



ÉCOLE  
POLYTECHNIQUE  
DE LOUVAIN

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE LOUVAIN

LEPL1501 - GROUPE 11.92

ANNÉE ACADEMIQUE 2018-2019

---

## Rapport de projet

### VÉHICULE HYBRIDE AUTONOME

---

CHARLIER JÉRÔME - 25001500  
ECHEZURIA CATHERINE - 72181800  
KAMTO LEOLIN - 62561800  
MOORE AMÉLIA - 82861800  
MOUNZER AMINE - 69161800  
ONCIUL ANDRU - 69721800

*Tuteur : M. C-H BERTRAND*  
*Professeur : M. RAUCENT*

# Table des matières

<b>1 Contexte</b>	<b>3</b>
<b>2 Démarche</b>	<b>4</b>
2.1 Première étape . . . . .	4
2.2 Modélisation des énergies . . . . .	4
2.3 Mécanismes du prototype . . . . .	4
2.4 Justification des principaux choix . . . . .	5
2.5 Construction . . . . .	5
2.6 Résultats majeurs de ce projet et analyse du comportement de notre engin lors des essais . . . . .	6
2.7 Conclusion . . . . .	6
<b>Bibliographie</b>	<b>7</b>
<b>Annexe</b>	<b>8</b>
A1 Cahier des charges . . . . .	8
A1.1 Présentation . . . . .	8
A1.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	8
A2 Evolution des maquettes et photos . . . . .	10
A2.1 Présentation . . . . .	10
A2.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	10
A3 Dessins 2D du prototype (3 vues standard + coupe, à la main) . . . . .	10
A3.1 Présentation . . . . .	10
A3.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	11
A4 Dessin 3D du prototype (à la main) . . . . .	13
A4.1 Présentation . . . . .	13
A4.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	13
A5 Fabrication du prototype (photos des pièces 3D, preuve de la fabrication par le groupe, ...) . . . . .	13
A5.1 Présentation . . . . .	13
A5.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	14
A6 Illustrations du mécanisme (dessins, schémas, coupes, plans) et de l'engin . . . . .	15
A6.1 Présentation . . . . .	15
A6.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	15
A7 Modèle physique (sources d'énergie, paramètres réglables, modèle de frottement) . . . . .	20
A7.1 Présentation . . . . .	20
A7.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	20
A8 Simulation (programme, résultats, graphiques) . . . . .	21
A8.1 Présentation . . . . .	21

A8.2	Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	22
A9	Eléments relatifs au prototype pour le concours . . . . .	26
A9.1	Présentation . . . . .	26
A9.2	Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	26
A10	Poster pour le concours . . . . .	31
A10.1	Présentation . . . . .	31
A10.2	Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	31
A11	Contrat d'équipe, répartition des fonctions, EPP individuelles et de groupe . . . . .	33
A11.1	Présentation . . . . .	33
A11.2	Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	33
A12	Grilles de planification des 4 dernières semaines . . . . .	36
A12.1	Présentation . . . . .	36
A12.2	Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	36
A13	Comptabilité du projet (coût des pièces, ...) . . . . .	36
A13.1	Présentation . . . . .	36
A13.2	Que pouvons-nous conclure après cette étape ? . . . . .	37

# Chapitre 1

## Contexte

Dans le cadre du concours mondial d'innovation, nous avons décidé de relever la problématique du stockage d'énergie et de tenter d'y remédier en proposant une solution qui se présente sous forme d'un véhicule hybride. Ce dernier stocke et utilise quatre types d'énergies différentes.

Notre projet a donc été double, à savoir avant tout la recherche d'une solution face à ce problème, auquel ont été ajoutés des objectifs d'optimisation de construction. En effet, toute une série de paramètres relatifs au parcours et aux distances devant être parcourues nous ont été imposées.

Plus concrètement, les quatre énergies sont les suivantes :

- Energie cinétique de translation
- Energie cinétique de rotation
- Energie potentielle de gravité
- Energie potentielle élastique

Il nous a vite été dit au début qu'un volant d'inertie serait le meilleur moyen de stocker et utiliser l'énergie cinétique de rotation. Si l'idée pouvait paraître simple, on ne peut en dire autant de sa conception. Notre principal problème, défi à relever a été de concevoir divers mécanismes qui mettaient en jeu ces énergies. Une autre contrainte nous a également été imposée, celle que nos quatre énergies doivent être présentes au point de départ du parcours.

Retenons également l'aspect informatique, à savoir la simulation de parcours de notre véhicule.

Certes nous étions limités par un budget de 60 euros et la seule imprimante 3D que nous avions à notre disposition était une parmi celles de l'UCL. A cela a également été ajoutée la limite de temps, avec un délai de démonstration en S12.

Ce projet aborde donc non seulement la problématique du stockage d'énergies mais également un côté informatique avec une simulation de parcours, un coté plus concret de construction, ainsi que toute une part d'imagination, de prise d'initiative et d'innovation.

# Chapitre 2

## Démarche

### 2.1 Première étape

La première étape dans la réalisation de ce projet a été d'imaginer dans les grandes lignes une conception possible pour notre véhicule hybride. On a donc construit une première maquette, très primitive certes et loin de notre produit final, mais qui nous a cependant aidés à visualiser nos idées jusque-là orales et fort floues. Cela nous a permis de mieux visualiser notre véhicule et de nous rendre compte de toute une série de choses quant à son implémentation concrète.

### 2.2 Modélisation des énergies

Ensuite, nous avons réalisé une modélisation physique. Celle-ci met en avant les différentes énergies utilisées et stockées à différents points du parcours. Pour ce faire, nous avons recherché les formules physiques liées aux quatre énergies mises en jeu. Cela nous a forcés à réfléchir aux transferts d'énergies et aux moments où les différents mécanismes seraient enclenchés et donc adapter nos mécanismes en fonction.

Nous avons commencé en étudiant le cas le plus simple, en négligeant tout frottement. Nous avons ensuite affiné notre modèle en envisageant le cas avec un frottement constant, puis avec les frottements de l'air.

Par après, cette modélisation nous a permis de réaliser une autre étape majeure dans la réalisation de ce projet, la simulation.

Cette partie du projet nous a pris beaucoup de temps, car nous devions avant tout non seulement être sûrs de notre modèle physique, mais également et surtout comprendre le fonctionnement des modules num.py. Cependant nous voulions optimiser notre programme afin qu'il soit le plus précis possible.

Nous avons donc décidé de séparer le programme en deux parties :

- la modélisation du parcours et des différentes énergies stockées et utilisée.
- la modélisation du saut de notre véhicule afin que le programme nous donne le nombre de centimètres atteints en fonction des énergies utilisées et inversement. Pour obtenir une grande précision, nous avons utilisé des équations différentielles vues en cours.

### 2.3 Mécanismes du prototype

**2.3.0** En parallèle, nous réfléchissions aux meilleurs mécanismes qui permettraient de stocker et utiliser nos énergies.

**2.3.1** Tout d'abord, pour l'énergie cinétique de translation, nous avions envisagé d'utiliser des bombonnes à air car on nous avait dit au début que l'on ne pouvait utiliser le simple fait que l'engin roulaient. Cependant, cela s'est avéré trop compliqué et les consignes ont changé donc nous avons traduit cette énergie par une pente au début sur laquelle l'engin roulerait et utiliserait de cette énergie. Par ce biais, il avait encore de l'énergie cinétique de translation stockée au point de départ du parcours.

**2.3.2** Ensuite, nous avons dû réfléchir à un mécanisme qui mettrait en jeu de l'énergie potentielle de gravité. Nous avions pensé au début que notre pente aurait été suffisante mais cela a été interdit par les règles du concours. En effet, nous ne pouvions pas utiliser le simple fait que notre véhicule était en hauteur. Nous avons donc pensé à créer un système de poulie, avec aux deux extrémités d'une ficelle respectivement un poids et une attache, qui serait attachée à l'axe du volant d'inertie. Le poids, en hauteur, de par l'énergie potentielle de gravité stockée, descendrait et ce faisant tirerait sur la corde qui ferait tourner le volant d'inertie.

Ce mécanisme aurait été placé à l'intérieur du véhicule. Cependant, quelques semaines avant la construction, nous nous sommes rendu compte qu'avec un tel mécanisme nous ne respecterions pas une des consignes de ce projet, à savoir l'obligation de la présence de nos quatre énergies au point zéro. En effet, le poids tomberait et ferait bien tourner le volant, mais sur la pente uniquement. Il n'y aurait donc plus eu d'énergie potentielle de gravité au point zéro.

Pour remédier à ce problème, et rester avec cette idée de poulie, nous avons eu l'idée de déplacer ce système à l'extérieur du véhicule. Nous avons donc conçu une tour qui a été placée derrière la rampe. La poulie était attachée tout en haut et le reste du mécanisme était identique à ce que nous avions imaginé pour celui à l'intérieur.

**2.3.3** Quant au volant d'inertie que nous avons placé au centre de notre véhicule, pour qu'il soit le plus lourd possible, nous lui avons fait plusieurs trous que nous avons remplis avec des barres de fer. Nous avons utilisé le logiciel FreeCAD. Il a été pratique à utiliser, notamment pour faire les trous par exemple. Nous avons pesé les barres métalliques, ce qui nous a permis de connaître la masse totale du volant et d'avoir une idée quantitative de son énergie.

**2.3.4** Par ailleurs, ce qui a été le plus difficile à implémenter concrètement a été le mécanisme d'énergie élastique. Nous étions en effet tout d'abord partis sur l'idée de ressorts spirale. Mais à cause du mécanisme trop complexe de ces derniers, nous avons du faire un compromis. Nous avons donc utilisé une pièce préconstruite d'une voiture Lego que l'on pouvait remonter pour qu'elle avance. Cela nous a donc permis de choisir combien de fois on le remontait et donc ajouter cela comme paramètre de réglage dans notre simulation, ce qui nous ajoutait un degré de liberté de plus.

**2.3.5.** Afin d'optimiser notre projet, nous avions également eu l'idée d'utiliser des roulements à billes pour diminuer les frottements. Nous comptions en mettre au moins deux, autour de l'axe du volant d'inertie pour qu'il tourne encore plus. Néanmoins, ceux que nous avons commandés se sont avérés inutiles car ils ne restaient pas du tout longtemps en mouvement après qu'on les fasse tourner. Nous avons donc fait sans.

## 2.4 Justification des principaux choix

**2.4.1** L'énergie cinétique de translation apportée par la pente était selon nous suffisante pour donner assez de vitesse à l'engin et aussi au volant d'inertie. Nous avons favorisé la pente aux bombonnes pour avoir une énergie qui augmente en fonction du temps plutôt qu'une énergie déployée soudainement qui apportait quelques risques inutiles pour notre engin, notamment le faire sortir du parcours ou l'explosier. De plus, la pente était plus facile à construire et moins chères.

**2.4.2** Déplacer le système générant l'énergie potentielle nous a permis de choisir la hauteur de la tour, hauteur suffisamment élevée pour qu'il y ait encore de l'énergie potentielle de gravité stockée au point de départ, c'est-à-dire que le poids n'aurait pas encore eu le temps de toucher le sol.

**2.4.3** Nous avons opté pour une position du volant d'inertie en plein centre de l'engin pour qu'il ne le déstabilise pas et que l'on puisse bénéficier au maximum de sa masse élevée. Les barres de fers nous ont principalement servi à augmenter grandement la masse de l'engin. De fait, au plus un volant d'inertie est lourd, au plus il permettra d'augmenter la vitesse d'un véhicule.

**2.4.4** Les ressorts en lego étaient beaucoup plus simples à se procurer et à installer sur notre voiture que le système utilisant des vrais ressorts spirale. En outre ces derniers étaient trop durs à se procurer et l'installation du système nous aurait demandé un temps et des moyens que nous ne possédions pas. Pour optimiser la puissance des ressorts en Lego, nous avons décidé d'en fixer deux de puissance moyenne et un d'une plus grande puissance de part et d'autre du véhicule.

## 2.5 Construction

La construction de l'engin s'est avérée plus compliquée que prévu. Pour commencer, nous avons réellement débuté notre construction seulement une semaine avant le concours, nous n'avions donc pas beaucoup de temps pour optimiser tous les points que nous voulions parfaire. Nous avons directement commencé par la construction de la voiture en utilisant beaucoup de pièce de Lego basique trouvées chez nous nous voulions un système stable qui ne dévierait pas, notre voiture était donc assez basse mais très large. Nous avons par la suite installé notre volant d'inertie ainsi que nos ressorts Lego pour tester la puissance de ces derniers. Ensuite, en testant notre véhicule sur le parcours, nous nous sommes rendus compte qu'elle déviait et nous avons donc installé deux petites roues sur les côtés, à l'avant de la voiture afin que la voiture suive toujours le parcours. Au fur et à mesure, nous nous sommes répartis les rôles, deux personnes s'occupaient de chaque tâche, la construction du véhicule, de la tour et de la pente. La pente que nous avons construite principalement du bois nous a pris énormément de temps car nous ne voulions pas que notre engin puisse être déstabilisé par un angle changeant trop soudainement. Enfin, lorsque nous avons pratiqué nos premiers essais sur le parcours, nous nous sommes rendus compte de la fragilité de notre voiture, nous avons donc décidé de fixer tous les lego avec des colsons et d'ajouter quatre petites roues sur le haut du véhicule pour empêcher sa destruction en cas de retournement.

## **2.6 Résultats majeurs de ce projet et analyse du comportement de notre engin lors des essais**

Lors du concours, nous avions droit à trois essais de notre véhicule dans un temps imparti, nous devions donc le réparer et réinstaller certains mécanismes comme le fil libérant l'énergie des ressorts entre chaque essai. Les trois essais se sont déroulés de la même manière, notre véhicule parvenait à traverser le parcours sans souci, cependant il ne possédait pas assez d'énergie pour réussir à sauter le tremplin dont l'angle avait été fixé à trente degrés. En observant notre véhicule, nous avons réalisé que les ressorts ne libéraient pas assez d'énergies pour donner une puissance nécessaire pour que notre engin saute atteigne la cible. De plus, notre volant d'inertie n'avait que très peu d'impact sur la vitesse réelle de notre engin.

## **2.7 Conclusion**

En conclusion, ce premier projet était une expérience toute nouvelle pour tous les membres de notre groupe. Bien que notre engin n'était pas exempt de défauts, ce projet nous a forcé à appliquer réellement des théorèmes des cours de physiques, d'analyse mais aussi de créer un programme avec une utilité concrète. De plus, un ingénieur ne travaille que rarement seul et ce travail nous a poussé à développer notre travail d'équipe qui est indispensable pour réaliser des projets comme celui-ci. La mise en commun des idées de chacun et la bonne ambiance nous ont donné la possibilité d'effectuer ce travail en s'entraînant et sans jamais qu'aucun problème n'apparaisse. Malgré notre inexpérience, nous avons mené ce projet à bien et nous avons maintenant appris de nos erreurs. Les projets suivants se solderont par une plus belle réussite encore, nous en sommes convaincus.

# Bibliographie

## Bibliographie :

Beazley, D. (s.d.). How to Think like a Computer Scientist– Learning with Python 3.

Claude Hazard, A. R. (s.d.). Methode Active de Dessin technique . Castella.

