



BARRANCO Romain, DI VITTORIO Gianni, MONNIER
Yohan

Professeur et encadrant : M. Rouillard et
Mme. Vuong (technicienne)



Aimant à Grande Vitesse

Un train nouvelle
génération

SOMMAIRE :

Résumé	3
Introduction	3
I/ Sources et expériences préliminaires	4
<i>A) Les trains futuristes, une inspiration</i>	
<i>B) Expériences préliminaires</i>	
II/ Montage actuel	9
<i>A) Notre matériel</i>	
<i>B) Notre montage</i>	
<i>C) Difficultés rencontrées</i>	
III/ Expérimentation	12
<i>A) Modélisation de courbes expérimentales</i>	
<i>B) Justification des courbes exponentielles</i>	
IV/ Perspectives	18
<i>A) Projet d'un train infini et autonome</i>	
<i>B) Approfondissement de nos recherches</i>	
 Conclusion	
 Remerciements	
 Bibliographie	
 Tableau des abréviations	

Résumé :

« Aimant à grande vitesse » est un projet dont l'objectif est de réaliser un moyen de transport, soit à l'aide des différentes propriétés du magnétisme soit en essayant de reprendre le modèle du train à sustentation électromagnétique.

Nous avons donc créé le projet d'un aimant rapide (qui symbolise un train) et qui peut être comparé à un TGV (Train à Grande Vitesse).

L'idée du train futuriste nous est venue lorsque nous avons vu des trains tels que le Maglev ou encore l'Hyperloop. L'Hyperloop n'est encore qu'un projet mais il s'annonce très prometteur tandis que le train appelé Maglev est déjà en service. Il en résulte des vitesses incroyables (de l'ordre de 400 à 1000 km/h), ce qui est dû à l'absence de frottements avec l'air ou le sol. Ces résultats montrent une grande avancée dans le domaine des transports, et ce grâce à la technologie et l'exploitation des différents phénomènes physiques (les découvertes évoluent elles aussi), de créer des moyens de transport futuristes pouvant changer le monde.

Nous avons fait de nombreuses découvertes, tout d'abord en étudiant le magnétisme, puis en essayant d'adapter tout cela à notre manière à un aimant, ainsi que par nos moyens. Notre montage permet pour l'instant de réaliser la maquette d'un circuit à l'aide de bobines et d'un aimant. Nous avons tout de même pu faire des tests et mesures pour ensuite attribuer à notre montage des modélisations. Ces dernières nous ont emmené à des résultats que nous avons ensuite interprété. Pour finir, nous avons encore un très grand nombre de découvertes à faire et de domaines à exploiter pour pouvoir atteindre nos objectifs les plus ambitieux avec succès.

Introduction :

De nos jours, le monde évolue et par dessus tout en terme de technologies (qui fait évoluer de nombreux domaines tels que la médecine, la physique, ...). Nous pouvons donc imaginer un moyen de transport à caractère futuriste, qui permettrait d'être plus rapide. Ce moyen de transport à déjà été imaginé, notamment dans le domaine ferroviaire, comme par exemple le Maglev qui est un train utilisant les propriétés magnétiques pour circuler, il fonctionne sur le principe de la sustentation électromagnétique, ainsi il peut atteindre une vitesse maximale très haute (501 km/h). On dénombre déjà quatre lignes et une cinquième en projet en Asie. Comme second exemple nous avons aussi l'Hyperloop qui permettrait d'atteindre une vitesse d'environ 1100 km/h, tout cela à l'aide des propriétés du magnétisme. Tous ces progrès ne sont que le début d'une grande époque qui évolue avec son temps et qui utilise les technologies pour limiter les problèmes de la société actuelle.

Un aimant peut-il faire office de train à petite échelle ?

Notre idée est partie du TPE (Travaux Personnels Encadrés), en effet, le sujet était les transports en communs et les moyens de limiter les effets sur l'environnement. Dans le cadre des olympiades de physiques, nous avons donc développé et étudié la partie physique (magnétisme, train à sustentation électromagnétique) plutôt que la partie chimique (concevoir du biocarburant).

Pour ce qui est du cas des olympiades, nous nous sommes tout d'abord questionnés sur le fonctionnement des trains futuristes déjà existants pour ensuite pouvoir étudier le magnétisme afin d'obtenir un circuit fonctionnel. Ceci nous a permis d'étudier plusieurs paramètres de notre montage. Pour finir, nous avons plusieurs éléments à étudier prochainement qui pourraient nous expliquer certaines situations.

I/ Sources et expériences préliminaires

A) Les trains futuristes, une inspiration

Le projet du train Hyperloop imaginé par Elon Musk a pour but d'optimiser le plus possible la vitesse, et donc un voyage plus rapide que les lignes à grande vitesse déjà existantes.

Quelques essais ont été faits mais aucune ligne concrète n'existe.

Ce projet est qualifié de futuriste car l'absence de frottements quelconque est la base de ce train, et ceci est réussi car il serait en lévitation au dessus de la voie et il se déplacerait dans un milieu sous vide et donc éviterait les frictions d'airs. Avec ces différents critères, les chercheurs estimerait une vitesse de pointe d'environ 1000 km/h, du jamais vu dans le monde ferroviaire.

Pour un ordre d'idée, ce dernier relierait Paris et Marseille en 40 minutes contrairement 7 heures en voiture, plutôt intéressant n'est-ce pas ? Et pourquoi pas travailler à Paris pour un Marseillais par exemple ?

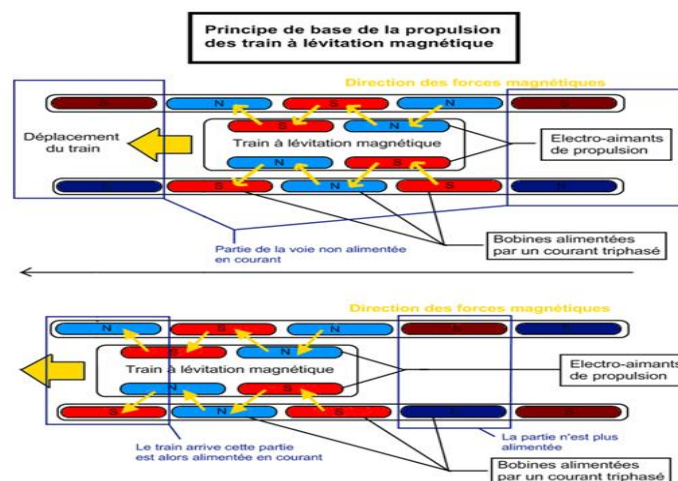
L'Hyperloop aurait pour but de faire reposer des capsules sur un coussin d'air. Le déplacement de ces dernières (constituées d'aimants) se fait grâce à des lames constituées d'électro-aimants qui sont situées à l'intérieur du tube et lorsque les wagons traversent ces lames, elles sont alors attirées puis repoussées par les aimants.

Pour ce qui est de la sécurité, la voie reposerait sur des pylônes, car à une vitesse d'environ 1000km/h, un tremblement de terre ou un choc avec une voiture pourrait être fatal.

Le principe du train Maglev repose sur le magnétisme et la lévitation, d'où son nom « mag » comme magnétisme et « lev » comme lévitation. Sa vitesse est d'environ 500 km/h.

