



BARRANCO Romain, DI VITTORIO Gianni, MONNIER
Yohan

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



Électro-aimant à Grande Vitesse

Élaboration d'un train
électromagnétique

SOMMAIRE :

Résumé	3
Introduction	3
I/ Étude des aimants	4
<i>A) Aimants, magnétisme et champ magnétique</i>	
<i>B) Electro-aimants, électromagnétisme, induction et champ électromagnétisme</i>	
<i>C) Nos aimants</i>	
II/ Étude des bobines	11
<i>A) Les bobines et le courant électrique</i>	
<i>B) Caractérisations de nos bobines</i>	
III/ Expérimentation	13
<i>A) Expérience préliminaire</i>	
<i>B) Expérience actuelle</i>	
IV/ Prospectives	18
<i>A) Projet d'un train rapide</i>	
<i>B) Au niveau phénomènes en détails</i>	

Conclusion

Remerciements

Tableau des abréviations

Bibliographie

Résumé :

« Electro-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.

Dans un premier temps, l'objectif est d'étudier les phénomènes macroscopiques liés au magnétisme et à l'électromagnétisme. Nous avons donc créé un électro-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, qui sont des trains futuristes, 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, et il en résulte aussi d'une baisse de la pollution. Ces résultats montrent une grande avancée dans le domaine des transports, et ceux 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 et l'électromagnétisme, puis en essayant d'adapter tout cela à notre manière à un électro-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 aussi 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 etc.). Ces technologies efficaces permettent également de résoudre des problèmes majeurs tel que celui de l'écologie, et une des causes de la pollution sont les moyens de transport. Nous pouvons donc imaginer un moyen de transport à caractère futuriste, qui permettrait d'être plus rapide tout en étant plus écologique.

Ce moyen de transport a déjà été imaginé, notamment dans le domaine ferroviaire, comme par exemple le Maglev qui est un train utilisant les propriétés magnétiques pour circuler, il marche 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. Tout 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.

Ce qui nous amène à nous demander quelles sont les différentes formes et propriétés du magnétisme ? Sont-elles exploitables pour un moyen de transport futuriste ?

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).

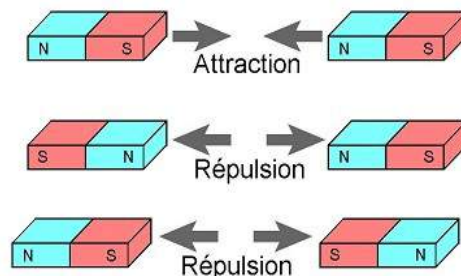
Nous avons donc tout d'abord étudié le magnétisme, puis les bobines, ce qui nous a mené à ce qui les relie : l'électromagnétisme. Par la suite, nous avons essayé d'appliquer ces phénomènes à notre projet ainsi qu'à notre échelle.

I/ Étude des aimants

A) Aimants, magnétisme et le champ magnétique

1- Les aimants

Un aimant est un corps magnétisé qui a la propriété d'attirer le fer. Les aimants font parti de notre vie quotidienne. Ils créent un champ magnétique dans lequel un pôle magnétique nord noté N et un pôle magnétique sud noté S s'attirent, tandis que deux mêmes pôles se repoussent.



Différents matériaux tels que le fer et le nickel, sont attirés ou repoussés par action magnétique. Tous les matériaux magnétiques n'ont pas les mêmes propriétés. Il existe différents types d'aimant à nos jours qu'on peut classer en 2 grandes parties :

- 1- capacité d'attraction permanente
- 2- attraction temporaire

1- Parmi les aimants dit « d'attraction permanente », on trouve ceux utilisés dans la vie quotidienne. Ce sont par exemple les aimants que vous collez sur votre réfrigérateur, qui sont également utilisés sur les tableaux noirs ou simplement sur les murs magnétiques. Certains matériaux peuvent aussi être magnétiques et si ceux-ci sont placés au milieu d'un champ magnétique préexistant, ils se magnétiseront de manière permanente. Et donc les aimants permanents auront une attraction sur tous les objets et matériaux ferromagnétique.

2- Les électroaimants, par exemple ne possèdent pas de capacité d'attraction permanente. Ils consistent essentiellement en une bobine dans laquelle le courant passe. Puisque dans ce cas le magnétisme est généré par l'électricité, les électroaimants seront facile à contrôler et à ajuster. Cela signifie que l'effet magnétique peut être activé ou interrompu de manière flexible et que la puissance attractive peut être régulé par le flux du courant.

2- Le magnétisme

Le magnétisme se définit par l'étude des aimants et des champs magnétiques. Le terme magnétisme désigne tout les phénomènes en rapport avec des matériaux aimantés (naturels ou artificiels).

Les premières études de magnétisme datent du 18ème siècle (même si il a été vaguement étudié pendant l'Antiquité), le physicien Charles Coulomb démontre alors que les forces exercées entre deux charges magnétiques sont inversement proportionnels au carré de la distance séparant ces deux derniers.

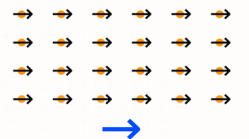
Le champ magnétique est une grandeur physique vectorielle représentée par le symbole \vec{B} . Il se mesure en Tesla (T). C'est une modélisation des molécules composant l'aimant alignés dans une direction, créant le champ magnétique. C'est la région de l'espace soumise à l'action d'une force magnétique, il caractérise également l'influence d'une charge électrique en déplacement.