Hugh G. Young, R. A. (s.d.). University Physics with Modern Physics. PEARSON

# Annexes

## A1 Cahier des charges

### A1.1 Présentation

Ce cahier des charges sert de support d'information pour une personne extérieure au projet qui souhaiterait avoir une idée des fonctions que le véhicule doit remplir. Il exprime les besoins du client ainsi que les contraintes qu'il nous impose. Ces dernières sont réparties en fonctions principales (fonctions de base) et fonctions de contraintes (fonctions supplémentaires). A chaque fonction correspondant des critères et niveaux qui apportent des précisions supplémentaires et quantificatives.

Concrètement, au fil de ce projet, nous avons réalisé deux versions du cahier des charges. De fait, nous n'avions pas été assez précis et rigoureux dans la première version, la structure énoncée ci-avant n'était pas respectée. Le feedback à un cours magistral nous a été bénéfique et nous a permis d'en produire une deuxième version que nous jugeons pertinente.

### A1.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?

Cette tâche a été plus compliquée que nous avions anticipée. Aux premiers abords, nos points faibles ont clairement été de correctement hiérarchiser les fonctions de notre véhicule et d'être précis. Nous n'avions en effet pas trop compris l'intérêt de séparer les fonctions par exemple, et avons eu du mal à savoir quoi mettre dans les parties fonctions et critères niveaux.

Cela nous a cependant forcé à réfléchir rigoureusement et plus précisément aux fonctions que notre véhicule devait avoir. Ce cahier des charges nous a autant aidés que les personnes à qui il était destiné. Il nous a forcés à comprendre et synthétiser les bases de ce qui nous était demandé pour ce projet.

Nous avons également pu remarquer pour la première fois les qualités et aptitudes propres aux membres du groupe (imaginaires du mécanisme, synthétisation, explication).

En somme, si nous devions refaire un cahier des charges, nous serions certes plus productifs dès le début grâce à l'expérience acquise grâce à cette première tâche. Nous retenons toutefois l'importance de bien comprendre ce qui est attendu de nous, ce que notre produit doit faire, quelles contraintes nous sont imposées.

<b>Equipe 11.92</b>		<b>Cahier des charges d'un véhicule hybride</b>	Date : 28/09/18
Mise à jour			Version : 2
<b>Date</b>	<b>Origine</b>		
<b>Contexte :</b>			
Un concours visant à trouver des solutions au problème du stockage d'énergie est organisé pour de jeunes ingénieurs.			
27/09/18	Equipe	<b>Fonctions principales</b> FP1. Stocker et convertir de l'énergie FP2. Avancer FP3. Accélérer et/ou décélérer	
27/09/18	Famille De Bremaecker	<b>Critères et niveaux des FP</b> C1. Utilisation au minimum des 4 types d'énergies mécaniques suivantes: ➤ Elastique ➤ Cinétique de rotation (volant d'inertie) ➤ Cinétique de translation ➤ Potentielle (gravité) C2.1. Engin autonome (aucun contact extérieur après sa mise en mouvement) C2.2. Distance à parcourir d'environ 2,5m C3. La vitesse dépendra de l'endroit du véhicule sur la rampe	
27/09/18	Equipe	<b>Fonctions de contraintes</b> FC1. Parcourir une certaine distance FC2. Franchir une pente et une bosse FC3. Atterrir à un certain endroit FC4. Résister à la chute FC5. S'adapter au milieu extérieur FC6. Etre fonctionnel en S12	
27/09/18	Famille De Bremaecker	<b>Critères et niveaux des FC</b> C1. Distance du parcours d'environ 2,5m C2. Pente de 3,06 % C3. Distance imposée lors de la démonstration C4.1. Premier tronçon constitué d'une matière ayant un coefficient de friction roue/sol spécifique C4.2. Largeur maximale du véhicule : 0,2m	

## A2 Evolution des maquettes et photos

### A2.1 Présentation

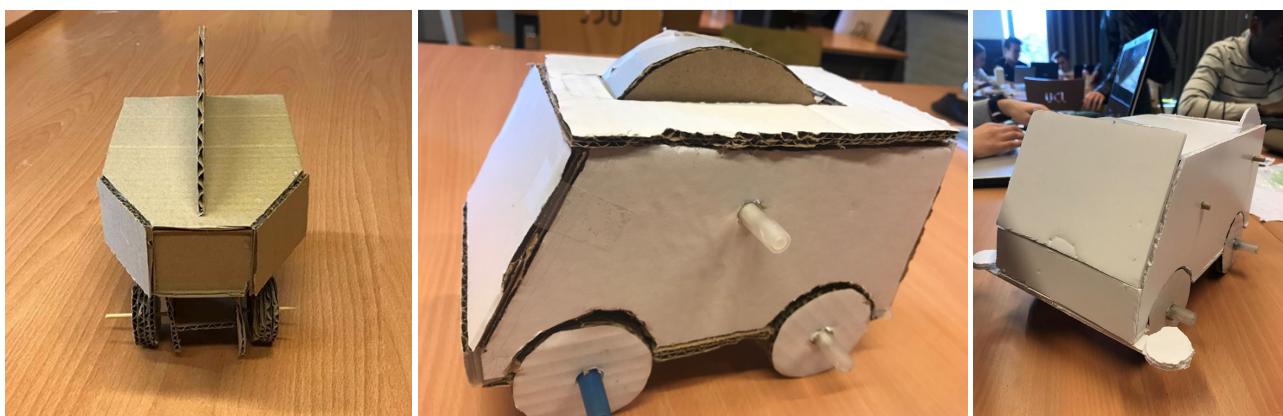
Entre nos deux premières maquettes, l'évolution n'est pas très grande, la première maquette qu'on a faite pendant la quatrième semaine, est très basique; parce que pour le moment on avait pas encore beaucoup d'informations sur le projet, donc on a juste réfléchi aux dimensions, pour qu'elle respecte le parcours et qu'elle soit le plus stable possible pour faire le saut en ce première maquette on devait encore rien faire du mécanisme donc elle était complètement vide à l'intérieur. Elle mesure quinze cm de longueur, douze cm de hauteur et treize cm de largeur. Pour la deuxième maquette les seuls changements qu'on a faits c'est augmenter les dimensions pour avoir assez de place pour les mécanismes, et on a enlevé le morceau du haut qu'on avait ajouté pour l' « aérodynamisme » et qu'on s'est rendu compte qu'il ne servait à rien parce qu'on n'allait pas arriver à une vitesse suffisante pour que ce soit utile la deuxième maquette mesure dix-sept cm de longueur seize cm de hauteur et treize cm de largeur. Entre la deuxième et la troisième on a juste modifié l'intérieur de la maquette pour mieux placer les mécanismes, et on a ajouté des nouveaux car on s'est rendu compte dont on avait besoin. La dernière maquette mesure : vingt cm de longueur, treize cm de largeur et 14cm de hauteur).

### A2.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?

Construire de différentes maquettes nous a beaucoup aidé à avancer dans la construction de la voiture, parce que on pouvait mieux visualiser le projet. La dernière maquette nous a surtout aidé pour les emplacements des mécanismes et respecter les dimensions choisies initialement. Ça nous a beaucoup aidé aussi à exploiter les habiletés des certaines personnes du groupe qui ont plus de facilité pour des travaux manuels, et ceux qui ne l'ont pas à s'entraîner.

Un problème qu'on a rencontré c'est qu'en général on a pas donné assez d'importance aux maquettes, et peut être si on l'avait fait, au moment de construire le prototype ça aurait été plus vite.

Pour des prochains travaux, une bonne idée serait de donner plus d'importance aux maquettes, et se projeter depuis le début sur une idée comme ça au moment de la construction du prototype c'est plus facile d'avancer et on perd moins de temps en choisissant comment le faire.



## A3 Dessins 2D du prototype (3 vues standard + coupe, à la main)

### A3.1 Présentation

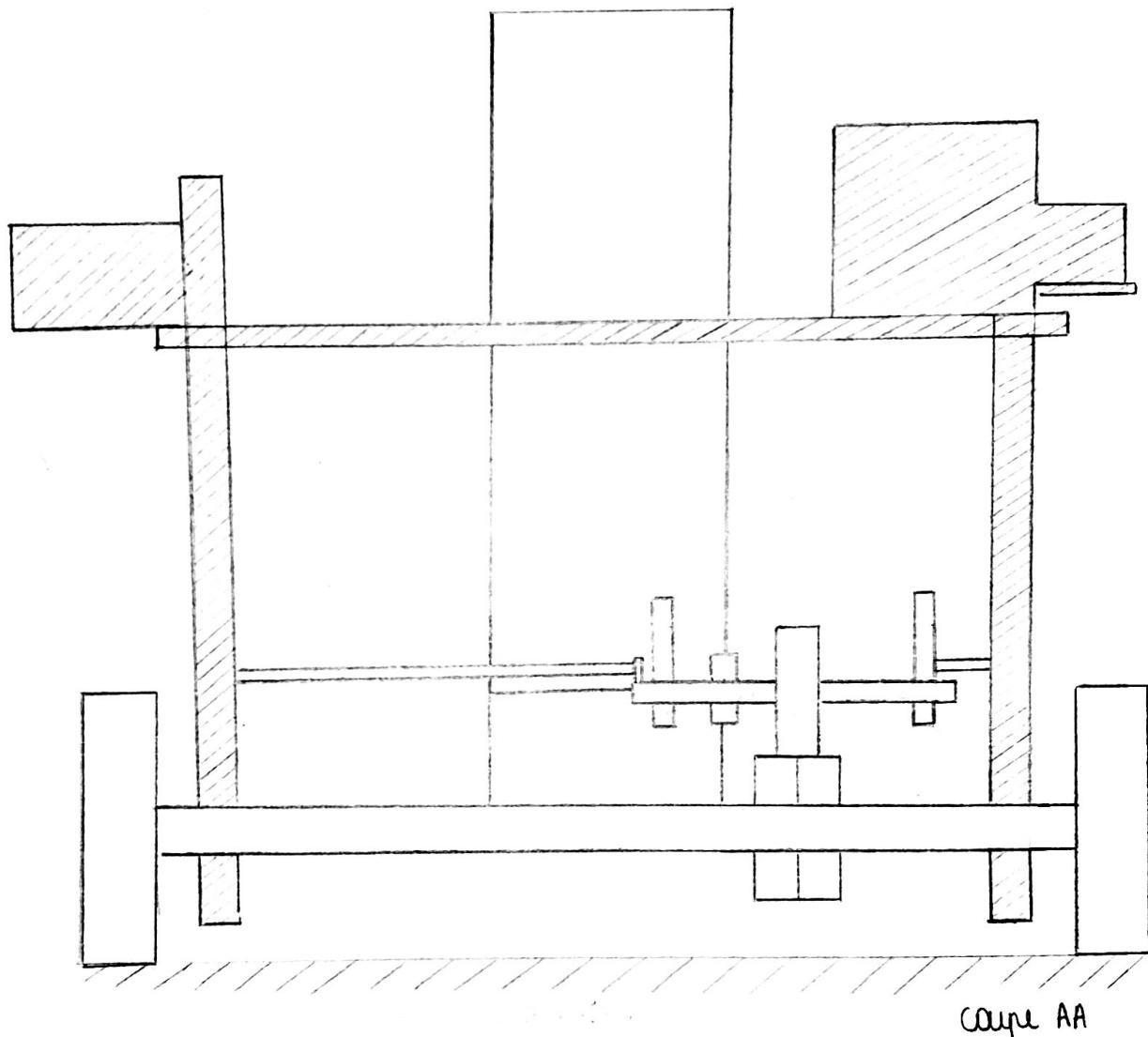
Ci-après figurent une partie importante dans la réalisation de ce projet, les plans. Sont donc attachés plus bas trois vues de notre prototype (de haut, de côté et de derrière), ainsi qu'une coupe.

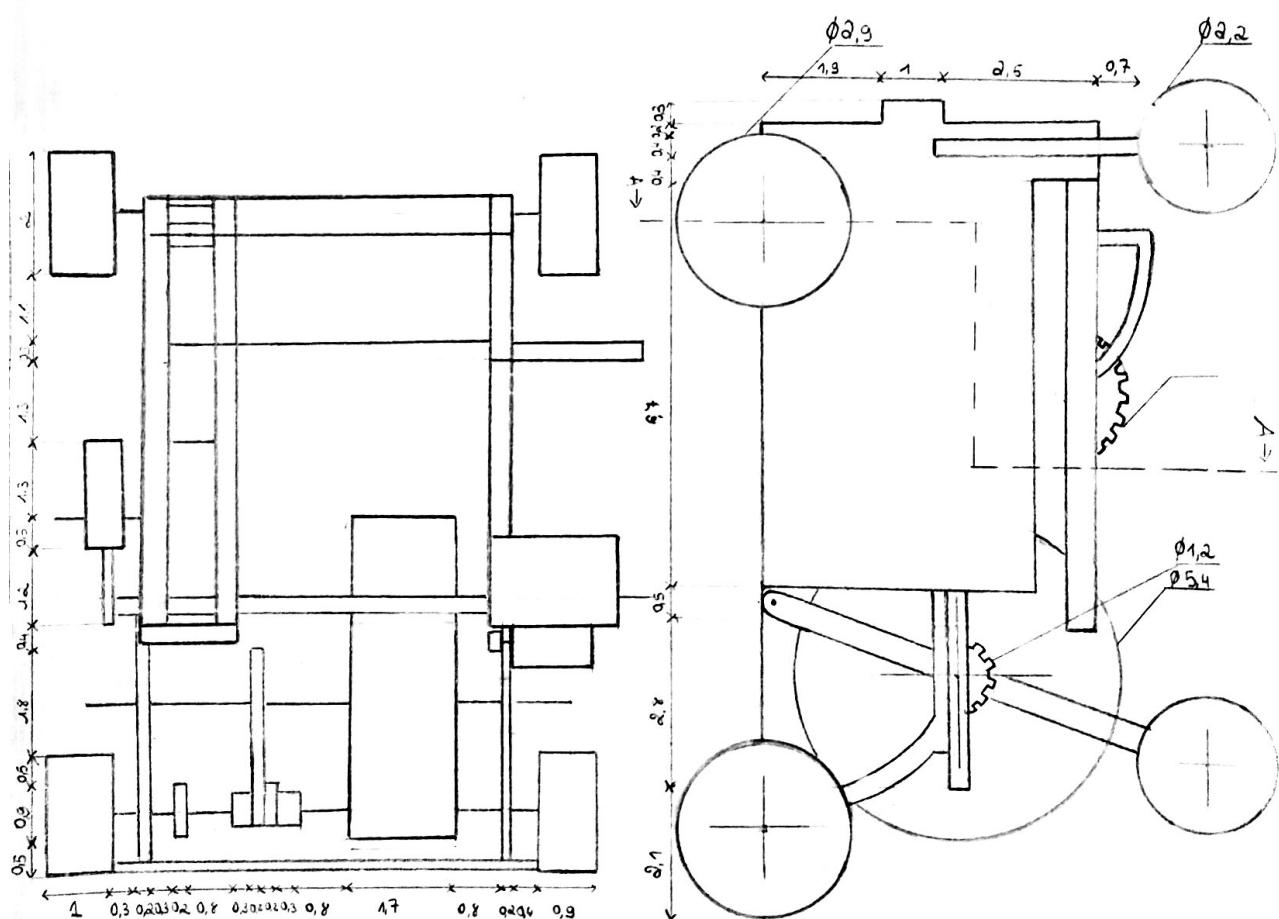
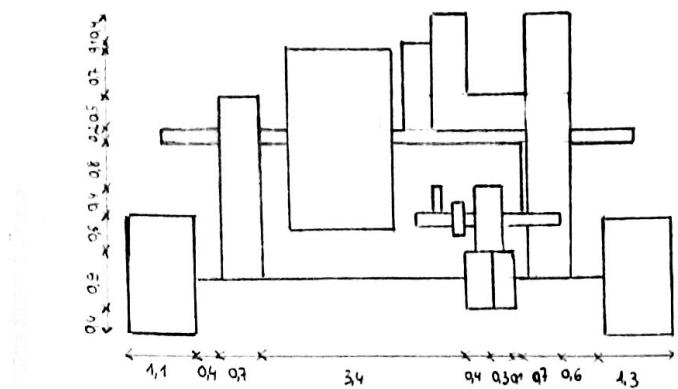
Ces plans ont été simplifiés car représenter tous les détails des pièces lego était à notre sens inutile et chargerait trop les dessins. Pour les rendre le plus clair possible nous avons donc généralisé quelques parties. Vous trouverez par exemple le mécanisme du ressort (cf. vue du haut, sur la droite ?) schématisé par un rectangle.

