.

### **Mercredi**

Nous avons pour but de construire notre système rotatif.

Nous regardons donc les pièces en notre possession et faisons plusieurs tests différents afin de trouver un moyen de faire tourner efficacement la tourelle. Les idées ne manquent pas dans l'équipe et nous finissons par trouver un système assez compact grâce à un petit boîtier Lego conçu pour accueillir une roue et une vis sans fin. A ce moment-là, nous comprenons quel sera l'avantage d'un tel système, compact et utilisant les propriétés de la vis sans fin nous obtenons une solution technique intéressante.

Une fois la phase de construction terminée, nous nous penchons sur les tests : comment cela va t'il marcher ? Comment va réagir la tourelle une fois en place sur le Robot.

Nous effectuons donc une batterie de tests divers et variés. Viens l'heure du repas et nous nous séparons.

Après avoir mangé, nous nous occupons de programmer la tourelle sommairement afin de comprendre les différents mécanismes mis en œuvre ainsi que pour savoir ce qu'il nous fallait modifier. Nous travaillons à faire tourner la tourelle d'un angle précis. Ce qui est contraignant, c'est le temps d'attente sur l'aire de jeu pour pouvoir effectuer nos tests. En effet, les différentes équipes testent leur robot un certain nombre de fois (ce qui prend du temps). Nous n'avons besoin que d'un essai car nous pouvions voir de suite si l'angle était bon ou à modifier. La modification nous prend 5 min de programmation et compilation et puis de nouveau 15 minutes d'attente pour obtenir l'aire de jeu.



Ceci nous occupe donc une partie de l'après-midi. Une fois les réglages de l'angle terminé, nous travaillons sur un asservissement moteur pour palier au problème du jeu mécanique de la tourelle. Nous nous quittons assez tard sachant qu'il nous reste encore beaucoup de travail le lendemain, nous ne pourrions surement pas participer au Campus Day. Mais Bertha est plus importante ! Nous n'avons toujours pas attaqué la programmation du programme général ni la conception du système de chargement.

## **Jeudi**

Nous construisons notre système de chargement dans la matinée avant de passer l'homologation, ce qui sous-entend peu de tests.

Nous venons de passer la soutenance d'homologation en cette fin de matinée. Notre robot, LA GROSSE BERTHA a bien été homologué, mais sans surprise car nous avons fait des modifications à plusieurs reprises afin de qu'il ne passe pas la feuille A4 réglementaire. Nous avons dépassé le temps imparti pour la présentation mais, mais celle-ci terminée, nous pouvons nous concentrer sur la dernière phase de conception et mise en service du robot.

Avant de manger nous faisons quelques essais avec la batterie chargée pour voir uniquement de quoi notre catapulte est capable en longueur, afin de définir notre stratégie concernant les points. Il est clair que même la batterie pleine, nous ne pouvons pas tenter les quatre points (tir chez l'adversaire depuis la zone à 3 points), mais nous nous en doutions depuis les essais d'hier. Le changement de direction avec la tourelle pivotante est relativement long, nous ne pourrions donc pas compter non plus sur le point bonus de la rapidité.

Ce dont nous sommes satisfaits est clairement la régularité des tirs dans notre panier. Pour ce qui est du tir chez l'adversaire, ce n'est plus aussi régulier puisque nous avons observé un jeu dans le pivot à engrenage et vis sans fin de notre tourelle. La soutenance passée, il est trop tard pour modifier quoi que ce soit sur le robot, nous allons donc devoir adapter notre programme à ce souci.

Nous décidons dans le programme de base de ne pas faire varier la longueur de tir de notre catapulte, à nous donc de définir les positions de tirs adaptés à sa puissance de tir.

Notre stratégie finale est donc :

- avancer jusqu'à la position idéale de tir de la zone 3 points
- Tirer les deux premières balles
- avancer jusqu'à la position idéale de tir de la zone 2 points chez l'adversaire (=3 points)
- tourner la tourelle
- tirer la dernière balle chez le voisin

Nous passons donc tout le reste de cet après-midi à tester le robot, modifier le programme, charger la batterie, tester le robot, modifier le programme, etc ...

## **Vendredi**

Nous sommes fin prêts pour le challenge. Nous savons de quoi est capable notre GROSSE BERTHA. Les essais d'hier ont montrés que nous pouvons atteindre les 9 points. Nous sommes conscients que notre robot est le seul capable de tirer chez l'adversaire. Nous pouvons donc viser une égalité dans le cas où nous et le robot en face faisons le maximum de points chacun (3+3+3 pour nous, et 3+3+2+1 point de rapidité pour l'adversaire).

BERTHA entre dans l'arène pour les phases finales et les premiers matchs sont décevants. Les tirs face à nous fonctionnent bien, seulement nous n'arrivons pas à tirer chez le voisin. Et c'est lors du 3<sup>ème</sup> match que la roue tourne, 3 points pour nous, 5 pour le voisin qui vient d'arriver au bout du terrain et de gagner le point bonus, et c'est le moment fatidique : BERTHA arrive dans la zone à 2 points, elle se fait désirer et la tourelle ne tourne que quelques secondes plus tard, elle s'arrête à nouveau ... (à ce moment-là l'ambiance dans la salle est effrénée, tout le monde tape des mains sur



les tables en guise de roulement de tambours, mais GROSSE BERTHA prend son temps) ... elle tire ... et le panier est MAGNIFIQUE !!!

Notre robot a renouvelé cet exploit à deux reprises dans la journée, et ce furent les meilleurs moments de l'équipe, entre bon stress, ambiance, soutien de la salle, et euphorie. La suite des qualifications se passe bien, nous irons ainsi jusqu'au quart de finale.