Il existe déjà quatre lignes en service sur le continent asiatique (Shanghaï, Japon...).

Ce train fonctionne grâce à la sustentation électromagnétique. Le train est composé d'aimants au dessus d'un supraconducteur contrairement à la voie qui est constituée d'électro-aimants. Lors du passage du train, le phénomène qui explique une inversion de pôles magnétiques, s'appelle un champ magnétique de décalage. Ceci permet au train de se déplacer. Les pôles des électro-aimants de la voie alternent attirant le train vers lui dans un premier temps puis une fois celui-ci passé, il y a inversion des pôles et donc le train se fait repousser pendant que d'autres l'attirent de nouveau.



B) Expériences préliminaires

1- Première idée

Notre première idée est venue d'une vidéo trouvée grâce à nos recherches. Cette dernière était de créer un solénoïde afin d'en faire un circuit. Dans celui-ci nous aurions mis une pile (office de générateur) et sur chaque borne de cette dernière des aimants. Lorsque le composant aurait été au contact du solénoïde, il aurait donc alimenté le fragment de circuit et donc se serait déplacé.



Mais cette idée a été abandonnée car nous devions trouver des aimants plus gros que la pile, mais aussi enlever le vernis du fil de cuivre pour avoir plus de puissance comme montré sur la photo ci-dessus. Cette idée s'avérait très peu durable alors nous devons nous creuser les méninges.

2- Seconde idée

Pour la seconde idée, nous avons créé notre propre circuit en enroulant le fil de cuivre et en plaçant un aimant néodyme à l'intérieur, cet enroulement agirait comme une bobine.

L'idée était donc d'alimenter directement le circuit, et ainsi lorsque le solénoïde est alimenté nous savons qu'il crée un champ magnétique ce qui nous permettrait de faire avancer l'aimant. De plus, le projet était d'utiliser du plastique qui ferait office de rails afin que l'aimant ne frotte pas sur le cuivre enroulé et ne se bloque pas entre deux spires.



Mais l'idée a été abandonnée car l'aimant avançait uniquement sur un petit fragment du circuit, nous avons donc changé d'idée.

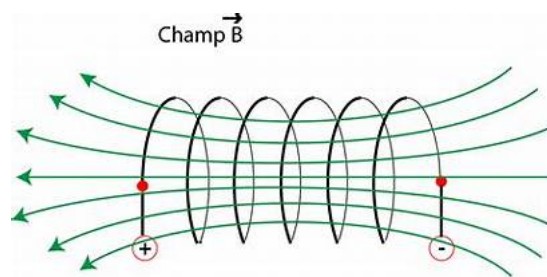
Une bobine ou solénoïde (imaginé en 1820 par André-Marie Ampère lors d'une expérience sur les courants circulaires) est un enroulement régulier en hélice d'un fil électrique métallique.

Parcouru par un courant alternatif ou alors continu dans notre cas, il produit donc un champ magnétique à l'intérieur de ce bobinage. Lorsque ce dernier est parcouru par une énergie électrique, la force de ce champ magnétique dépendra de l'intensité du courant, et sera créé selon son axe d'enroulement.

Dans ce montage, l'enroulement de la bobine permet d'avoir un champ à l'intérieur du solénoïde qui va de la borne + vers le - alors si on inverse les pôles électriques, le champ magnétique s'inverse. A l'intérieur d'une bobine, parcourue par un courant électrique continu, la valeur du champ magnétique est constante en tout point (sauf sur les extrémités). Il a aussi même direction et même sens en tout points. On dit qu'il est uniforme.

Il faut savoir que sur une même longueur de bobinage, le nombre de spires est proportionnel au champ magnétique. C'est à dire qu'une bobine de 100 spires, son champ magnétique sera 10 fois plus élevé qu'une bobine de 10 spires.

Schématisation d'un champ magnétique dans un solénoïde



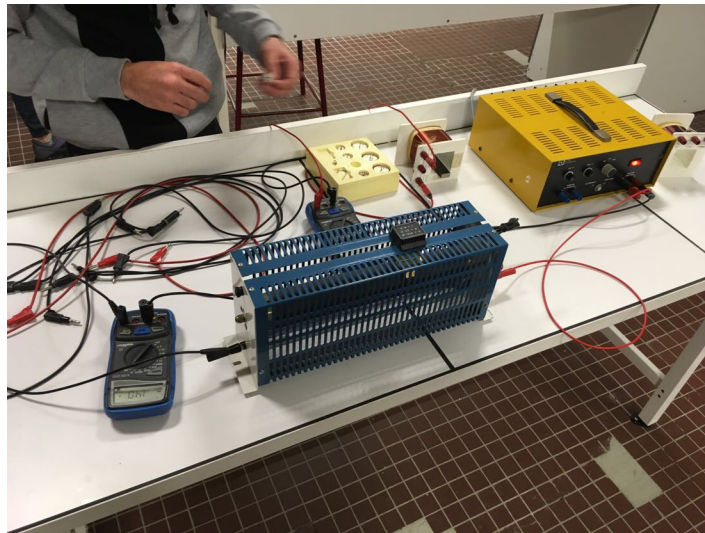
3- Troisième idée

De ce fait, nous sommes passés à la troisième idée qui s'avère être une dérivée de la seconde finalement puisqu'elle est réalisée à plus grande échelle.

En effet nous avons utilisé une bobine plus grande fournie par le lycée, dans laquelle nous avons introduit un aimant permanent d'environ 10 cm de longueur (on rappelle qu'un aimant permanent est un aimant qui garde une partie de son aimantation lorsqu'il n'est plus soumis à un champ magnétique extérieur).

Ainsi la bobine est alimentée par un générateur, cette dernière est branchée avec un rhéostat qui permet de faire varier l'intensité de la bobine (car elle ne supporte qu'une certaine valeur d'intensité limitée).

Pour finir, le tout est contrôlé par un ampèremètre branché en série. De cette manière, nous pouvons déplacer l'aimant lorsqu'il est dans la bobine selon son positionnement (au niveau des pôles magnétiques).

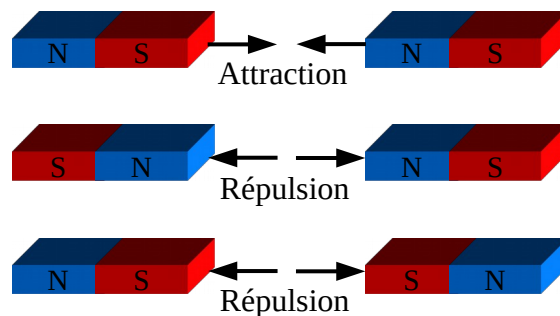


Cette idée a été développée par la suite car elle s'avérait pratique et peu problématique.

