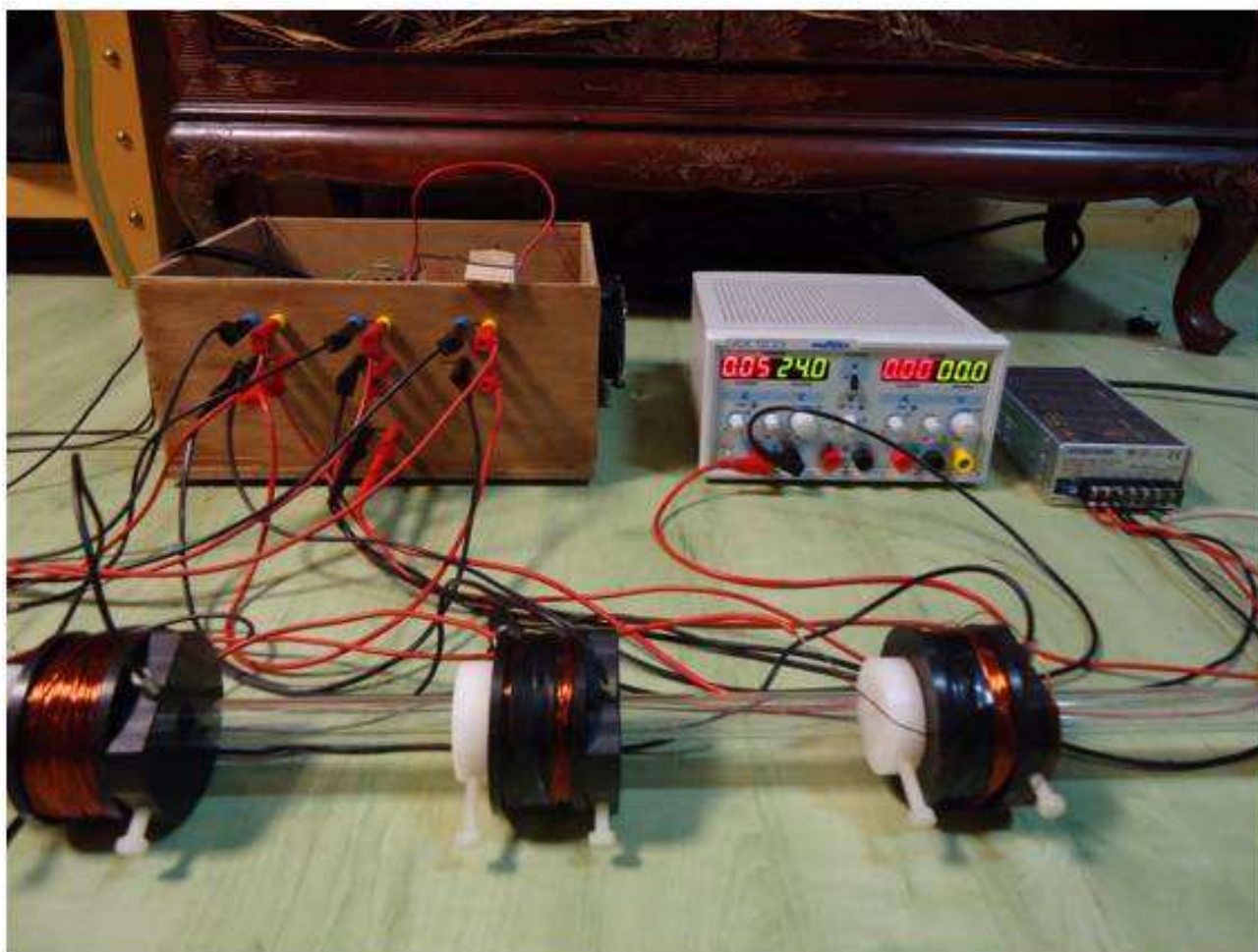


Canon Magnétique



XIX^{èmes} Olympiades de Physique

BERTRAND Yannick

GUYENARD Nicolas

METRAL Célestin

SOMMAIRE

I) Historique du projet	4
II) Aspect théorique du projet	4
III) Caractéristiques techniques.....	6
a) Le projectile	6
b) Les bobines	8
c) Les capteurs	13
d) L'inversion du sens du courant dans la bobine	15
e) L'automate	17
f) L'alimentation	20
g) La réalisation mécanique	20
IV) Projets	23
V) Remerciements	23
VI) Annexe	24

Résumé

Ce projet s'intitule Canon magnétique et à été présenté aux Olympiades de Physique, lors de la session 2011-2012.

Nous avons décidé de créer un canon de ce type car le domaine du magnétisme est quelque chose de très intéressant et nous avons envie de déplacer un objet sans le toucher, et dans l'idéal de le contrôler.

Dans ce mémoire, nous détaillons la théorie du projet, en parlant du champ magnétique induit dans les bobines, puis nous parlons des caractéristiques techniques : les bobines, les aimants, les capteurs, l'inversion du sens du courant, l'automate, et enfin l'alimentation. Nous détaillons enfin les problèmes que nous avons rencontrés au cours de ce projet.

Les résultats expérimentaux que nous avons obtenus vis-à-vis de la distance de tir et des mouvements que nous avons pu donner à notre projectile ont été très satisfaisants.

Bonne lecture.

I) Historique du projet

Nous sommes trois élèves actuellement en Terminale S et étant très intéressés par les sciences. Le magnétisme est un domaine qui nous était assez inconnu mais très fascinant.



Fig. 1 : Vis en équilibre sous l'effet d'une pile d'aimant placée au-dessus d'elles.

Nous avons alors eu l'idée de faire un canon dont le projectile serait propulsé par un champ magnétique créé par des bobines.

Le brevet du canon magnétique a été déposé par le physicien norvégien Kristian Birkeland en 1900. Ce chercheur avait alors eu l'idée de faire passer du courant dans un solénoïde, ce qui attirait un élément ferromagnétique en son centre. Puis, en inversant le sens du courant, donc du champ magnétique, il produisait un effet répulsif qui projetait l'aimant hors de la bobine.

Nous avons observé des prototypes de canons magnétiques, mais ces derniers ne projetaient que des clous en fer et ne fonctionnaient que « dans un seul sens de courant ». En effet, du courant était emmagasiné dans des condensateurs reliés à une bobine, créant ainsi un champ magnétique intense mais de très courte durée. De plus, les manipulateurs utilisaient des tensions très importantes, ce qui est dangereux. Nous voulions réaliser plus qu'un simple canon car nous souhaitons contrôler le mouvement du projectile dans le tube.

Nous avons alors voulu utiliser des bobines dont nous inverserions le sens du champ magnétique au moment où le projectile passerait à l'intérieur.

II) Théorique du projet

Nous savons que nous pouvons attirer un aimant grâce à une bobine mais si nous ne faisons rien, celui-ci s'arrête au milieu de la bobine.

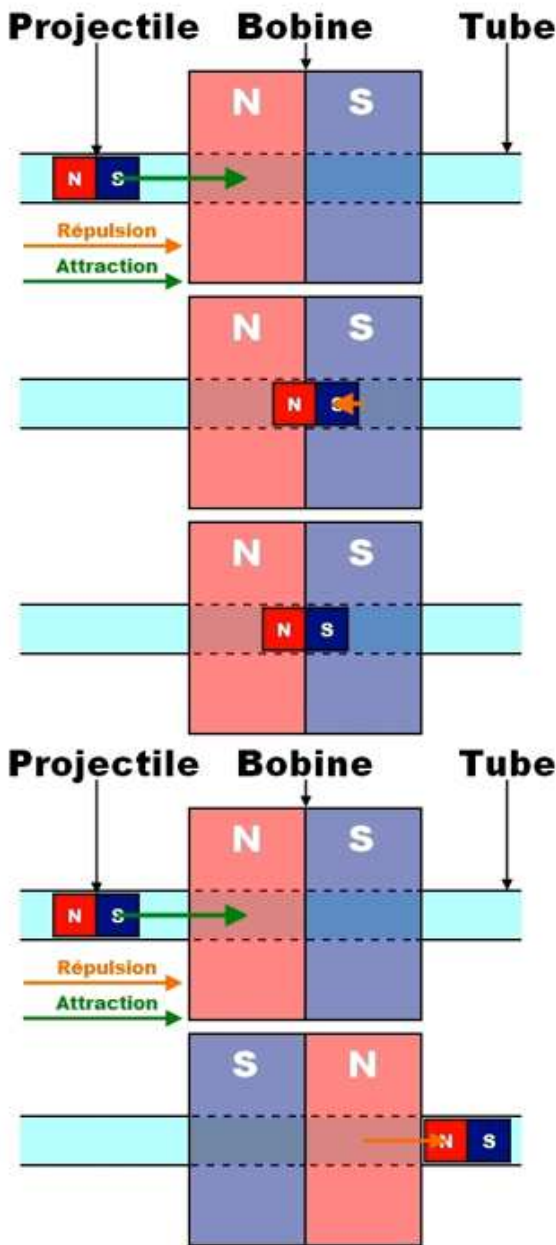


Fig. 2a: Explication de l'arrêt dans la bobine.

