

PRINCIPE DE L'ASSISTANCE ELECTRIQUE



Etudiants :

Grégory Bernage

Cyprien Gambier

Loïc Guillemette

Benjamin Huteau

Farès Iaimouche

Lucas Peuziat

Philippine Heilbronner

Enseignant-responsable du projet :

Didier Lemosse

Date de remise du rapport : **17/06/2019**

Référence du projet : **STPI/P6/2019 – 018**

Intitulé du projet : ***Principe de l'assistance électrique***

Type de projet : ***Modélisation, Prototype***

Objectifs du projet :

L'objectif du projet était de réaliser un système d'assistance électrique pour un chariot de manutention. Une assistance doit se mettre en route pour aider l'utilisateur à transporter des charges lourdes. Cependant cette assistance ne doit pas se déclencher si le chariot est à vide.

Mots-clefs du projet :

- Assistance électrique
- Moteur
- Transmission
- Capteurs

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	5
1. INTRODUCTION.....	6
2. PRESENTATION DU PROJET	6
2.1. PRESENTATION DE L'ASSISTANCE ELECTRIQUE	6
2.2. PRESENTATION DU CHARIOT.....	7
3. ORGANISATION DU TRAVAIL.....	8
4. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS OBTENUS	9
4.1. HYPOTHESES ENVISAGEES ET RETENUES	9
4.2. TRAVAIL THEORIQUE	11
4.2.1. <i>Architecture fonctionnelle</i>	11
4.2.2. <i>Acquisition d'information</i>	11
4.2.2.1. Effort fourni par l'utilisateur.....	12
4.2.2.2. Le déplacement du chariot.....	13
4.2.2.3. Acquisition et traitement des informations par carte arduino	14
4.2.3. <i>Alimentation en énergie</i>	15
4.2.4. <i>Dimensionnement du moteur</i>	15
4.2.4.1. Etude analytique.....	16
4.2.4.2. Etude numérique	17
4.2.4.3. Choix du moteur	18
4.2.5. <i>Transmettre l'énergie</i>	19
4.2.5.1. Dimensionnement	19
4.2.5.2. Choix de la transmission	19
4.2.5.3. Choix fixation engrenages et dimensionnement axes	21
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	23
6. BIBLIOGRAPHIE	24
7. ANNEXES.....	25
7.1. TABLEAU DE VALEURS D'UNE SITUATION	25
7.2. PROGRAMME ARDUINO.....	26

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M. Lemosse pour nous avoir accompagné durant ce semestre, il a su nous conseiller et nous aider tout au long de notre projet. Ses connaissances et son expérience nous ont permis d'avancer et de faire face aux différents problèmes rencontrés.

Merci également aux différents intervenants extérieurs que sont M.Delamare, M.Gautrelet, et M. Duhamel.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre des travaux de groupes réalisés en P6, le sujet qui nous a été attribué est celui de l'assistance électrique. L'objectif initial de ce sujet était de choisir un objet mobile nécessitant uniquement la force humaine pour bouger et de lui attribuer une assistance électrique afin de faciliter son utilisation. De nombreux véhicules sont dotés d'assistance électrique et le plus répandu reste le vélo, mais notre choix s'est porté sur un tout autre objet. Nous avons décidé de nous lancer sur la mise en place d'une assistance électrique sur un chariot de transport de matériel appartenant à l'INSA. L'objectif était alors de réaliser un prototype capable de déclencher une aide électrique automatiquement lors de la poussée du chariot comme on peut en trouver sur un vélo.

Dans un premier temps nous allons présenter le projet et définir ce qu'est réellement l'assistance électrique avant de parler de l'organisation de notre travail. Nous poursuivrons en présentant nos hypothèses de travail, les résultats obtenus, et les perspectives possibles pour ce projet, enfin nous concluons sur la réalisation du projet.

2. PRESENTATION DU PROJET

2.1. Présentation de l'assistance électrique

L'assistance électrique est, comme son nom l'indique, une assistance sous forme d'énergie mécanique à partir d'électricité. Elle a pour but de soulager l'effort que fournit l'utilisateur sans pour autant le remplacer totalement. Un système complet d'assistance électrique est composé de plusieurs éléments: des capteurs, une source d'énergie électrique, un moteur électrique, un système de transmission et de calculs réalisés par un ordinateur. Les capteurs utilisés dépendent du système concerné et des données nécessaires, cela peut être des capteurs de vitesse, de déformation, de pression... La chaîne d'information a pour but d'acquérir les données, de les traiter par le biais d'un ordinateur puis de communiquer le résultat qui correspond ici à une tension délivrée ensuite au moteur.

Les moteurs électriques font leurs débuts au milieu du 19ème mais les problèmes techniques et financiers liés aux batteries ont freiné leurs développements. Les premières machines comme on les connaît aujourd'hui ont fait leur apparition à la fin 19ème. Il en existe de plusieurs types aujourd'hui mais toutes utilisent l'électricité pour mettre en rotation un axe. Cependant elles n'ont pas les mêmes caractéristiques ni le même cadre d'utilisation, on peut citer par exemple les servomoteurs, les moteurs synchrones/asynchrones ou encore les moteurs pas à pas.

A la fin des années 1890 on voit apparaître les premiers brevets de vélo à assistance électrique, ils se développent au début du 20ème, avec une hausse de l'utilisation depuis les années 2000 (largement aidé par le développement des batteries lithium-ion). L'idée d'une voiture assistée par un moteur électrique a donné lieu à des prototypes au début 20ème siècle. Mais le premier modèle à avoir été commercialisé

au grand public a été la Toyota Prius en 1997, notons que le développement de ces véhicules hybrides est boosté par les différentes crises pétrolières. On voit maintenant circuler des bus ou des camions hybrides qui montrent une prise de conscience vis à vis de la pollution et de l'utilisation des énergies fossiles.

2.2. Présentation du chariot

Le chariot qui nous a été fourni par l'école est un chariot de manutention comme ceux que beaucoup de techniciens utilisent à l'INSA (laborantins, personnel d'entretien...). Ce dernier avait déjà été utilisé depuis plusieurs années quand nous l'avons récupéré, ce qui a pour conséquence la présence de rouille sur les parties métalliques et une usure des roues entraînant du frottement anormal. Comme nous pouvons le voir sur la photo ci-contre, le chariot possède simplement une barre pliable en forme de U inversé pour le pousser, un plateau avec des bandes antidérapantes empêchant le glissement des charges et 4 roues dont 2 sont fixes à l'arrière et 2 permettant la rotation à l'avant.

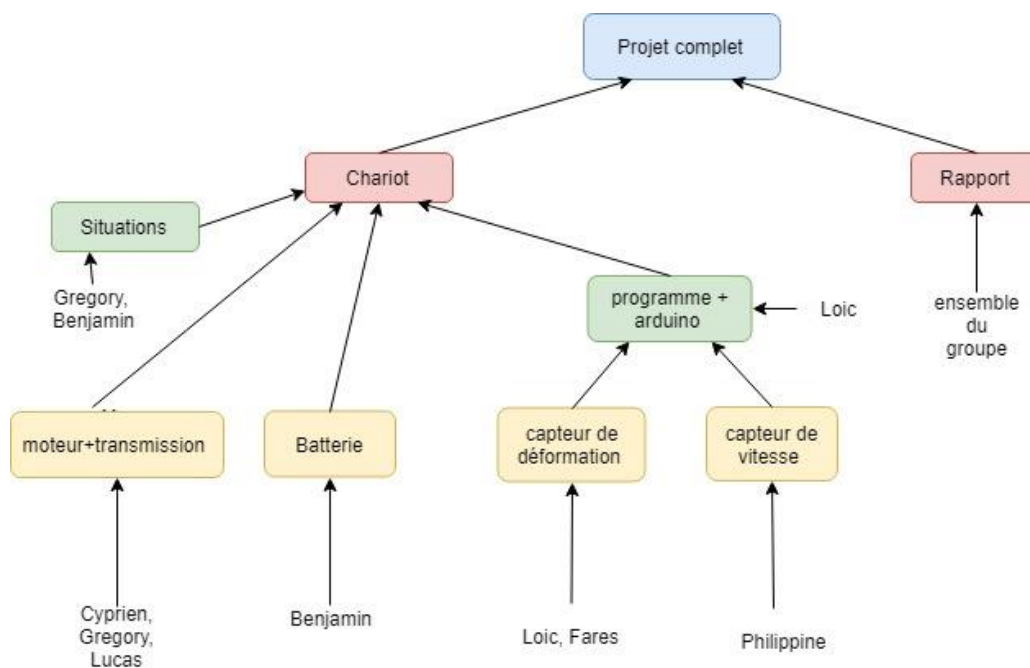


Ce type de chariot peut déplacer une charge allant jusqu'à plusieurs centaines de kilos selon le modèle, dans notre cas la charge maximale supportée est de 150 kg. Pour une personne qui doit manipuler de telles charges toute la journée il est évident qu'une assistance électrique est un vrai plus. Un chariot à assistance électrique contribuerait à réduire la pénibilité du travail de manière significative. Nous sommes donc là dans une mise en conditions réelles où l'assistance électrique prend tout son sens.