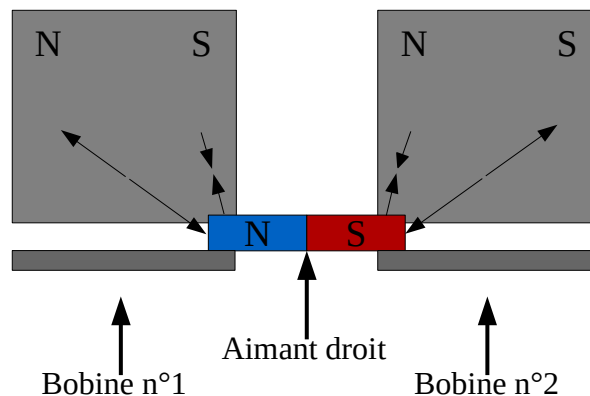
4- Concrétisation

Nous voulions donc faire avancer notre aimant sur une plus grande distance, pour cela nous avons donc utilisé une deuxième bobine. Mais nous avons remarqué que l'aimant se faisait ré-attirer en arrière par une certaine force qui nous était inconnue et qui ensuite stoppait l'aimant entre les deux bobines. Nous devions donc étudier la source du problème et les phénomènes qui se produisaient.

Il faut savoir qu'une bobine étant alimentée par un courant électrique se comporte comme un aimant. C'est à dire que deux mêmes pôles magnétiques se repoussent tandis qu'un pôle Nord et un pôle Sud s'attirent. Comme montré sur le schéma ci-dessous.



C'est ainsi que nous pouvons comprendre d'où vient le problème. L'aimant se trouve sur un point d'équilibre entre les pôles magnétiques des bobines qui attirent l'aimant de chaque côté et qui le repoussent aussi de la même façon.

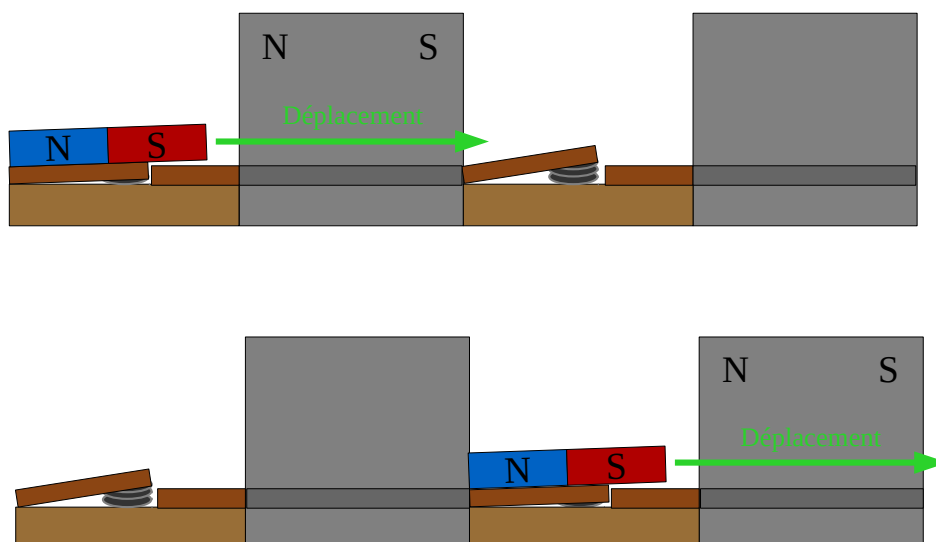


Pour résoudre ce problème nous avons donc dû essayer de chercher des solutions et ça n'a pas été de tout repos.

Il fallait donc imaginer un système qui permettrait de couper et alimenter le courant d'une bobine. Pour ce faire, un interrupteur serait nécessaire mais automatique car nous voulions un circuit autonome.

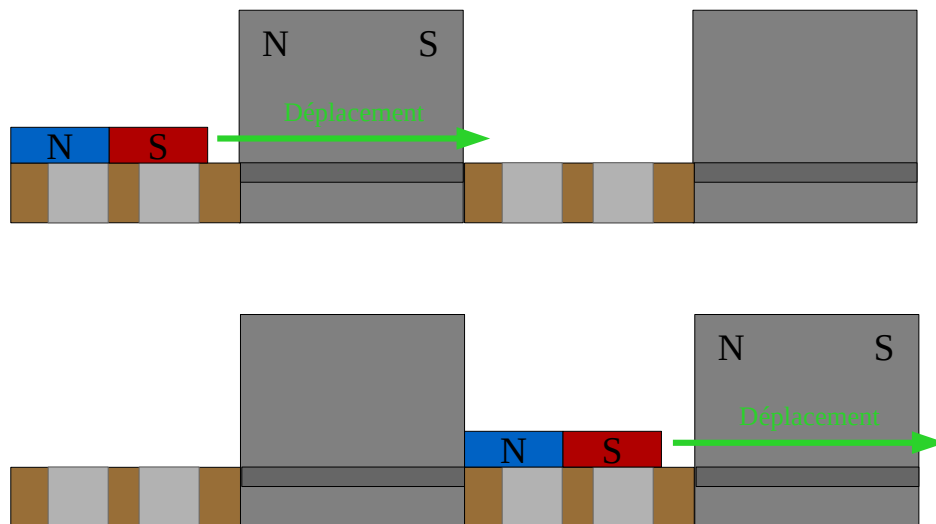
Notre première idée était d'utiliser un interrupteur à bascule. Grâce à un ressort, avec la masse de l'aimant il permettrait d'abaisser la bascule et donc d'alimenter la bobine à son passage et de couper le courant lorsque ce dernier n'y fait plus place. En actionnant ce dernier la bobine créera donc son champ magnétique qui fera donc avancer l'aimant.

Avec sa vitesse ou son inertie, il arrivera à atteindre le deuxième interrupteur et par le même principe alimentera le deuxième solénoïde et permettra à l'aimant de continuer son avancée.



Mais cette idée a été rejetée car elle aurait été difficile à mettre en place de plus les bascules pourraient faire perdre de la vitesse à notre train.

Notre dernière idée, qui est celle actuelle, était d'utiliser des plaques d'aluminium (Al) qui est un métal et qui ferait office de bornes. Étant donné qu'un aimant est conducteur car il contient du fer, lorsque ce dernier se trouvera sur ces bornes il alimentera le circuit de la première bobine et de la même manière créera le champ magnétique de cette dernière qui le fera avancer, pour ensuite faire de même pour la seconde.

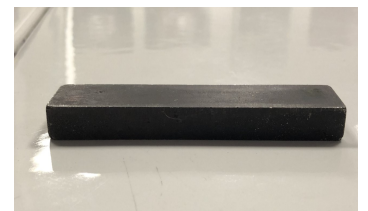


II/ Montage actuel

A) Notre matériel

1- Caractérisations de nos aimants :

Tout d'abord, notre aimant est un barreau de 10 cm (± 1 mm) de longueur et de 1 cm (± 1 mm) de largeur. Il pèse environ 152g. Il est métallique et c'est un aimant permanent. La résistance de l'aimant vaut environ 0.2Ω ($\pm 0,1 \Omega$). De plus, à l'aide d'un tesla mètre manuel, nous avons mesuré la valeur de son champ magnétique, environ 180mT (± 10 mT)



2- Cartographie de nos aimants :

Nous avons ensuite déterminé les pôles magnétiques Nord et Sud en plaçant une boussole sur l'aimant ce qui nous a également donné ses lignes de champ. Pour être plus précis, nous avons utilisé de la limaille de fer afin de voir le champ magnétique de notre aimant (voir image ci-contre).



3- Caractérisations de nos bobines

Nous possédons 2 bobines, une nommée TM.41 et l'autre nommée TM.42. Elles ont la même hauteur de 10,9 cm (± 1 mm), et le même espace central formant un carré de 4,9 cm (± 1 mm) de côté.