Différentes manifestations de magnétismes:

- le **diamagnétisme** : lorsque les matériaux conduisant le magnétisme sont soumis à un champ magnétique, ils génèrent un faible champ magnétique proportionnel au champ, mais au sens inverse du champ extérieur (exemple ci-contre)



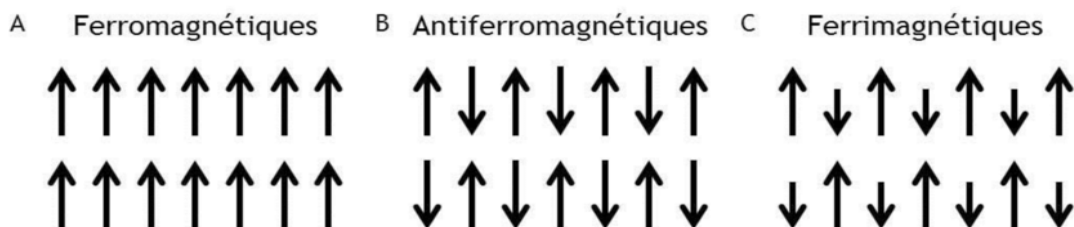
-le **paramagnétisme** : c'est le contraire du diamagnétisme, lors de la soumission à un champ magnétique le matériau génère un champ magnétique dans le même sens et avec une direction parallèle à la ligne des pôles du champ extérieur (schématisation du champ magnétique ci-contre)



- le **ferromagnétisme (A)** : Il existe des matériaux tels que le fer, le nickel ou encore le cobalt, qui sont capable de rester aimanté en permanence : c'est-à-dire que lorsqu'ils sont soumis à un champ magnétique extérieur, le matériau génère un champ magnétique identique, ce qui confère une forte aimantation. Mais cette aimantation ne cesse pas lors de la disparition du champ magnétique extérieur (phénomène d'hystérésis). Un matériau ferromagnétique peut devenir paramagnétique au-delà d'une certaine température dite de Curie (ou point de Curie).

- l'**antiferromagnétisme (B)** : c'est le contraire du ferromagnétisme (comme son nom l'indique), c'est-à-dire que lors de la soumission au champ extérieur, le matériau génère un champ magnétique antiparallèle au champ magnétique extérieur, ce qui donne une aimantation nulle. Un matériau antiferromagnétique peut devenir paramagnétique au-delà d'une certaine température dite de Néel (ou point de Néel).

- le **ferrimagnétisme (C)** : C'est la même manifestation que l'antiferromagnétisme, sauf que le champ avec des directions antiparallèle possède moins d'amplitude que le champ magnétique extérieur, ce qui mène à une aimantation spontanée du matériau. Un matériau ferrimagnétique peut devenir paramagnétique au-delà d'une certaine température dite de Curie (ou point de Curie).



Schématisation des différents champs magnétiques mis en avant ci-dessus

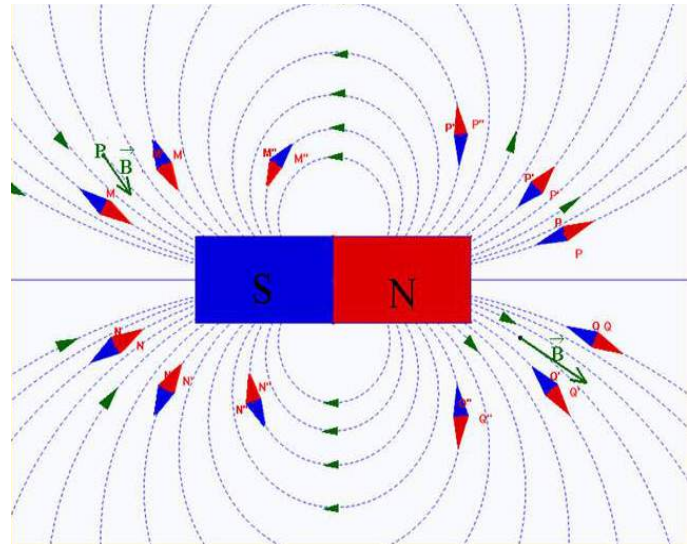
Plusieurs types de magnétisme :

- le magnétisme terrestre qui se rapporte aux phénomènes magnétiques du globe terrestre
- rémanent, magnétisme en rapport avec l'aimantation résiduelle d'un corps qui a été soumis temporairement à l'action d'un corps magnétique (aimant par exemple)
- temporaire et induit, c'est le magnétisme qu'un corps possède lorsqu'il se trouve dans un champ magnétique et qu'il perd en grande partie quand on le retire du champ
- biologique, magnétisme lié à la structure moléculaire des organismes vivants, ou de l'action d'un champ magnétique sur un organisme vivant

3- Champ magnétique

Le champ magnétique étant déjà défini dans la partie ci-dessus, nous allons passer directement à la démonstration très simple du champ magnétique d'un aimant.

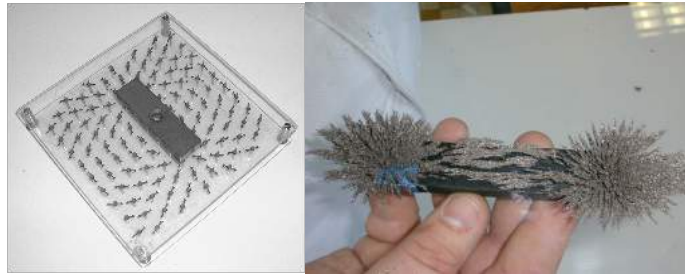
Il suffit de placer des boussoles autour d'un aimant et ainsi, les boussoles vont suivre les lignes de champ du Nord vers le Sud désignée par le vecteur \vec{B} , et les couleurs rouge et bleu représentent respectivement le Nord et le Sud sur la modélisation ci-contre. On dit que l'aimant dit droit crée un champ magnétique ce qui nous permet de définir le champ magnétique de cette manière « un champ magnétique règne dans une région de l'espace si dans cette région une aiguille aimantée est soumise à des forces magnétiques ». On peut dire que le champ vectoriel de la boussole et celui de l'aimant sont colinéaires car ils ont le même sens et la même direction.



Un champ magnétique est représenté par un vecteur \vec{B} dont les propriétés sont :

- direction : axe de l'aiguille aimantée
- sens : du pôle Nord au pôle Sud
- la valeur du champ notée B se mesure en Tesla (T) avec un tesla mètre

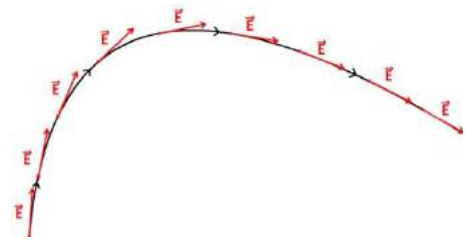
On peut aussi cartographier le champ magnétique en utilisant de la limaille de fer qui mettent en avant les lignes du champ magnétique : En effet les limailles de fer s'aimantent et s'orientent dans le sens du champ.