3. ORGANISATION DU TRAVAIL

La finalité du projet était de créer un prototype. Pour cela, nous avons commencé par nous renseigner à propos l'assistance électrique afin d'avoir une idée générale du travail à accomplir et des différentes modifications à apporter au chariot, les éléments dont nous avons besoin et les situations auxquelles nous voulions apporter une solution. A partir de ces recherches nous avons pu répartir le travail pour chaque membre du groupe et pour chaque pièce du chariot. Suite à cela, chacun a pu procéder au dimensionnement des différentes pièces. Un planning comportant des deadlines nous a permis de se fixer des objectifs précis et de prévoir l'avancée de notre projet.

Des séances avec tout le groupe nous ont permis de mettre notre travail en commun afin de s'adapter aux modifications chaque semaine. Nous pouvions ainsi redéfinir régulièrement le travail de chacun. Voici la répartition globale des différentes tâches :



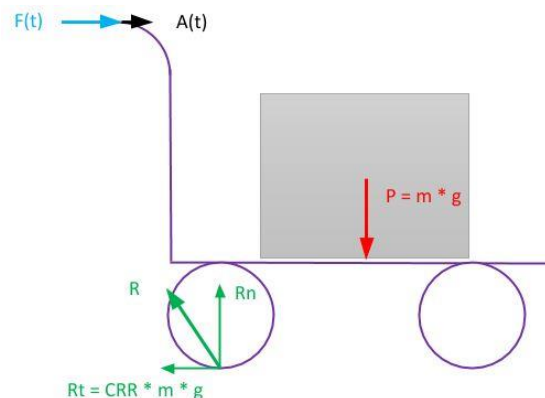
Organigramme de la répartition du travail pour la réalisation du projet

4. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS OBTENUS

4.1. Hypothèses envisagées et retenues

Avant toute chose nous devons déterminer le cadre d'utilisation pour notre chariot, pour cela nous avons réalisé un bilan des forces:

Le chariot est soumis à son propre poids, au poids de la charge et à la résistance au sol. Les forces exercées sur celui-ci pour entraîner son mouvement sont la force de l'utilisateur et l'assistance du moteur. Il y a donc deux efforts qu'il faut faire correspondre pour contrôler la vitesse.



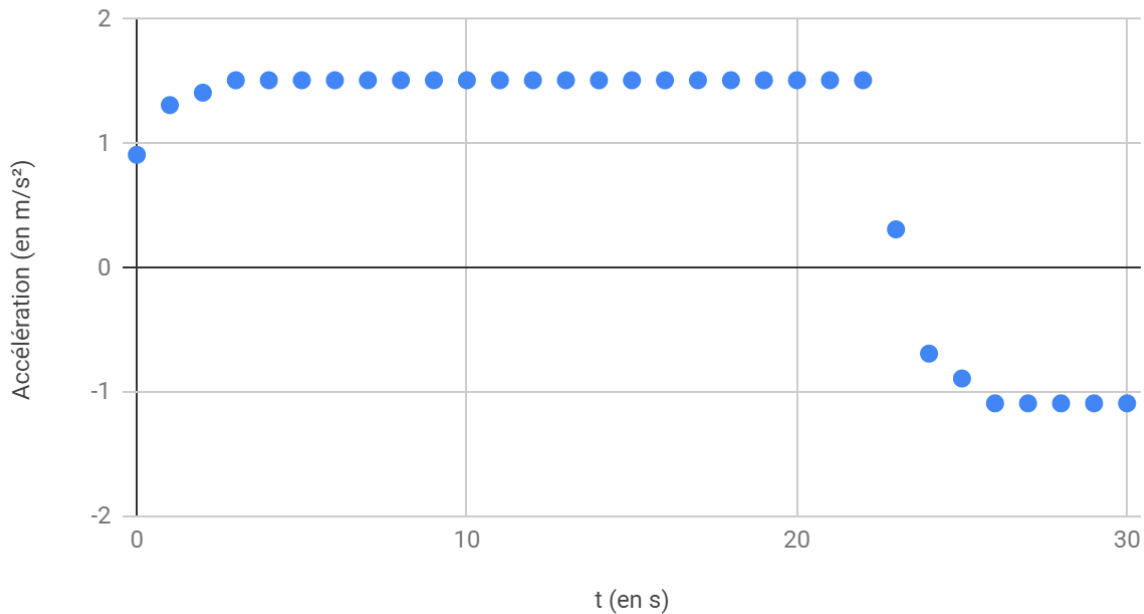
En appliquant le principe fondamental de la dynamique on obtient l'équation suivante: $F(t)+A(t)+mg\alpha=ma$ avec $F(t)$ la force de l'utilisateur au cours du temps ; $A(t)$ l'assistance du moteur en fonction du temps; m la masse de l'ensemble chariot et charge, α est le coefficient de frottement et a l'accélération. Cette équation vérifie l'ensemble des situations possibles, nous avons alors isolé les cas particuliers présentés ci-dessous.

- Le chariot doit tourner, cependant il est difficile de négocier un virage. En effet dans un virage les deux roues ne tournent pas à la même vitesse. Il faudrait mettre en place un différentiel ou mettre deux moteurs pour séparer la rotation des roues arrière-gauche et arrière-droite. Ces deux solutions sont difficiles à mettre en œuvre car la place sous le chariot est limitée et nos ressources ne nous permettent pas d'avoir 2 moteurs.
- Il a fallu également évoquer la notion de freinage, elle est essentielle car un chariot qui ne peut pas être ralenti est dangereux. Nous avons cherché un moyen de freinage asservi, un freinage mécanique étant compliqué à mettre en place, nous avons donc décidé d'utiliser le frein-moteur.
- Le chariot doit pouvoir reculer, un système de boîte de vitesse comme celui que l'on retrouve sur les voitures nous paraissait très compliqué à mettre en place. Le moteur utilisé doit donc être capable de tourner dans les deux sens pour n'avoir qu'à inverser la tension pour passer de la marche avant à la marche arrière.

- Il faut également évoquer le cas de la pente. Il sera mis de côté car cela change les calculs des forces. En effet, la force de pesanteur entraîne plus le chariot, le couple est donc changé. Nous avons donc négligé ce cas.