La finale était loin mais nous avons rempli notre mission, nous avons mené à bien notre projet, soudé notre équipe, et surtout nous avons fait le SHOW avec notre tir si attendu chez l'adversaire.

### Retour d'expérience :

Nous avons perdu du temps lors de la recherche et validation des solutions concernant la catapulte. En effet, nous avons plusieurs idées qu'il nous fallait tester. Tout en sachant que nous voulions tirer dans le panier adverse. Ce petit détail a restreint nos solutions à un système de catapulte. Le temps passé à créer une catapulte rotative nous a restreints sur la conception du système de chargement (traité en dernier avec peu de temps et les pièces « restantes »).

Le challenge Lego était une bonne expérience, cela nous a permis de mieux nous connaître. Nous avons passé de bons moments, comme par exemple lors des phases de tests quand le robot fonctionnait une fois sur deux. Nous pouvons ici citer Einstein :

*"La théorie, c'est quand on sait tout et que rien ne fonctionne.  
La pratique, c'est quand tout fonctionne et que personne ne sait pourquoi.  
Ici, nous avons réuni théorie et pratique: Rien ne fonctionne... et personne ne sait pourquoi !"*

Albert Einstein

Théoriquement notre robot était censé fonctionner parfaitement mais une fois sur l'aire de jeu, rien ne va comme prévu et on ne sait pas pourquoi.

Le plus amusant et aussi rassurant, c'était de voir les équipes s'agglutiner autour de l'aire de jeu pour effectuer leurs tests. La majorité d'entre elles étaient dans le même cas que nous : soit cela marchait mais ils ne savaient pas pourquoi car avaient programmé un peu au hasard, soit ne marchait pas malgré un programme réfléchi.

Ce n'est qu'après analyse des différents tests que nous avons pu comprendre ce qui ne tournait pas rond et le corriger.

Nous pensons que l'utilisation de simulations informatiques en modélisant le système améliorerait la performance de l'équipe et la production, le temps des tests et de l'attente de la disponibilité de l'aire de jeu étant épargné. Que plusieurs solutions auraient pu être testées simultanément et ainsi ne « produire mécaniquement » que la meilleure.

## Conclusion

En conclusion ce challenge LEGO nous aura encore un peu plus fait progressé vers ce qu'est le métier de l'ingénieur. C'est-à-dire le fait d'appliquer nos connaissances théoriques dans un cas concret qui regroupait et nécessitait une multitude de savoir. A savoir des maitrises mécaniques, de conception de programmation, d'organisation et de communication afin de mener le projet à bien et d'être le plus compétitif possible.

Le fait d'être amené à travailler en groupe avec des personnes d'horizon différent fut une expérience enrichissante dans le sens où chaque personne a pu enrichir ses propres connaissances en écoutant les conseils et les savoirs des autres. La communication prit alors tout son sens puisqu'il fallait énormément parler, ce concerner, afin de retenir la meilleur idée et défendre son point de vu en exposants les « pour » et intégrer les propositions de nos collègues pour obtenir un résultat optimal.

L'élément indispensable à chaque groupe était bien entendu l'organisation. Sans cela le projet n'aurait jamais abouti. C'est pourquoi nous pensons que ce projet nous sera utile dans les années à venir tant nous avons observé qu'en dépit d'une multitude de connaissances si l'organisation et la communication n'est pas au rendez-vous alors l'alchimie ne se créer pas et le temps imparti n'est pas respecté ou le travail n'est pas celui escompté.

Pour finir au-delà de l'aspect scolaire ce challenge aura permis une bonne cohésion de groupe et l'intégration des prépas avec les nouveaux arrivants dans le but de passer une bonne année.

## Liste des supports annexes rendus avec le rapport papier

### Archive Solidworks

Archive contenant toutes les pièces Lego au format solidworks téléchargées ainsi que l'assemblage final de notre système. L'assemblage final est le fichier : « TOURELLE LEGO SW ASSEMBLEE ». L'assemblage a été réalisé sous Solidworks 2013.

### Archive des programmes NXT

Archive contenant l'ensemble de nos programmes NXT. Ces programmes ont été annotés et commentés dans le but d'expliquer ce que nous faisons avec chaque algo/morceau de programme. Ainsi l'ensemble de notre programmation est « compréhensible ».

## Sources

Programme de la semaine et informations sur le challenge/logiciel NXT

<http://perso-laris.univ-angers.fr/~lagrange/ei3.php>

Cahier des charges et règlement du challenge

<http://perso-laris.univ-angers.fr/~lagrange/LEGO.pdf>

Informations pour la CAO Lego

<http://bberry.perso.neuf.fr/swcaddb/Lego/VB3.pdf>

Site de référencement des pièces lego par boîte

- Général
  - <http://bberry.perso.neuf.fr/swcaddb/Lego/VB3.pdf>
- Mindstorms Education Resource Set
  - <http://www.bricklink.com/catalogItemInv.asp?S=9648-1>
- LEGO Mindstorms NXT
  - <http://www.bricklink.com/catalogItemInv.asp?S=8527-1>

Pièces Lego pour solidworks

- <http://news.lugnet.com/cad/?n=12426>
- <http://technologie.ac-amiens.fr/spip.php?article329>
- <http://www.education.rec.ri.cmu.edu/downloads/lego/solidmodel/parts/solidworks/>
- <http://bberry.perso.neuf.fr/swcaddb/Lego/Legopack.pdf>
- <http://mecatools.fr/index.php?mod=download&ac=afficherid&id=317> (à titre uniquement éducatif)