Les lignes de champ, en mathématique, se définissent par une courbe, qui en tout point a une tangente dans la même direction que le vecteur en ce point.

Ainsi, pour le champ magnétique, on peut prendre un point B aléatoire et tracer la tangente de la courbe au point B. Le vecteur est nommé \vec{E} .

La ligne de champ permet de visualiser un champ vectoriel. Exemple d'une ligne de champ ci-contre :

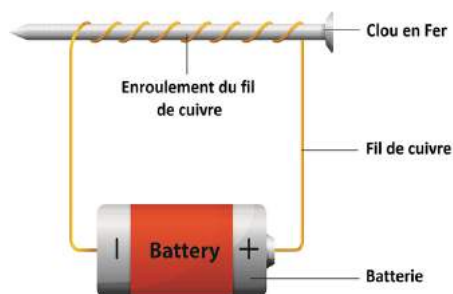


B) Electro-aimants, électromagnétisme, induction et champ électromagnétique

1- Electro-aimants

Un fil électrique produit un champ magnétique lorsqu'il est alimenté : il convertit de l'énergie électrique en énergie magnétique. Il est constitué d'un bobinage et d'une pièce polaire en matériau ferromagnétique (noyau de fer). Ils peuvent changer de polarité simplement en changeant la direction du courant électrique. Celui-ci joue le rôle d'un aimant commandé par un courant. Dans leurs différentes utilisations, leurs fonctionnements peuvent être associés à un travail mécanique.

Schématisation d'un système d'électro-aimant



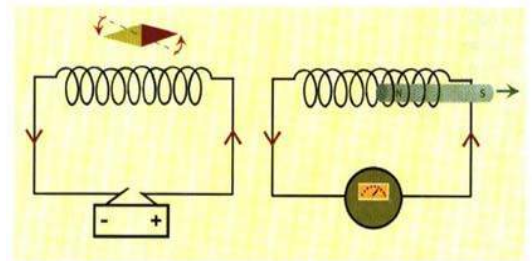
Explication de la conversion de l'énergie électrique en énergie magnétique :

La relation entre l'électricité et le magnétisme a été clairement établie au XIX^{ème} siècle avec les travaux d'Oersted, Ampère et Faraday. Lorsque des charges électriques sont en mouvement, elles sont accompagnées par leur champ électrique mais aussi d'un champ magnétique. Lorsqu'un fil est sous forme de boucle, il crée un terrain magnétique autour de lui accompagnant celui d'un aimant permanent. Cette découverte a permis de faire augmenter ou diminuer comme on le souhaitait (quantitativement) l'intensité de ces champs, en faisant varier les intensités des courants.

2- Électromagnétisme :

L'électromagnétisme se définit par l'étude des particules chargées électriquement les unes par rapport aux autres, c'est une combinaison de l'électrique et du magnétisme.

Dans le passé, l'électromagnétisme n'existait pas, on distinguait les phénomènes magnétiques et électriques. Jusqu'à qu'au XIX^{ème} siècle, le physicien Oersted prouve qu'un fil conducteur relié aux pôles d'une pile fait bouger l'aiguille. Ensuite, s'en suit les travaux de différents physiciens tels que Ampère, Faraday ou encore Maxwell qui nous feront connaître l'électromagnétisme dans les détails.

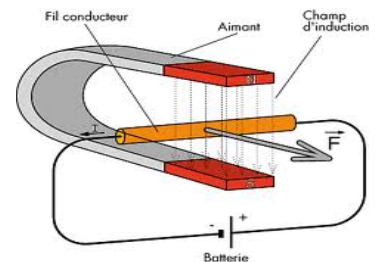


Symétrie entre aimant et courant.

L'interaction électromagnétique est une des 4 interactions fondamentales en physique (les autres sont l'interaction nucléaire faible et forte ainsi que l'interaction gravitationnelle.

Il existe une force électromagnétique, la force de Lorentz, est la force subie par une particule chargée dans un champ électromagnétique. C'est la principale manifestation de l'interaction électromagnétique. La force de Lorentz, appliquée dans diverses situations, induit l'ensemble des interactions électriques et magnétiques observées

Il existe aussi la force de Laplace, c'est la force électromagnétique qu'exerce un champ magnétique sur un conducteur parcouru par un courant. Si la force de Lorentz agit sur les particules, la force de Laplace agit sur le matériau conducteur de ces particules (voir schématisation ci-contre).



L'électromagnétisme regroupe de nombreux phénomènes, tels que l'électrostatique, l'électrodynamique, l'induction magnétique etc. et des phénomènes tels que l'induction montrent que les champs magnétiques et électriques sont liés entre eux.

3- L'induction

En effet, l'induction c'est la production et la transmission à distance d'énergie électrique ou magnétique dans des corps neutres ou dans un circuit, sous l'influence d'un aimant ou d'un courant. On peut mesurer ces courants dits « induits » à l'aide d'un inductomètre.

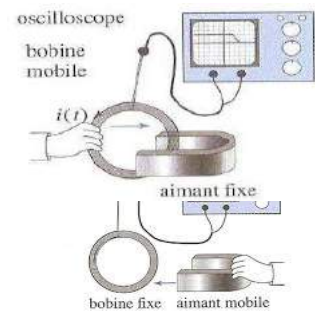
Toutes les grandeurs sont mesurées dans le référentiel galiléen (référentiel dans lequel le principe d'inertie est vérifié).

L'induction électromagnétique fait apparaître une force électromotrice (noté f.e.m), c'est-à-dire de la tension, dans le un conducteur électrique soumis à un champ magnétique variable ou lorsque que le circuit est variable et le champ magnétique est fixe.

On distingue ainsi 2 types d'induction :

- l'induction de Lorentz : Lorsque nous avons un champ magnétique fixe et un champ électrique qui se déforme, les électrons ont alors une vitesse car ils subissent la force de Lorentz.