Le pôle sud de notre aimant est attiré par le pôle nord de la bobine. C'est ce qui fait avancer notre aimant vers le centre de la bobine.

Mais, une fois qu'il a dépassé le milieu, c'est maintenant le pôle sud de l'aimant qui est repoussé par le pôle sud de la bobine. Il va donc être repoussé en arrière, jusqu'à dépasser de nouveau le milieu de la bobine.

Ce cycle se reproduit plusieurs fois, avec à chaque fois de moins en moins d'amplitude, à cause des frottements, ce qui conduit à un arrêt de l'aimant au milieu de la bobine, où les forces se compensent.

Nous devons donc couper l'alimentation de la bobine lorsque l'aimant arrive au milieu.

Fig. 2b : Même situation avec inversion.

Une deuxième (et meilleure) solution s'offre aussi à nous : nous pouvons inverser le sens du champ magnétique de la bobine, afin de repousser le projectile. Cette inversion n'est pas obligatoire mais rend le canon plus puissant, car on "exploite" deux fois la bobine au lieu d'une seule fois pour encore plus accélérer notre projectile.

Le problème majeur de cette inversion du courant c'est qu'il s'agit d'un circuit inductif. Contrairement à la résistance, la bobine n'accepte pas les discontinuités de courant. L'ouverture d'un circuit inductif peut engendrer une surtension pouvant endommager l'interrupteur de commande. Cette surtension est d'ailleurs mise en évidence par l'expérience expliquée figure3.

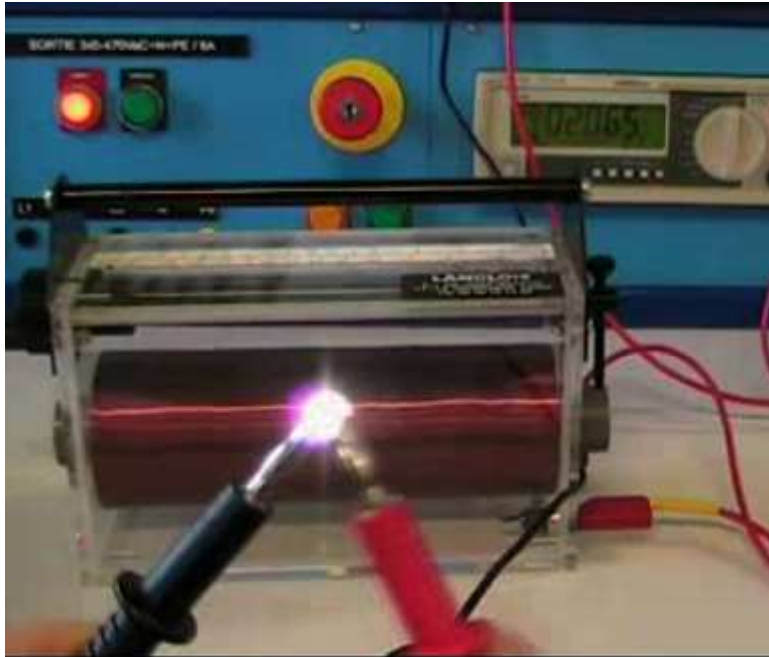


Fig. 3 : Une étincelle lors de l'ouverture d'un circuit inductif (RL).

Toute la difficulté est de réaliser un montage permettant l'inversion du courant dans une bobine d'autant plus que le courant devra posséder une intensité importante afin que le champ magnétique dans la bobine soit le plus important possible.

Pour savoir quand inverser le sens du courant, il faut détecter la présence du projectile. On utilise donc des capteurs qui enverront un signal à un automate qui s'occupera de l'inversion du sens du courant.

Cette inversion nous pose un second problème. Nous avons parlé précédemment du fait que le courant continuait à s'écouler après l'ouverture du circuit. Mais le courant ne s'établit pas instantanément dans notre bobine, pour les mêmes raisons.

Analyse vidéo :

Nous avons voulu analyser une vidéo pour mesurer la vitesse de notre projectile en sortie de tube. Malheureusement notre appareil ne prenant pas assez d'images par seconde, nous n'avons pu faire qu'une approximation. Cette vitesse était alors de 5m/s.

III) Caractéristiques techniques

a) Le projectile

Nous allons d'abord étudier le projectile, car c'est à partir de lui que nous avons défini le diamètre des bobines, ainsi que leur puissance (intensité de leur champ magnétique).

Nous avons premièrement comparé un projectile en fer et un projectile aimanté, et il était très clair que le matériau aimanté était celui qui était le plus soumis au champ magnétique ; nous nous sommes par conséquent procuré des aimants. Peu puissants, et relativement gros, nous avons voulu les remplacer. Nous avons réussi à nous procurer des aimants petits mais cependant très puissants qui sont adaptés à notre projet car nous pouvons modifier la longueur du "missile". Ces aimants sont en alliage à base de néodyme.



Fig 4 : Nos différents types d'aimants

Une fois les aimants trouvés, il a fallu déterminer le nombre optimal.

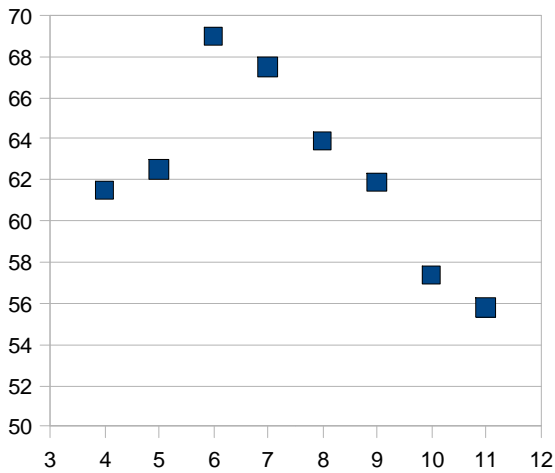
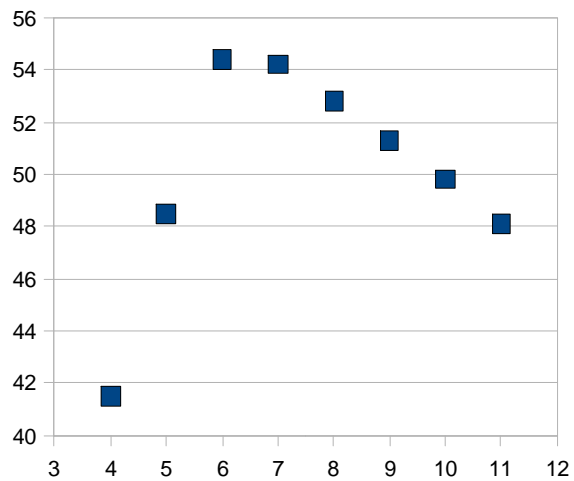
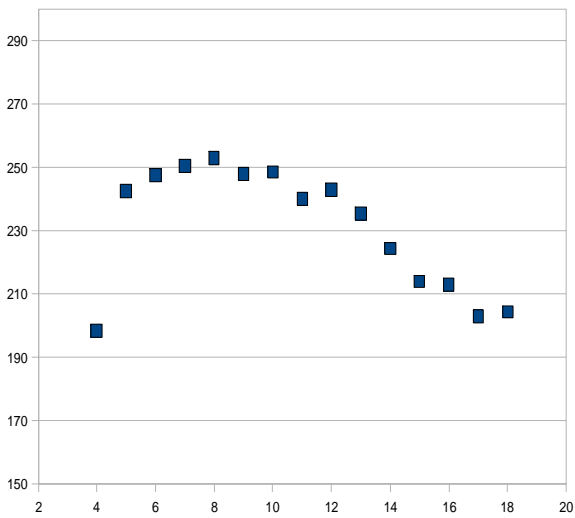


Fig. 5 : graphiques de la distance parcourue en fonction du nombre d'aimants projetés et d'angles différents (en haut à gauche : 0°, en haut à droite : 90° et ci-contre : 45°)

Nous avons pour cela mesuré la distance atteinte par le projectile en fonction du nombre d'aimants, et cela pour différentes inclinaisons : 0° , 45° et 90° (fig. 5). Nous avons donc décidé d'utiliser 6 aimants dans notre projectile, car, quand l'inclinaison augmente, c'est le nombre optimal d'aimants.