Nous en avons réalisé plusieurs versions, allant d'un brouillon fort imprécis à la main au produit final réalisé à l'échelle avec les conventions des plans techniques.

### A3.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?

De cette partie du projet nous tirons l'importance de la précision, autant dans les plans que dans tous les aspects du projet. Notre point faible au début a clairement été le manque de rigueur et de précision, dans toutes les parties du projet. Ces plans nous ont donc réellement forcés à être plus minutieux mais ont également mis en avant notre capacité de synthèse. En effet, si l'on n'avait pas fait preuve de rigueur, nous ne serions jamais arrivés aussi loin dans ce projet.





Echelle : 1/2  
 Nom: MOORE Amélie  
 Groupe 11.92  
 Date : 11/12/18  
 Au nom de  
 Constitution (A)

Plans en deux  
 dimensions d'un  
 véhicule hybride autonome  
 Tuteur: Charles-Henry  
 Bertrand

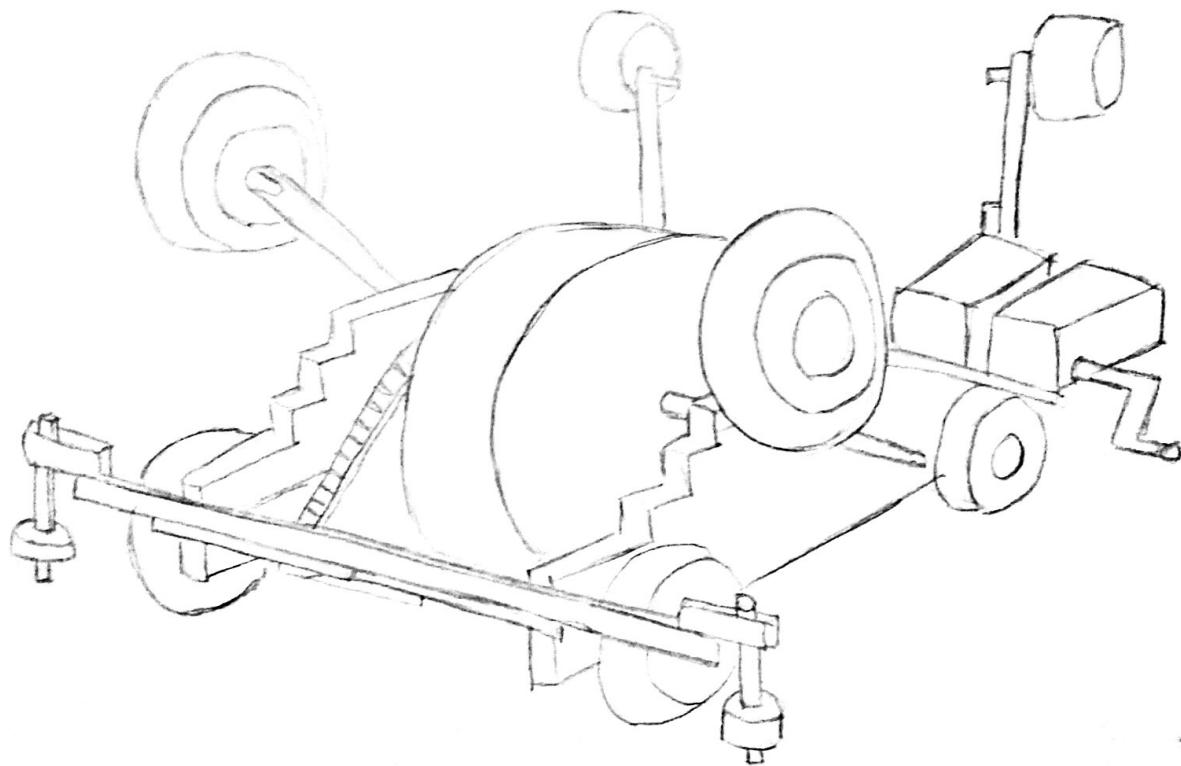
## A4 Dessin 3D du prototype (à la main)

### A4.1 Présentation

Dans l'annexe 4, il y a un dessin en 3D du prototype de notre projet, fait à la main. Le dessin est fait en perspective, avec une vue depuis l'avant gauche du véhicule. Il est plus difficile à le réaliser qu'il n'y paraît à cause de multiple forme géométrique peu banale, mais fort heureusement, puisque que le prototype est en LEGO, ça n'a pas été aussi compliqué de le dessiner. Ca nous apprends à dessiner en 3D et d'assimiler quelques petites astuces en dessin en perspective (comme par exemple le fait que les verticales restent verticales malgré la perspective). Il est intéressant de le faire parce que avoir seulement des dessins en 2D ne nous aide pas forcément à avoir une idée général de l'engin. Si on possède le dessin 3D et 2D, on a une idée des mécanismes du véhicule (pour le dessin 2D) et la forme général du véhicule (pour le dessin 3D).

### A4.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?

Le plus difficile à faire est de bien visualiser l'objet en face de nous, de pouvoir transcrire directement sur papier ce que nous voyons en réalité et de ne pas "créer/imaginer" des choses qui ne sont pas sur l'objet (exemples : un mécanisme derrière un autre mais qu'on ne le voit pas). Le plus dur aussi est de dessiner des objets qui ne sont pas géométrique (exemple : les roues de l'engin). Heureusement, dans le groupe, certaines personnes savait déjà dessiner correctement ce qui nous a facilité la tâche.



## A5 Fabrication du prototype (photos des pièces 3D, preuve de la fabrication par le groupe, ...)

### A5.1 Présentation

Les semaines d'avant on a beaucoup réfléchi à comment on allait utiliser les LEGO, pour tout assembler et si on allait avoir assez. On a commencé la fabrication du prototype le lundi soir de la semaine douze. On a commencé par faire le squelette et construire séparément les mécanismes des ressorts pour après mettre tout ensemble. Comme notre véhicule était très grand (le volant d'inertie déjà à un diamètre de dix cm) on a utilisé des pièces Lego extras que un des membres de l'équipe avait chez lui, c'est pour ça que notre voiture a beaucoup des couleurs et pièces différentes.

Pendant la réalisation on a recommencé notre prototype au moins trois fois, parce que chaque fois qu'on faisait des tests et que le prototype se cognait contre un mur ou sur la piste, il se détruisait presque complètement et on devait recommencer, c'est pour ça que après on a ajouté les 4 roues en haut pour sécuriser le prototype en cas où il se retournerait.

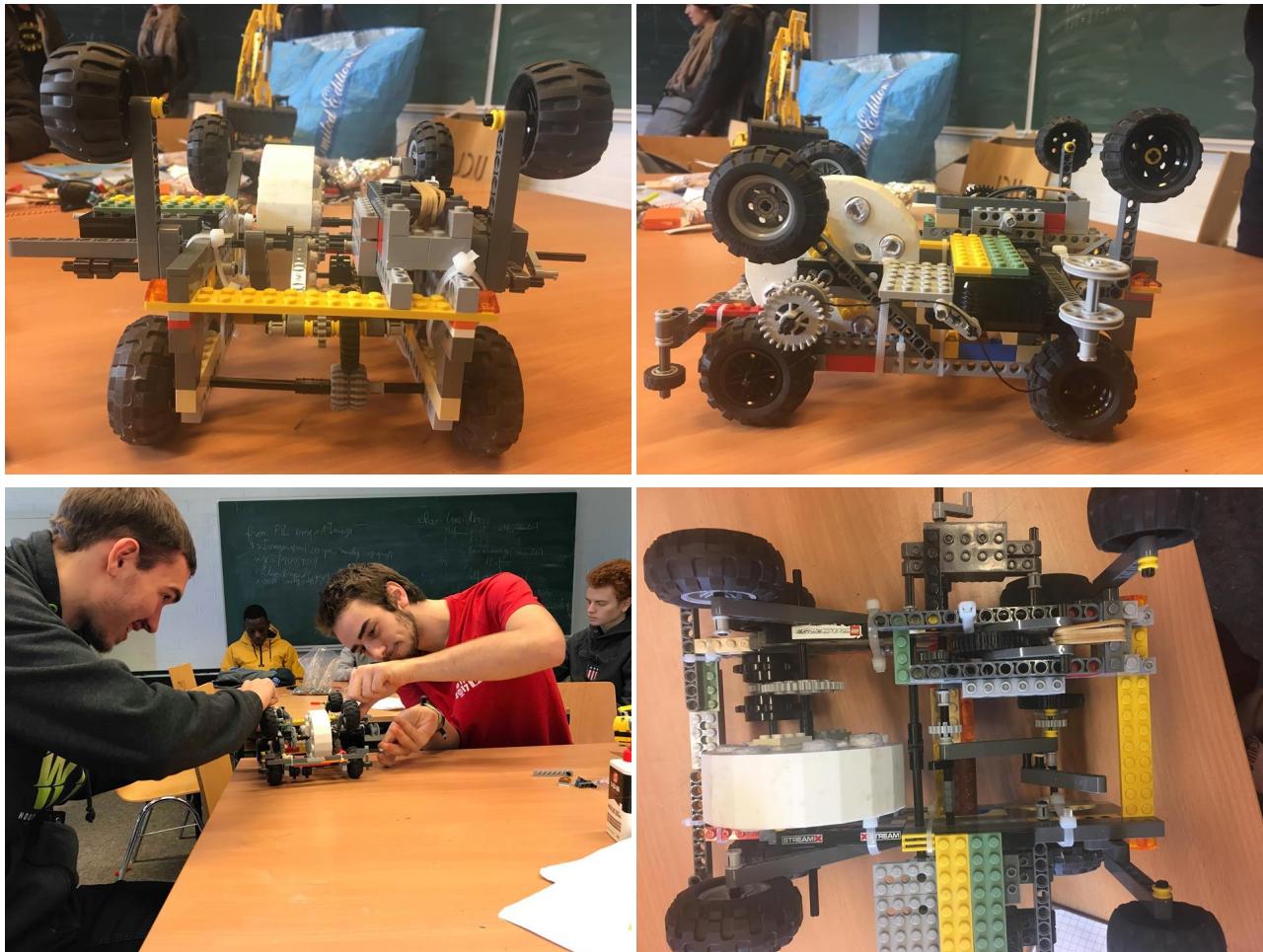
Pour la construction de la rampe, on a commencé trop tard (mercredi S12), parce qu'on a changé d'idée en dernier moment, on voulait d'abord la construire avec carton et après on s'est rendu compte que c'était trop fragile, donc on a été acheter du bois. Pour la tour de l'énergie potentielle, on a commencé avec différents Legos et après on a utilisé des boîtes parce que on avait pas assez des Legos pour atteindre la hauteur désirée.

Avec cette partie du projet on s'est rendu compte de l'importance de faire des plans et avoir les idées claires avant de commencer parce que sinon on avance pas.

## A5.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?

La fabrication de la voiture c'est le point où on peut mieux apprécier les habiletés des certaines personnes du groupe pour faire des travaux manuels, et pour celles qui n'ont pas ces habiletés de s'entraîner. On a beaucoup appris de cette dernière partie, surtout pour bien organiser notre temps, mais aussi on a appris à bien réfléchir aussi à comment se comportent les matériaux avec les différentes forces, et prévoir les cas limites qui pourraient créer des problèmes au futur.

Le point fort de notre prototype c'est qu'il fonctionnait avec toutes les énergies nécessaires, et elle était pas difficile à reconstruire, le grand problème qu'on a eu c'est qu'on a pas su bien gérer notre temps, et à cause de ça on a pas pu faire de test et régler les problèmes, peut être si on avait eu le temps d'améliorer les mécanismes, on aurait réussi le saut.



## **A6 Illustrations du mécanisme (dessins, schémas, coupes, plans) et de l'engin**

### **A6.1 Présentation**

Dans l'annexe 6, il y a 4 schémas expliquant les différents mécanismes sophistiqués : celui pour bloquer l'énergie du ressort et la délivrer au moment voulu grâce à une certaine longueur de fil, la transmission de l'énergie du ressort aux roues arrières, un autre pour le volant d'inertie relié au roue avant et enfin à la transmission de l'énergie potentielles au volant d'inertie via une tour et un fil.

Au début, nous avions prévu que l'énergie potentielle se ferait via une rampe mais on nous avait prévenu par la suite que celui-ci délivrait de l'énergie cinétique au point de départ du circuit. Nous avons alors dû changer...

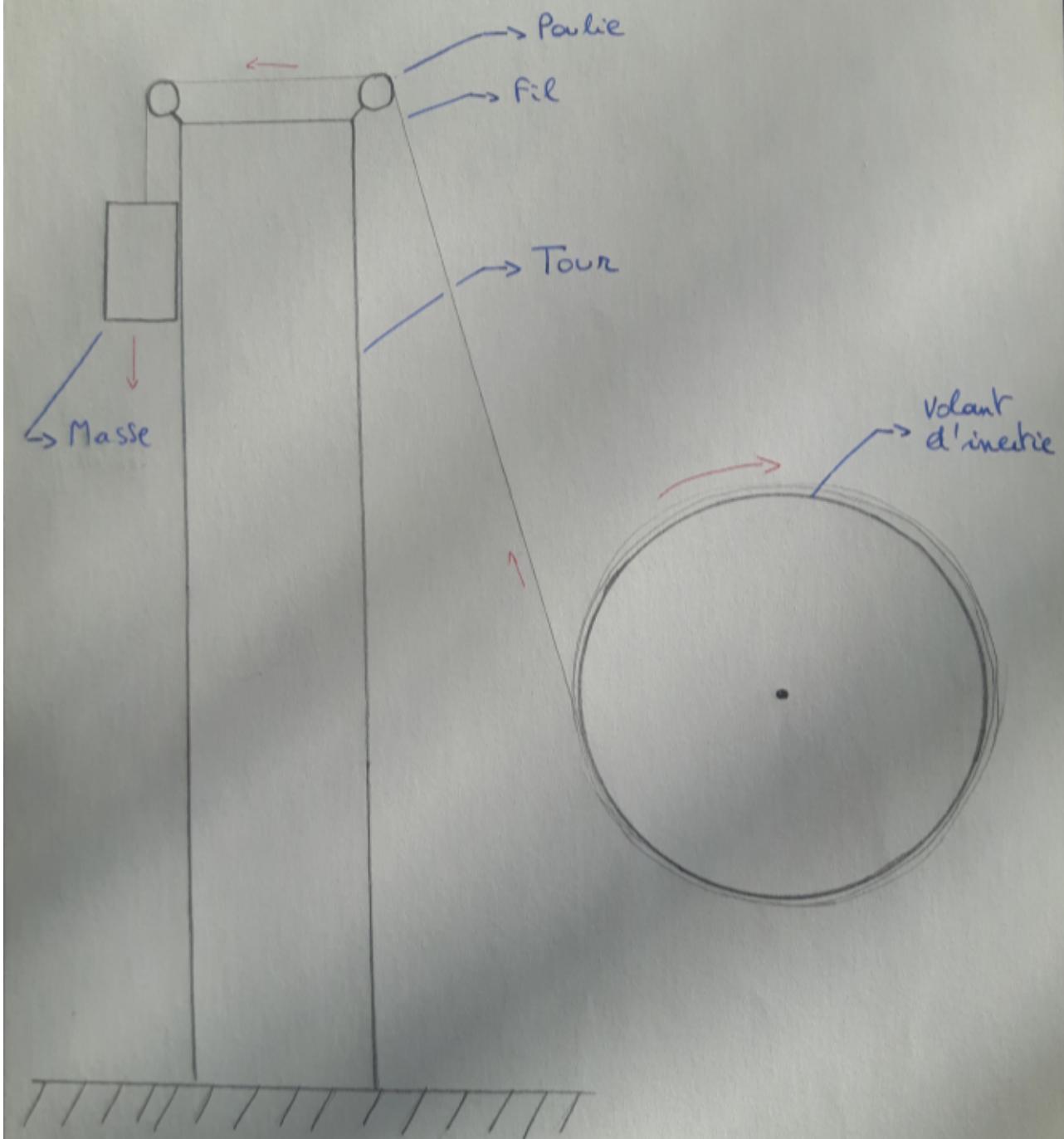
### **A6.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?**

Le plus dur était de trouver un moyen de stocker l'énergie du ressort et de la délivrer un moment donné.