- l'induction de Neumann : Au contraire, lorsque le champ magnétique est variable et le champ électrique est fixe, les électrons n'ont pas de vitesses donc il n'y a pas de force de Lorentz.



Doc. 2. La bobine fixe se comporte

Il existe plusieurs loi liés à l'induction tel que la loi de Faraday qui prouve qu'il est formé une force électromotrice ou encore la loi locale qui démontre l'existence d'un courant.

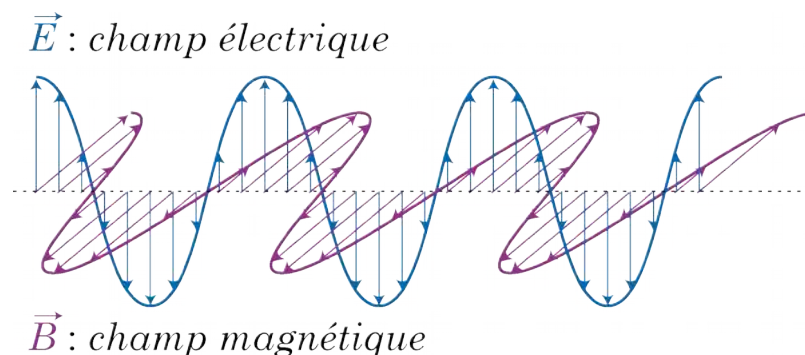
L'auto induction, un autre dérivé du domaine, se retrouve lorsque la source du champ magnétique à l'origine de la force électromotrice dans un circuit est le courant parcourant ce dernier, on parle d'auto induction car le conducteur parcouru par le champ électrique s'oppose aux variations du courant dans le circuit.

4- Champ électromagnétique

La notion de champ électromagnétique est centrale en électromagnétisme, qui peut aussi se définir comme l'étude de ce champ et de son interaction avec les charges et courants électriques. Ce champ a une structure bien définie, qui résulte des propriétés des équations locales de Maxwell (principalement connu pour avoir unifié en un seul ensemble d'équations, l'électricité, le magnétisme et l'induction). En effet, les équations de Maxwell déterminent le champ électromagnétique et son comportement

Le champ électromagnétique est la composition de deux champs vectoriels, un champ électrique et un champ magnétique couplés.

Champ électromagnétique :



Le champ électromagnétique exerce la force suivante sur des particules possédant une charge électrique q non nulle :

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

Les vecteurs \vec{E} et \vec{B} sont respectivement le champ électrique et le champ magnétique, et le vecteur \vec{v} représente la vitesse de la particule dans le référentiel d'étude.

La façon la plus générale de définir le champ électromagnétique est celle du tenseur électromagnétique de la relativité restreinte :

- le tenseur électromagnétique (créé par Maxwell) est l'objet mathématique décrivant la structure du champ électromagnétique

- la relativité restreinte est une théorie venant d'Einstein (implicitement énoncée dans les équations de Maxwell mais interprété par Einstein), qui traite des conséquences physiques de la relativité galiléenne.

Maxwell a montré que ce champ possède la propriété de pouvoir se propager dans l'espace, à vitesse finies, sous forme d'ondes électromagnétiques, ce qui est à la base d'un très grand nombre d'applications de l'électromagnétisme. Selon la fréquence du champ magnétique (exprimée en Hz) il existe différentes applications (radio, téléphonie mobile, réseaux sans fils, etc.)

C) Nos aimants

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 Nord et Sud en plaçant une boussole sur l'aimant ce qui nous a également donné ses lignes de champs.

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).



II/ Étude des bobines

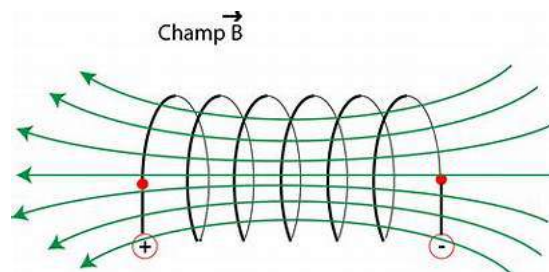
A) Les bobines et le courant électrique

1- Fonctionnement d'une bobine et son champ magnétique

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 créée selon son axe d'enroulement.

Le champ à l'intérieur du solénoïde va de la borne + vers le - alors si on inverse les pôles électriques, le champ magnétique s'inverse. A l'intérieur d'une bobine, parcouru 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 spire est proportionnelle 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



Annexes :

- André-Marie Ampère, janvier 1775-juin 1836 : mathématicien, physicien, chimiste, ingénieur et philosophe français, il fait d'importante découverte sur l'électromagnétisme et est l'inventeur du solénoïde et de l'électroaimant.

2- Mesure d'un champ magnétique dans une bobine

En théorie : Pour cela, on se place sur l'axe central et on se sert de la formule du solénoïde à n spires (infini). $\vec{B} = 1/2nI\mu_0(\cos(\alpha_1)-\cos(\alpha_2))$ avec :

- μ_0 est la perméabilité du vide ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ m kg s}^{-2} \text{ A}^{-2}$)
- n est le nombre de spires par mètre ($n = N/L$, N est le nombre total de spires de la bobine, L est la longueur de la bobine)
- I est l'intensité
- $\cos(\alpha_1)$ ou $\cos(\alpha_2)$ est coté adjacent/hypoténuse (prendre le contour de la bobine, et utiliser une simple règle)

En pratique : on utilise un Teslamètre qui est un appareil qui sert à mesurer le champ magnétique en mTesla. On le place à la distance voulue sous la bobine(alimentée par le courant souhaité), et on relève simplement le champ magnétique à chaque mesure.

B) Caractérisations de nos bobines

1- 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.