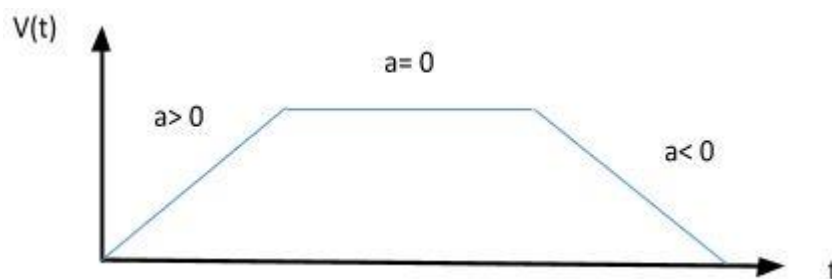
Finalement, nous avons choisi de simplifier la situation d'utilisation en étudiant le cas où le chariot est utilisé sur un sol plat en ligne droite, avec la possibilité d'avancer, de reculer, et de s'arrêter. Voici un exemple de scénario possible:

Accélération en fonction du temps



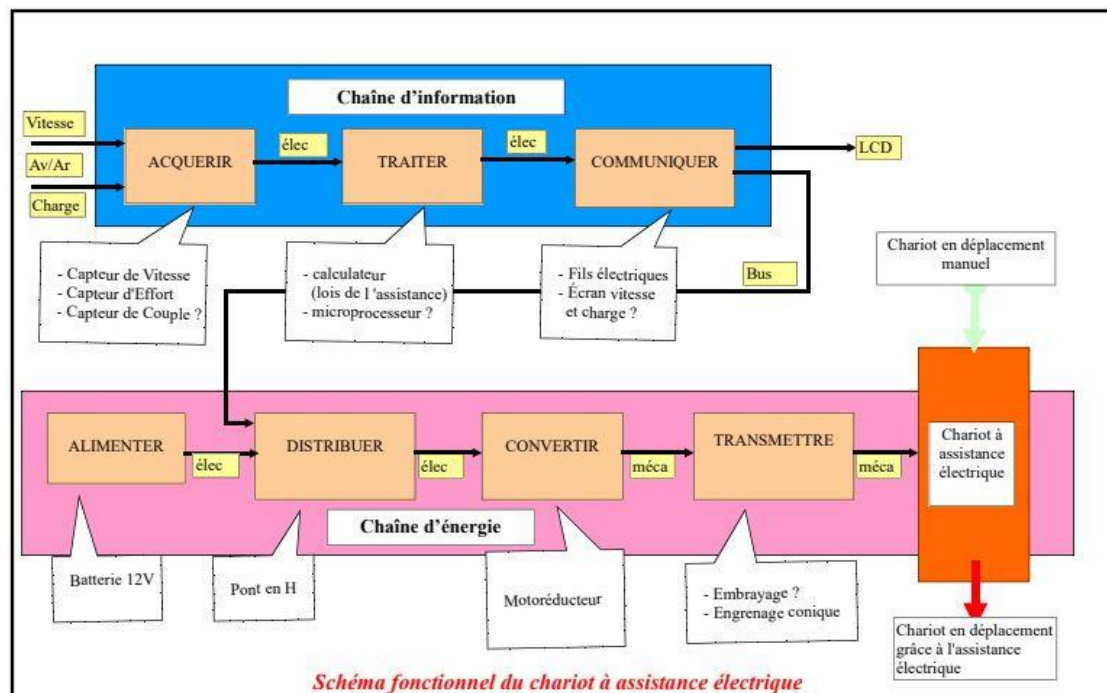
Ici l'utilisateur pousse le chariot d'un coup, l'assistance se met alors en marche progressivement pour atteindre la vitesse de croisière. Quand l'utilisateur souhaite arrêter le chariot, l'assistance l'aide à freiner, ce qui correspond sur le graphique à une accélération négative. Dans un cas idéal la courbe de la vitesse ressemblerait à ceci:

Vitesse en fonction du temps :



4.2. Travail théorique

4.2.1. Architecture fonctionnelle



4.2.2. Acquisition d'information

Notre chariot doit savoir de lui-même à chaque instant si une assistance est nécessaire et décider de son importance, pour identifier automatiquement ces situations, le système embarqué a besoins d'informations. Grâce au travail théorique réalisé en amont, nous savons que l'ordinateur requiert les données relatives à la force exercée par l'utilisateur et celles liées au déplacement du chariot pour décider de la mise en marche ou non de l'assistance.

Il faut donc munir notre chariot de différents capteurs permettant de communiquer chacune des données à l'ordinateur embarqué qui va ensuite décider de l'intensité de l'assistance à fournir. Pour collecter ces informations, nous avons décidé de coupler deux capteurs, l'un de vitesse et l'autre de déformation. Celui de déformation permet de connaître l'effort fourni par l'utilisateur tandis que le capteur de vitesse récupère les informations relatives au déplacement du chariot.

4.2.2.1. Effort fourni par l'utilisateur

Dans un premier temps, il faut mesurer l'effort fourni l'utilisateur, pour acquérir cette information, nous avons pensé à utiliser une jauge de déformation que nous collerions au point de contact entre le manche et le bâti. La déformation du manche nous permettra d'en déduire deux informations :

- La présence ou non d'un utilisateur qui souhaite déplacer le chariot
- Une estimation de la charge embarquée

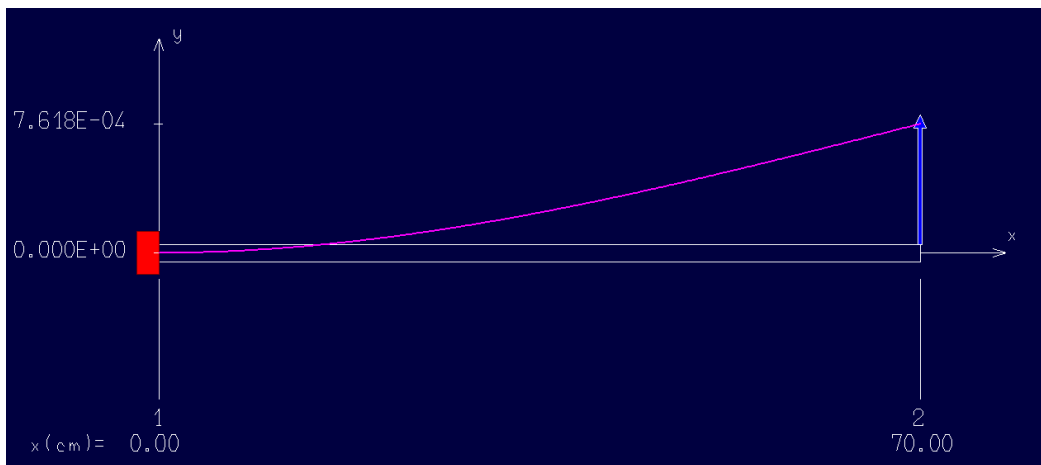
Pour connaître le poids embarqué, on peut facilement faire une approximation de celui-ci grâce à l'équation mécanique:

$$F(t)+A(t)+mg\alpha=ma$$

A l'état initial, comme le chariot est au repos, on peut estimer que l'accélération est nulle, donc $a = 0$. De plus l'assistance n'étant pas enclenchée $A(0) = 0$. Finalement on trouve que la force qu'applique l'utilisateur est une fonction affine du poids. Quand on prend $\alpha = 0,05$ on trouve que la force appliquée est environ la moitié de la masse du chariot. Pour une charge maximale de 300 kg il faudrait appliquer une force nodale d'environ 150 N sur le manche.

Pour connaître la déformation du manche en fonction de l'effort fourni, nous avons simulé le tube sur RDM6. On modélise un rouleau d'acier, encastré à un support, auquel on applique une force de 150 N.

Flèche du manche en centimètres



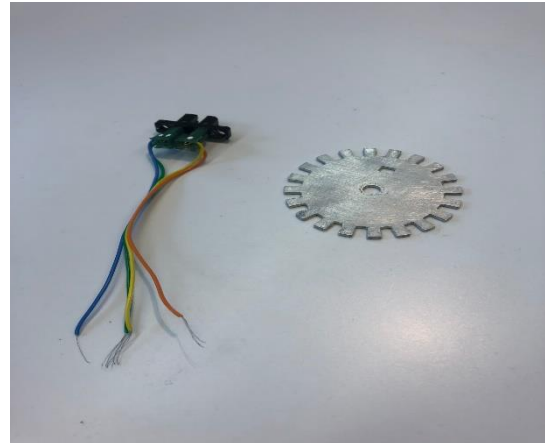
De cette étude on calcule le taux de déformation du manche afin de pouvoir déterminer le calibre de la jauge de déformation.

La jauge émet un courant électrique lorsqu'elle est déformée, en fonction de la déformation l'intensité du courant varie. Donc en fonction de l'intensité on détermine la déformée qui nous permet de déterminer la force et finalement une estimation du poids du chariot.