Nous avons dû changer le mécanisme de transmission car l'axe vertical sautait de l'engrenage et avons des pertes d'énergies.

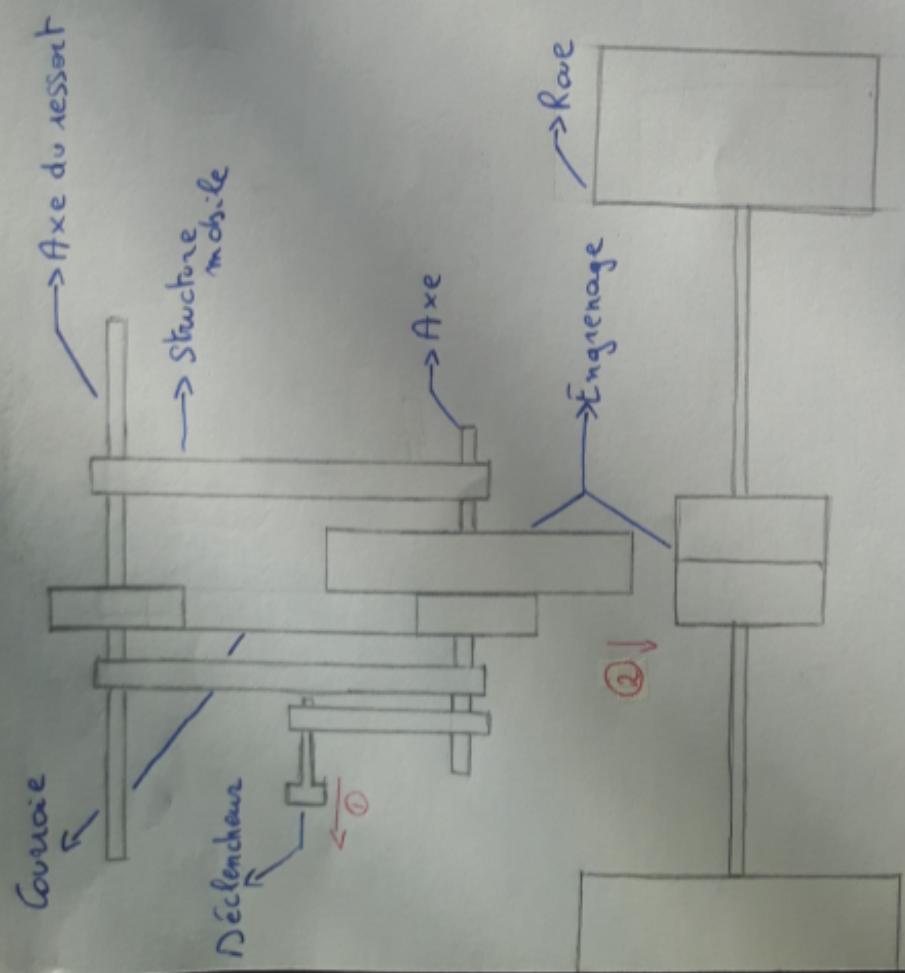
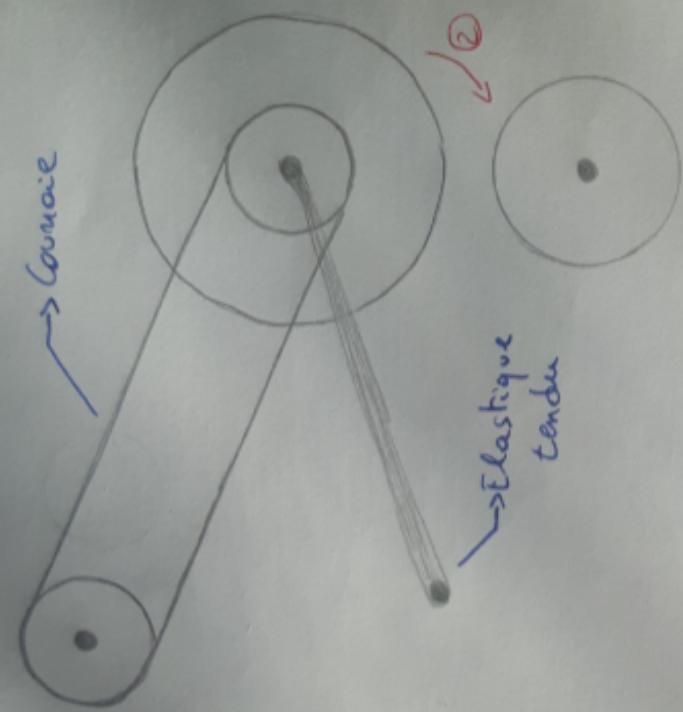
Les différents mécanismes fonctionnaient bien, un des regrets étant qu'il n'y avait pas assez d'énergie, de puissance dans les ressorts LEGO. Aussi, si nous avions pu aussi tester notre prototype beaucoup plus tôt, nous aurions pu le savoir et résoudre ce problème.

Transmission de l'énergie potentielle  
au volant d'inertie



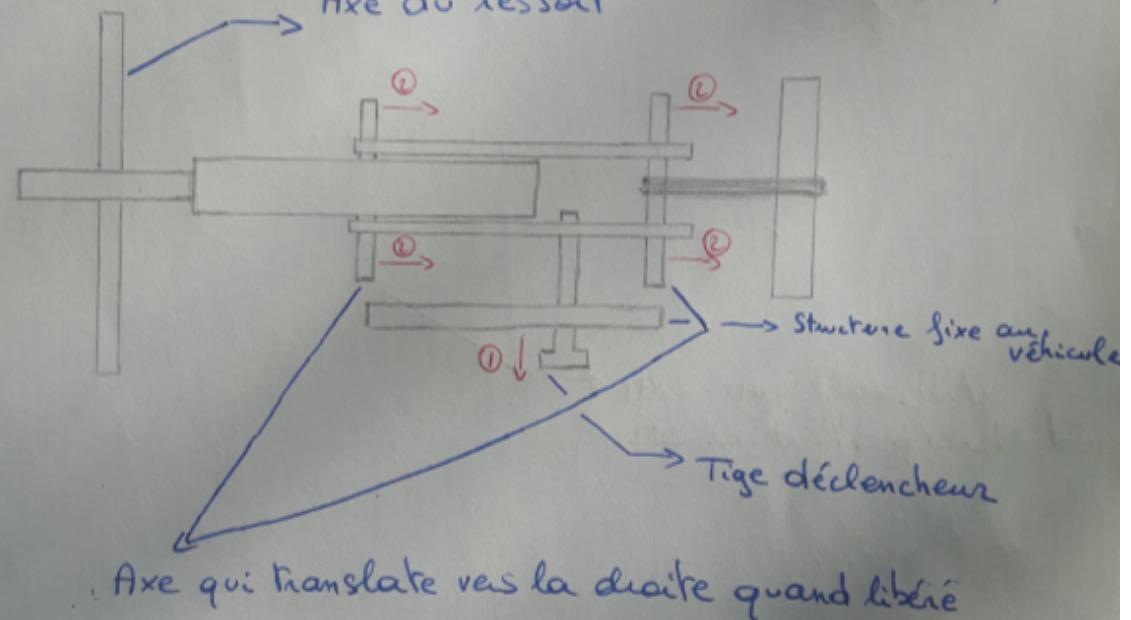
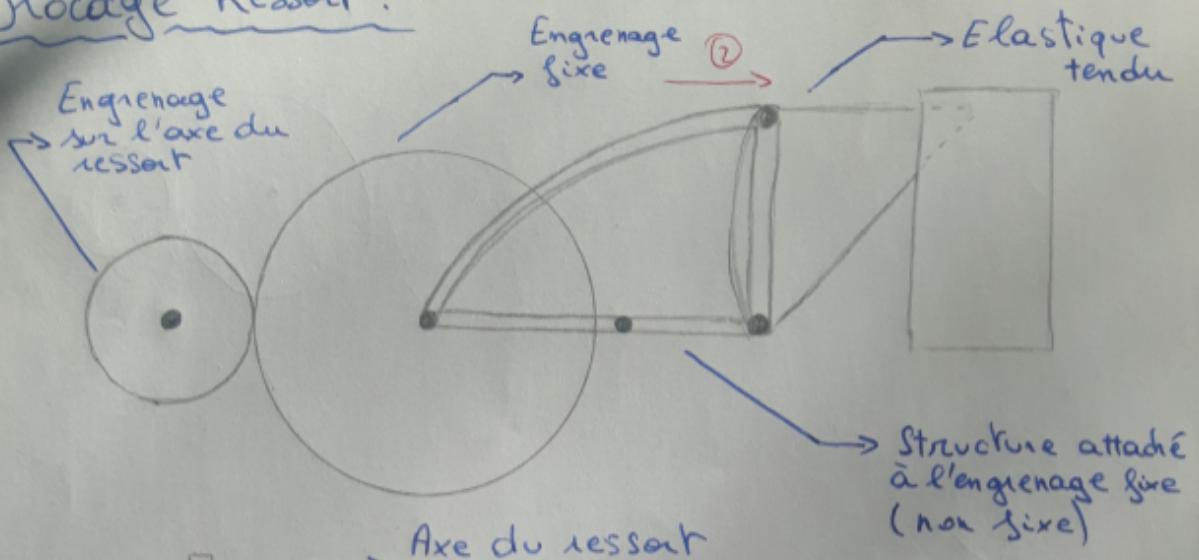
→: sens du mouvement  
quand en action

## Transmission Energie du ressort



→ : Sens du mouvement  
qd déclencheur enlevé

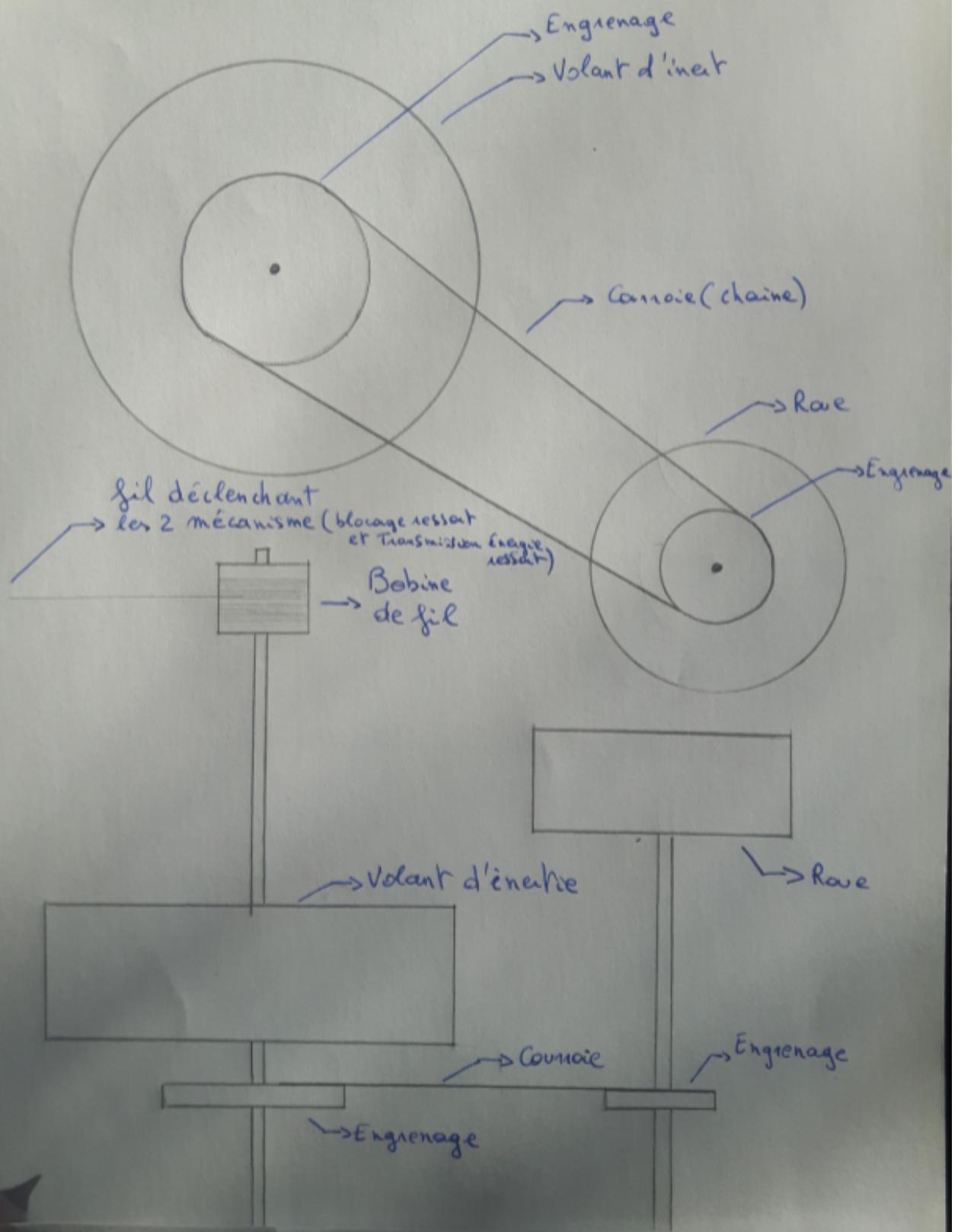
## Bloque Ressort:



→ Sens du mouvement  
qd tige déclencheur enlevé

①

## Volant d'inertie



## A7 Modèle physique (sources d'énergie, paramètres réglables, modèle de frottement)

### A7.1 Présentation

Notre engin devait utiliser et stocker quatre énergies différentes. Au fil des semaines, la mise en commun de nos idées nous a permis d'obtenir plusieurs systèmes différents pour générer des énergies (hélice, bombonnes à eau, marteau,...). Voici les mécanismes que nous avons finalement utilisés.