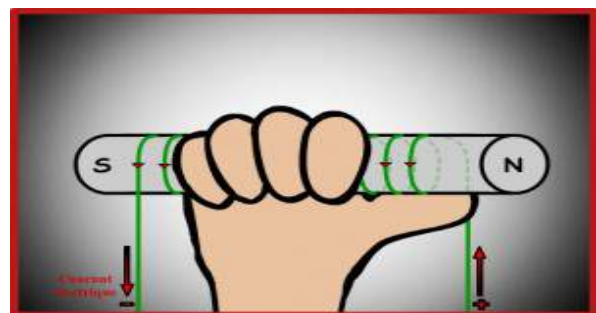
Mais elles sont différentes à certains points :

	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	2,10 mT ($\pm 0,10$ mT)	300 mT (± 10 mT)
Intensité 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)

2- Cartographie de nos bobines

Ensuite, on a 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 Nord et Sud de la bobine , à l'aide de la 2ème règle de la main droite (voir illustration ci-dessous).

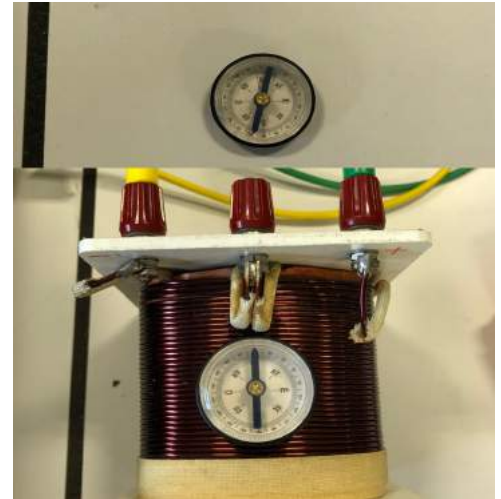
Il suffit d'enrouler sa main autour du solénoïde dans le sens de l'enroulement du fil de cuivre et de tendre le pouce droit, ainsi le pouce tendu nous donne le sens du champ magnétique et donc on en déduit les pôles car on sait que dans une bobine le champ magnétique va du pôle Sud vers le pôle Nord



On peut également voir que le champ magnétique d'un solénoïde est rectiligne lorsqu'on insère une plaque de limaille de fer à l'intérieur.

Remarque : Le champ magnétique d'une bobine (branchée) est opposé au champ magnétique terrestre, on peut le prouver en plaçant une boussole sur une bobine afin qu'il capte son champ magnétique, et ensuite enlever la bobine, de cette manière la boussole va capter le champ magnétique terrestre (voir preuve ci-contre)

En effet, on peut voir que sur la bobine, la boussole indique le Nord, alors que lorsque la boussole est seule, elle indique le Sud. On voit donc bien que le champ magnétique d'une bobine est opposé au champ magnétique terrestre



III/ Expérimentation

A) Expérience préliminaire

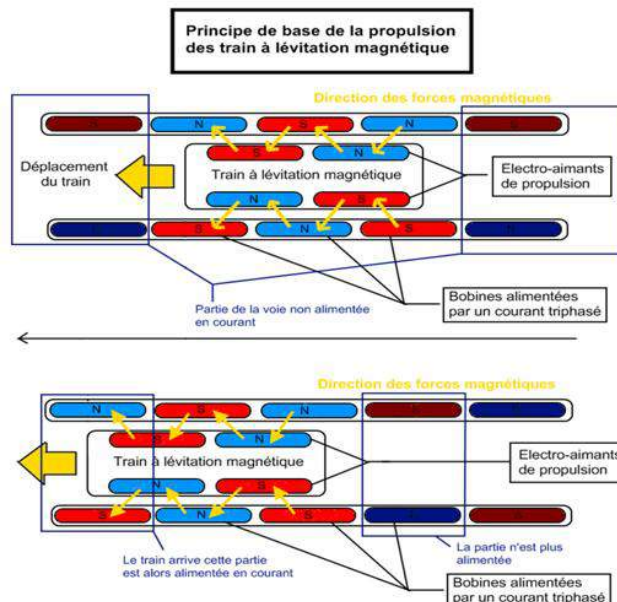
1- Source et imagination

La source de notre expérience provient d'un nouveau moyen de transport imaginé par Elon Musk* qui avait pour projet L'Hyperloop, un train à haute vitesse (1100km/h) dans des tubes sous basses pression (sous vide).

Notre but était de trouver un moyen de transport qui permettrait de limiter les effets sur notre environnement.

Nous avons eu l'idée d'utiliser des aimants pour créer donc un train fonctionnant grâce à cela. Nous avons donc fait des recherches en rapport avec notre idée et avons trouvé deux types de train qui fonctionnent grâce à la sustentation électromagnétique, qui est la lévitation générée par des électroaimants régulés (exemple : Transrapid) et la sustentation électrodynamique qui est la lévitation basées sur les forces de répulsion générées par une propulsion initiale (exemple : Maglev).

Nous nous sommes appuyés sur ce dernier système pour notre projet. La sustentation est le fait qu'un corps soit maintenu à faible distance au-dessus d'une surface qui ici est un aimant sans contact entre ces deux.



Pour une représentation en miniature, nous avons eu l'idée de créer un circuit à l'aide d'un enroulement de fil de cuivre que fabriqué par nous même.

L'idée de base était d'utiliser une pile ainsi que des aimants disposés sur chaque pôles de celle-ci qui représenterait un train dans ce circuit. Celui-ci aurait été alimenté par la pile en contact avec notre bobine et les aimants eux permettront de créer une force de déplacement. Cette idée a été rejeté car elle ne sera pas durable.

Annexe :

*Elon Musk juin 1971 : C'est un célèbre ingénieur. Il est PDG et directeur de la technologie de la société SpaceX mais également DG, directeur architecture produit de la société Tesla.

2- Réalisation

Nous ai ensuite venu l'idée d'alimenter directement le circuit grâce à un générateur et de placer des petits aimants en néodyme (les plus puissants sur le marché) dans ce dernier afin de créer un champ électromagnétique.

Les bobines sont reliées à un rhéostat afin de varier l'intensité et contrôlées par un ampèremètre branché en série.

Nous avons constaté que ceux-ci avançaient sur un petit fragment de circuit et principalement au centre. Nous en avons déduit que le champ magnétique est plus important au centre d'un solénoïde.