Les aimants ne s'alignant pas parfaitement d'eux-mêmes ils frottent contre la paroi intérieure du tube, nous avons réalisé un « missile » en plastique dans lequel les aimants sont placés. Hélas, nous nous sommes aperçus que cet enrobage, étant d'un diamètre plus élevé que le projectile d'aimants à nu, allait moins vite dans notre tube car il l'obstruait quasiment complètement, empêchant l'air de circuler correctement. Nous avons donc usiné des faces à partir du cylindre, ce qui a eu pour effet de lui faire gagner de la vitesse.



Fig. 6 : Au-dessus, une pile de six aimants « à nu » ; en-dessous, le « missile » de plastique contenant une pile identique.

b) Les bobines, de la théorie à la réalisation.

Les bobines sont un élément essentiel du canon et beaucoup de paramètres sont à prendre en compte : le diamètre du fil, le nombre de spires, et la longueur du solénoïde. Nous avons voulu copier les bobines du lycée, car c'était le seul modèle dont nous disposions initialement. Elles mesurent 21cm, et possèdent environ 4200 spires, ce qui correspond à 600 spires pour 3cm de bobine.



Fig. 7 : Une bobine du lycée, support de nos premières expérimentations.

Ces bobines ne fournissant pas un champ magnétique très puissant, nous avons décidé de nous baser sur un nombre de spires plus grand : 800. La résistance du fil augmentant avec la longueur de celui-ci, nous avons décidé de faire plusieurs petites bobines avec une moindre résistance, plutôt qu'une seule grosse bobine avec une grosse résistance (ce qui réduirait notre intensité de champ magnétique, selon les formules ci-dessus).

Un premier essai avec 800 spires (90m de fil) sur une largeur de 10cm nous donnait une intensité de champ magnétique de 0,045T (Teslas, unité de mesure de l'intensité du champ magnétique), et un autre toujours avec 90m de fil, mais sur 3cm, nous donne une intensité de champ magnétique de 0,120T.

Nous avons alors choisi de réaliser de courtes bobines car elles sont plus efficaces et, si l'on se réfère à la formule de la force du champ magnétique, on observe que nous avons besoin d'une variation d'intensité du champ : la force est proportionnelle à la dérivée du champ magnétique. Il est donc important que le champ ne soit pas uniforme.

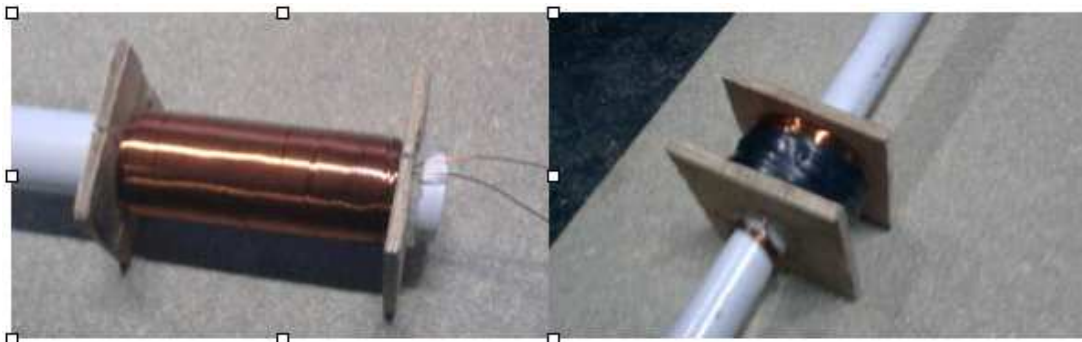


Fig. 8 & 9 : La première et la seconde bobine, nos premiers prototypes

Nous avons voulu après, déterminer théoriquement le diamètre optimal du fil qu'il nous fallait. Nous avons eu besoin de plusieurs relations pour réussir à exprimer la résistance de la bobine en fonction du diamètre du fil. La formule de l'intensité du champ magnétique s'exprime par :

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{l}$$

Avec :

- B l'intensité du champ magnétique (en T : Teslas)
- μ_0 la constante magnétique ($4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m.A⁻¹)
- N le nombre de spires
- I l'intensité du courant dans la bobine (en A)
- l la longueur du solénoïde (en m)

Nous avons également besoin de la loi d'Ohm :

$$U = R \cdot I$$

Nous nous sommes fixés une limite de 4A et notre générateur nous limitait à 12V donc nos bobines devaient avoir une résistance de 3Ω. Attention : Cette résistance est celle de la bobine « à froid ». En effet, si on laisse notre bobine branchée trop longtemps, elle chauffe (effet Joule), et sa résistance augmente. Nous avons donc choisi de n'alimenter que deux bobines en même temps et pendant de courts instants.

Ainsi que de la formule de la résistance en fonction du matériau utilisé :

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

Avec :

- R la résistance (en Ω)
- ρ la résistivité (en Ω.m)
- L la longueur du fil (en m)
- s la section du fil (en m²)

Nous avons déduit le diamètre moyen de relations liant le nombre d'étages de fil avec le nombre de spires et le diamètre du fil.

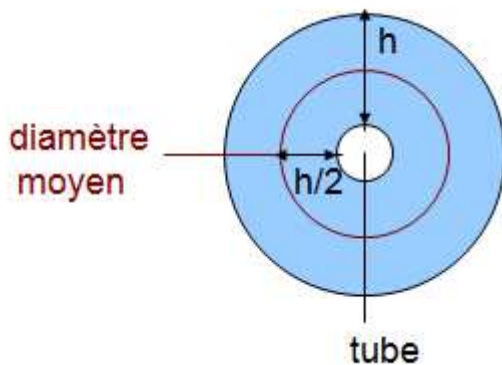


Fig. 10: Schéma en coupe transversale d'une bobine.

On a donc la longueur de fil L par :

$$L = d_{moyen} \cdot N \cdot \pi$$

Avec :

- d_{moyen} est le diamètre moyen de la bobine (en m) (voir schéma ci-dessus)
- N le nombre de spires de la bobine

Or on a :

$$d_{moyen} = d_{tube} + h = d_{tube} + e \cdot d_{fil} = d_{tube} + e \cdot 2r$$

Avec :

- d_{tube} est le diamètre du tube (en m)
- h la hauteur de fil (en m)
- e le nombre d'étages de fil
- d_{fil} le diamètre du fil (en m)
- r le rayon du fil (en m)

De plus nous avons les relations suivantes concernant les bobines :

$$N = n \cdot e$$

Avec :

- N est le nombre de spires de la bobine
- n est le nombre de spires par étage
- e est le nombre d'étages de la bobine

Et:

$$n = \frac{l}{d_{fil}} = \frac{l}{2r}$$

Avec :

- n le nombre de spires par étage
- l la longueur du solénoïde
- d_{fil} le diamètre du fil et r le rayon du fil.

D'où:

$$e = \frac{N}{n} = \frac{N \cdot 2r}{l}$$

En remplaçant dans la formule de la résistance, on obtient :

$$R = \rho \cdot \frac{\pi \cdot N \cdot \left(d_{tube} + \frac{N \cdot 2r}{l} \cdot 2r \right)}{\pi \cdot r^2} = \rho \cdot \frac{N \cdot \left(d_{tube} + \frac{N \cdot 4r^2}{l} \right)}{r^2}$$