Énergie	Formule	Générée par
cinétique de rotation	$(I \cdot \omega^2)/2$	volant d'inertie
cinétique de translation	$(m \cdot v^2)/2$	une construction en bois penchée fixée devant le parcours
potentielle gravitationnelle	$m \cdot g \cdot h$	par un poids accroché à une ficelle. On utilise une poulie située sur une tour et la ficelle est enroulée autour du volant d'inertie
Potentielle élastique	$(k \cdot (\Delta l)^2)/2$	de trois ressorts spiraux fixés sur les côtés de la voiture

Ci-joint on peut trouver notre modélisation des énergies en fonction du parcours. Nous avons choisi des points d'intérêts afin de généraliser de manière précise notre modélisation. À chacun de ces points nous avons décrit les énergies présentes en ajoutant le frottement subit par la voiture.

Nos paramètres réglables étaient au nombre de deux :

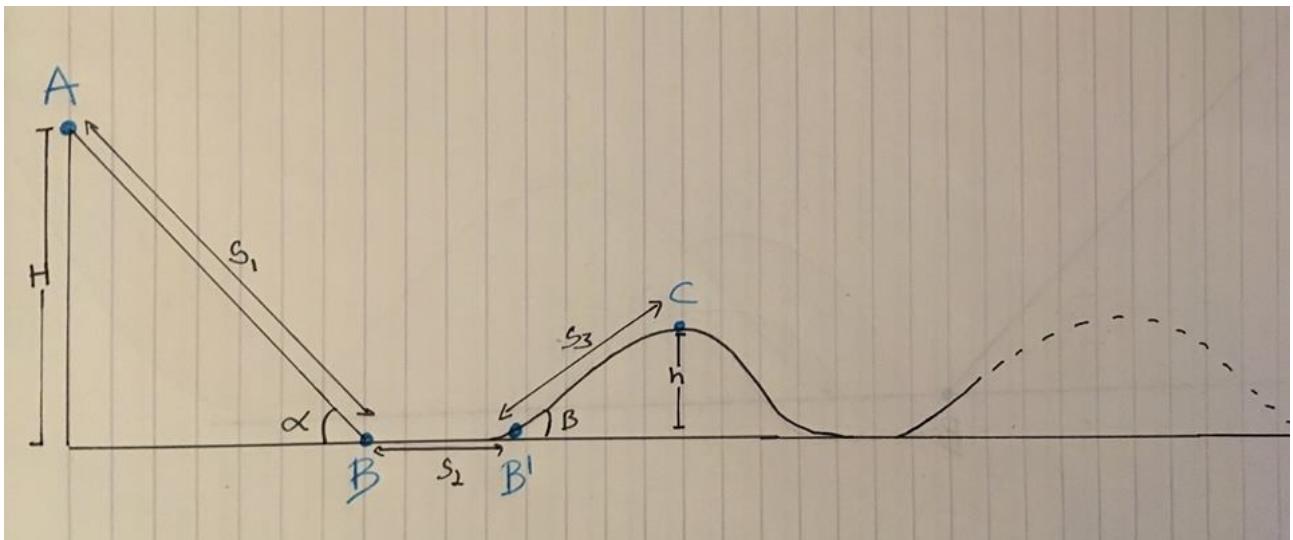
- La hauteur de la tour utilisée pour l'énergie potentielle
- Le nombre de tour pour remonter les ressorts

### A7.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?

En conclusion, une hésitation sur les sources d'énergie nous a fait perdre un temps précieux. Plusieurs idées étaient avancées par chaque membre du groupe, mais les décisions finales ont été prises très tard. De plus, certaines sources apportaient trop peu d'énergies à notre engin, comme par exemple les ressorts Lego qui ne donnait qu'une trop petite impulsion à notre engin.

Malgré ces quelques points faibles, les bonnes idées de l'équipe nous ont permis de créer des systèmes assez complexes à utiliser. Nous voulions par exemple que l'énergie élastique soit déployée à un moment bien défini au préalable, nous avons donc utilisé un système de fil au bout duquel était accroché un bloqueur qui empêchait les engrenages liés aux ressorts de tourner. Lorsque le fil s'enroule complètement autour d'un axe, le bloqueur se détache et libère toute l'énergie élastique. Ce système nous a permis d'utiliser notre programmation afin de calculer la longueur du fil nécessaire en fonction de la distance que nous avions choisie.

La relation entre la modélisation des énergies et le cours de physique est évidente et appliquer des théorèmes, des formules vues en cours dans un vrai projet, cela permet de rendre les études d'ingénieur concrètes. En outre, le cours d'informatique a aussi été mis en application en utilisant la modélisation des énergies pour notre programme de simulation.



#### LEGENDE

$I$ = moment d'inertie

$\omega$ = vitesse angulaire [rad/s]

$m$ = masse de l'engin (volant et poids extra compris) [kg]

$h$ = hauteur de pente [m]

$k$ = constant d'élasticité (dépend du ressort)

$\Delta l$ = distance parcourue par le ressort [m]

$\mu_k$ = constante de frottement

$s$ = distance parcourue [m]

$\alpha$ = angle de la pente [degrés]

- Point A :  $E_{tot} + W_{other} = E_{final}$        $E_{final1} = m * g * h$
- Point B :  $E_{tot} + W_{other} = E_{final}$        $E_{final2} = 1 * W^2 / 2 + m * V^2 / 2 + m * \mu * \cos\alpha * s_1$
- Point B' :  $E_{final2} = E_{final2} + \mu_k * N * s_2 + k\delta l^2 / 2$
- Point C :  $E_{final4} = E_{final2} + m * g * h + \mu_k * N * \cos\beta * s_2$

## A8 Simulation (programme, résultats, graphiques)

### A8.1 Présentation

La simulation informatique a été développée sur l'espace de 4 semaines. La première semaine nous avons développé tout d'abord la trajectoire du véhicule sur le circuit. C'est-à-dire une fonction qui donne la position en y (distance verticale par rapport au sol sur lequel le circuit est posé et la distance parcourue totale jusqu'à là nommé l en fonction de x. Nous avons fait des fonctions qui dépendent de x et non de l comme dans la simulation du robot car cela était beaucoup plus simple de traiter des fonctions y(x) qui avaient des graphes qui traçait la même trajectoire que le véhicule sur le circuit contrairement à une fonction y(l) ou x(l) qui n'aurait pas du tout été intuitive.

Ensuite la deuxième semaine, nous nous sommes inspiré de la modélisation des énergies pour développer la suite du programme qui nous donne pour chaque point calculé la valeur de chacune des énergies qui ont un effet sur l'énergie totale du véhicule. Bien que l'ensemble du programme fut rempli de variables pouvant être rapidement modifiées c'est dans le calcul des énergies en chaque point que sont les variables les plus importantes (l'énergie du ressort spirale et l'énergie qu'apportera la tour au début du parcours) que j'appellerai énergie supplémentaire durant cet annexe. Cette deuxième partie a donc comme but final de nous donner l'énergie cinétique à la fin du parcours (et donc la vitesse) en fonction de l'énergie supplémentaire (puisque cette énergie supplémentaire sera la seule modification possible pour obtenir des sauts de distances différentes).

Par la suite, la troisième semaine nous sommes passés à la simulation du saut qui prenait en entrée la vitesse en x et la vitesse en y à la fin du parcours et rend la distance horizontale parcourue avant de toucher le sol. Pour cette partie nous avons utilisé des équations différentielles par soucis de précision car des sommes de Riemann ne nous paraissaient pas suffisamment précises. Nous avons donc résolu l'équation différentielle d'un tir balistique. Nous nous sommes permis de prendre une force proportionnelle à la vitesse et non à la vitesse au carré et donc considérer le frottement de l'air comme un frottement visqueux car notre véhicule reste sous la barre des 5m/s. Pour trouver ce coefficient de friction, nous avons fait des expériences, nous avons fait plusieurs sauts et approximer ce coefficient.

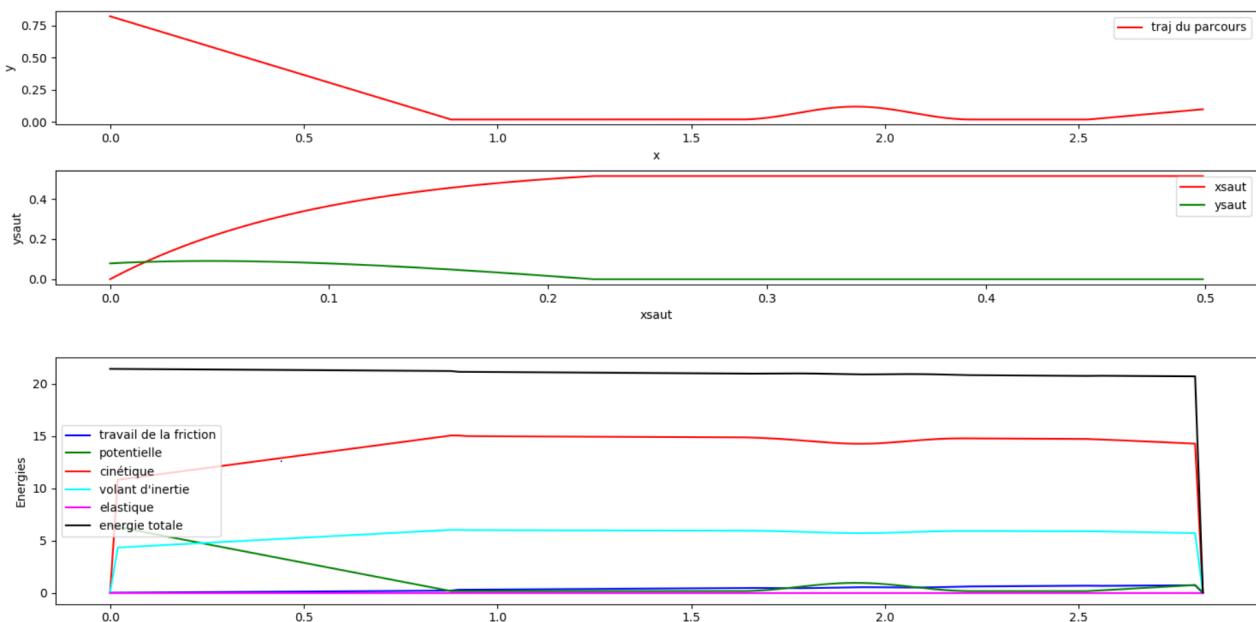
Et finalement la quatrième semaine, en plus du premier programme qui pour une énergie supplémentaire va donner les vitesses initiales (horizontale et verticale) à la fin du parcours et pour celles-ci on recevra une distance horizontale parcourue de saut. Pour une énergie supplémentaire le programme nous rend la distance du saut et les graphes de chacune des fonctions. Mais le jour du concours on nous donnera une distance à parcourir et il faudra trouver l'énergie supplémentaire à prendre pour être le plus proche possible de la distance demandé. Un deuxième programme va rechercher cette énergie supplémentaire par recherche dichotomique avec une précision d'un dixième de joules.

## A8.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?

Les points forts de notre programme sont les équations différentielles pour décrire la trajectoire du saut, un programme capable de trouver l'énergie supplémentaire a apporté pour une distance de saut demandée par recherche dichotomique avec une précision d'un dixième de Joules.

Les points faibles sont deux programmes distincts et pas un seul programme qui fait les graphes et qui trouve les énergies supplémentaires.

Les difficultés rencontrées ont été rencontrées sur les équations différentielles sur lesquels nous avons pris beaucoup de temps ainsi que le deuxième programme qui a pris beaucoup de temps à être débuguer.



