

LES MOTEURS A COURANT CONTINU



Etudiants :
Xavier BADIBANGA
Hugo LEROGERON
Dimitri EMPRIN

Enseignant-responsable du projet :
Prénom GUILLOTIN

Date de remise du rapport : **12/06/2016**

Référence du projet : **STPI/P6/2016 – 034**

Intitulé du projet : **LES MOTEURS A COURANT CONTINU**

Type de projet : **Expérimental**

Objectifs du projet :

Notre projet avait pour objectif la réalisation de A à Z d'un moteur à courant continu. Notre but était de réaliser ce moteur à l'image d'un défi du cours d'électromagnétisme de l'INSA Strasbourg, c'est à dire en utilisant le plus de pièces de récupération possible. De plus, nous souhaitions à terme, en plus de tester sur notre moteur les grands résultats vus en P5 et dans nos recherche, faire fonctionner notre moteur en tant que générateur grâce à une manivelle. Tout cela dans le but de recharger la batterie d'un téléphone portable, sur le principe de fonctionnement d'une lampe dynamo.

Mots-clefs du projet : Moteur, conversion électromécaniques, Laplace.

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : **Non.**

TABLE DES MATIÈRES

1.Introduction.....	6
2.Méthodologie / Organisation du travail.....	7
3.Travail réalisé et résultats.....	8
3.1.Partie Théorique : Conversions électromécaniques.....	8
3.2.Partie Technologique : Les différents type de moteur à courant continu.....	12
3.3.Partie Pratique : Réalisation du moteur.....	16
4.Conclusions et perspectives.....	21
5.Bibliographie.....	22
6.ANNEXE.....	22

1. INTRODUCTION

Pour commencer, nous pensons que le sujet de ce projet de P6 est primordial pour nos futures études d'ingénieurs. En effet, il est bon d'avoir des connaissances générales sur les moteurs, les moteurs à courant continu dans notre cas, pour mieux comprendre beaucoup d'aspect de l'ingénierie.

Même si dans de nombreux départements, ces notions seront plus ou moins revues, avoir des bases grâce à ce projet est la raison pour laquelle nous avons choisi ce sujet.

Notre choix s'est conforté lorsque nous avons décidé, en accord avec notre professeur référent Mr. Guillotin, de réaliser notre propre moteur à courant continu. Cela nous a permis de connaître réellement les différentes parties du moteur de manière précise ainsi que leurs utilités.

Cependant, avant de nous lancer réellement dans la conception du moteur, nous nous sommes replongés dans nos cours classiques (P3, P5, CTI ...) afin de définir les différentes étapes de réalisation du moteur. Cela nous a été très utile.

Même si cela nous a beaucoup aidé, il a fallu composer avec les aléas de la pratique. Nos idées initiales ont du être adaptées suivant les ressources que l'on avait à disposition, du temps que l'on disposait, et aussi des problèmes que l'on rencontrait dont on ne connaissait pas forcément la provenance.

C'est probablement cet aspect de notre projet qui nous a le plus plu et nous à pousser à nous dépasser pour être fier du travail que l'on a effectué durant cet EC.

Au niveau plus logistique, nous avons décidé d'un commun accord de créer un Google Drive afin d'être le plus en phase possible. En effet, il était très simple pour chacun de consulter une partie pour avoir une précision sur un aspect qu'il avait plus de mal à assimiler et surtout d'avoir connaissance des parties des autres car cela nous semble être un aspect primordial du projet de groupe.

De plus, cela nous a permis de nous rendre mieux compte du travail effectué chaque semaine afin de mettre des coups d'accélérateur si on jugeait notre travail hebdomadaire insuffisant.

Ainsi, dans se trouve se trouve différentes parties. Tout d'abord le détail de la méthodologie et de l'organisation du travail. Ensuite vient le travail réalisé, avec en premier nos recherches théoriques pour compléter nos acquis des cours de l'INSA, puis une partie technologique, utile à mieux comprendre le fonctionnement des différents types de moteurs. Ensuite vient la partie pratique, décrivant en détail les différentes étapes de réalisation de notre moteur.

Toutes ces étapes furent nécessaires dans la présentation de notre rapport décrivant la façon dont nous avons voulu atteindre l'objectif final : la réalisation d'un moteur à courant continu avec le plus de pièces de récupération possibles.

2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Nous avons durant les premières séances tout d'abord choisi ce que nous voulions faire. Notre professeur nous laissant relativement libre tant que nous restions dans le cadre du projet, nous avons décidé de construire notre propre moteur à courant électrique. Puisque cela passe évidemment par l'acquisition de matériaux de base, mais aussi de connaissances scientifiques et technologiques, nous nous sommes répartis la tâche pour les premières séances, mais aussi de manière générale, de la façon suivante.

Dimitri était ainsi chargé de l'aspect technologique de notre moteur, il a ainsi après quelques recherches décidé de quel type de moteur à courant continu nous allions réaliser, puis en a étudié certains autres dans des disques durs externes.

Hugo avait pour mission l'aspect scientifique du moteur à continu. Ainsi, en addition des connaissances acquises durant le module P5, il fut nécessaire de s'informer plus en détail sur le fonctionnement du moteur à courant continu via entre autres diverses vidéos et cet excellent cours de la CPGE de Brizeux donné par notre professeur.