Mais elles sont différentes à certains points :

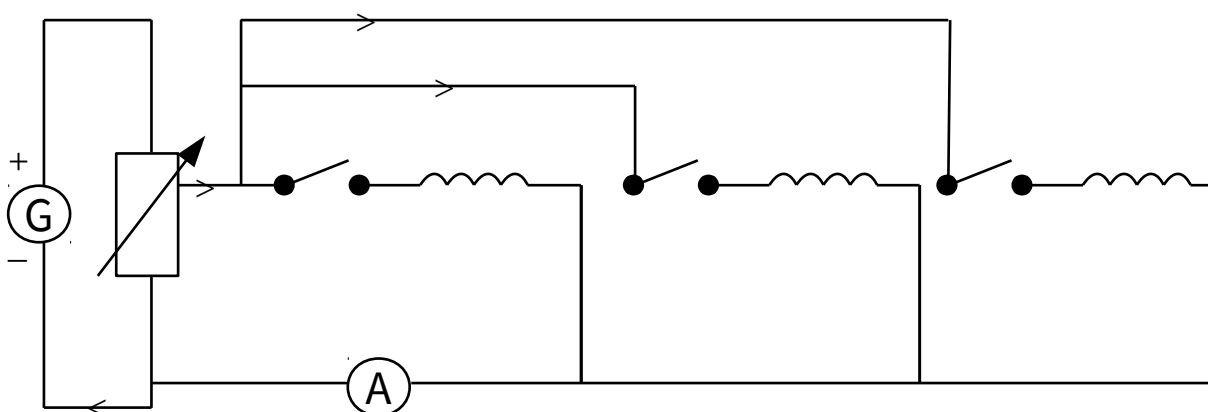
	Bobine TM.41	Bobine TM.42
Valeur du champ magnétique à l'extérieur de la bobine	15 mT ($\pm 1,0$ mT)	55 mT (± 5 mT)
Valeur du champ magnétique à l'intérieur de la bobine	210 mT ($\pm 0,10$ mT)	300 mT (± 10 mT)
Intensité maximum I	10 A	4,5 A
Résistance R	0,65 Ω	2,8 Ω
Nombre de spires	250	500
Inductance	4.5 mH (± 0.5 mH)	12 mH (± 0.5 mH)

La valeur du champ magnétique a été déterminée à l'aide d'un teslamètre manuel (non branché à un ordinateur), cette dernière a été établie lorsque la bobine est directement et uniquement branchée au générateur.

4- Cartographie de nos bobines

Ensuite, nous avons déterminé les pôles négatifs et positifs à l'aide du sens d'enroulement déduit auparavant. Le sens d'enroulement nous a permis de trouver la direction du champ magnétique (autrement dit, le sens dans lequel l'aimant va se déplacer) et en déduire les pôles magnétiques Nord et Sud de la bobine, à l'aide de la 2ème règle de la main droite.

B) Notre montage



C) Difficultés rencontrées

1- Étincelles

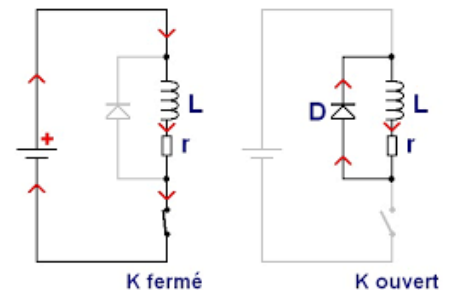
Un problème est intervenu dans notre montage, nous avons remarqué qu'il y avait des étincelles à l'entrée de chacune de nos bobines qui peuvent s'avérer dangereuses. Chaque jonctions étaient constituées de deux plaques d'aluminiums, par ce moyen nous avons observé des étincelles d'environ 2,2cm.

En premier lieu nous avons trouvé la cause de ces étincelles. Celles-ci sont dues au courant qui traverse l'aimant et qui par effet Joule crée de la chaleur. Ce phénomène est aussi dû aux frottements lors du déplacement de l'aimant. Face à ces facteurs des petits morceaux d'aimant se dissocient de ce dernier et créent donc des étincelles. Nous pouvons appuyer ce résultat sur les traces que nous retrouvons sur les plaques d'aluminium, car en effet nous pouvons voir des traces noires laissées sur l'aluminium qui résultent d'une fusion très minime entre ce dernier et l'aimant.

En second lieu les étincelles sont aussi dues aux ouvertures brutales du circuit, lorsque l'aimant quitte l'aluminium et entre dans la bobine il ouvre le circuit brutalement et le circuit passe de 3-4 A à 0 A en très peu de temps, on les appelle des étincelles de rupture. .

Nous avons voulu réduire les étincelles. Pour cela nous avons dû trouver une matière avec les mêmes caractéristiques que les plaques d'aluminiums. Notre choix a été d'utiliser du papier aluminium. Ce résultat a été concluant car les étincelles mesurent environ 0,9cm. Nous avons réduit ces dernières avec un rapport de 2.

Pour conclure il existe donc une solution à ce problème, qui est une diode qui se branche en dérivation avec la bobine, dans le sens du courant, et donc en parallèle avec la bobine. Si la bobine possède une résistance interne trop faible, on peut brancher une résistance externe entre la bobine et la diode qui va permettre de limiter le courant passant dans la diode. (Voir schéma du montage ci-contre)



Le principe est le suivant : lorsque K est fermé, le courant passe normalement, et lors de l'ouverture du circuit, le courant restant dans le circuit va s'estomper dans le circuit en dérivation contenant la diode, la résistance et la bobine (voir schéma ci-dessus). Donc le courant va continuer à circuler dans ce bout de circuit en dérivation et ainsi, la « diode de roue libre » permet d'empêcher l'apparition de surtensions fortes aux bornes de la bobine

En adaptant cela à notre montage, lorsque l'aimant rentre dans notre bobine, il quitte l'aluminium et ainsi il ouvre le circuit brutalement, c'est ici qu'intervient notre « diode de roue libre », elle va permettre de contenir le courant et de l'absorber, ce qui aura comme résultat l'absence d'étincelles. De plus, pour le montage de notre diode, nous sommes dans l'obligation de placer la résistance externe avant la bobine, sinon on constate une perte de puissance de l'aimant assez forte.

2- Mesures d'intensité

Nous avons aussi voulu faire des mesures d'intensité pour pouvoir contrôler celle-ci dans notre montage. Mais lors du lancement de ce-dernier les valeurs d'ampères étaient trop faibles et donc nous pouvons pas exactement évaluer les valeurs qui circulent dans notre montage. Ce problème est dû à notre matériel qui n'est pas assez précis pour faire des mesures d'ampère aussi rapide.

III/ Expérimentation

A) Modélisation de courbes

1- Intensité en fonction de la masse

Après avoir obtenu un montage fonctionnel, nous avons décidé d'approfondir nos recherches en faisant des mesures. Avec notamment des modélisations de courbes dans notre cas, afin de visualiser plusieurs rapports : c'est-à-dire par exemple l'intensité en fonction de la masse ajouté sur l'aimant... Celles-ci ont été faites grâce au logiciel « atelier scientifique » proposé par notre établissement.