# 1<sup>ER</sup> PROGRAMME

```

import math as m
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

'''constante : m = masse
g = 9.81
k = élasticité
mu = coefficient de friction
N = normale

E_tot = mv^2/2 + mgh + kx^2/2 + Iw^2/2
E_tot(d) = mv^2/2(d) + mgh(d) + kx^2/2(d) - mu*cos(alpha)*mg*d'''

"Ces 3 valeurs peuvent etre changees au dernier moment"
"longueur du saut"
L= 0.3
"hauteur de la bosse"
hboss= 0.1
"hauteur de la pente ajoutée"
hpente= 0.8
hpiste= 0.88
"Angle du tremplin 10<ALPHA<20"
alphatremplin=15
"Energie supp au debut"
energie_supp= 15

"Ce sont les longueurs qui ne peuvent pas etre modifiees le jour du jury"
hpiste=0.02

d1=lpente
d2=0.744
d3=0.600
d4=0.300

diago_de_tremplin= 0.305
htremplin= m.sin( np.deg2rad(alphatremplin) ) * diago_de_tremplin
d5= m.cos( np.deg2rad(alphatremplin) ) * diago_de_tremplin

print(d5,htremplin)

"Variables pour énergies"
masse = 0.8
mu=0.03
k=0
dressort=0
kdefrot=0.3
couple= (0.8)**(1/2)
mv0=0.2
Rroue=0.5
Rvol=1
rapport= couple**2 * (mv0*Rvol) / (masse*Rroue)      # rapport entre energie

step = 0.02 # pas de simulation [m]
end = d1+d2+d3+d4+d5 + step

x = np.arange(0, end, step)           # distance parcourue [m]
l = np.zeros(len(x))                 # position x [m]
y[0]= hpente + hpiste
l[0]=0
x[0]=0

f = np.zeros(len(x))
p = np.zeros(len(x))
ctot = np.zeros(len(x))
c = np.zeros(len(x))
eval = np.zeros(len(x))
elas = np.zeros(len(x))
F = np.zeros(len(x))
vx = np.zeros(len(x))
vy = np.zeros(len(x))

f[0]=0
p[0]=masse*9.81* (hpente + hpiste)
ctot[0]=0
c[0]=0
eval[0]=0
elas[0]=0
F[0]= p[0] + energie_supp

def pentel(x,y,l,lpente,hpente,hpiste,hpiste,step):
    y[1] = -(hpente/lpente)*x[1] + hpente + hpiste
    l[1] = l[0]-1 + m.sqrt((x[1]-x[0])**2+(y[1]-y[0])**2)
    return (y[1],l[1])

def plat(y,i,l,step,hpiste):
    y[i] = hpiste
    l[i] = l[i-1] + step
    return (y[i],l[i])

def bosse(x,y,l,debut,hboss,hbosse,hpiste,step):
    y[1] = (hbosse/2) * (m.cos( (2*m.pi)*(x[1]-debut+hboss/2) ) /d3) + 1 + hpiste
    l[1] = l[0]-1 + m.sqrt((x[1]-x[0])**2+(y[1]-y[0])**2)
    return (y[1],l[1])

def tremplin(x,y,l,debut,htremplin,htremplin):
    y[1] = (htremplin/m.tremplin)*(x[1]-debut) + hpiste
    l[1] = l[0]-1 + m.sqrt((x[1]-x[0])**2+(y[1]-y[0])**2)
    return (y[1],l[1])

for i in range(len(x)):
    if 0 < x[i] < d1:
        y[i] = pentel(x,y,l,lpente,hpente,hpiste)[0]
        l[i] = pentel(x,y,l,lpente,hpente,hpiste)[1]
    if d1 <= x[i] < d1+d2:
        y[i] = plat(y,i,l,step,hpiste)[0]
        l[i] = plat(y,i,l,step,hpiste)[1]
    if d1+d2 <= x[i] < d1+d2+d3:
        debut= d1+d2
        y[i]= bosse(x,y,l,i,debut,d3,hbosse,hpiste,step)[0]
        l[i]= bosse(x,y,l,i,debut,d3,hbosse,hpiste,step)[1]
    if d1+d2+d3 <= x[i] < d1+d2+d3+d4:
        debut= d1+d2+d3
        y[i]= plat(y,i,l,i,step,hpiste)[0]
        l[i]= plat(y,i,l,i,step,hpiste)[1]
    if d1+d2+d3+d4 <= x[i] < d1+d2+d3+d4+d5+step:
        debut= d4+d3+d2+d1
        y[i] = tremplin(x,y,l,i,debut,d5,htremplin)[0]
        l[i] = tremplin(x,y,l,i,debut,d5,htremplin)[1]

print("x= ", x[101]," \ny= ", y[101],"\n l= ", l[101])

"""
*** LES ENERGIES ***
"""

def alpha(x,y,i):
    return m.atan( (y[i]-y[i-1]) / (x[i]-x[i-1]) )

def fric(f,x,y,l,i,mu,masse):
    f[i]= mu * m.cos(alpha(x,y,i))*masse*9.81 * ((i))
    return f[i]

def pot(p,y,i,masse):
    p[i]= masse*9.81*y[i]
    return p[i]

def elast(elas,x,y,l,i,k,dressort):
    elas[i] = k* (dressort**2)/2
    return elas[i]

def potint(petitpoids,h):
    potint= petitpoids*h**9.81
    return potint

def cintot(ctot,x,y,l,i):
    ctot[i] = E[i-1] - (p[i] + elas[i])
    return ctot[i]

def cint(c,ctot,x,y,l,i,rapport):
    if x[i] < d1+d2+d3+d4+d5:
        c[i]= ctot[i] / (1 + rapport)
    else:
        c[i]= ( vx[i]**2 + vy[i]**2 ) *masse/2
    return c[i]

def unifcont = u = l / rapport)-

def vol(evol,x,y,l,i,rapport):
    evol[i]= c[i] * rapport
    return evol[i]      RA REVOIR

def etot(F,x,y,l,f,p,c,elas,evol):
    if x[i] < d1+d2+d3+d4+d5:
        F[i]= p[i] + ctot[i] + elas[i] - (f[i]-f[i-1])
    else:
        F[i]= p[i] + c[i] - frotx[i]- frotv[i]
    return F[i]

def long(x,y,l,i):
    i[i]= m.sqrt( (x[i]-x[i-1])**2 + (y[i]-y[i-1])**2 )
    return l[i]

def vita(ongle,i,c):
    v= (c[i]**2/masse)**(1/2)
    vx[i]= ( m.cos(ongle) * v )
    return vx[i]

def vity(ongle,i,c):
    v= (c[i]**2/masse)**(1/2)
    vy[i]= ( m.sin(ongle) * v )
    return vy[i]

for i in range(len(x)):
    if 0 < x[i] < d1+d2+d3+d4+d5:
        f[i]= fric(f,x,y,l,i,mu,masse)
        p[i]= pot(p,y,i,masse)
        elas[i]= elast(elas,x,y,l,i,k,dressort)
        ctot[i]= cintot(ctot,x,y,l,i)
        c[i]= cint(c,ctot,x,y,l,i,rapport)
        evol[i]= vol(evol,x,y,l,i,rapport)
        F[i]= etot(F,x,y,l,f,p,c,elas,evol)
        vx[i]= vita(ongle,x,y,l,i)
        vy[i]= vity(ongle,x,y,l,i)

    step= 0.001
    max= 0.5
    tsaut = np.arange(0, max, step)
    xsaut = np.zeros(len(tsaut))
    ysaut = np.zeros(len(tsaut))
    ysaut[0]= y[0]
    tsaut[0]= 0
    xsaut[0]= 0
    print("\n\nx0=",vx[0],"vy0=",vy[0],"x0=",x[0],"y0=",y[0])

```

```

def saut(t):
    g= 9.81
    D= 8.8010
    t= taut[0]
    Col = -(vx0*masse)/D
    Col2 = - Col
    Col2 = -(vy0 * masse)/ D
    Col2 = y0 - Col2

    xsaut[i] = ( Col* m.exp((-D)*t/masse) + Col2 )
    ysaut[i] = ( Col2*m.exp(-D*t/masse) - masse*g*t/D )

for i in range(1,len(taut)):
    saut()
    if ysaut[i] < 0:
        break

for i in range(1,len(taut)):
    if xsaut[i] == 0:
        xsaut[i]=xsaut[i-1]

ysaut[0]= y0
print("longueur du saut = ",xsaut[-1])

plt.subplot(411) # grille 4x1, 1er graphique
plt.plot(x, y,"red", label="traj du parcours")
plt.xlabel("x")
plt.ylabel("y")
plt.legend()

'''plt.subplot(411) # grille 4x1, 1er graphique
plt.plot(xsaut, ysaut,"green", label="traj du saut")
plt.xlabel("xsaut")
plt.ylabel("ysaut")
plt.legend()'''

plt.subplot(412) # grille 2x1, 2e graphique
plt.plot(taut, xsaut, 'red', label="xsaut")
plt.plot(taut, ysaut, 'green', label="ysaut")
plt.xlabel("taut")
plt.ylabel("ysaut")
plt.legend()

plt.subplot(212) # grille 4x1, 2e graphique
plt.plot(x, f, "blue",label="travail de la friction")
plt.plot(x, P, "green",label="potentielle")
plt.plot(x, c, "red",label="cinétique")
plt.plot(x, evol, "cyan",label="volant d'inertie")
plt.plot(x, elas, "magenta",label="élastique")
plt.plot(x, E, "black",label="énergie totale")
plt.xlabel("taut")
plt.ylabel("energies")
plt.legend()
#help(plt.plot)
plt.show()

2EME PROGRAMME

import math as m
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

'''constante :
    m = masse
    g = 9.81
    k = elsticité
    mu = coefficient de friction
    N = normale

E_tot = mv^2/2 + mgh + kx^2/2 + Iw^2/2
E_tot(d) = mv^2/2(d) + mgh(d) + kx^2/2 + Iw^2/2(d) - mu*cos(alpha)*mg*d''''

"Ces 3 valeurs peuvent etre changées au dernier moment"
"longueur du saut"
L= 0.3
"hauteur de la bosse"
Hbosse= 0.1
"hauteur de la pente ajoutée"
hpente= 0.8
lpente= 0.88
"Angle du tremplin 10<ALPHA<20"
alphatremplin=25
"Energie supp au debut"

"Ce sont les longueurs qui ne peuvent pas etre modifiées le jour du jury"
hpiste=0.02

d1=lpente
d2=0.744
d3=0.606
d4=0.300

diago_de_tremplin= 0.305
htremplin= m.sin( np.deg2rad(alphatremplin) ) * diago_de_tremplin
d5= m.cos( np.deg2rad(alphatremplin) ) * diago_de_tremplin

"Variables pour énergies"
masse = 0.8
mu=0.03
k=0
dressort=0
couple=(0.8)**(1/2)
mv0=0.2
Rroue=0.5
Rvol=1
rapport= couple**2 * (mv0*Rvol) / (masse*Rroue) # rapport entre cr

step = 0.01 # pas de simulation [s]
end = d1+d2+d3+d4+d5 + step

x = np.arange(0, end, step) # distance parcourue [s]
l = np.zeros(len(x))
y = np.zeros(len(x))
y[0]= hpiste + hliste
l[0]=0
x[0]=0

def pentel(x,y,i,lpente,hpente,hliste):
    y[i] = -(hpente/lpente)*x[i] + hpente + hliste
    l[i] = l[i-1] + m.sqrt((x[i]-x[i-1])**2+(y[i]-y[i-1])**2)
    return (y[i],l[i])

def plat(y,i,i,step,hliste):
    y[i] = hliste
    l[i] = l[i-1] + step
    return (y[i],l[i])

def bosse(x,y,i,f,debut,l,bosse,hliste,step):
    y[i] = (bosse/2) * (m.cos( (2*m.pi)*(x[i]-debut)/(bosse/2) ) /d3 ) + hliste
    l[i] = l[i-1] + m.sqrt((x[i]-x[i-1])**2+(y[i]-y[i-1])**2)
    return (y[i],l[i])

def tremplin(x,y,i,f,debut,l,tremplin,hliste):
    y[i] = (tremplin/(tremplin)*(x[i]-debut)) + hliste
    l[i] = l[i-1] + m.sqrt((x[i]-x[i-1])**2+(y[i]-y[i-1])**2)
    return (y[i],l[i])

for i in range(len(x)):
    if 0 < x[i] < d1:
        y[i] = pentel(x,y,i,lpente,hliste)[0]
        l[i] = pentel(x,y,i,lpente,hliste)[1]
    if d1 <= x[i] < d1+d2:
        y[i] = plat(y,i,i,step,hliste)[0]
        l[i] = plat(y,i,i,step,hliste)[1]
    if d1+d2 <= x[i] < d1+d2+d3:
        debut = d1+d2
        y[i]= bosse(x,y,i,1,debut,d3,hliste,step)[0]
        l[i]= bosse(x,y,i,1,debut,d3,hliste,step)[1]
    if d1+d2+d3 <= x[i] < d1+d2+d3+d4:
        y[i] = plat(y,i,i,step,hliste)[0]
        l[i] = plat(y,i,i,step,hliste)[1]
    if d1+d2+d3+d4 <= x[i] <= d1+d2+d3+d4+d5+step:
        debut = d1+d2+d3+d4
        y[i] = tremplin(x,y,i,1,debut,d5,hliste)[0]
        l[i] = tremplin(x,y,i,1,debut,d5,hliste)[1]

"""

LES ENERGIES

def alpha(x,y,i):
    return m.atan( (y[i]-y[i-1]) / (x[i]-x[i-1]) )

def fric(f,x,y,i,i,mu,masse):
    f[i]= mu * m.cos(alpha(x,y,i)) *masse*9.81 * (l[i])
    return f[i]

def pot(p,y,i,masse):
    p[i]= 0.5*masse*(y[i]**2)

def pot(p,y,f,masse):
    p[i]= masse*9.81*y[i]
    return p[i]

def elast(elas,x,y,i,i,R,dressort):
    elas[i] = R* (dressort**2)/2
    return elas[i]

def potint(petitpoids,h):
    potint= petitpoids*h*9.81
    return potint

def cintot(ctot,x,y,i,i,E,p,elas):
    ctot[i] = E[i-1] + (p[i] + elas[i])
    return ctot[i]

def cin(c,ctot,x,y,i,i,rapport):
    if x[i] < d1+d2+d3+d4+d5:
        c[i]= ctot[i] / (1 + rapport)
    else:
        c[i] = ( vx[i]**2 + vy[i]**2 ) *masse/2
    return c[i]

def vol(evol,x,y,i,i,c,rapport):
    evol[i]= c[i] * rapport
    return evol[i]

def etot(E,i,x,y,i,f,p,elas,ctot):
    if x[i] < d1+d2+d3+d4+d5:
        E[i]= p[i] + ctot[i] + elas[i] - (f[i]-f[i-1])
    return E[i]

def long(x,y,i,i):
    l[i]= m.sqrt( (x[i]-x[i-1])**2 + (y[i]-y[i-1])**2 )
    return l[i]

def vitx(angle,i,c,vx):
    vx = ((i)**2*masse)**(1/2)
    vx[i]= ( m.cos(angle) * v )
    return vx[i]

def vity(angle,i,c,vy):
    vy = ((i)**2*masse)**(1/2)
    vy[i]= ( m.sin(angle) * v )
    return vy[i]

def energie_parcours(energie_supp,x,y,l):
    f = np.zeros(len(x))
    p = np.zeros(len(x))
    ctot = np.zeros(len(x))
    c = np.zeros(len(x))
    evol = np.zeros(len(x))
    elas = np.zeros(len(x))
    E = np.zeros(len(x))
    vx = np.zeros(len(x))
    vy = np.zeros(len(x))
    f[0]=0
    nfb=masse*9.81*(hpiste + hliste)

```

```

f[0]=0
p[0]=masse*9.81* (hpente + hpiste)
ctot[0]=0
c[0]=0
evol[0]=0
elass[0]=0
E[0]= p[0] + energie_supp

for i in range(len(x)):
    if 0 < x[i] < d1+d2+d3+d4+d5:
        f[i]= fric(f,x,y,L,i,mu,masse)
        p[i]= pot(p,y,i,masse)
        elas[i]= elast(elas,x,y,L,i,k,dressort) # Circuit
        ctot[i]= cintot(ctot,x,y,i,i,f,p,elas)
        c[i]= cin(c,ctot,x,y,i,i,rapport)
        evol[i]= vol(evol,x,y,i,i,c,rapport)
        E[i]= etot(E,i,x,y,L,f,p,elas,cttot)
        vx[i]= vix(alpha(x,y,i),i,c,vx)
        vy[i]= vity(alpha(x,y,i),i,c,vy)

vx0= vx[-2]
vy0= vy[-2]
return vx0,vy0

"""
LE SAUT
"""

def saut(i,tsaut,xsaut,ysaut,y0,vx0,vy0):
    g= 9.81
    D= 8. sou 10
    t= tsaut[i]
    C01 = -(vx0*masse)/D
    C02 = - C01
    Cb1 = -(vy0 * masse)/ D
    Cb2 = y0 - Cb1

    xsaut[i]= ( C01* m.exp((-D)*t/masse) + C02 )
    ysaut[i]= ( Cb2 + Cb1*m.exp(-D*t/masse) - masse*g*t/D )
    return xsaut[i],ysaut[i]

def saut_plané(vx0,vy0,hremplin):
    y0= hremplin
    x0= 0

    step= 0.001
    max= 1
    tsaut = np.arange(0, max, step)
    xsaut = np.zeros(len(tsaut))
    ysaut = np.zeros(len(tsaut))
    ysaut[0]= y0
    tsaut[0]= 0
    xsaut[0]= 0

    print("vx0=",vx0,"vy0=",vy0,"x0=",x0,"y0=",y0)

    for i in range(1,len(tsaut)):
        xsaut[i]= saut(i,tsaut,xsaut,ysaut,y0,vx0,vy0)[0]
        print("vx0=",vx0,"vy0=",vy0,"x0=",x0,"y0=",y0)

    while a < b :
        if test_energie(energies[m],x,y,i) == L :
            return m/precision
        elif test_energie(energies[m],x,y,i) > L :
            a = m+1
        else :
            a = m+1
        m = (a+b)//2
    return m/precision

def TOUT(L,x,y,i):
    energie_supp= recherche_dichotomique(L,x,y,i)
    print("energie_sup= ",energie_supp,"distance de saut= ",test_energie(energie_supp,x,y,i))

def plot():

    plt.subplot(411) # grille 4x1, 1er graphique
    plt.plot(x, y,"red", label="traj du parcours")
    plt.xlabel("x")
    plt.ylabel("y")
    plt.legend()

    plt.subplot(411) # grille 4x1, 1er graphique
    plt.plot(xsaut, ysaut,"green", label="traj du saut")
    plt.xlabel("xsaut")
    plt.ylabel("ysaut")
    plt.legend()

    plt.subplot(412) # grille 4x1, 2e graphique
    plt.plot(x, f, "blue",label="travail de la friction")
    plt.plot(x, p, "green",label="potentielle")
    plt.plot(x, c, "red",label="cinétique")
    plt.plot(x, evol, "cyan",label="volant d'inertie")
    plt.plot(x, elas, "magenta",label="élastique")

    plt.plot(x, E, "black",label="énergie totale")
    plt.ylabel("Énergies")
    plt.legend()

    plt.show()

TOUT(0.5,x,y,i)

```

## **A9 Eléments relatifs au prototype pour le concours**

### **A9.1 Présentation**

Le contenu de l'annexe 9 est un descriptif complet sur la construction du prototype et les différentes réflexions sur les mécanismes de l'engin. Il décrit les différents mécanismes et leur fonctionnement. Il sera bien entendu appuyé par des photos et des schémas. L'engin n'a été construit que très tardivement car nous devions tester les différents mécanismes un par un pour voir s'il fonctionnait bien pour ne pas devoir démonter/remonter le véhicule à chaque fois. Dans cette annexe, nous avons omis de dire que nous n'avons pas mis les roulements à billes sur l'axe du volant d'inertie car mal fixé et trop lourd. Notre véhicule pesait déjà 710gr.