L'étude reste toujours très hypothétique parce que par défaut de matériel nous n'avons pas pu aller plus loin.

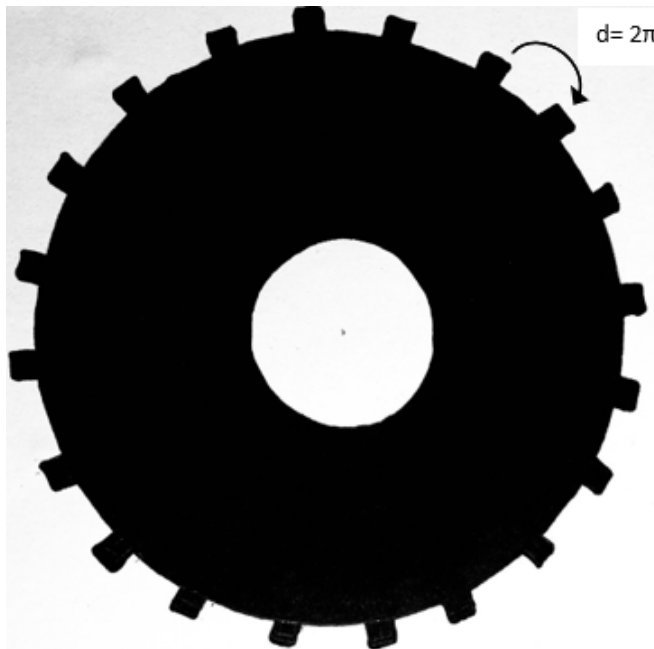
4.2.2.2. Le déplacement du chariot

Le capteur de vitesse que l'on a choisi est un capteur à courant inductif de Foucault. Le capteur est fixé au chariot, une roue dentée en métal est fixée à l'axe des roues. Lorsque la roue tourne, les dents passent devant le capteur qui prélève l'intervalle de temps entre chaque dent.



Le nombre de dents doit être assez élevé, dans notre cas il y en a 20. En effet, lorsque le chargement du chariot est très lourd, l'utilisateur peut peiner à le démarrer et la vitesse initiale sera très faible et par conséquent les roues vont à peine tourner. Or le capteur intègre le temps entre chaque dent donc 2 dents doivent passer devant le capteur pour qu'il récolte des données. Si la roue dentée n'était équipée que de 1 ou deux dents, la roue devrait faire un demi-tour ou un tour complet avant d'avoir une donnée. Pour cela le chariot devrait déjà avancer d'un demi-tour de roue ce qui peut être compliqué si la charge du chariot est élevée.

Pour avoir la valeur de la vitesse, on utilise la démarche suivante:



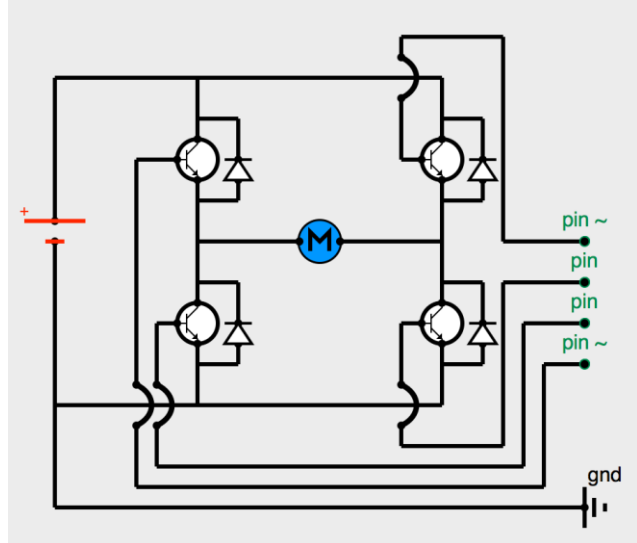
$$d = 2\pi R(\theta/360) = 1,257 \text{ cm}$$

Avec $R = 4\text{cm}$ et $\theta = 360/20 = 18^\circ$

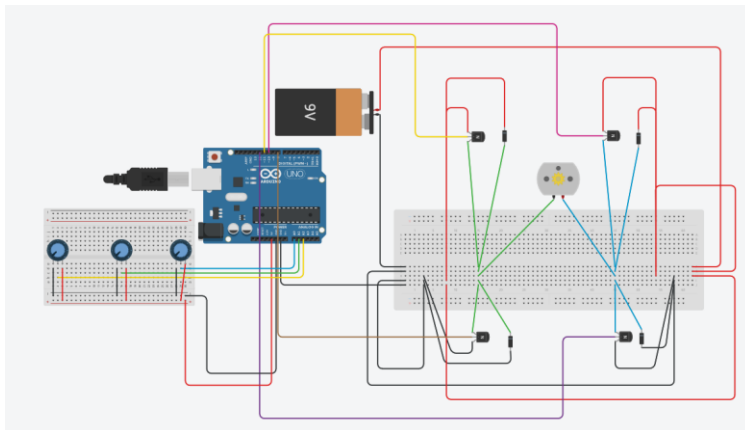
Donc pour déterminer la vitesse du chariot, on applique $v = d/t$ avec la valeur de d trouvée précédemment et t est déterminée par le capteur et correspond à l'intervalle entre 2 dents du capteur

4.2.2.3. Acquisition et traitement des informations par carte arduino

La récupération des données de force et de mouvement sera effectuée par une carte arduino UNO, celle-ci récupérera les valeurs de la vitesse et de la déformation grâce aux capteurs présents sur le chariot. Ces deux capteurs fourniront une valeur analogique qui sera traitée par un programme implanté dans la carte arduino. La carte arduino sera connecté à 4 sorties, qui commanderont chacune 1 transistor bipolaire, chacun faisant office d'interrupteur commandable par l'arduino. Ces 4 transistors seront montés avec le moteur selon un pont en H, montage électrique qui permet de commander le sens du moteur selon si l'on a besoin d'avancer (moteur dans le sens positif) ou de freiner (moteur dans le sens négatif). De plus 2 de ces transistors seront montés sur une sortie PWN, c'est à dire une sortie qui peut fournir un signal variable et donc non binaire afin de régler la vitesse du moteur et par conséquent l'efficacité de son assistance. Des diodes ont aussi été installées afin de se protéger d'un éventuel retour de tension.



La simulation du programme a été effectuée sur le logiciel Tinkercad sur lequel on peut recréer des circuits arduino sans matériel. Cependant, ce logiciel a ses limites, nous avons donc été contraints par certains éléments. Premièrement notre moteur et notre batterie n'étaient pas disponibles. Nous les avons donc remplacés par une batterie 9V et le moteur disponible sur le logiciel pour la simulation.



Nos capteurs non plus n'étaient pas accessibles sur ce logiciel. Par conséquent, nous les avons remplacé par des potentiomètres, deux pour la déformation car l'effort peut être positif comme négatif et le potentiomètre ne donne qu'un signal positif, et un pour la vitesse. Les valeurs ne sont donc pas forcément correctes, l'intérêt était de vérifier la

véracité du montage et le bon fonctionnement du programme.

Le programme fonctionnera en plusieurs étapes. Premièrement toutes les variables seront initialisées et le moteur mis à l'arrêt en mettant dans le même état les transistors alignés horizontalement. Ensuite le programme ne rentrera pas dans sa phase de traitement tant qu'une vitesse ne sera pas détectée. Une fois que la vitesse est détectée, le programme récupère les données de déformation et vérifie que l'assistance est nécessaire (la valeur absolue de la force fournie par l'utilisateur est supérieure au maximum de force qu'on souhaite lui imposer). Enfin si cette force est supérieure au maximum imposé, les transistors feront tourner le moteur dans le sens

positif ou négatif selon le signe de cette force et l'assistance se déclenchera avec une force équivalente à la différence entre la valeur absolue de la force fournie et la force maximale imposée.

4.2.3. Alimentation en énergie

Après plusieurs évolutions les batteries ont atteint un stade de technologie permettant une meilleure efficacité pour un poids moins important. De plus leur durée de vie est de plus en plus longue. Il y a 2 types de batteries aujourd'hui : Lithium Ion (Li-ion) et Lithium polymère.