Plusieurs courbes ont été modélisées par la suite.

Notre expérience a été faite grâce à des masses différentes que nous avons ajoutées sur l'aimant. En faisant augmenter notre intensité petit à petit nous avons pu voir à laquelle ce dernier bougeait.

Pour que les mesures soient faites dans les mêmes conditions, c'est-à-dire qu'à chaque mesures l'aimant était placé au même endroit, puis les poids ont aussi été placés au même endroit sur l'aimant grâce à un marquage. Pour obtenir de bonnes valeurs nous avons fait 3 mesures différentes pour une même masse et par la suite nous avons calculé une moyenne, afin d'être le plus juste possible.

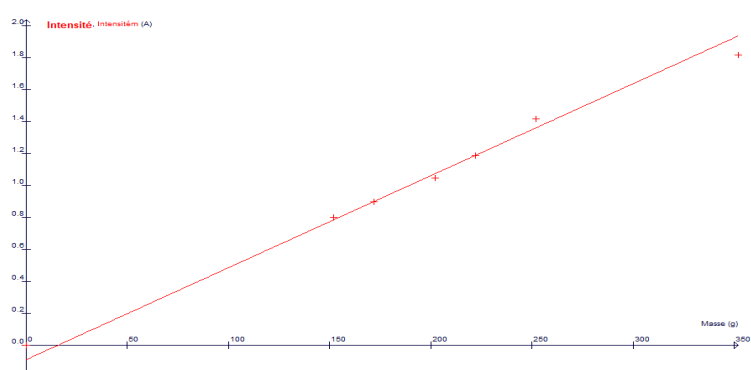
Grd Unité	A Masse g	B Intensité A	C INTENSITE A
		A	A
1	0	0	0
2	152	0.8	0.8
3	172	0.9	0.905
4	202	1.05	1.06
5	222	1.19	1.17
6	252	1.42	1.32
7	352	1.82	1.86

Pour commencer nous avons modélisé une première courbe, qui est l'intensité en fonction de la masse. Nous avons représenté cette dernière pour, ensuite trouver l'intensité qu'il nous faudrait pour une masse x. Cette modélisation nous donne la courbe ci-dessous :

Nous l'avons modélisé par une droite, cette dernière s'est bien adaptée suivant les valeurs que nous avons obtenues. Par définition, nous pouvons voir que la courbe ne passe pas par l'origine et donc qu'elle n'est pas proportionnelle. Nous avons ensuite émis l'hypothèse que l'intensité et la masse seraient proportionnelles, car le fait que ce ne soit pas proportionnelle pourrait être dû à des marges d'erreurs lors des mesures faites.

Modélisation par fonction
de la grandeur : Intensité
 $\text{Intensité} = a * \text{Masse} + b$

$a = 5.76E-3$
 $b = -88.3E-3$
écart type S :
Coefficient de corrélation : 0.0%



2- Vitesse

Que serait un train sans connaître sa vitesse ? Pour cela à l'aide d'une vidéo montrant le déplacement de notre aimant au sein de notre circuit, nous avons pu pointer la position de ce dernier image par image, avec le même logiciel que précédemment, avec un intervalle de 33ms. Nous obtenons donc les valeurs ci-contre. Avec cela nous pouvons donc calculer sa vitesse.

Nous avons une vitesse maximum de 0,872 m/s ou 3.14 km/h.

Une vitesse moyenne de 0,554 m/s ou 1,99 km/h.

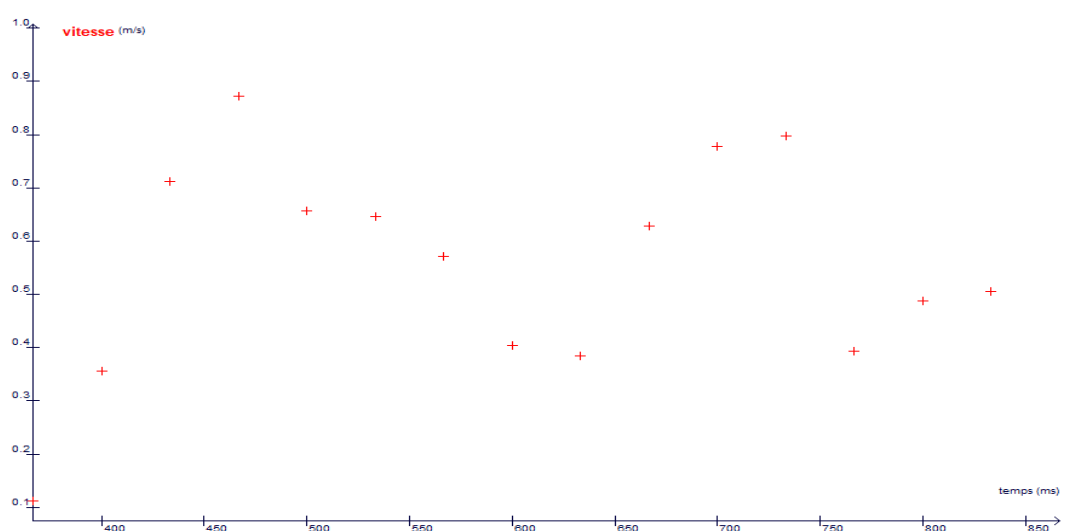
Une vitesse minimum de 0,112 m/s ou 0,403 km/h car c'est la vitesse du départ.

	A	B	C	D
Grd	temps	distance	vitesse	acceleration
Unité	s	m	m/s	m/s ²
1	0.367	0.006	0.112	7.313
2	0.400	0.009	0.356	10.688
3	0.433	0.021	0.713	4.781
4	0.467	0.045	0.872	-6.468
5	0.500	0.074	0.656	-0.281
6	0.533	0.096	0.647	-2.250
7	0.567	0.117	0.572	-5.062
8	0.600	0.137	0.403	-0.562
9	0.633	0.150	0.384	7.312
10	0.667	0.163	0.628	4.500
11	0.700	0.184	0.778	0.562
12	0.733	0.210	0.797	-12.094
13	0.767	0.236	0.394	2.812
14	0.800	0.249	0.487	0.563
15	0.833	0.266	0.506	-15.188
16	0.867	0.282		