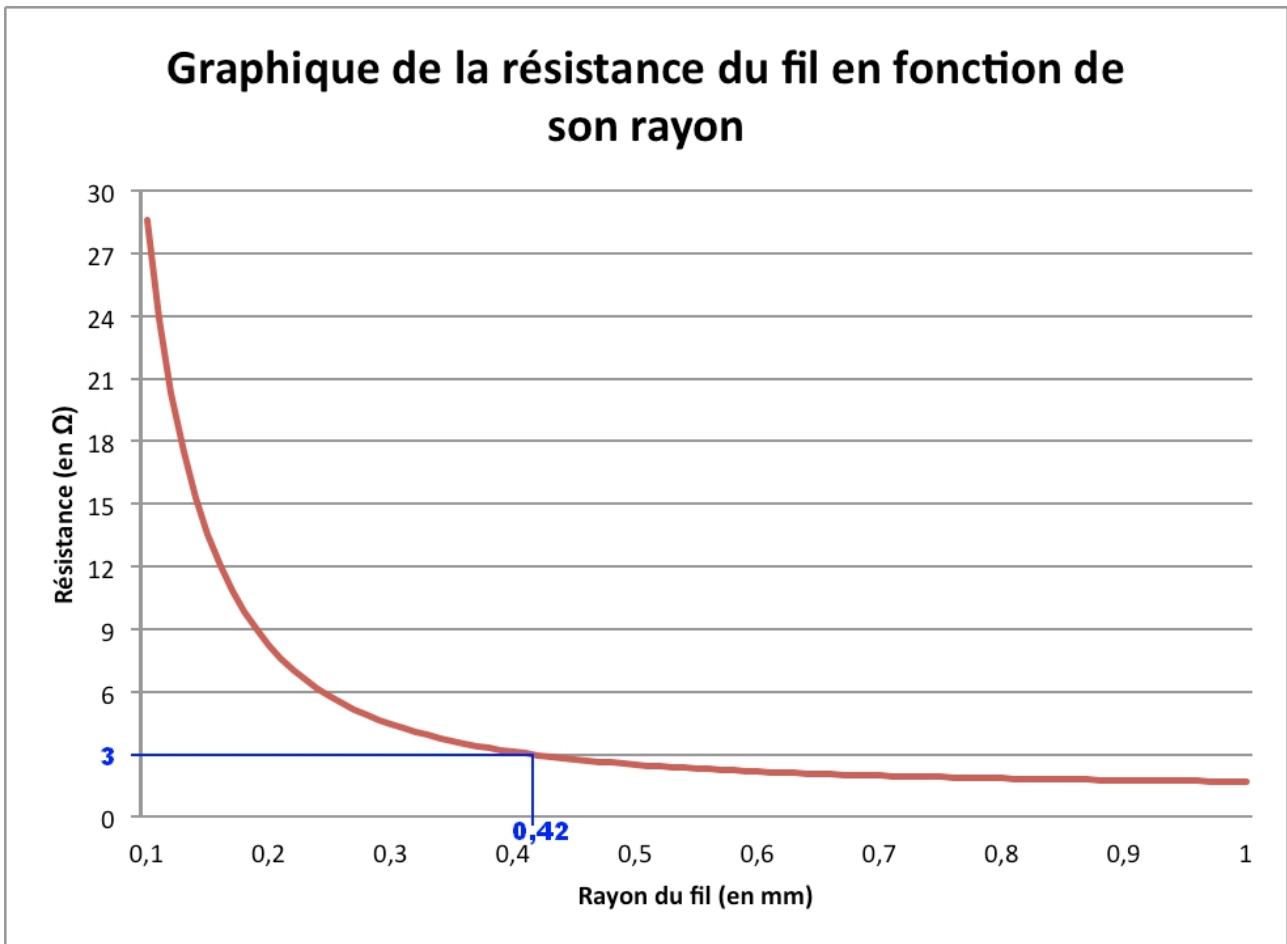


Fig. 11 : Un graphique étonnamment simple pour une formule si compliquée.

Nous avons voulu déterminer le diamètre de fil optimal, en nous basant sur 800 spires, car un trop petit fil entraîne une chauffe, mais un gros fil restreint le nombre de spires par étage de notre bobine. Graphiquement, on trouve $R=3 \Omega$ pour $r=0,42 \text{ mm}$ donc $d=0,84 \text{ mm}$, ce qui nous a fait choisir un fil de $0,9 \text{ mm}$ (voir figure 11).

Il est important que le fil soit isolé pour éviter tout court-circuit. Notre choix s'est alors porté sur un fil de cuivre émaillé, fil utilisé dans la majorité des bobines qu'il est facile de se procurer.

Nous avons ensuite mesuré le temps d'établissement du courant dans la bobine grâce à une pince ampère-métrique branchée à un oscilloscope à mémoire. Nous avons obtenu une valeur de transition de 11 ms pour que l'intensité du courant passe de -4 A à 4 A . Et réciproquement.

Le modèle de la constante de temps $\tau = \frac{L}{R}$ n'est pas valide dans le cas de ce circuit mais il permet de comprendre que cette constante de temps est opposée aux autres choix effectués. En effet, pour augmenter le champ magnétique on augmente le nombre de spire de la bobine, on augmente aussi l'inductance L et de plus on cherche à ne pas trop augmenter R sinon ça va limiter l'intensité. Il faut donc trouver le bon compromis permettant d'avoir un champ intense et une transition rapide. La valeur d'une transition à 11 ms est un bon compromis.

c) Le choix du capteur :

Il nous faut savoir quand inverser les bobines, et donc où est l'aimant dans notre canon. Lorsque ce capteur détecte le projectile, il en informe l'automate.

Grâce à ces capteurs, nous projetons de calculer la vitesse de notre projectile en sortie du canon.

Il existe quatre principaux types de capteurs qui peuvent détecter le passage d'un objet, même rapide :

Des capteurs à ultrasons

Ces capteurs de son ne sont pas adaptés à notre utilisation, car le projectile est contenu dans un tube en plexiglas.

Des portes optiques

Composées d'une diode et d'un photorécepteur, qui renvoie un signal quand le faisceau lumineux est interrompu. Ce capteur pourrait être intéressant, mais le plexiglas pouvant être rayé et rendu opaque, ces capteurs ne conviennent pas.

Des capteurs magnétiques

Ces capteurs détectent les champs magnétiques, ce qui n'est pas très adapté dans notre situation, car le signal est brouillé par le champ généré par les bobines.

Des cellules inductives



Fig.12 : Capteur à cellule inductive.

Ces capteurs contiennent un oscillateur L-C (Inductance-Capacité). La valeur de l'inductance est modifiée lorsqu'un métal, surtout s'il est ferromagnétique, s'approche du capteur changeant ainsi la valeur de l'inductance donc la fréquence de l'oscillateur. Ainsi quand notre projectile passe dans le tube, il perturbe l'oscillateur. Cette perturbation entraîne la création d'une différence de potentiel de 24V, que l'automate va détecter.

Ces capteurs ont une portée de détection de 8mm. Cette portée se trouve des deux côtés, et le diamètre du capteur est de 7mm.

Il détecte donc le projectile sur une distance de 23mm. Nous pourrons grâce à l'automate compter le temps de détection, et ainsi calculer la vitesse du projectile.

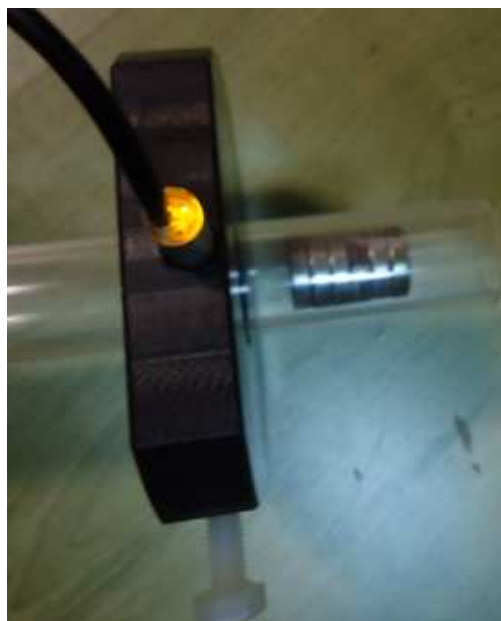


Fig.13 : Détection d'aimants par le capteur.

d) L'inversion du sens du courant dans la bobine : les ponts en H



Fig.14 : Pont en H L6203

L'inversion du sens du courant dans une bobine ne se fait pas simplement, il est nécessaire d'utiliser un pont en H afin de pouvoir écouler le courant durant les phases d'ouvertures. Ces ponts en H sont formés de transistors, équivalent à des interrupteurs commandés et de diodes permettant l'écoulement du courant durant les phases d'ouvertures.

La bobine étant un élément composé d'une grande longueur de fil électrique, elle est considérée comme une résistance. De ce fait, lorsque l'on ouvre un circuit électrique contenant une bobine, le courant continue de circuler pendant un très court moment : la bobine devient génératrice. Cela suffit à créer une différence de potentiel énorme au niveau de l'interrupteur, et l'on observe un arc électrique.

Pour cette raison, il nous a semblé difficile de fabriquer ces composants nous-mêmes. Nous en avons alors trouvé qui servent normalement dans les moteurs pas à pas.