Un de leur avantage est qu'elles ne présentent pas d'effet mémoire (pas spécialement utile dans notre cas mais si on veut du contenu voilà). Voici les éléments à prendre en compte :

- La position de la batterie à choisir pour une meilleure maniabilité, meilleure répartition du poids. Le mieux est de centrer l'ensemble du système par rapport au mouvement du chariot. Cela a peu d'importance sur le cas du chariot contrairement au cas du vélo car ici il y a 4 appuis au sol et le poids de la batterie est faible face à celui de la charge transporté.
- La batterie doit être amovible pour une recharge plus simple si possible. Cela évite de devoir trouver une place pour l'ensemble du chariot à côté d'une prise secteur.
- La recharge n'est pas linéaire, la première partie est plus rapide puis la charge est de plus en plus longue pour les derniers pourcentages de batterie. (Voir graphique ci-dessous)
- La capacité est calculée comme suivant: Tension (Volt) x Ampérage (Ah) = Puissance (W) et ensuite : Puissance x durée d'utilisation (h) = Capacité (Wh). On peut jouer sur la tension et l'ampérage pour avoir une même capacité en sachant que l'augmentation d'ampérage augmente l'autonomie de la batterie. Il faut cependant voir quelle tension max nous avons besoin pour la vitesse max du chariot voulue.
- Meilleure autonomie entre 15 et 25°C, hors de ses températures on perd un certain pourcentage de la capacité.

4.2.4. Dimensionnement du moteur

Afin de choisir le type de moteur à utiliser pour notre chariot, il a fallu faire une première estimation des paramètres nécessaires pour dimensionner un moteur, à savoir sa vitesse de rotation et son couple pour obtenir la puissance adéquat.

Nous avons donc définis des hypothèses de calcul suivant l'utilisation envisagée :

- masse du chariot (en kg) : $m_1 = 12\text{kg}$
- masse du chargement (en kg) : $m_2 = 150\text{kg}$
- coefficient de roulement des roues (données constructeur): $CRR_{\text{moy}} = 0.0173$
- accélération du véhicule (en m/s^2) : $\gamma = 0.5\text{ m/s}^2$
- pente à franchir (%) : $\alpha = 0\%$
- diamètre des roues (en m) : $D = 0.10\text{m}$
- vitesse max du chariot attendue (en m/s) : $V = 10\text{ km/h} = 2,77\text{ m/s}$

4.2.4.1. Etude analytique

Les conditions de résistance que le moteur devra faire face sont la résistance au roulement, la résistance à l'air, la pente à franchir et l'accélération attendue.

Dans un premier temps, nous avons étudié le couple du moteur. Nous avons dû effectuer un bilan des forces s'appliquant sur le chariot pour calculer le couple moteur. Le chariot est soumis aux forces suivantes :

- Force de roulement : il s'agit de la force engendrée par le frottement dans les roulements des roues. La charge maximale est de 150kgs et la résistance au roulement est parfaite sans prises en compte de l'usure.

$$F_{\text{roul}} = CRR_{\text{moy}} * (m1 + m2) * g = 2,6 * 9,81 = 25,5 \text{ N}$$

- Force aérodynamique : il s'agit de la force due à la vitesse du véhicule et aux conditions climatiques opposées, La vitesse étant faible et l'utilisation est à l'intérieur donc la force aérodynamique est négligée.

$$F_{\text{air}} : 0 \text{ N}$$

- Pente à franchir : il s'agit de la force nécessaire pour permettre au véhicule de monter une pente et de ne pas subir son propre poids. On considère que la pente est très faible à l'INSA donc négligée.

$$F_{\text{pente}} = 0 \text{ N}$$

- Accélération souhaitée : il s'agit de la force nécessaire pour atteindre la vitesse souhaitée en une durée souhaitée.

$$F_{\text{acc}} = (m1 + m2) * \gamma = 150 * 0,5 = 81,5 \text{ N}$$

- -Force totale : il s'agit de la force que devra vaincre le moteur.

$$F_{\text{tot}} = F_{\text{roul}} + F_{\text{air}} + F_{\text{pente}} + F_{\text{acc}} = 25 + 0 + 0 + 75,5 = 106,5$$

- Couple moteur nécessaire :

$$C_{\text{mot}} = F_{\text{tot}} * D/2 = 106,5 * 0,05$$

$$\mathbf{C_{\text{mot}} = 5,325 \text{ Nm}}$$

Nous avons ensuite calculé la vitesse de rotation du moteur avec la vitesse du chariot attendue.

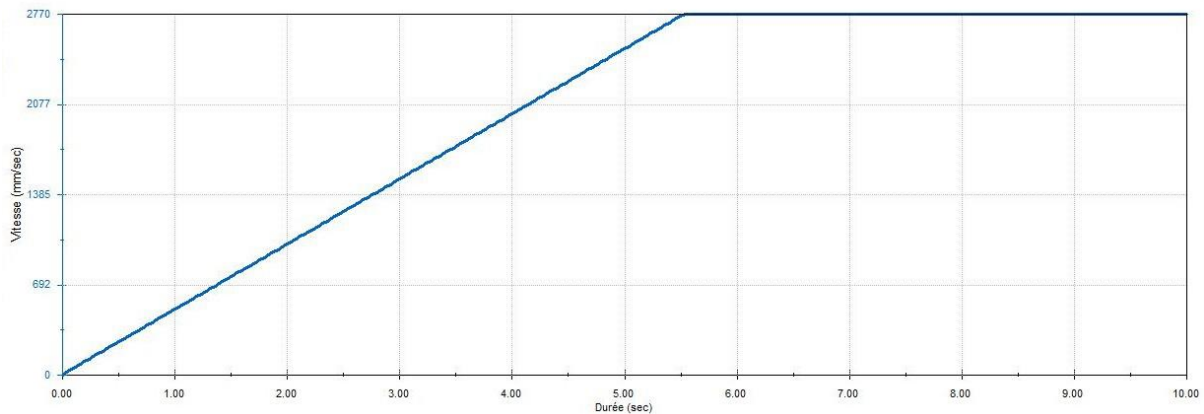
- $N_{\text{mot}} = V / (\text{Pi} * D) * 60 = 2,77 / (\text{Pi} * 0,10) * 60 = 530 \text{ tr/min}$
- $W_{\text{mot}} = N_{\text{mot}} * \text{Pi} / 30 = 55,5 \text{ rad/s}$

Enfin nous avons déterminé la puissance nécessaire qui nous permettra d'effectuer le choix du moteur.

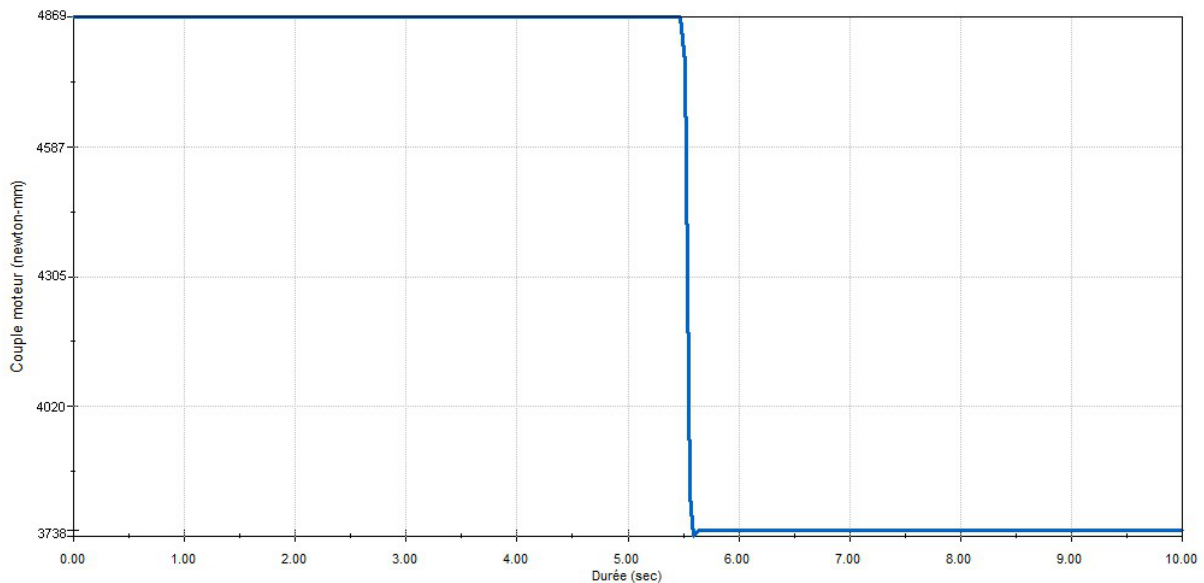
$$\mathbf{P_{\text{mot}} = W_{\text{mot}} * C_{\text{mot}} = 55,5 * 5,025 = 279 \text{ W}}$$

4.2.4.2. Etude numérique

Pour confirmer la valeur du couple nous avons réalisé une simulation numérique à l'aide du logiciel SolidWorks en y insérant les forces de frottement, de pesanteur et en paramétrant l'accélération et la vitesse souhaitée.