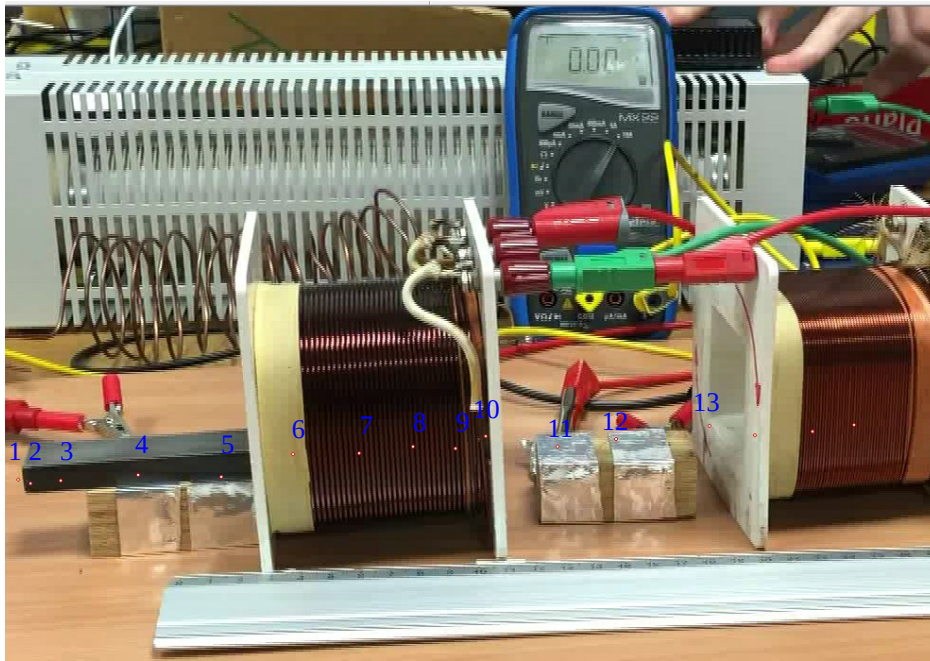
Afin de pouvoir pointer la position de l'aimant lorsque celui est à l'intérieur d'une bobine. Nous devons donc mesurer la taille de l'aimant sur l'ordinateur qui est donc de 7,5cm. Comme au moins une des extrémités de l'aimant est apparente nous pouvons savoir où est placé celui-ci.

Nous pouvons remarquer que sa vitesse est variable, il y a des pics de vitesse, illustrés sur notre courbe ci-dessous. Cela s'explique qu'elle est bien plus importante lorsque l'aimant est placé sur les bornes d'aluminium et qu'il rentre dans la bobine. La vitesse est donc moins importante à la sortie du solénoïde car on le rappelle étant donné que l'aimant n'est plus placé sur les bornes, le circuit est donc ouvert et les bobines ne créent plus leur champ magnétique.

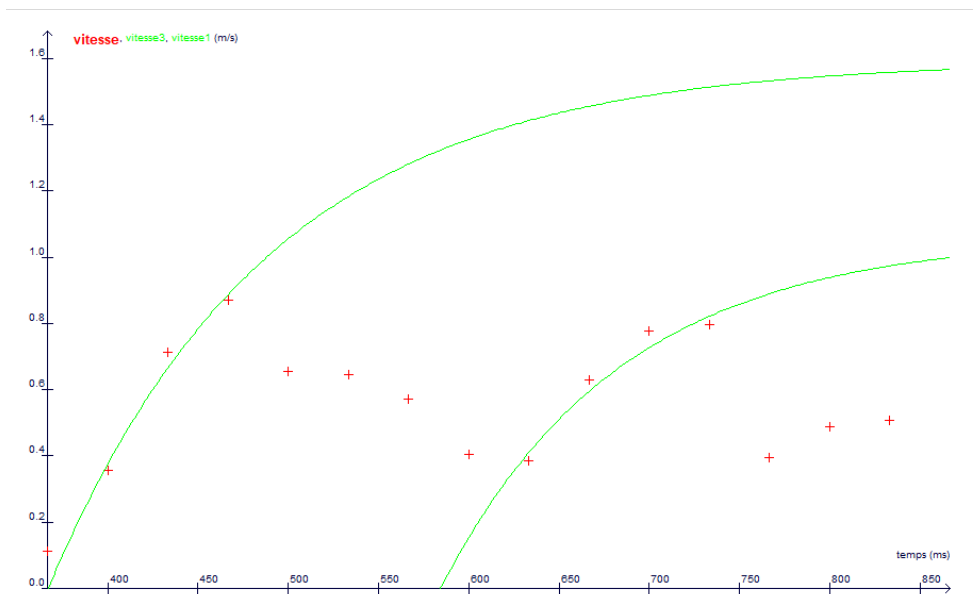
Grâce au graphique précédent, et aux calculs que nous avons faits comme vu sur le tableau, nous pouvons donc voir des phases d'accélération et de décélération. Une forte accélération au départ avec environ 10,7 m/s² et une forte décélération à l'entrée de la seconde bobine, lorsque le circuit est ouvert avec environ -12,1 m/s².



Notre pointage vidéo :



Ensuite, nous faisons des hypothèses pour trouver les modèles correspondant pour modéliser nos courbes (exponentielle, droite...). Ici, on se base essentiellement sur l'allure des points mais nous savons aussi qu'il est logique (d'un point de vue de notre montage), que la vitesse va croître de manière exponentielle grâce à la position de l'aimant. Par exemple pour la première exponentielle, qui concerne les points 1 à 4 nous voyons que c'est lorsque l'aimant démarre jusqu'à être totalement sur l'aluminium, donc c'est normal que la vitesse croît de manière exponentielle.



Première exponentielle croissante :

Modélisation graphique de la grandeur vitesse(temps):
 $vitesse1(temps) = a + b \cdot \exp(-temps/\tau)$

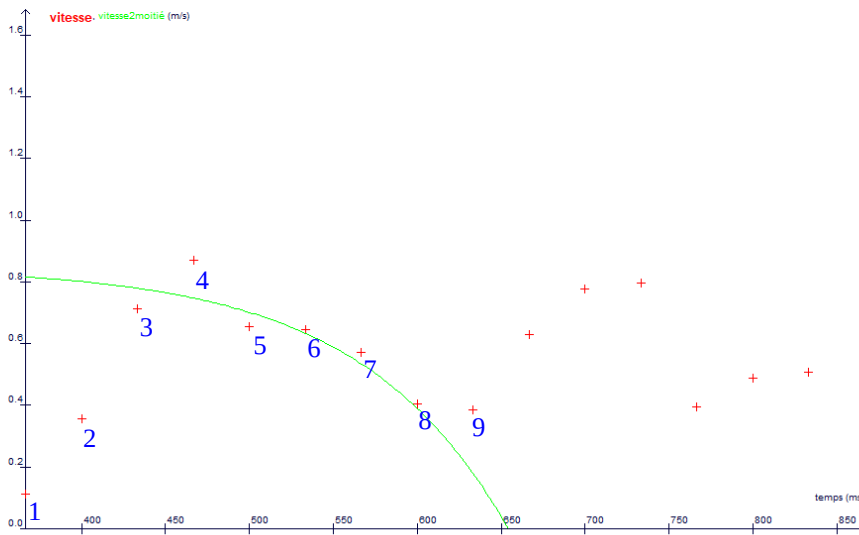
$a = 1.594$
 $b = -31.957$
 $\tau = 0.122$

Deuxième exponentielle croissante :