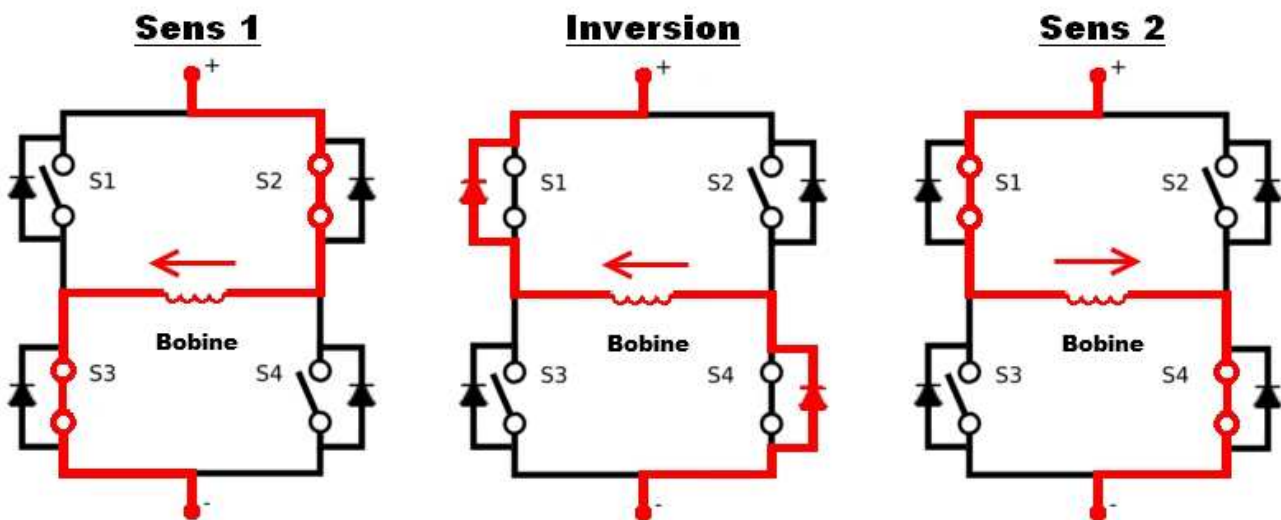


Fig. 15 : Le fonctionnement d'un pont en H. Note : les interrupteurs sont unidirectionnels, ce qui explique le trajet du courant, représenté par les flèches.

Lors de la phase 1, les interrupteurs S1 et S4 sont ouverts, et S2 et S3 sont fermés : le courant s'écoule dans un premier sens (*ici le sens 1*).

Lors de la phase transitoire, les interrupteurs s'inversent : S1 et S4 se ferment, S2 et S3 s'ouvrent. La bobine devient alors génératrice et le courant qu'elle produit se déverse dans la borne plus du générateur via les diodes de roue libre et non par les interrupteurs car ils sont unidirectionnels.

Enfin, lorsque dans la bobine le courant s'annule celui-ci passe alors dans l'autre sens (*ici le sens 2*).

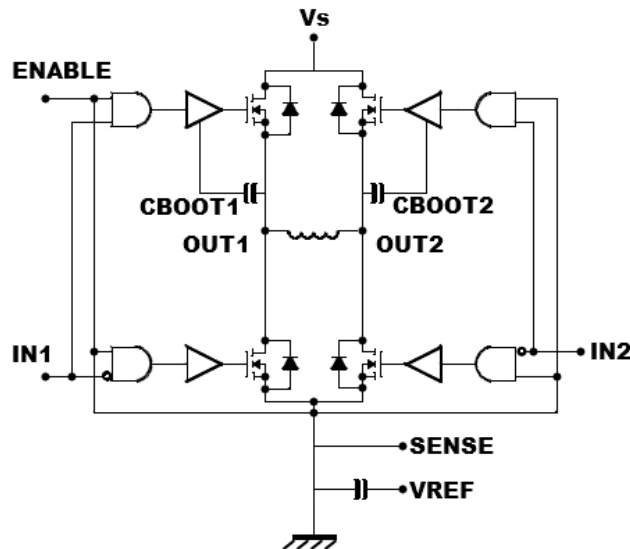


Fig. 16 : Schéma interne du composant

Ces composants ont été compliqués à maîtriser, même avec la documentation technique. Ce sont eux qui ont limité notre intensité à 4A, car au delà ils chauffent jusqu'à « griller ».

Ce composant possède 3 entrées logiques : ENABLE, IN1 et IN2.

ENABLE	0	1	1	1
IN1	X	1	1	0
IN2	X	1	0	1
Courant	0	0 (court-circuit)	<i>sens</i>	<i>sens opposé</i>

Fig. 16 : Table de vérité du composant

ENABLE sert à "activer" le composant, et aucun courant ne passe si son niveau logique n'est pas 1. IN1 sert à alimenter un des deux interrupteurs situés "à gauche" de la bobine.

IN2 sert, lui, à alimenter un des deux interrupteurs situés "à droite" la bobine

.

e) L'automate

Ce composant est le cerveau de notre projet. Il nous a été offert par CB Equipements. C'est lui qui gère l'inversion des bobines, qui réalise les temporisations, et pour réaliser cela il est programmé par nos soins sur ordinateur à l'aide d'un logiciel interface. Ce programme est disponible dans l'annexe à la fin du dossier. Il peut gérer jusqu'à 3000 instructions par seconde, qui lui permet de réagir rapidement lorsqu'il doit attendre une petite milliseconde après la détection. Il fournit des entrées et des sorties logiques qui lui permettent de communiquer avec les autres éléments du circuit, soit les capteurs, les ponts en H, et un bouton pour lancer le programme.



Fig.17 : Automate modulaire TWDLMDA40DTK

Ces sorties fournissant une tension (24 V) supérieure à ce que peut recevoir une porte inverseuse de polarité, nous avons dû créer des ponts diviseurs de tension (2-7 V). Ce montage permet de réduire la tension d'un circuit électrique, en disposant deux résistances selon le schéma ci-dessous (figure 18). La valeur des deux résistances se calcule selon la formule suivante :

$$U_{\text{sortie}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_g$$

Nous avons donc trouvé que des résistances $R_1 = 47 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ convenaient.

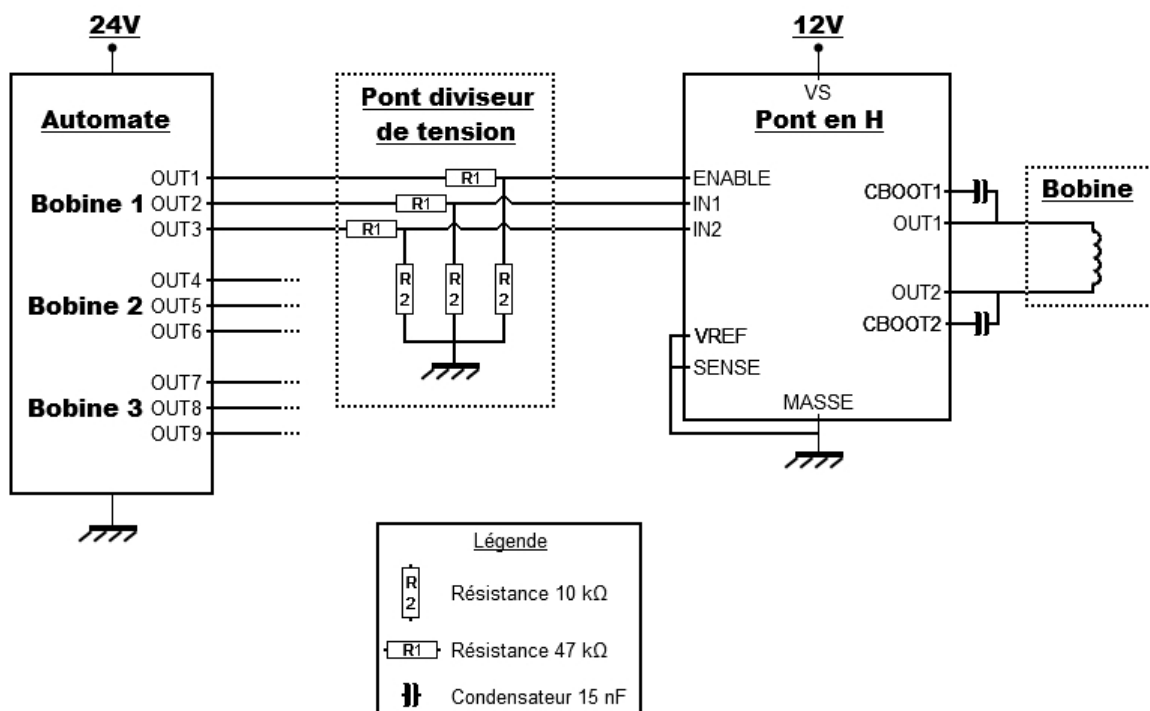
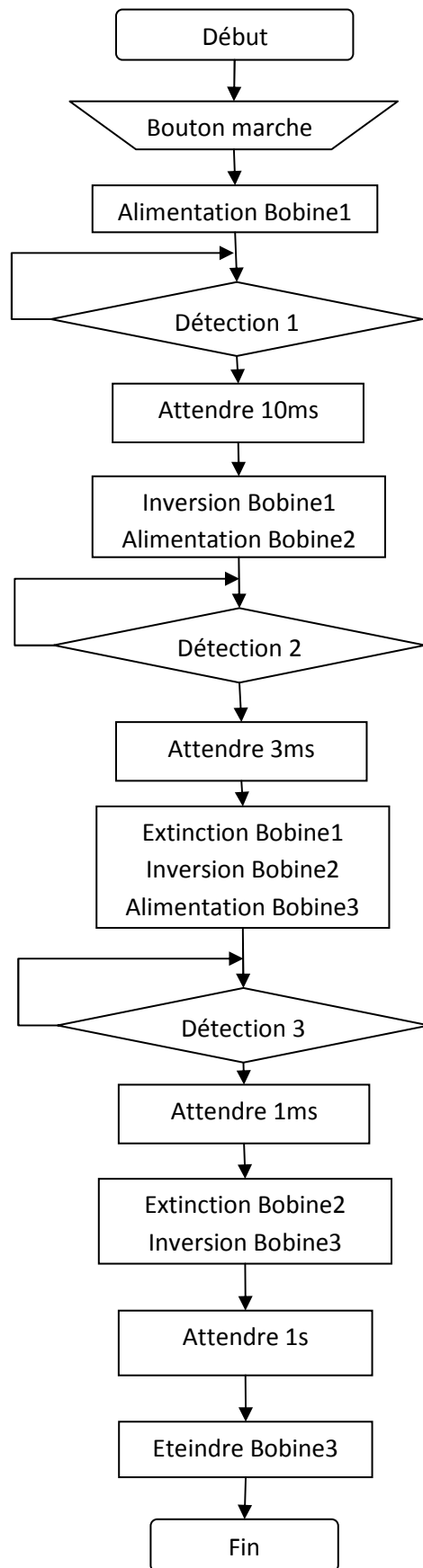