On remarque que la vitesse est en accélération constante ($0,5 \text{ m/s}^2$) puis d'une vitesse constante de 10 km/h . On a considéré ici le cas extrême où le chariot est chargé au max et qui a une vitesse initiale nulle afin de dimensionner au mieux la puissance maximale nécessaire.



Durant la phase d'accélération le couple est constant et vaut $C_{m,n} = 4869 \text{ Nmm}$, puis dans la phase de vitesse constante il vaut $C_{m,n} = 3738 \text{ Nmm}$.

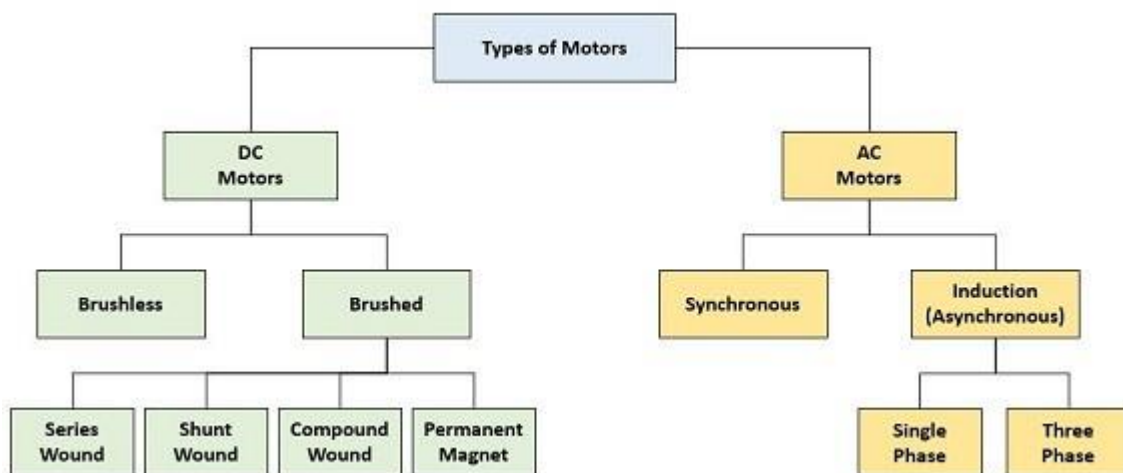
On gardera ainsi la valeur maximale du couple $C_m = 4869 \text{ Nmm}$.

Grâce à cette simulation numérique, nous avons pu confirmer la valeur du couple obtenue analytiquement.

La valeur analytique est légèrement supérieure à la valeur numérique, cela peut être causé par les réglages et les paramètres de simulation (frottement...). Nous retiendrons donc comme valeur de couple $C_m = 5,025 \text{ Nm}$ et comme puissance $P = 279 \text{ W}$.

4.2.4.3. Choix du moteur

Nous avons tout d'abord deux grandes catégories de moteur qui sont les moteurs électriques et les moteurs thermiques. Ici nous avons fait le choix d'un moteur électrique car nous n'avons pas besoin de transmettre un très grand couple et à très grande vitesse comme c'est le cas des voitures (66KW par exemple) avec les moteurs thermiques. De plus l'alimentation électrique est beaucoup plus adéquate que la combustion d'essence pour un petit chariot à assistance électrique. C'est pour cette raison qu'il s'agit d'une assistance électrique et non thermique.



Ensuite la prochaine étape du choix du moteur électrique réside dans son mode d'alimentation, soit à courant continu ou soit à courant alternatif. Parmi ces derniers on retrouve les moteurs synchrones ou asynchrones, alimentés en monophasés ou triphasés. Il y a plusieurs différences entre ces deux modes d'utilisation. Tout d'abord l'alimentation continue est utilisée pour les petits moteurs de faible puissance (inférieure à quelques centaines de watts). De plus ils sont beaucoup moins encombrants que les moteurs à courant alternatif et leur prix est bien moins élevé. Pour finir ils peuvent être alimentés par l'intermédiaire d'une batterie 12V ou 24V selon les moteurs, ce qui est pratique car elles sont faciles à trouver. Toutes ces raisons nous ont permis de faire le choix d'un moteur à courant continu.

Il convient ensuite de choisir le type de moteur à courant continu : avec balais (brushed) ou sans balais (brushless). Le moteur sans balais est une évolution du moteur avec balais. Celui-ci est également plus coûteux du fait de l'amélioration électronique du moteur (qui remplace les balais) et de la possibilité de mieux contrôler la vitesse. Les moteurs pas à pas en font notamment partie. La grande différence d'un point de vue technique repose principalement sur la position des aimants au sein du moteur. Dans le moteur sans aimant le bobinage se situe sur le stator (partie statique) et les aimants sur le rotor (partie mobile). Dans un moteur avec aimant ces deux parties sont inversées. Nous ferons donc le choix d'un moteur à aimant (brushed), meilleur d'un point de vue budget et contrôlabilité.

Enfin parmi les différents moteurs à aimant, notre choix se portera sur le moteur à excitation en série car il permet d'avoir un meilleur couple dès le démarrage qui diminuera progressivement au profit de la vitesse. Lorsque que le chariot sera chargé il faudra un bon couple de démarrage afin de le mettre en mouvement.

Grâce aux recherches et calculs, on a défini le moteur dont nous avons besoin :

Un moteur à courant continu, à aimant, à excitation série d'une puissance d'environ 279W.

En se renseignant auprès des professeurs de MECA, nous avons pu trouver un moteur qui correspond à nos ambitions sans dépenser d'argent. Il s'agit du moteur MY1016, c'est un ancien moteur de scooter d'une puissance de 250W et d'une vitesse de 2650tr/min.



4.2.5. Transmettre l'énergie

4.2.5.1. Dimensionnement

Le moteur tourne à une vitesse de 2650 tr/min. Il faut alors utiliser une réduction de 1/5 pour que les roues tournent à une vitesse de 530 tr/min. Ainsi $r = 1/5$.

De plus le pignon moteur comporte 11 dents avec un pas de 6,35mm donc un module m de 2. Il faudra également mettre en place un axe reliant les deux roues arrière qui seront motrices.

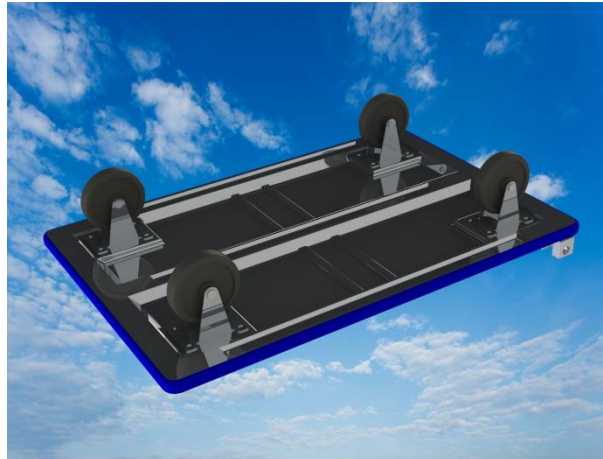
4.2.5.2. Choix de la transmission

La 1ère solution consiste à réaliser un engrenage direct entre le moteur et l'axe des roues. Or le pignon moteur possède 11 dents, pour respecter le rapport de 1/5 la roue dentée sur l'axe des roues devra comporter 55 dents, ce qui représente un diamètre primitif de : $d = m * Z = 2 * 55 = 110\text{mm} = 11 \text{ cm}$. Ce diamètre étant plus grand que le diamètre des roues, ce système est impossible à mettre en place.