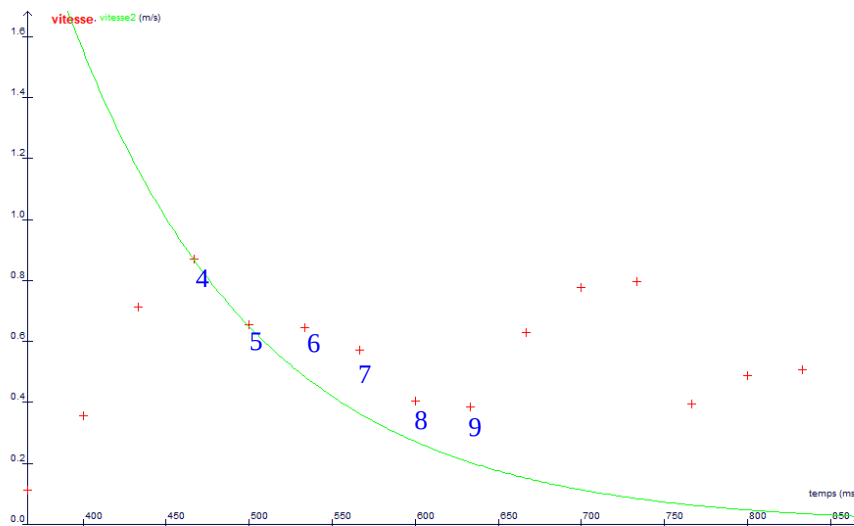
Modélisation graphique de la grandeur vitesse(temps):
 $vitesse3(temps) = a + b \cdot \exp(-temps/\tau)$

$a = 1.063$
 $b = -361.660$
 $\tau = 0.100$

Nous pouvons distinguer plusieurs exponentielles dont deux croissantes. A l'allure de ces dernières nous remarquons que la première exponentielle est environ deux fois plus grande que la deuxième. Cela peut-être dû à la différence du champ magnétique des bobines. Car on le rappelle notre première bobine fait 500 spires et la seconde 250 spires.

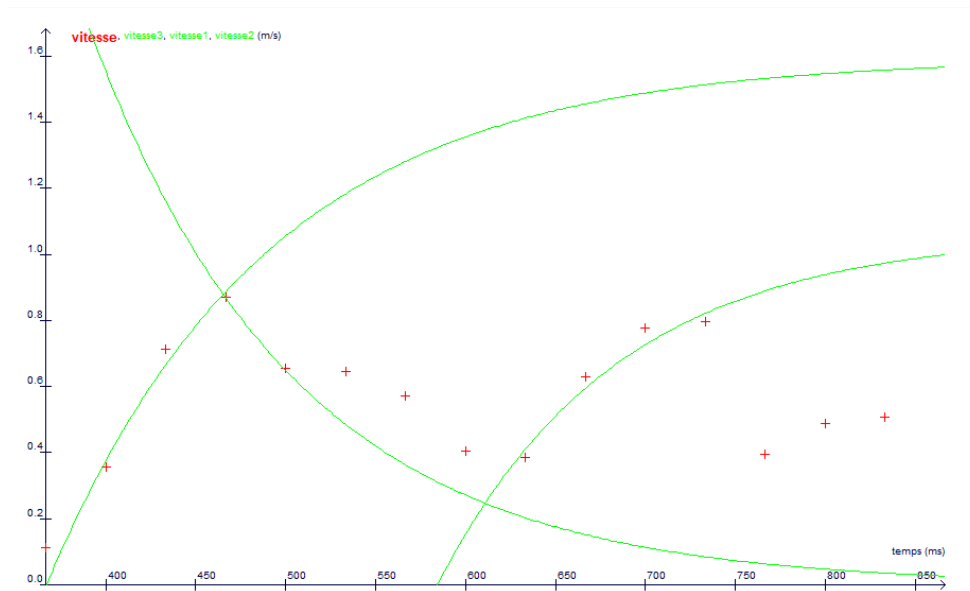


Pour la position des points 5 au point 8 nous pouvons croire qu'ils pourraient représenter cette forme d'exponentielle décroissante selon l'allure des points, or nous faisons l'hypothèse que c'est celle représentée sur notre graphique ci-dessous. Nous ne pouvons pas expliquer cette zone de points mais nous pouvons émettre l'hypothèse que ça pourrait être l'auto-induction. Une fois que l'aimant n'est plus en contact avec les bornes il continue d'avancer avec son inertie.



Modélisation graphique de la grandeur vitesse(temps):
 $vitesse2(temps) = a + b \cdot \exp(-temps/\tau)$
 $a = -0.000$
 $b = 51.007$
 $\tau = 0.115$

Nous avons fait l'hypothèse que les points se modélisent par ce modèle d'exponentielle décroissante grâce au τ qui doit être approximativement le même que celui de nos autres exponentielles, pour pouvoir utiliser par la suite notre équation. Or le τ de l'exponentielle que nous considérons fautive est différent (mathématiquement parlant le signe est opposé, et $-0,088 \neq 0,115$).



Nous faisons donc l'hypothèse que c'est la forme la plus exacte des courbes.

Les trois derniers points mesurés sont sûrement faux car c'est lorsque l'aimant sort de la bobine et tombe ce qui pourrait expliquer cette augmentation de vitesse.

B) Justification des courbes exponentielles

Tout d'abord, nous nous plaçons dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Le système est composé d'un aimant traversant une bobine alimentée, ce dernier est soumis à la pesanteur (vers le bas) qui va donc s'annuler avec la réaction normale (vers le haut), il est aussi soumis aux forces de frottements et aux forces d'attraction.

Nous allons donc utiliser la seconde loi de Newton qui s'applique à notre montage :

$$m \vec{a} = \sum \vec{F} \quad \text{Écriture de la seconde loi de Newton}$$

$$\Leftrightarrow m \vec{a}_x = \sum F_x \quad \text{Travail uniquement sur l'axe des abscisses (x), donc suppression des vecteurs car travail que sur la composante x}$$

$$\Leftrightarrow m \vec{a}_x = -\alpha v_x(t) + F_x \quad \text{Substitution de la somme des forces } F_x$$

$$\Leftrightarrow m \frac{dv_x(t)}{dt} = -\alpha v_x(t) + F_x \quad \text{Substitution de } \vec{a}_x \text{ par dérivée de la vitesse sur dérivée du temps}$$

$$\Leftrightarrow \frac{m}{\alpha} \frac{dv_x(t)}{dt} + v_x(t) = \frac{F_x}{\alpha} \quad \text{Passage de } -\alpha \text{ en dénominateur et } v_x(t) \text{ à gauche}$$

$$v_x(t) = K e^{\frac{-t}{\tau}} + \frac{F_x}{\alpha} \quad \text{Résolution de l'équation différentielle du premier degré (à coefficient constant)}$$

quand la vitesse est nulle : $v_x(0) = 0$

Ce passage va nous permettre de déterminer K (constante)

donc $0 = K + \frac{F_x}{\alpha}$ car $e^0 = 1$

$$K = \frac{-F_x}{\alpha} \quad \text{Isolement et détermination de la constante } K$$

Nous obtenons la solution que l'on peut mettre sous 2 formes différentes :

$$\begin{aligned} v_x(t) &= \frac{-F_x}{\alpha} e^{\frac{-t}{\tau}} + \frac{F_x}{\alpha} & b &= \frac{-F_x}{\alpha}, a = \frac{F_x}{\alpha} \\ \text{ou } v_x(t) &= \frac{F_x}{\alpha} (1 - e^{\frac{-t}{\tau}}) & b &= \frac{F_x}{\alpha}, a = -\tau \end{aligned}$$

Nous choisirons plutôt la première solution, car notre logiciel graphique nous affiche une équation du type $V(t) = a + b \cdot \exp(-\text{temps}/\tau)$

On rappelle que : $\vec{F} = \text{grad}(M \vec{B}_{\text{ext}})$

$$\vec{F}_x = \frac{d M_x \vec{B}_{\text{ext}_x}}{d_x} \quad \text{On ne s'intéresse qu'à l'axe des abscisses, dans le cas contraire, on aurait eu le gradient en fonction de } x, y \text{ et } z$$

$$\vec{F}_x = \frac{M \mu_0 n I}{l}$$

Grâce à l'étude de la 2ème loi de Newton nous avons pu retrouver l'équation des deux exponentielles croissantes que nous avons obtenue, représentée par la courbe de la vitesse en fonction du temps.