Pour des tests plus poussés nous avons utilisé des bobines de cuivre fournit par notre lycée qui sont plus performantes avec un plus grand nombre de spires sur une même distance et donc avec un champ magnétique plus puissant.

Nos aimants en néodyme étant trop petits nous avons utilisé un aimant droit. Notre montage fonctionnait, alors nous avons décidé de rajouter une seconde bobine afin que l'aimant avance sur une plus grande distance.

Avec réussite nous pouvons donc imaginé un circuit infini. Mais nous avons remarqué qu'une force retenait l'aimant à la sorite de la deuxième bobine nous devons donc étudier les sources de ce phénomène pour pouvoir le corriger

B) Expérience actuelle

1- Evolution

Nous avons trouvé un moyen pour remédier à ce problème, c'était de couper le courant des bobines après le passage de l'aimant pour que celui ne soit pas de nouveau attiré par le champ magnétique de cette dernière.

Nous avons émis plusieurs solutions possible, la première était d'installer un interrupteur, mais nous volons un circuit autonome donc cette solution de rentre pas dans nos contrainte.

Nous avons donc imaginé un interrupteur à bascule qui se déclencherait au passage de l'aimant mais nous n'avions pas le matériel adéquat.

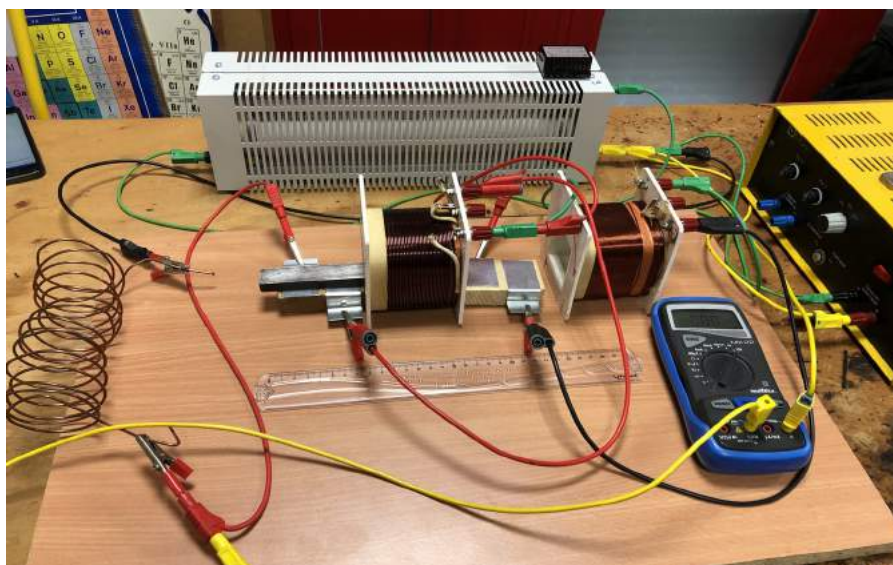
Notre dernière solution est donc celle actuelle. Étant donné qu'un aimant est conducteur alors nous nous en sommes servis pour pouvoir alimenter ou arrêter le courant grâce à des bornes situées sur sa trajectoire. Nous nous sommes donc fournis de papier aluminium qui feront offices de bornes et qui alimenteraient les bobines si l'aimant y est placé dessus et qui de ce fait couperait le courant des bobines si il n'y est plus. L'aimant avancera donc grâce à sa force de propulsion.

Le papier aluminium crée donc des frottements. Pour limiter cela nous avons donc eu l'idée d'utiliser des lames d'aluminium afin d'avoir un montage plus propre et possiblement plus performant.

Mais nous avons remarqué que lorsque l'aimant passe sur ces bornes cela crée des étincelles qui sont dues à la friction entre ce dernier et l'aluminium, on peut parler d'Effet Joule (dégagement de chaleur qui accompagne le passage d'un courant électrique dans un matériau conducteur lui opposant une résistance, à l'échelle astronomique, on peut dire que les atomes vibrent et donc augmentent en température).

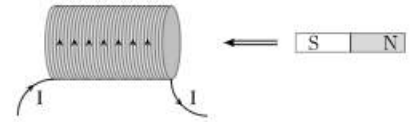
On peut aussi supposer que ces étincelles sont dues aux pertes par hystérésis, c'est-à-dire que lorsque l'aimant est placé sous l'influence d'une excitation magnétique variable au cours du temps, il subit une succession d'aimantation et de désaimantation qui absorbent une énergie faisant varier l'excitation. Ces pertes par hystérésis se traduisent par un dégagement de chaleur et une élévation de température du matériau ferromagnétique ou ferrimagnétique.

Notre objectif était donc d'obtenir un circuit infini. Pour cela, étant donné que nous n'avions que deux bobines, pour pouvoir le tester il nous suffisait de déplacer la première bobine en deuxième position en ne modifiant ni l'orientation des bobines ni le sens du courant une fois que l'aimant est atteint la deuxième bobine et ainsi de suite. Celui-ci continuant à avancer nous prouve que le circuit peut être infini.



Tout d'abord, on peut parler d'induction dans ce montage car on alimente la bobine, ce qui crée un champ uniforme à l'intérieur de la bobine. Nous avons vu plutôt qu'il y avait deux types d'induction selon les paramètres, dans ce montage-ci, ça sera l'induction de Neumann car c'est le champ magnétique qui varie et le champ électrique est fixe.

En effet, on voit que si l'on approche une face sud, c'est à dire un champ magnétique dirigé vers la droite, un courant induit apparaît, son sens crée un champ magnétique dirigé vers la gauche.