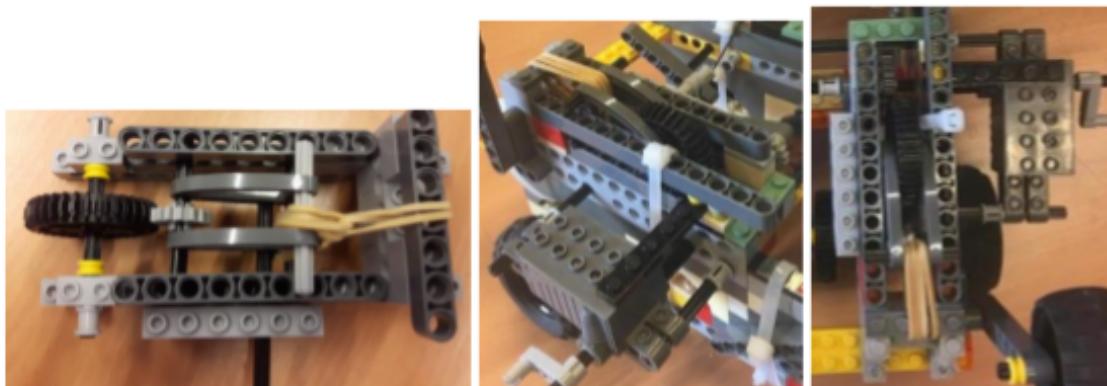
### **A9.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?**

Pour conclure, comme présenté dans l'annexe, nos points forts étaient de développer les différents mécanismes et qu'ils fonctionnaient bien. Malheureusement, nous n'avions pas assez d'énergie pour passer le tremplin lors du concours. Pour nous améliorer, nous aurions dû développer et construire l'engin plus tôt afin de déterminer plus tôt les différents problèmes et les résoudre plus tôt (par exemple, la faible puissance des ressorts LEGO) et de peut-être ajouter d'autre forme d'énergie afin de palier aux problèmes (comme un pendule après la bosse et que nous pouvions changer de poids selon les besoins).

## Eléments relatifs au prototype pour le concours

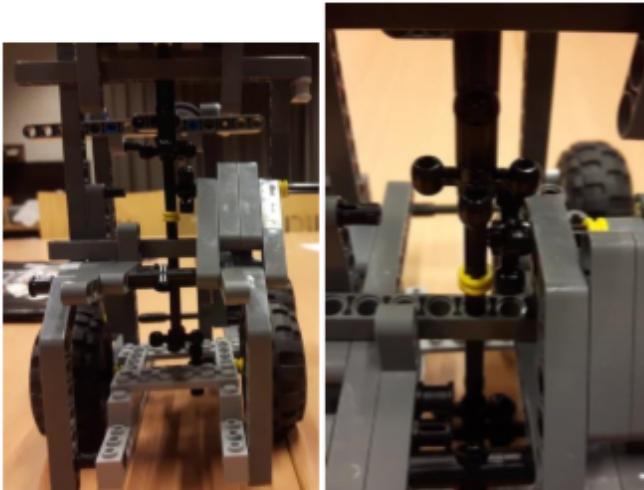
Pour la construction du prototype, nous avons reçu une boîte contenant des LEGO Technic. En plus de cette boîte, nous avons amené des LEGO de chez nous et quelques élastiques. Avant de construire le véhicule en entier, nous avons construit les différents mécanismes séparément afin de les tester s'il fonctionnait bien.

D'abord le mécanisme de stockage de l'énergie du ressort qui consiste simplement à bloquer l'axe relié au ressort par deux engrenages l'un sur l'axe du ressort (donc qui tourne avec l'axe) et l'autre, fixe, qui bloquera le ressort mobile et est attaché à une structure qui translatera quand activé et qui se détachera les deux engrenages l'un de l'autre et ne puisse pas revenir (dû aux pentes) grâce à un élastique tendu qui le maintiendra hors portée de l'engrenage mobile.

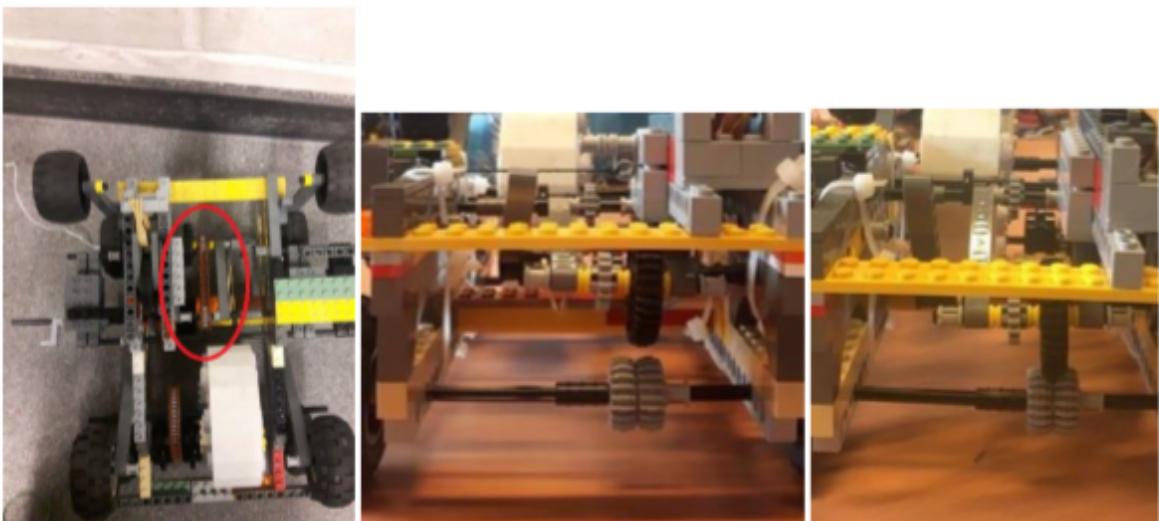


Le second mécanisme, plus compliqué à trouver, était de transmettre l'énergie du ressort au roues arrière. En effet, s'il était directement relié aux roues, ils seraient bloqués au départ du circuit à cause du système de blocage du premier mécanisme décrit ci-dessus. Nous avons donc dû réfléchir à un système, pas relié au début et qui, quand il faut délivrer l'énergie du ressort, puisse être relié aux roues.

Un premier mécanisme a été construit mais avons dû le changer une semaine avant le concours car le système était peu efficace (axe vertical qui sautait si trop grande vitesse de l'engin, axe qui se tordait, ...).

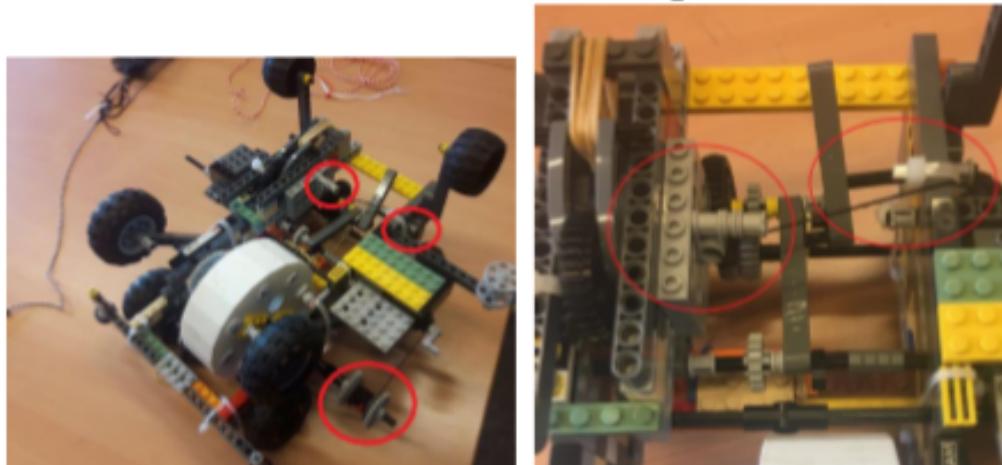


Du coup, nous avons réfléchi à une autre solution : de détacher/soulever l'engrenage qui reliait tous les systèmes pour l'énergie du ressort à l'engrenage relié aux roues. Quand activé, le système tombe sur l'engrenage des roues et est maintenu grâce à un élastique afin qu'il ne saute pas quand il y a trop de puissance brusque des ressort ou à la vitesse de l'engin.

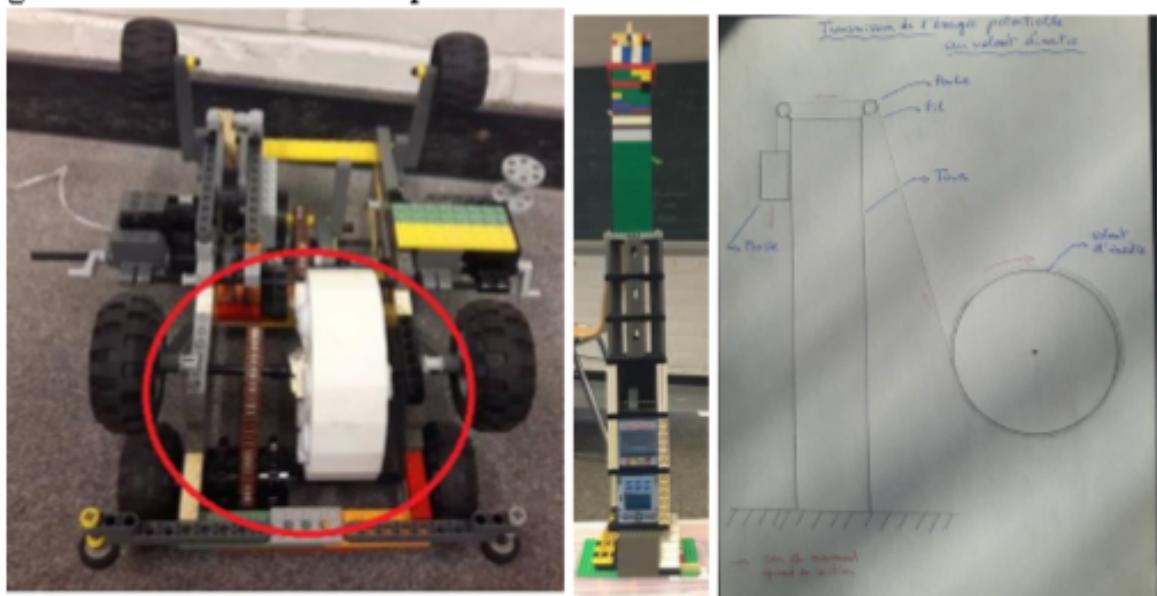


Pour que les deux premiers mécanismes s'enclenchent, on a simplement mis des tiges qui bloquent ceux-ci et s'enlèvent grâce à un fil qui s'embobine autour de l'axe du volant d'inertie. Donc avec une certaine longueur de fil, on pouvait

choisir où sur le circuit se déclenchera l'énergie du ressort.



Pour le volant d'inertie, on l'a imprimé en 3D avec des trous dedans afin qu'on puisse y insérer des tubes métalliques pour que le volant ait du poids. On pouvait faire varier le poids en enlevant/ajoutant (deux à deux afin qu'il soit équilibré) les tubes. Le volant d'inertie était simplement relié aux roues avant grâce à une chaîne LEGO qui faisait office de courroie.

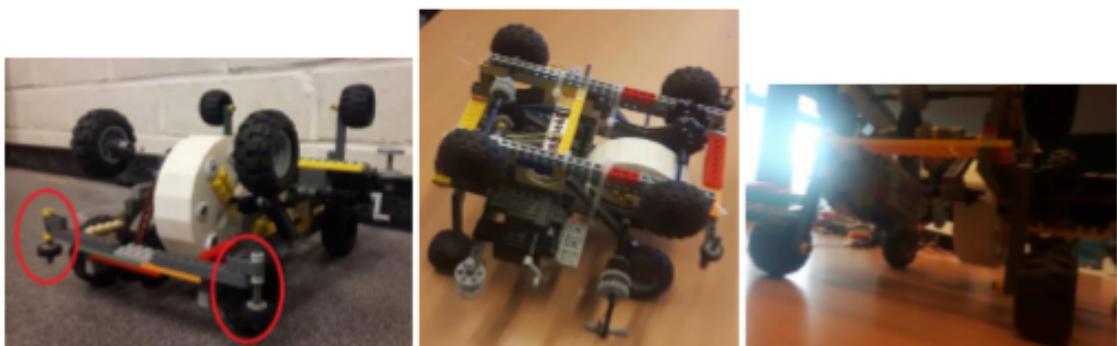


Finalement, pour l'énergie potentielle, on pensait à mettre une petite tour qui faisait tomber un poids qui était relié à un fil et ce dernier était enroulé autour du volant d'inertie. Quand ce poids tombait, grâce au fil enroulé, le volant d'inertie tournait et faisait avancer l'engin. Mais le problème était que la rampe était trop longue pour qu'on puisse encore avoir de l'énergie potentielle au point de départ du circuit. Du coup, nous avons dû mettre ce système en dehors du véhicule (sauf le volant) et donc avons pu construire une tour bien plus grande.

Pour avoir de l'énergie cinétique au point de départ, nous avons juste construit une rampe (courbée sinon il y a un choc en bas de la pente dû à l'angle) afin que le véhicule soit déjà en mouvement au point de départ.

Afin que le véhicule ne se cogne pas sur le bord du circuit, nous avons construit un simple système anti-déviation à l'avant du véhicule mais terriblement efficace. Il consiste simplement à deux petites roues horizontales sur un axe et qu'ils puissent tourner librement et de translater sur l'axe.

Finalement, pour sécuriser l'engin et tous les mécanismes embarqués, nous avons placé des roues au-dessus du véhicule au cas où il se retournerait lors du saut et ne puisse pas endommager les différents mécanismes. Nous avons aussi placer des colsons afin que les LEGO ne se détachent pas lors de chocs importants.



Pour conclure, les différents mécanismes décrit ci-dessus fonctionnait bien et était facile à remettre en place après utilisation. Le problème était que les ressorts LEGO ne nous donnait pas assez d'énergie, de "boost" après la première bosse et de ce fait n'avons pas pu effectuer le saut du tremplin lors du concours. Pour mieux comprendre les mécanismes décrit ci-dessus, nous vous recommandons l'annexe 6, qui les illustrent avec des schémas.