Fig. 18 : Schéma de montage général. L'automate fourni du 24V, tension qui va être réduite à 4V par le pont diviseur de tension pour pouvoir commander logiquement le pont en H. Ce dernier alimente ensuite la bobine elle-même.

Évidemment, nous ne pouvons pas inverser instantanément le courant qui circule dans la bobine. En effet, quand on détecte le projectile, il ne se trouve pas encore pile au milieu de notre bobine : nous devons encore attendre un moment. C'est notre temporisation. Elle est importante : Si on inverse trop tôt, notre projectile est repoussé. Si on attend trop longtemps, il s'arrête au centre de la bobine.



Nous avons pris soin d'éteindre le plus rapidement possible les bobines, afin d'éviter qu'elles ne chauffent.

Fig. 19 : Organigramme de notre programme

f) L'alimentation :

Nous devons alimenter au maximum 2 bobines simultanément avec une intensité de 4A. Nous avons donc la formule :

$$P = U.I$$

L'application numérique nous donne une puissance de 120 W. Nous avons donc choisi une alimentation de 150 W pour alimenter les bobines. Notre alimentation est dite « à découpage ».

Nous possédons une seconde alimentation de 24V qui fournit du courant à l'automate.

Elle doit être aussi capable d'accepter un courant lors de l'ouverture du circuit inductif.

g) La réalisation mécanique :

Tout d'abord nous avons choisi d'utiliser un tube transparent pour voir où le projectile se déplace à l'intérieur. Ensuite, il nous a fallu réaliser plusieurs éléments nous-mêmes tellement ils sont spécifiques à notre projet : des supports de bobine, des supports de capteurs, des bagues de serrage ainsi qu'un coffret de protection pour l'ensemble automate-composants.

Les supports de bobine sont l'axe autour duquel nous avons bobiné notre fil. Ils nous permettent aussi de déplacer à notre aise les bobines le long du tube.



Fig.20a: Usinage des supports de bobines.



Fig.20b: Un support vide.

Nous avons aussi fait des supports pour maintenir les capteurs, ainsi que des bagues de serrage pour maintenir le tout et avoir des écartements fixes.



Fig.21: Un ensemble de bobine. De gauche à droite : une bague de serrage; la bobine dans son support ; un support de capteur.

Nous avons aussi choisi de fabriquer une boîte sur mesure visant à contenir la partie électronique du projet. Elle est équipée de ventilateurs pour refroidir les ponts en H.



Fig.22a : Perçage d'un orifice pour ventilateur



Fig.22b : Séchage de la boîte

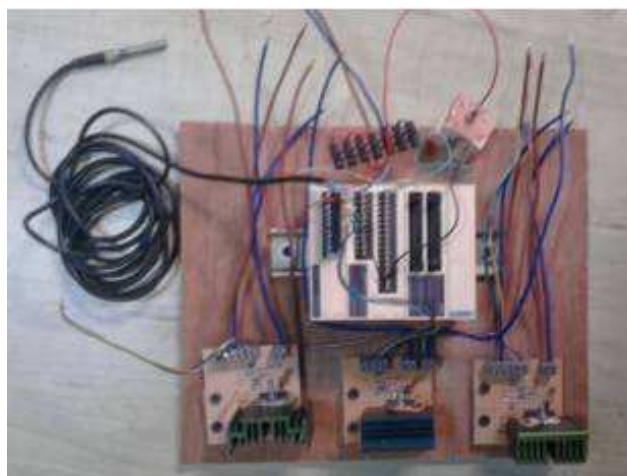


Fig.22c : Intérieur de la boîte de protection.

Nous avons aussi fabriqué un fond amovible, sur lequel nous avons fixé l'automate ainsi que les ponts en H. Nous avons fixé des fiches sur la face avant de la boîte, afin de simplifier les branchements.

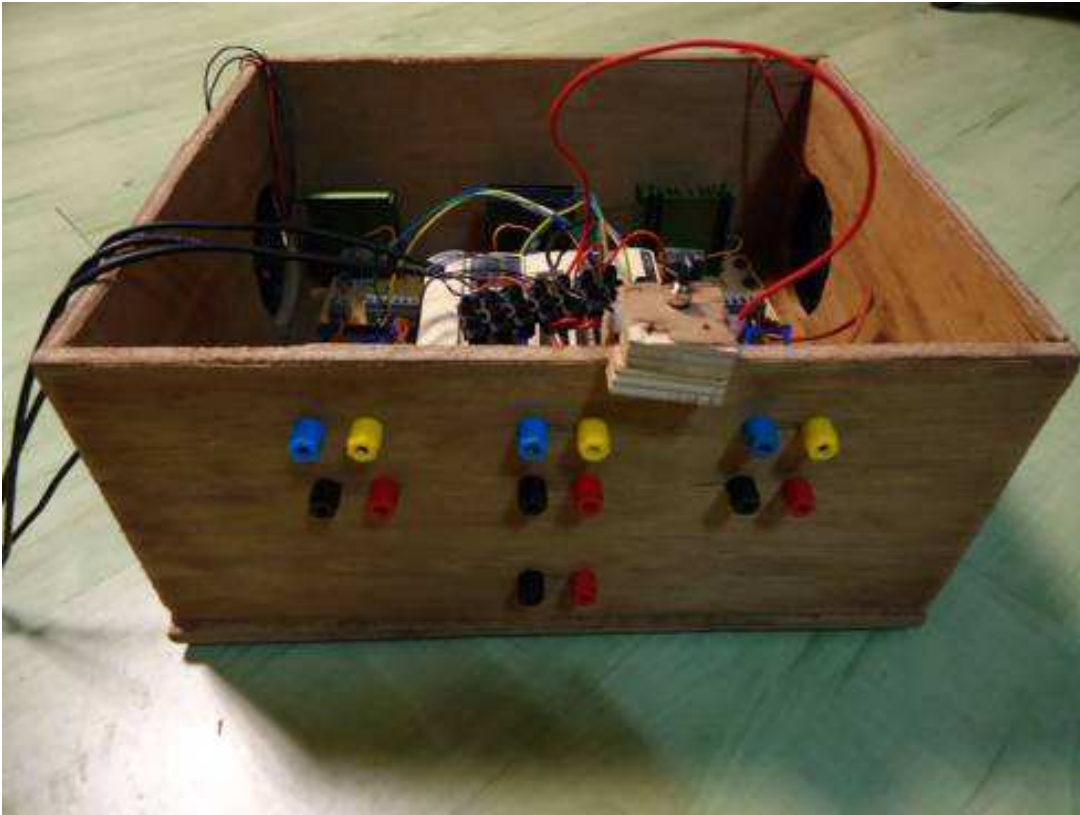


Fig.24 : Façade de la boîte

Lorsque nous avons acquis les éléments, il nous a fallu les mettre en marche. Le père de Nicolas, Mr J-M Guyenard, avait déjà utilisé ce type d'automate, et nous avons pu rapidement prendre connaissance du logiciel de programmation. Toutefois, notre programme est en constante évolution car nous devons modifier les temporisations, l'ordre des commandes...