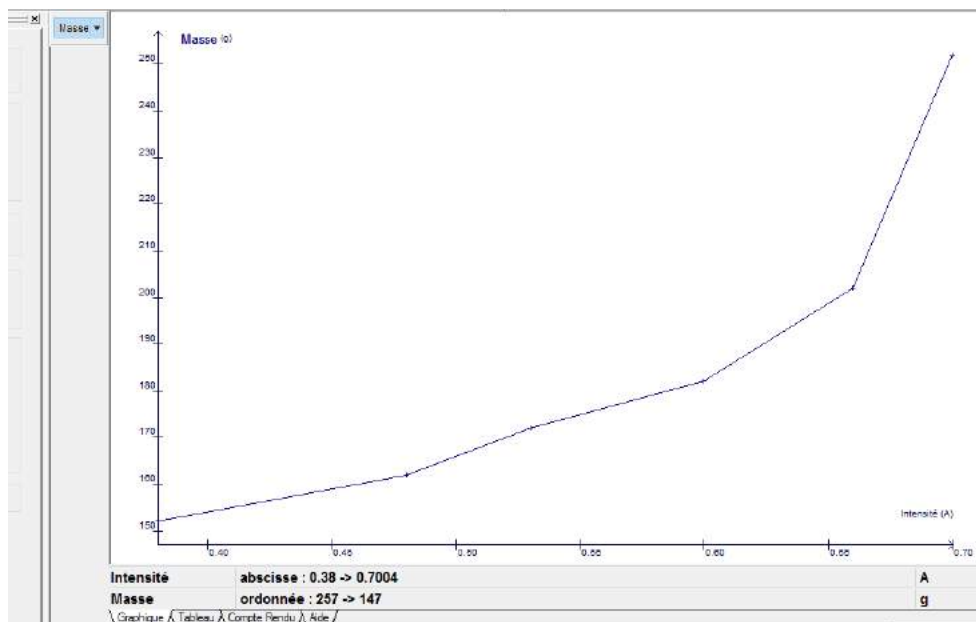


Ainsi, l'induction électromagnétique fait apparaître une force électromotrice, qui se traduit aussi par une tension, elle est orientée de façon à générer des courants s'opposant à la variation de flux. Plus haut nous avons vu que cette f.é.m pouvait avoir deux causes, ici la cause sera que le circuit est immobile et l'intensité du champ magnétique varie

2- Concrétisation

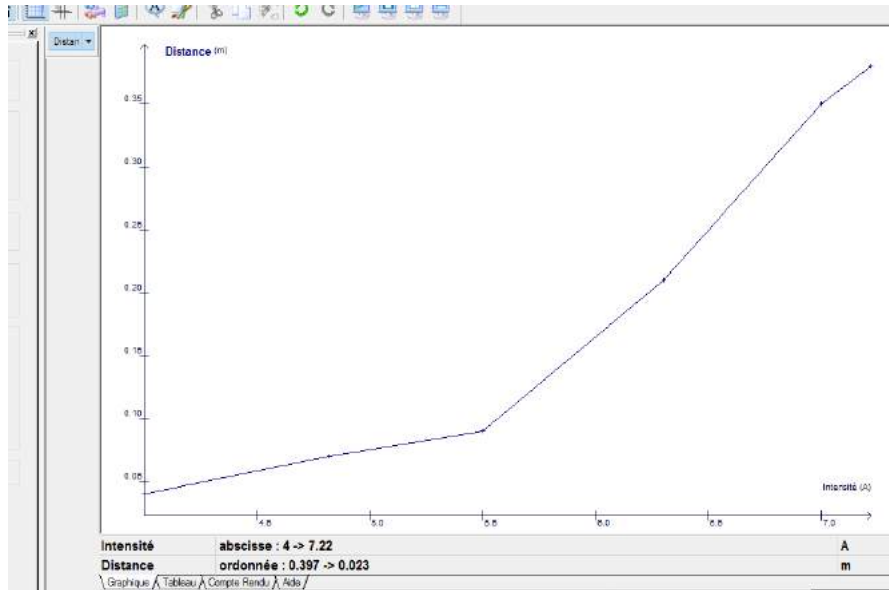
Nous voulions savoir si l'intensité que l'on mettait était proportionnelle à la masse de l'aimant. Nous avons donc ajouté de la masse à ce dernier en y rajoutant des poids et il fallait donc faire varier l'intensité pour que celui-ci avance à égale distance. Mais à l'étude de nos résultats obtenu ci dessous, nous pouvons constater que ça ne l'est pas. Il faut savoir que les frottements, la répartition des poids sur l'aimant ainsi que sa position au départ peuvent être des facteurs qui peuvent fausser nos résultats.

Masse		Intensité	
Grd	Intensité	Masse	
Unité	A	g	
1	0.38	152	
2	0.48	162	
3	0.53	172	
4	0.60	182	
5	0.66	202	
6	0.70	252	
7			



Nous voulions savoir aussi si l'intensité était proportionnelle à la distance que l'aimant parcourt. Nous pouvons constater que plus l'intensité est élevée plus il avance sur une grande distance mais ce n'est pas proportionnelle comme vous pouvez le voir ci dessous.