## **A10 Poster pour le concours**

### **A10.1 Présentation**

Il s'agit de l'affiche que nous avons conçue pour la démonstration lors du concours d'innovation. Le but a été de présenter globalement et de manière concise mais également le plus fidèlement possible notre solution. Y figurent donc un plan en perspective et une coupe de notre prototype, ce qui, à notre sens, était l'essentiel. Nous pensions qu'il ne fallait pas surcharger un document de ce genre non plus, surtout que nous ne disposions pour cela que d'une feuille A3.

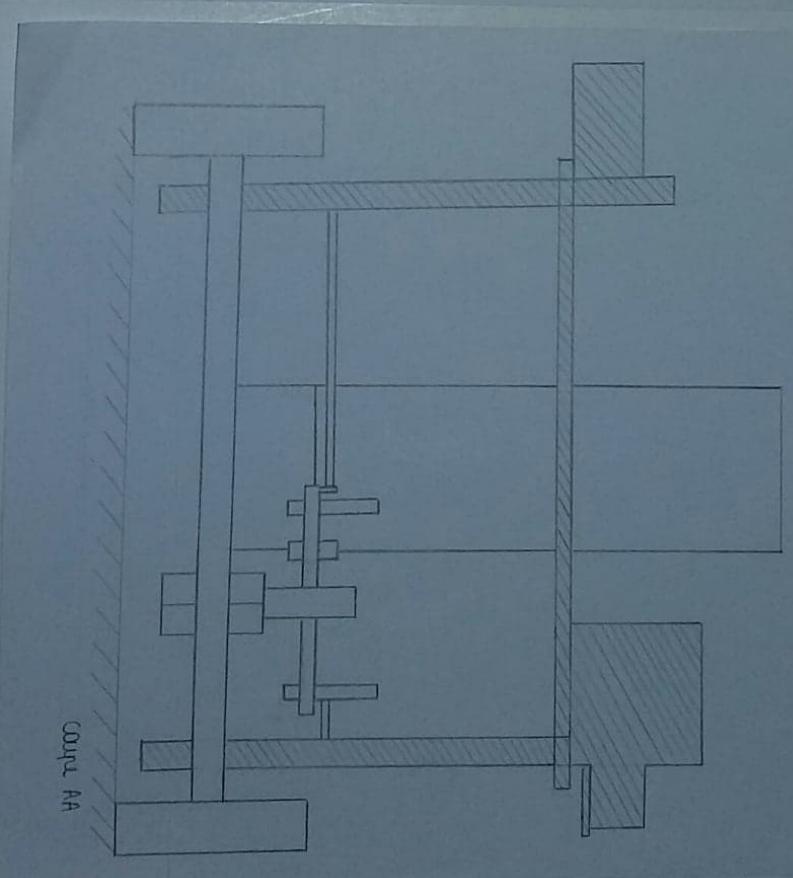
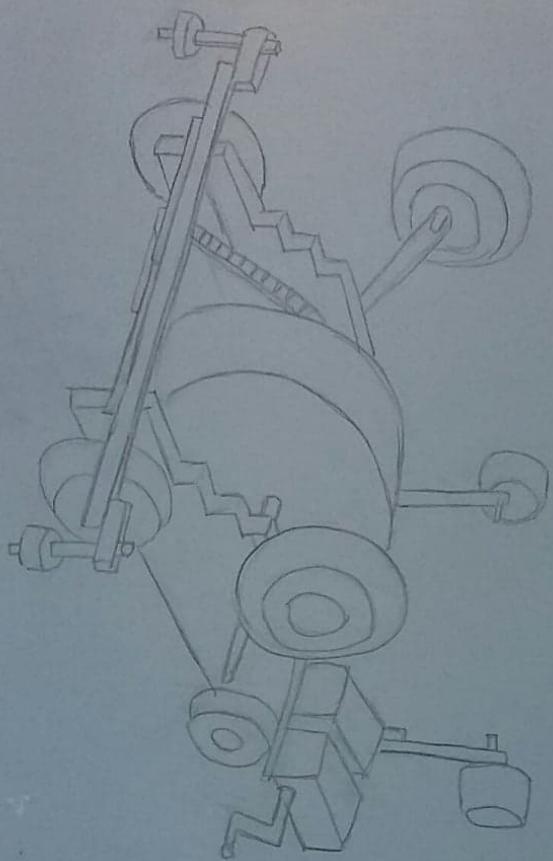
### **A10.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?**

Si ce poster était à refaire, nous le rendrions plus attrayant. En effet, ayant été pressés par le temps, nous n'y avons mis que l'essentiel et n'avons pas pris le temps d'imaginer un côté plus publicitaire, le but étant quand même toujours de gagner un concours, ou d'ajouter des choses qui ne nous étaient pas demandées, comme un logo par exemple.

# NOTRE VEHICULE HYBRIDE

Groupe 11.92

Charlier Jérôme, Echezuria Catherine, Kanto Leolin, Moore Amelia, Mounzer Amine, Onciu Andru



## A11 Contrat d'équipe, répartition des fonctions, EPP individuelles et de groupe

### A11.1 Présentation

On peut trouver en annexe trois documents différents. Tout d'abord le contrat d'équipe, l'un des premiers documents que nous avons réalisé. Nous devions nous mettre d'accord sur des règles à respecter ainsi que sur la répartition des rôles tout au long du quadrimestre que nous allions passer ensemble. Il a été très compliqué de trouver des sanctions en cas de non-respect des règles imposées par le groupe.

De plus, à chaque membre du groupe était au moins assignée une fonction parmi les six propositions suivantes :

- Un Gardien du temps
- Secrétaire
- Porte-parole
- Scribe
- Administrateur
- Animateur

Ensuite, une évaluation périodique individuelle (EPP) a été rédigée par chaque membre du groupe. Le but était de clarifié sa situation personnelle par rapport à ce qui avait été effectué et ce qu'il restait à faire. Nous devions également nous remettre en question par rapport à l'avancée du projet, à l'investissement personnel, à la compréhension des consignes, des idées développées par le groupe et des théorèmes physiques utilisés. En outre, nous y avons décrit nos objectifs, nos deadline et les points prioritaires à traiter pour optimiser l'avancée du projet.

Pour finir, nous avons écrit une évaluation de groupe pour synthétiser le travail de notre équipe. Certaines questions nous poussaient à réfléchir à notre situation et aux problèmes du groupe que nous n'avions pas encore résolu.

### A11.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?

D'abord, Cela a été compliqué pour nous de maintenir les rôles assignés dans le contrat d'équipe car tout le monde voulait sortir de sa zone de confort et apprendre à jouer différentes fonctions. Le gardien du temps est le seul rôle à avoir été abandonné, nous ne jugeons pas nécessaire qu'une seule personne s'occupe des deadline, nous nous organisions de sorte à nous obliger à finir les tâches à temps.

Par ailleurs aucune sanction n'a été distribuée car tous les membres ont respecté les consignes et ont participé activement à ce projet.

Ensuite, les évaluations personnelles nous ont permis en semaine 6 de nous remettre en question et de réaliser que nous étions en retard sur plusieurs points pour l'avancée de notre projet. Cependant nous ne les avons plus réutilisés par la suite, mis à part les objectifs que nous nous étions fixés, nous avons laissé de côté les EPP individuelle.

Enfin, l'évaluation de groupe nous a permis de mettre en commun l'avis de chaque membre par rapport à l'équipe elle-même. Nous avons pu pointer du doigt nos points faibles et nos points forts en tant que groupe, ce que nous devions absolument changé et ce que nous devions renforcer. Les avis des autres ont aussi permis à tous les membres du groupe de se remettre en question par rapport à ses points faibles.

L'ensemble des EPP individuelles ainsi que l'EPP de groupe se retrouvent dans la rubrique documents supplémentaires.

## CONTRAT D'EQUIPE

### I. Coordonnées et indisponibilités des membres de l'équipe

Nom & prénom	GSM	Adresse e-mail	Indisponibilités
<b>Mounzer Amine</b>	0489/630562	amine.mounzer@student.uclouvain.be	Mardi/jeudi après 20h Dimanche avant 18h
<b>Echezuria Catherine</b>	0470/254521	catherine.echezuria@student.uclouvain.be	Lundi après 20h
<b>Moore Amelia</b>	0485/850061	amelia.moore@student.uclouvain.be	Vendredi après 15h
<b>Onciu Andru</b>	0471/378938	andru.onciul@student.uclouvain.be	/
<b>Kamto Léolin</b>	0465/310691	Léolin.kamto@student.uclouvain.be	/
<b>Charlier Jérôme</b>	0472/456636	Jérôme.charlier@student.uclouvain.be	Vendredi après ---

### II. Affectation des fonctions lors des réunions

Fonctions	Amine	Catherine	Amelia	Andru	Léolin	Jérôme
<b>Secrétaire</b>	X		X			
<b>Porte-parole</b>				X		
<b>Scribe</b>		X				X
<b>Gardien du temps/animateur</b>					X	
<b>Administration</b>	X		X	X		

N.B. : Ces fonctions ne seront pas changées de façon systématique et/ou hebdomadaire, retenons simplement qu'elles ne sont pas figées dans le temps et que les membres de l'équipe peuvent y accorder une certaine souplesse selon les besoins du groupe, du travail et du moment.

Description des fonctions :

- **Secrétaire** : prise de notes durant les réunions, trace écrite des démarches et recherches effectuées par l'équipe
- **Porte-parole** : communication officielle de l'avis du groupe
- **Scribe** : gestion du tableau
- **Gardien du temps/animateur** : gestion du temps de travail et des pauses
- **Administration** : gestion des informations sur Moodle et de la remise/impression des travaux

### III. Règles de conduite et d'éthique

- Venir à chaque réunion en ayant effectué ses tâches
- Respecter les horaires préalablement définis et avertir en cas d'absence ou de retard
- Répartition équitable des tâches entre les membres de l'équipe
- Politesse dans les échanges
- Participation active de tous les membres lors des réunions
- Mise en commun du travail individuel
- Être à l'écoute des propositions et idées de tous les membres
- Être efficace lors du travail en groupe
- Pas d'usage du GSM qui pourrait perturber la concentration générale

### IV. Sanctions en cas de non-respect des règles

- En cas de retard non prévenu et de plus de 20 minutes, le membre de l'équipe doit verser 1€ dans la cagnotte du groupe
- En cas d'absence non prévenue, le membre en question doit verser 5€ dans la cagnotte commune  
N.B. : L'argent récolté sera mis au service de l'équipe et servira aux achats de celle-ci.
- Si un coéquipier n'effectue pas ses tâches/ne travaille pas, à l'unanimité de l'avis des autres membres, ce dernier se devra de payer un repas au reste de l'équipe
- En cas du non-respect du reste des règles énoncées au point III., la sanction sera choisie par le groupe en fonction de la gravité du problème.

Date de signature de l'entente : 25/10/18

Signatures des membres de l'équipe :

## A12 Grilles de planification des 4 dernières semaines

### A12.1 Présentation

L'idée de faire des planifications par semaines, est très utile, malheureusement on ne l'a pas assez utilisé. On a commencé à faire des planifications pour distribuer les tâches que à partir de la semaine neuf, parce que c'est là qu'on s'est rendu compte qu'on avait pas beaucoup de temps devant nous et qu'on devrait être les plus efficaces possible pour tout faire pour la date du concours.

Ça nous a aidé à bien différencier les tâches et être sûr que tout le monde avait quelque chose à faire, et de voir que tout le monde exécutait ses tâches. C'est la meilleure façon pour travailler en groupe efficacement.

La plupart du temps on faisait juste une liste avec les noms des intégrants du groupe, leurs tâches et date limite, on suivait pas forcément un format spécifique, mais l'objectif était le même.

### A12.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?

Se répartir le travail durant ces 4 dernières semaines était très important pour pouvoir finir le prototype. Un problème qu'on a eu c'est que au début des 4 semaines on était pas très clairs pour distribuer le temps, on avait l'impression qu'on avait encore beaucoup de temps devant nous, donc on n'a pas donné assez d'importance et on n'a pas fait une bonne planification du temps, aussi on n'a pas très bien respecté les dates qu'on s'est imposées pour commencer à construire la voiture, ou pour finir la simulation, raison pour laquelle à la fin on avait pas assez de temps pour finir le prototype et on a dû tout terminer en dernière minute. L'idée de faire des planifications par semaines est très utile, parce que comme ça on a des objectifs, courts et réalisables, pour mieux avancer.

Semaine	Objectifs	Personnes	Date
9	Finir simulation	Amine et Andru	mercredi S10
9	Définir le mécanisme	Jerome et Catherine	Vendredi S8
9	Quantifier les énergies	Amelia et Leolin	Lundi S9
10	Faire la maquette	Jerome	Mercredi S9
10	Finir la simulation	Amine et Andru	mercredi S10
10	Commencer dessins du prototype	Catherine et Amelia	Vendredi S9
11	Acheter matériaux	Toute l'équipe	Lundi S12
11	Commencer prototype	Toute l'équipe	vendredi S12
11	Faire liste des matériaux (avec simulation)	Amelia et Catherine	Jeudi S11
11	Faire une nouvelle maquette	Jerome	Vendredi S11
12	Finir prototype	Toute l'équipe	vendredi S12
12	Faires coupes et dessin techniques	Amelia et Jerome	Vendredi S12
12	Faire rampe	Catherine, Andru et Amine	Vendredi S12
12	Faire calcul longueur du fil et poids	Amine et Catherine	Vendredi S12
12	Faire budget du projet	Leolin	Jeudi S12

## A13 Comptabilité du projet (coût des pièces, ...)

### A13.1 Présentation

Pour la résolution du projet, nous avons au départ utilisé principalement des matériaux fournis par l'universités que de la colle et des cartons de récupération pour la construction de nos trois maquettes. Ce n'est qu'à la phase de réalisation de notre prototype qu'il a fallu utiliser des matériaux assez solides pour que notre voiture puisse supporter le saut et les différents éléments installés dessus (surtout le volant qui devait engendrer de fortes perturbations lors de sa rotation).

De plus, nous avons dû nous adapter à la restriction du coût maximum qui était de 60 €. Nous avons donc utilisé des matériaux peu coûteux, mais qui seraient efficaces selon nous pour réussir notre projet. Nos recherches étaient faites sur des sites internet de vente en ligne, pour qu'on ait le choix dans notre quête de bons rapports qualité prix. Des matériaux de meilleure qualité auraient été avantageux, mais ces conditions nous ont permis de nous confronter et d'apprendre comment gérer une telle restriction de coup.

## A13.2 Que pouvons-nous conclure après cette étape ?

Vu l'effort abattu durant ce projet, nous sommes à présent en mesure de faire de meilleurs choix dans la qualité des matériaux à utiliser. Nous avons désormais une idée claire de comment faire nos recherches de matériaux à utiliser mais aussi du type adéquat pour nos constructions.

Pieces	Prix par unité (en €)	Quantité	Total (en €) final
colle	3,25	3	9,75
carton blanc	3,5	1	3,5
carton	3,8	1	3,8
bois fragile	3	4	12
bois long	3,35	1	3,35
multi-flex	7,29	1	7,29
colson	3,49	1	3,49
roulements à billes	5,6	3	16,8

# **Documents supplémentaires**

Vous trouverez ici les EPP individuelles ainsi que l'EPP de groupe.