Les ponts en H ont été les éléments les plus durs à maîtriser. Même aidés de la documentation, il nous a été difficile de les mettre en place : nous devons savoir à quelle "patte" du composant correspondait quelle fonction. Nous en avons accidentellement cassé quelques-uns : quelques faux contacts et mauvaises soudures et une erreur de masse commune en sont venus à bout. Comme nous les utilisons à leur intensité maximale de fonctionnement, 4A, ceux-ci ont aussi beaucoup chauffé, et nous avons dû monter des dissipateurs, et équiper la boîte de ventilateurs.

Le choix des capteurs nous a aussi occupés un long moment. Nous avons initialement pensé à une association de diode et capteur infrarouge, mais le tube en plexiglas étant légèrement opaque et susceptible d'être rayé, le rayon lumineux serait affecté. Nous avons pu obtenir des cellules inductives, et après quelques tests où nous avons vérifié si elles étaient bien non-influencées par le champ magnétique de la bobine (ces tests étaient concluants). Le second problème que nous avons rencontré avec ces capteurs, était : mais où les placer ? Juste devant la bobine ? À l'intérieur ? Plus loin ? Nous avons finalement décidé de placer le capteur avant la bobine, et de faire une temporisation.

Plus récemment, nous nous sommes rendu compte que les vis qui nous permettaient de fixer les bobines étaient en métal ! Notre projectile était fortement ralenti par ces dernières car il les aimantait : nous avons dû les remplacer par des vis en plastique.

IV) Projets

Comme nous le souhaitions après les oraux régionaux, nous avons réussi à créer un prototype de programme permettant de faire osciller notre projectile pendant un temps relativement long (de l'ordre de 8 à 10 secondes) entre deux de nos bobines. Mais les réglages nécessaires au bon fonctionnement de ce programme étant vraiment très précis, il est très difficile d'atteindre un « rebond perpétuel ». En effet, il suffit que le canon soit penché de quelques degrés, que les capteurs soit éloignés de quelques millimètres pour avoir une réaction différente : sortie immédiate du projectile, arrêt à l'intérieur... Nous souhaitons le perfectionner pour atteindre l'idéal du contrôle quasi-total et parfait du projectile.

Le jury de Lyon nous avait aussi conseillé d'effectuer une analyse énergétique et de la trajectoire du projectile : nous avons pour cela demandé à notre professeur de nous expliquer les bases nécessaires de la balistique.

V) Remerciements

Nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés à la réalisation de ce projet, Mr Bottos pour nous avoir proposé de participer aux Olympiades, tous les préparateurs et professeurs de physique du Lycée Charles Baudelaire à qui nous avons demandé les clefs de la salle et du matériel pour nos expériences, Mr Jean-Marc Guyenard pour la réalisation technique de nombreux éléments de notre projet, et les entreprises qui nous ont offert certains éléments. Grâce à eux, nous avons pu vivre cette expérience formidable et instructive qu'est de participer aux Olympiades de Physique.

VI) Annexe

Documentation des Ponts en H (Page 1/4)



L6201
L6202 - L6203

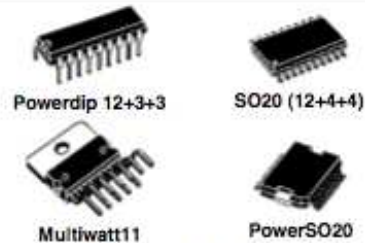
DMOS FULL BRIDGE DRIVER

- SUPPLY VOLTAGE UP TO 48V
- 5A MAX PEAK CURRENT (2A max. for L6201)
- TOTAL RMS CURRENT UP TO L6201: 1A; L6202: 1.5A; L6203/L6201PS: 4A
- $R_{DS(ON)}$ 0.3 Ω (typical value at 25 °C)
- CROSS CONDUCTION PROTECTION
- TTL COMPATIBLE DRIVE
- OPERATING FREQUENCY UP TO 100 KHz
- THERMAL SHUTDOWN
- INTERNAL LOGIC SUPPLY
- HIGH EFFICIENCY

DESCRIPTION

The I.C. is a full bridge driver for motor control applications realized in Multipower-BCD technology which combines isolated DMOS power transistors with CMOS and Bipolar circuits on the same chip. By using mixed technology it has been possible to optimize the logic circuitry and the power stage to achieve the best possible performance. The DMOS output transistors can operate at supply voltages up to 42V and efficiently at high switch-

MULTIPOWER BCD TECHNOLOGY

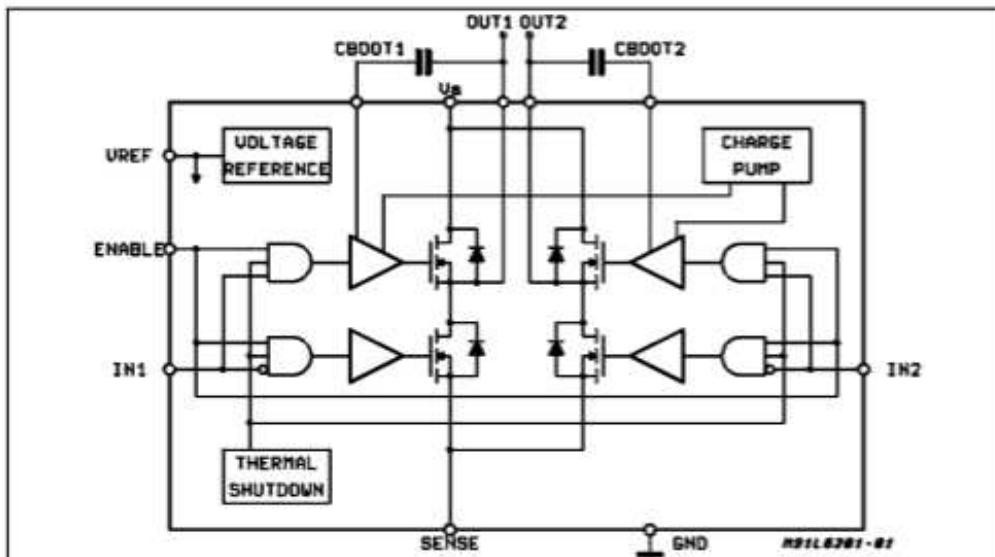


ORDERING NUMBERS:

L6201 (SO20)
L6201PS (PowerSO20)
L6202 (Powerdip18)
L6203 (Multiwatt)

ing speeds. All the logic inputs are TTL, CMOS and μ C compatible. Each channel (half-bridge) of the device is controlled by a separate logic input, while a common enable controls both channels. The I.C. is mounted in three different packages.