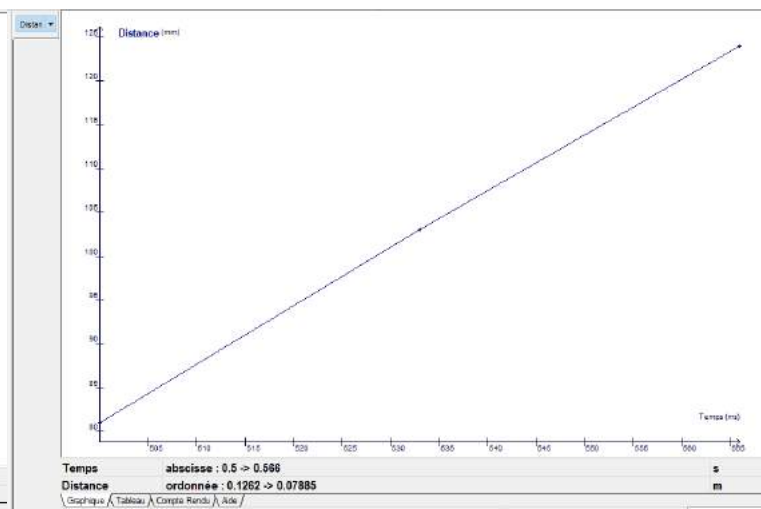
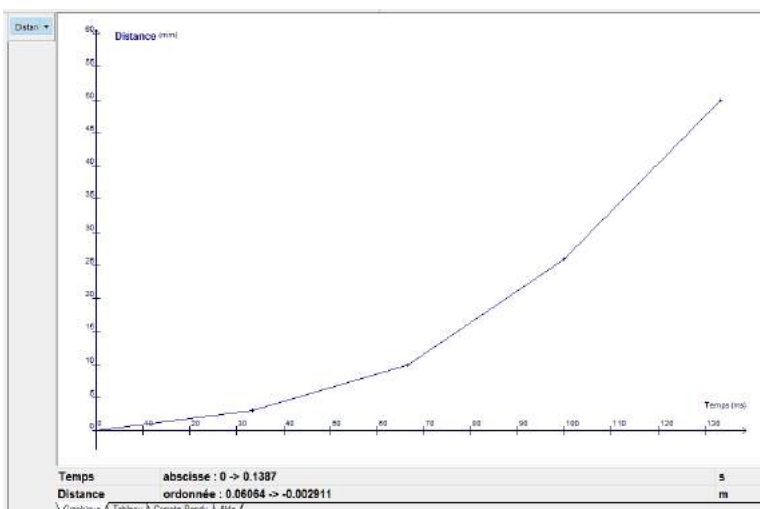
	A	B	C
Grd	Intensité	Distance	
Unité	A	m	
1	4	0.04	
2	4.82	0.07	
3	5.5	0.09	
4	6.3	0.21	
5	7	0.35	
6	7.22	0.38	
7			



Nous avons mesuré la vitesse de notre aimant au sein de notre circuit en utilisant l'atelier scientifique et en étudiant une vidéo image par image. Nous avons remarqué que sa vitesse augmente à l'entrée d'une bobine et diminue en sa sortie. Mais étant donné que l'aimant passe dans la bobine nous ne pouvions pas mesurer sa vitesse lorsqu'il était à l'intérieur c'est pour cela que nous avons fait ces mesures en deux parties. Nous avons donc obtenue deux courbes qui nous montre que la vitesse augmente pour atteindre une vitesse maximum de environ 0,4 m/s. Après plusieurs tests nous avons pu en déduire une vitesse moyenne de environ 0,3 m/s.

	A	B	C
Grd	Temps	Distance	Vitesse
Unité	s	m	m/s
1	0	0	0
2	0.0333	0.003	0.091
3	0.0666	0.01	0.152
4	0.1	0.026	0.261
5	0.1333	0.05	0.378
6			
7			

	A	B	C
Grd	Temps	Distance	Vitesse
Unité	s	m	m/s
1	0.5	0.081	0.161
2	0.533	0.103	0.192
3	0.566	0.124	0.218
4			
5			
6			
7			



Par la suite nous avons calculé l'énergie cinétique de l'aimant. Avec une masse (m_i) de 152g et une vitesse moyenne (v) de 0,3 m/s, nous avons donc utilisé la relation $E_c = m_i \cdot v^2$
 $E_c = 0,152 \cdot (0,3)^2$
 $E_c = 0,014$ Joules (J)

IV/ Prospectives

A) Projet d'un train rapide

Notre prochaine étape serait de construire un solénoïde avec des virages afin qu'un petit aimant en néodyme, avec un champ magnétique d'une valeur de 0,75 T ($\pm 0,01$ T), circule à l'intérieur, utilisant le même principe que notre montage actuelle mais sur un vrai circuit fermé. Nous savons que notre système pourrait permettre d'obtenir un train à très haute vitesse car comme nous le savons aujourd'hui le deuxième train fonctionnel le plus rapide du monde est le Maglev à Shanghai avec une vitesse record de 501 km/h. Et comme nous le savons ce train utilise le phénomène magnétique pour avancer, nous désirons donc de partir dans cette optique pour en faire une future maquette. A terme notre but ultime serait de parler de sustentation afin qu'il n'y ai plus de frottements et donc une vitesse accrue. Même d'utiliser un tube sous vide pour limiter ainsi les frottements de l'air, à ce stade il est possible d'imaginer le train le plus rapide du monde à l'exemple du projet Hyperloop.

B) Au niveau phénomènes en détails

D'un point de vue du montage, nous aimerions étudier dans le détail le fonctionnement exact et explorer les phénomènes de l'induction électromagnétique le plus loin possible. Notamment avec différentes notions telles que la loi de Faraday, les différentes équations de Maxwell, ou encore la loi de Lenz ainsi que la loi de Biot et Savart (qui permettent de justifier l'existence d'un champ magnétique dans une bobine) puis l'auto-induction (qui est en rapport avec l'induction).

De plus, nous aimerions étudier le gradient par lequel est attiré l'aimant lorsqu'il sort de la bobine, ainsi que le moment magnétique atomique avec le modèle de Bohr et aussi tout ce qui se rapporte aux spin. Il y aussi l'énergie potentielle d'interaction avec les dipôles magnétiques.

Une interaction avec un scientifique nous a permis de découvrir encore beaucoup de voix à explorer, ou des formules, telles que 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 au même égard, Mme Vuong, technicienne, qui s'est beaucoup investie pour nous aider dans nos travaux.

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

Tableau des abréviations :

\vec{B}	Champ magnétique	T	Tesla
\vec{E}	Champ électrique	\vec{v}	Vitesse
μ_0	Perméabilité	Ω	Ohm
n	Nombre de spire par mètre	N	Nombre de spire
L	Longueur de la bobine	I	Intensité
H	Henry	m_i	Masse initiale
Ec	Énergie cinétique	J	Joules

Bibliographie :

Sites internet :

- Futura sciences
- CNRTL
- Youtube
- ResearchGate
- Wikipédia

Liens :

- https://editions-petiteelisabeth.fr/matiere_et_energie_2.php édition Petite Elisabeth, 2009
- <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 09/02/2016
- <http://letpetrain.e-monsite.com/pages/page.html> par Antoine Douville de Franssu et Arnaud Massenet 2012-2013
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Sustentation_ lectromagn tique par Fugitron, le 14/09/2018
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Frottement> par Lomita, le 2 avril 2018