D'après notre formule théorique nous pouvons voir que les coefficients a et b de formules

respectives : $\frac{F_x}{\alpha}$, $\frac{-F_x}{\alpha}$, doivent être pratiquement identiques car seule une opposition de

signe doit les distinguer. Or l'équation de notre courbe nous présente des valeurs différentes mais à seulement une puissance de 10. A quoi est due cette différence ?

Nous nous sommes posé cette question, et nous en avons sortie plusieurs hypothèses :

Premièrement nous savons que alpha (α) est le coefficient de frottements et qu'il varie très peu (entre 2 à 3%) car l'aimant passe sur plusieurs matériaux différents.

Deuxièmement, il nous reste une dernière variable à étudier pour finaliser l'étude de la division afin d'essayer de comprendre pourquoi ils sont différents. Cette variable est la force d'attraction. Elle prend en compte l'intensité. D'après ceci nous faisons l'hypothèse que celle-ci est variable au cours du temps.

Troisièmement, pour réaliser tous les calculs, nous avons fait l'hypothèse que le champ magnétique varie de manière uniforme autour de la bobine alors que ce n'est pas vrai, on le sait grâce à la loi de Biot-Savart qui est telle que :

$$B_x(x) = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

De même, quand l'aimant quitte l'interrupteur, et donc qu'il n'alimente plus la bobine, $\vec{F}_x = 0$, d'où l'équation : $m \vec{a}_x = -\alpha v_x(t)$ et la solution deviendra $v_x(t) = \alpha e^{\frac{-t}{\tau}} + \alpha$, qui sera l'équation de notre exponentielle décroissante.

IV/ Perspectives

A) Projet d'un train infini et autonome

Pour ce qui est des perspectives, nous voulons créer un circuit plus grand. Nous avons émis l'hypothèse que notre circuit serait infini (partie 1), donc nous pourrions faire appel à d'autres lycées pour se fournir de plusieurs bobines pour créer un circuit plus grand, cela confirmerait notre hypothèse. Et par la suite si cette expérience fonctionne, nous aimerions créer des virages avec des angles définis et pouvoir voir si nous avons un angle de virage limite avec ce type de montage.

A terme nous aimerions créer un montage infini et autonome à l'aide d'un enroulement de fil de cuivre et des aimants en néodyme (les plus puissants sur le marché).

B) Approfondissement de nos recherches

Ensuite nous aimerions prouver qu'une masse qu'on nommera X est proportionnelle à l'intensité. Ceci pourrait se faire grâce à l'expression de l'énergie mécanique, de plus nous serons obligés de faire l'hypothèse que les frottements sont négligeables. Mais aussi que la valeur de l'accélération soit uniforme selon les différentes masses X.

Une autre piste est à découvrir, qui est la zone de point qu'on ne peut pas expliquer. Donc nous aimerions comprendre ceci. Nous avons émis l'hypothèse que ce phénomène peut être dû à l'induction ou l'auto-induction. Ceci pourrait être un sujet que nous pourrions étudier et au final expliquer cette zone de points.

Une interaction avec un scientifique nous a permis de découvrir encore beaucoup de voies à explorer, ou des formules, comme celles de la puissance électrique ou encore l'énergie électrique fournie et aussi des équations permettant de résoudre le circuit pour calculer l'énergie électrique.

Pour finir, nous pourrions aller visiter un laboratoire ou un site afin d'avoir plus de réponses à nos questions et peut-être faire de nombreuses découvertes.

Il existe donc encore de nombreuses voies et domaines à explorer, ce montage nous donne beaucoup de possibilités. Ainsi, tout cela nous permettrait de rendre compte de tout les phénomènes macroscopiques du montage.

Conclusion :

En terme d'expérience humaine ce projet nous a appris à avoir beaucoup de patience et de sang froid. Il a fallu gérer le temps et le stress en même temps. Du point de vue du travail, ce projet nous tenait à cœur mais il a fallu passer par des étapes difficiles afin de comprendre et régler des problèmes. Nous avons donc dû faire preuve d'ingéniosité mais aussi d'un travail de recherche intense.

Celles-ci nous ont permis de nous enrichir sur le magnétisme et son fonctionnement. De plus nous avons donc pu découvrir qu'il était possible d'élaborer un transport rapide qui ne rejette aucun gaz à effet de serre.

Avec un travail plus poussé notre projet peut nettement s'améliorer. Nous continuerons avec plaisir ce projet par la suite car nos idées pour mettre en œuvre un aimant avançant grâce à la sustentation est fort possible.

Remerciements :

Tout d'abord, nous tenons tout particulièrement à remercier notre professeur de physique-chimie encadrant : M. Rouillard qui nous aura offert une expérience inédite et incroyable en nous proposant de participer à ce concours.

Ensuite, nous remercions aux mêmes égards, Mme Vuong, technicienne, qui s'est beaucoup investie pour nous aider dans nos travaux.

Ensuite, nous remercions nos différents professeurs respectivement de physique-chimie et de mathématiques : Mr. Gillet et Mr. Germain.

De plus, nous souhaitons remercier tout de même différents professeurs de physique-chimie du lycée, ainsi que M. Descarpentris, qui nous ont tous plus ou moins aidé d'une manière ou d'une autre dans la préparation de ce concours.

Enfin, nous remercions M. Molho qui nous a donné un moyen de contacter des scientifiques, plus particulièrement le scientifique en magnétisme M. Ranno qui nous a aiguillé dans nos recherches lors des échanges avec ce dernier.

Bibliographie :

Sites internet :

- Futura sciences
- CNRTL
- Youtube
- ResearchGate
- Wikipédia

Liens :

- <https://www.techno-science.net> par Techno Science, le 6 juin 2004
- <http://tpe-aimants-2012-2013.e-monsite.com> par Lauranton Julien, Boivin G r me et Bialek Nicolas
- <http://www.makery.info/2016/02/09/construire-lhyperloop-delon-musk-avec-une-pile-et-des-aimants/> par Nicolas Barrial, le 09 février 2016
- <http://letpetrain.e-monsite.com/pages/page.html> par Antoine Douville de Franssu et Arnaud Massenet 2012-2013
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Frottement> par Lomita, le 2 avril 2018
- <https://youtu.be/2vCUZFWI0oI> par Mathrix, le 18 février 2017

Tableau des abréviations :

e^{\square}	Exponentielle	d	Dérivée
τ	m/α	v	Vitesse
α	Coefficient de frottements	t	Temps
Σ	Somme de(s)	K	Constante
m	Masse de l'aimant	M	Moment magnétique
\vec{a}	Accélération	\vec{B}	Champ magnétique
\vec{F}	Forces attractives	μ_0	Perméabilité du vide
n	Nombre de spires	I	Intensité
l	Unité de longueur	Ω	Ohm
T	Tesla	H	Henry