BLOCK DIAGRAM

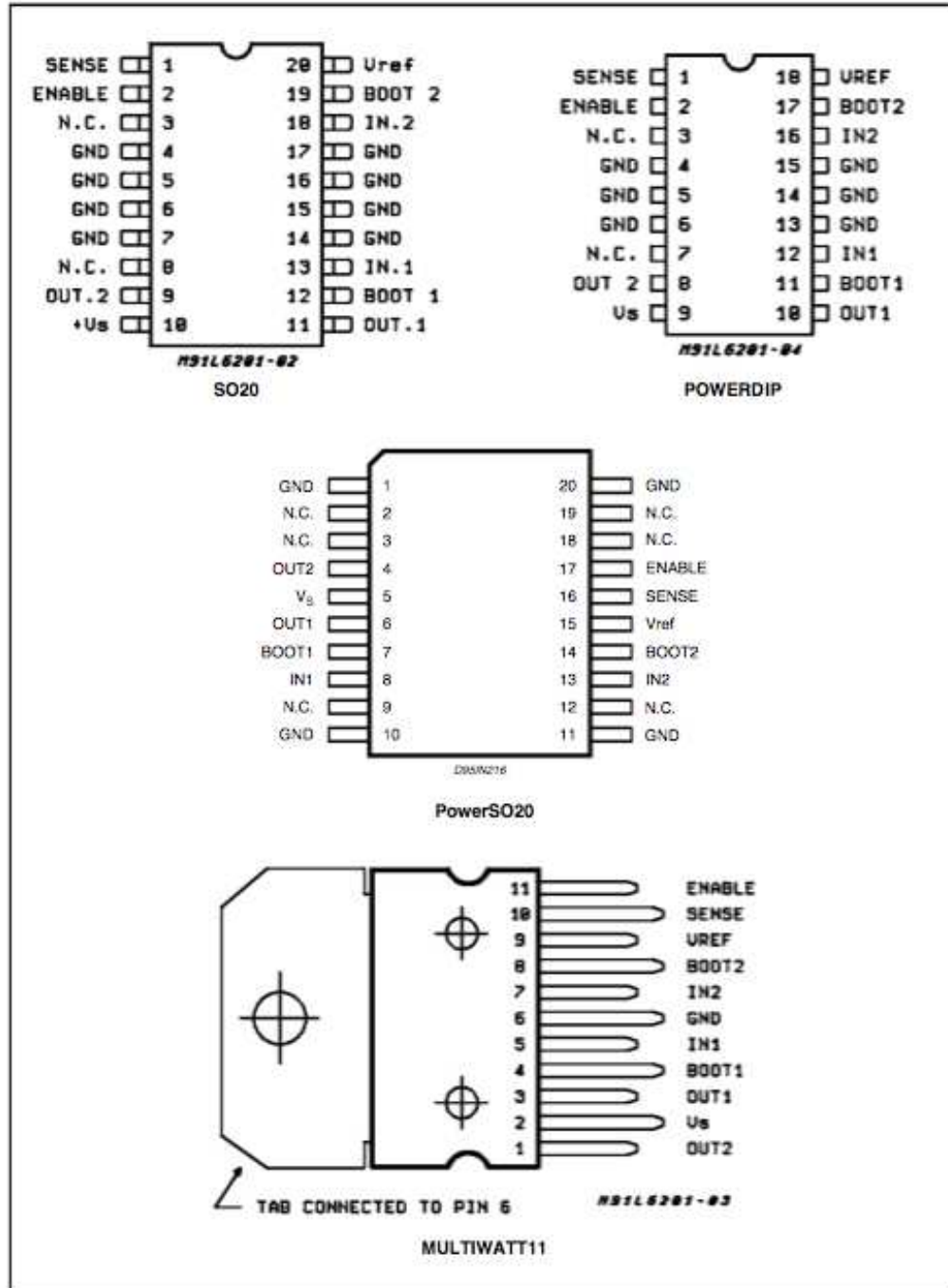


July 1997

1/20

L6201 - L6202 - L6203

PIN CONNECTIONS (Top view)



L6201 - L6202 - L6203

THERMAL DATA

Symbol	Parameter		Value				Unit
			L6201	L6201PS	L6202	L6203	
$R_{th(j-pins)}$	Thermal Resistance Junction-pins	max.	15	-	12	-	°C/W
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction Case	max.	-	-	-	3	
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	max.	85	13 (*)	60	35	

(*) Mounted on aluminium substrate.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Refer to the Test Circuits; $T_j = 25^\circ\text{C}$, $V_S = 42\text{V}$, $V_{sens} = 0$, unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage		12	36	48	V
V_{ref}	Reference Voltage	$I_{REF} = 2\text{mA}$		13.5		V
I_{REF}	Output Current				2	mA
I_S	Quiescent Supply Current	EN = H $V_{IN} = L$ EN = H $V_{IN} = H$ EN = L (Fig. 1,2,3)		10 10 8	15 15 15	mA mA mA
f_c	Commutation Frequency (*)			30	100	KHz
T_J	Thermal Shutdown			150		°C
T_D	Dead Time Protection			100		ns

TRANSISTORS

OFF						
I_{loss}	Leakage Current	Fig. 11 $V_S = 52\text{V}$			1	mA
ON						
R_{DS}	On Resistance	Fig. 4,5		0.3	0.55	Ω
$V_{DS(ON)}$	Drain Source Voltage	Fig. 9 $I_{DS} = 1\text{A}$ $I_{DS} = 1.2\text{A}$ $I_{DS} = 3\text{A}$	L6201 L6202 L6201PS/0 3	0.3 0.36 0.9		V V V
V_{sens}	Sensing Voltage			- 1	4	V

SOURCE DRAIN DIODE

V_{SD}	Forward ON Voltage	Fig. 6a and b $I_{SD} = 1\text{A}$ L6201 EN = L $I_{SD} = 1.2\text{A}$ L6202 EN = L $I_{SD} = 3\text{A}$ L6201PS/03 EN = L		0.9 (**) 0.9 (**) 1.35(**)		V V V
t_{rr}	Reverse Recovery Time	$\frac{di_f}{dt} = 25\text{A}/\mu\text{s}$ $I_f = 1\text{A}$ L6201 $I_f = 1.2\text{A}$ L6202 $I_f = 3\text{A}$ L6203		300		ns
t_{fr}	Forward Recovery Time			200		ns

LOGIC LEVELS

V_{INL} , V_{ENL}	Input Low Voltage		- 0.3		0.8	V
V_{INH} , V_{ENH}	Input High Voltage		2		7	V
I_{INL} , I_{ENL}	Input Low Current	V_{IN} , $V_{EN} = L$			-10	μA
I_{INH} , I_{ENH}	Input High Current	V_{IN} , $V_{EN} = H$		30		μA

L6201 - L6202 - L6203

PINS FUNCTIONS

Device				Name	Function
L6201	L6201PS	L6202	L6203		
1	16	1	10	SENSE	A resistor R_{sense} connected to this pin provides feedback for motor current control.
2	17	2	11	ENAB LE	When a logic high is present on this pin the DMOS POWER transistors are enabled to be selectively driven by IN1 and IN2.
3	2,3,9,12, 18,19	3		N.C.	Not Connected
4,5	-	4	6	GND	Common Ground Terminal
-	1, 10	5		GND	Common Ground Terminal
6,7	-	6		GND	Common Ground Terminal
8	-	7		N.C.	Not Connected
9	4	8	1	OUT2	Output of 2nd Half Bridge
10	5	9	2	V_s	Supply Voltage
11	6	10	3	OUT1	Output of first Half Bridge
12	7	11	4	BOOT1	A bootstrap capacitor connected to this pin ensures efficient driving of the upper POWER DMOS transistor.
13	8	12	5	IN1	Digital Input from the Motor Controller
14,15	-	13	6	GND	Common Ground Terminal
-	11, 20	14		GND	Common Ground Terminal
16,17	-	15		GND	Common Ground Terminal
18	13	16	7	IN2	Digital Input from the Motor Controller
19	14	17	8	BOOT2	A bootstrap capacitor connected to this pin ensures efficient driving of the upper POWER DMOS transistor.
20	15	18	9	V_{ref}	Internal voltage reference. A capacitor from this pin to GND is recommended. The internal Ref. Voltage can source out a current of 2mA max.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_s	Power Supply	52	V
V_{OD}	Differential Output Voltage (between Out1 and Out2)	60	V
V_{IN}, V_{EN}	Input or Enable Voltage	- 0.3 to + 7	V
I_o	Pulsed Output Current for L6201PS/L6202/L6203 (Note 1)	5	A
	- Non Repetitive (< 1 ms) for L6201	5	A
	DC Output Current for L6201PS/L6202/L6203 for L6201 (Note 1)	10 1	A A
V_{sense}	Sensing Voltage	- 1 to + 4	V
V_D	Bootstrap Peak Voltage	60	V
P_{tot}	Total Power Dissipation:		
	$T_{pins} = 90^\circ\text{C}$ for L6201	4	W
	for L6202	5	W
	$T_{case} = 90^\circ\text{C}$ for L6201PS/L6203	20	W
	$T_{amb} = 70^\circ\text{C}$ for L6201 (Note 2)	0.9	W
for L6202 (Note 2)	1.3	W	
for L6201PS/L6203 (Note 2)	2.3	W	
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	- 40 to + 150	$^\circ\text{C}$

Note 1: Pulse width limited only by junction temperature and transient thermal impedance (see thermal characteristics)

Note 2: Mounted on board with minimized dissipating copper area.