La seconde solution consiste à réaliser un train d'engrenage, mais au vue de la configuration il faudrait également positionner le moteur à proximité de l'axe. Or la place sous le chariot où l'on peut placer le moteur est très restreinte. De plus il faudrait un grand nombre de roues dentées et donc de nombreux axes à mettre en place. Nous n'utiliserons donc pas ce système.

Ensuite pour les transmissions à longue distance, on peut utiliser la transmission par chaîne ou par courroie. En se renseignant auprès du pôle robotique nous avons trouvé une courroie de dimension $L = 500\text{mm}$ de longueur et de pas $p = 3\text{mm}$.

Le pas étant tellement faible, nous ne pouvons utiliser cette unique transmission. De plus il ne supporterait pas le couple à transmettre. Nous devons réaliser un rapport de réduction de 1 entre les deux poulies de la courroie, c'est-à-dire les deux mêmes poulies. Nous devons donc réaliser un train d'engrenage de rapport de réduction de $1/5$ puis une transmission par courroie crantée de rapport 1 pour assurer la transmission sur la distance. La position du moteur sera fonction de la position de la courroie (longueur de la courroie imposée), du système d'engrenages et de la place sous le chariot.

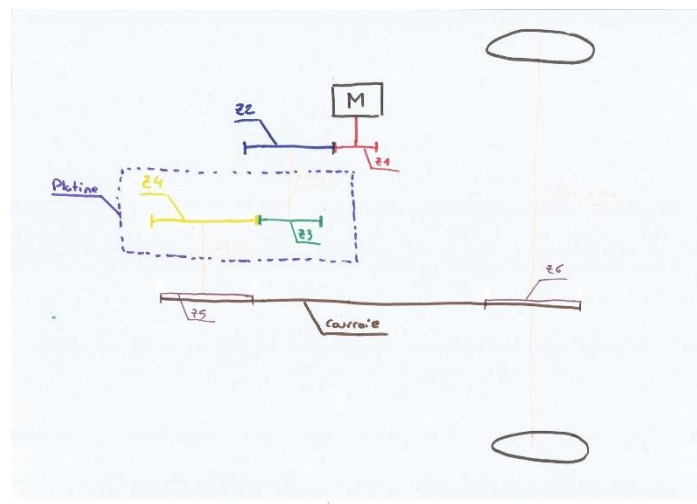


Nous avons fixé le nombre de dents des engrenages de façon arbitraire mais raisonnable en fonction du module et du diamètre de telle sorte à ce qu'ils passent sous le chariot.

$Z1 = 11$; $Z2 = 26$; $Z3 = 18$; $Z4 = 38$; $Z5 = 38$; $Z6 = 38$

Ainsi, on a bien : $r = (Z1 \cdot Z3) / (Z2 \cdot Z4) = 1/5$

Schéma cinématique de la transmission



4.2.5.3. Choix fixation engrenages et dimensionnement axes

Suite à notre définition de la transmission, nous devons dimensionner 3 axes : l'axe des roues, l'axe entre les roues 2 et 3 et l'axe entre les roues dentées 4 et 5.

De plus nous avons créé une platine afin de maintenir les 2 axes des roues dentées. Ces deux axes seront montés serrés par un écrou et guidés en rotation par des roulements à bille. Quant aux roues dentées, elles seront fixées par une clavette.



Afin de dimensionner les axes nous allons utiliser les notions de résistance des matériaux. Un arbre en rotation est soumis à un effort de torsion et de cisaillement. Ainsi on déterminera pour chaque arbre un diamètre minimal, un pour la condition de résistance et un pour la condition de rigidité. On retiendra le maximum des deux.

Les caractéristiques de l'acier doux sont les suivantes :

- Résistance élastique : $R_e = 280\text{MPa}$
- Coefficient de sécurité : $s=2$
- Limite élastique de cisaillement : $R_c = R_e/2 = 140\text{ MPa}$
- Résistance pratique au cisaillement : $R_{pg} = R_c/s = 70\text{ MPa}$
- Masse volumique $\mu = 80000$

• Dimensionnement de l'arbre des roues arrière en acier doux

○ Condition de résistance

Couple $C = 5,025\text{Nm}$

moment quadratique moyen $I_o = \pi \cdot (R^4)/2$

$R_{\max} < R_{pg} \Leftrightarrow C \cdot R / I_o < R_{pg} \Leftrightarrow$

$D1 > ((16 \cdot 5,025) / (\pi \cdot 70))^{1/3} \Leftrightarrow \mathbf{D1 > 24mm}$

○ Condition de rigidité

Angle de torsion unitaire $T = 0,25\text{ deg/m} = 0,25 \cdot \pi \cdot 0,001/180$

$C (\mu \cdot I_o) < 0,25 \cdot \pi / 180 \Leftrightarrow D > ((32 \cdot C) / (\pi \cdot \mu \cdot T))^{1/4}$

$\Leftrightarrow \mathbf{D2 > 21\text{ mm}}$

On retiendra donc comme diamètre de l'arbre des roues : $\mathbf{D = 25mm}$

- **Dimensionnement arbre roue dentée n°1 en acier doux**

- Condition de résistance

Rendement engrenage $n = 0,98$

Rapport de réduction $r = Z_1/Z_2 = 11/26$

Couple $C = 0,9 \cdot 0,98 / (11/26) = 2,08 \text{ Nm}$

Moment quadratique moyen $l_o = \pi \cdot (R^4) / 2$

$R_{\max} < R_{pg} \Leftrightarrow C \cdot R / l_o < R_{pg} \Leftrightarrow$

$D_1 > ((16 \cdot 2,08) / (\pi \cdot 70))^{1/3} \Leftrightarrow \mathbf{D_1 > 11mm}$

- Condition de rigidité

Angle de torsion unitaire : $T = 0,25 \text{ deg/m} = 0,25 \cdot \pi \cdot 0,001 / 180$

$C / (\mu \cdot l_o) < 0,25 \cdot \pi / 180 \Leftrightarrow D > ((32 \cdot C) / (\pi \cdot \mu \cdot T))^{1/4}$

$\Leftrightarrow \mathbf{D_2 > 9 \text{ mm}}$

On retiendra donc comme diamètre de l'arbre des roues dentées n°1 : **D = 12mm**

- **Dimensionnement arbre roue dentée n°2 en acier doux**

- Condition de résistance

Rendement engrenage $n = 0,98$

Rapport de réduction $r = Z_3/Z_4 = 18/38$

Couple $C = 2,08 \cdot 0,98 / (18/38) = 4,30 \text{ Nm}$

Moment quadratique moyen $l_o = \pi \cdot (R^4) / 2$

$R_{\max} < R_{pg} \Leftrightarrow C \cdot R / l_o < R_{pg} \Leftrightarrow D_1 > ((16 \cdot 4,30) / (\pi \cdot 70))^{1/3}$

$\Leftrightarrow \mathbf{D_1 > 14mm}$

- Condition de rigidité

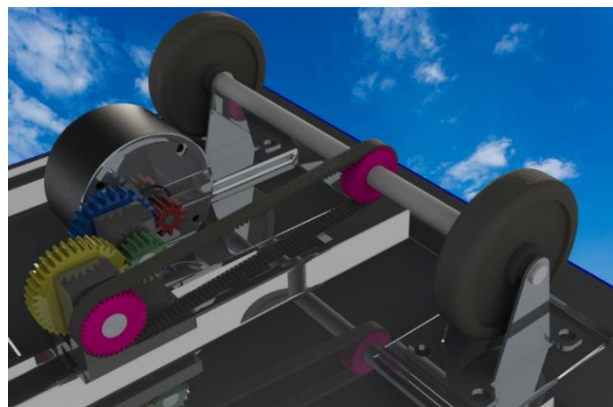
Angle de torsion unitaire $T = 0,25 \text{ deg/m} = 0,25 \cdot \pi \cdot 0,001 / 180$

$C / (\mu \cdot l_o) < 0,25 \cdot \pi / 180 \Leftrightarrow D > ((32 \cdot C) / (\pi \cdot \mu \cdot T))^{1/4}$

$\Leftrightarrow \mathbf{D_2 > 12 \text{ mm}}$

On retiendra donc comme diamètre de l'arbre des roues dentées n°2 : **D = 15mm**

Ainsi en fonction des diamètres définis ci-dessus on a créé l'arbre des roues et la platine adaptée. En conclusion, la conversion et la transmission du mouvement sont modélisées et prêtes à être conçues comme le montre cette photo.



5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Pour conclure, ce projet nous a permis de nous confronter à un problème réel et d'en constater les différentes difficultés et imprévues. En effet, nous n'avons pas eu le temps de réaliser l'objectif initial qui était de créer un prototype. Nous avons réalisé toute la partie théorique, cependant nous n'avons pas eu le temps de trouver toutes les pièces nécessaires à la réalisation du prototype. Il était assez difficile de joindre les personnes à l'INSA pouvant nous procurer le matériel nécessaire. Tout ceci nous a fait prendre du retard.

Certains d'entre nous avons découvert l'utilisation de nouveaux logiciels tels que RDM6, Tinkercad circuit ou encore l'utilisation de carte Arduino. Nous avons également utilisé SolidWorks avec une approche différente de celle des cours de CT13. Ce fut donc une occasion d'enrichir notre bagage technique personnel. Nous avons su nous aider les uns les autres en profitant des capacités de chacun pour former un groupe de travail efficace et agréable. Nous avons appris à nous partager les tâches d'un projet, à réaliser un planning et l'importance de respecter les dates limites pour le bon déroulement de celui-ci.

Il serait maintenant intéressant de poursuivre le projet afin de réaliser les tests pour vérifier l'analyse théorique. Tout d'abord il faudrait vérifier si la déformation de la barre serait suffisante pour capter la force exercée par l'utilisateur sans une trop grande incertitude. Nous imaginons que des réglages auraient été nécessaires pour mieux correspondre à nos attentes. Un problème que nous avons imaginé est le passage de la marche avant à la marche arrière. En effet l'utilisateur retient le chariot, donc la force qu'il exerce ainsi que l'assistance sont négatives. La tension est alors inversée entraînant le changement du sens de rotation du moteur et donc celui des roues, ce qui est concrètement impossible. Ces deux exemples de problèmes possibles montrent l'importance d'expériences concrètes en plus de l'analyse théorique.

6. BIBLIOGRAPHIE

-« Choisir une batterie de vélo électrique » [En ligne : <https://www.cyclable.com/comment-choisir-la-batterie-de-son-velo-a-assistance-electrique/>]. Consulté le 14 juin 2019.

-« Comment ça marche un vélo électrique » [En ligne : <https://www.ecycle.fr/comment-ca-marche-un-velo-electrique.html>]. Consulté le 14 juin 2019.

-« Fonctionnement d'un moteur de vélo électrique » [En ligne : <https://www.cyclable.com/comment-fonctionne-le-moteur-dun-velo-a-assistance-electrique/>]. Consulté le 14 juin 2019.

-« Histoire du velo electrique » [En ligne : http://www.toutsurlevae.org/histoire_du_velo_electrique.htm]. Consulté le 14 juin 2019.

-LEARN ENGINEERING, « DC Motor, How it works? », [En ligne : <https://www.youtube.com/watch?v=LAtPHANefQo>]. Consulté le 14 juin 2019.

-« L'histoire de la voiture hybride » [En ligne : <http://www.lavoiturehybride.com/info/histoire-de-la-voiture-hybride/>]. Consulté le 14 juin 2019.

-« L'histoire de la voiture hybride et son avenir » [En ligne : <https://abcmoteur.fr/retro/histoire-voiture-hybride-et-son-avenir/>]. Consulté le 14 juin 2019.

-« Types d'assistance vélo électrique : directe ou proportionnelle » [En ligne : https://www.bybike.fr/types-assistances-electriques-velo_s192.html]. Consulté le 14 juin 2019.

-« Vélos électriques : grandes notions sur l'assistance électrique » [En ligne : <https://www.cyclable.com/blog/2018/09/11/velo-electrique-grandes-notions/>]. Consulté le 14 juin 2019.

-« Le moteur à courant continu (partie 1) : transistors et sorties PWM » [En ligne : <https://openclassrooms.com/fr/courses/2778161-programmez-vos-premiers-montages-avec-arduino/3285333-le-moteur-a-courant-continu-partie-1-transistors-et-sorties-pwm>]. Consulté le 14 juin 2019.

-« Les capteurs inductifs : principe et applications » [En ligne : https://www.over-blog.com/Les_capteurs_inductifs_principe_et_applications-1095203942-art137628.html]. Consulté le 14 juin 2019.

-« Sensors_brochure_fr.pdf », , [En ligne : https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2017-04/sensors_brochure_fr.pdf]. Consulté le 14 juin 2019.

-« Tinkercad | Create 3D digital designs with online CAD » [En ligne : /]. Consulté le 14 juin 2019.

7. ANNEXES

7.1. Tableau de valeurs d'une situation

$= (1/SHS1) * (B2 + C2 - SHS2 * SHS1 * SHS3)$

A	B	C	D	E	F	G	H
t(en s)	F(t)	A(t)	Accélération			masse (en Kg)	50
0	40	30	0,9095			α coeff frottement	0,05
1	50	40	1,3095			g (en m.s ⁻²)	9,81
2	50	45	1,4095				
3	50	50	1,5095				
4	50	50	1,5095				
5	50	50	1,5095				
6	50	50	1,5095				
7	50	50	1,5095				
8	50	50	1,5095				
9	50	50	1,5095				
10	50	50	1,5095				
11	50	50	1,5095				
12	50	50	1,5095				
13	50	50	1,5095				
14	50	50	1,5095				
15	50	50	1,5095				
16	50	50	1,5095				
17	50	50	1,5095				
18	50	50	1,5095				
19	50	50	1,5095				
20	50	50	1,5095				
21	50	50	1,5095				
22	50	50	1,5095				
23	0	40	0,3095				
24	-10	0	-0,6905				
25	-10	-10	-0,8905				
26	-20	-10	-1,0905				
27	-20	-10	-1,0905				
28	-20	-10	-1,0905				
29	-20	-10	-1,0905				
30	-20	-10	-1,0905				

7.2. Programme Arduino

```
1  int vit = 0;
39  while (!(reset == 1)) {
40      vit = analogRead(A0);
41      digitalWrite(10, HIGH);
42      digitalWrite(11, HIGH);
43      digitalWrite(8, LOW);
44      digitalWrite(12, LOW);
45      while (vit != 0) {
46          vit = analogRead(A0);
47          effp = analogRead(A2);
48          effn = analogRead(A1);
49
50          if (effn > Fmax) {
51              digitalWrite(11, HIGH);
52              digitalWrite(12, HIGH);
53              digitalWrite(10, LOW);
54              digitalWrite(8, LOW);
55              assi = (effn - Fmax);
56              mot = map(assi, 0, 1023-Fmax, 0, 255);
57              Serial.println(mot);
58              analogWrite(11, mot);
59          }
60
61
62          if (effp > Fmax) {
63              digitalWrite(11, LOW);
64              digitalWrite(12, LOW);
65              digitalWrite(8, HIGH);
66              digitalWrite(10, HIGH);
67              assi = effp - Fmax;
68              mot = map(assi, 0, 1023-Fmax, 0, 255);
69              Serial.println(mot);
70              analogWrite(1, mot);
71          }
72
73          if ((effp < Fmax) and (effn < Fmax)) {
74              digitalWrite(10, HIGH);
75              digitalWrite(11, HIGH);
76              digitalWrite(8, LOW);
77              digitalWrite(12, LOW);
```