Certains passages de ce cours seront réutilisés quand nous ferons l'explication scientifique de nos résultats expérimentaux.

Xavier était quant à lui chargé de l'aspect pratique de notre moteur : avec l'aide des recherches de Dimitri et d'Hugo, il a d'abord réalisé un schéma du moteur puis grâce à un menuisier de l'INSA a commencé le montage du moteur.

Cette organisation, supposée principale, fut ensuite assez largement modifiée au fil des séances. Quand nous pouvions tous travailler sur le moteur nous le faisons, mais quand c'était impossible, par exemple pendant le bobinage, Hugo et Dimitri ont commencé le rapport. De plus, divers problèmes d'emploi du temps ont participé au bouleversement de cette organisation qui est rapidement devenue : chacun fait ce qu'il peut quand il le peut. C'est certes un peu trivial, mais le manque de temps fut un problème récurrent durant notre projet, et nous avons dû y faire face de toutes les façons possibles.

3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1. Partie Théorique : Conversions électromécaniques

1) Force de Laplace :

Soit un matériau conducteur, comportant des charges mobiles de vitesse \vec{v} par rapport à un référentiel R' (lié au conducteur) et de masse volumique ρ . Ce conducteur est soumis à un champ magnétique \vec{B} permanent et orthogonal à \vec{v} . Il met alors en œuvre l'effet Hall.

On a ainsi la création d'un champ électrostatique $\vec{E} = -\vec{v} \wedge \vec{B}$, appelé champ de Hall.

De plus, le mouvement global des porteurs de charge est toujours dans la direction de \vec{v} . Le champ agit sur les charges fixes. Ainsi, la force élémentaire s'appliquant sur un élément de volume $d\tau$ du conducteur s'écrit donc : $\vec{dF} = (\rho \vec{v} \wedge \vec{B}) d\tau$ avec $\rho \vec{v} \wedge \vec{B}$ la densité volumique de force magnétique.

On en déduit $\vec{dF} = (\vec{j} \wedge \vec{B}) d\tau$ ou $\vec{j} = \rho \vec{v}$ est la densité volumique de courant.

Dans notre cas le conducteur est filiforme. S'il est parcouru par un courant électrique I, l'élément de courant équivalent à $\vec{j} d\tau$ est $I \vec{dl}$, \vec{dl} étant colinéaire au conducteur.

Si cet élément de courant baigne dans le champ \vec{B} , il est alors soumis à la force de Laplace d'expression : $\vec{dF} = I \vec{dl} \wedge \vec{B}$.

2) Égalité des puissances

On s'intéresse maintenant à réaliser un bilan des forces pour un élément conducteur plongé dans un champ magnétique.

On suppose que les porteurs de charge sont semblables pour simplifier, et car c'est le cas dans notre moteur : ils seront ainsi de charge q et de concentration volumique n .

Ces conducteurs subissent alors la **force de Lorentz** : $\vec{f} = q \vec{v} \wedge \vec{B}$ avec v la somme des vitesses par rapport au laboratoire et par rapport à R'. Ainsi, on applique cette force au même élément de courant et on obtient : $\vec{dF} = nq \vec{v} \wedge \vec{B} d\tau$

Or, la puissance de la force de Lorentz dans le référentiel du laboratoire est nulle puisque comme vu en P2, $dP = \vec{dF} \cdot \vec{v} = 0$ par orthogonalité du produit scalaire. En développant \vec{v} on obtient que la somme des puissances de Laplace et de la force électromotrice ($e = \int_{AB} \vec{E} \cdot d\vec{l}$) est nulle.

On obtient alors le principal résultat à la base du principe de conversion électromécanique :

« Lors du déplacement d'un circuit filiforme dans un champ magnétique permanent, la puissance électrique fournie par la force électromotrice d'induction est opposée à la puissance mécanique des forces de Laplace. »

3) Fonctionnement moteur/générateur

Fonctionnement moteur :

On impose un courant i grâce à une source extérieure dans un champ électrique, ce dernier baignant dans un champ magnétique \vec{B} . Comme vu auparavant, on utilise ici la force de Laplace pour mettre tout ou une partie de ce circuit en mouvement. On peut ainsi entraîner une charge mécanique, principe de fonctionnement des moteurs électriques d'une voiture par exemple.

Avant de réaliser le bilan des puissances, il convient de considérer les pertes par effet Joule du circuit électrique, sa résistance n'étant pas toujours négligeable. De plus, un peu de puissance mécanique transmise au moteur est perdue à cause des inévitables frottements. On obtient de fait l'équation suivante : $P_{\text{elec. Ext}} - P_{\text{Joule}} = P_{\text{laplace}} = P_{\text{frottement}} + P_{\text{méca}}$.

Ainsi, la puissance utilisable $P_{\text{méca}} = P_{\text{elect.ext}} - P_{\text{joule}} - P_{\text{frottement}}$

Fonctionnement générateur :

De part son principe de fonctionnement, le moteur à courant continu est inversible, c'est à dire que si une puissance mécanique est transmise au moteur (on le fait tourner), alors apparaît dans le moteur un champ électromoteur d'induction. Celui ci sera source de courant électrique si le circuit est fermé sur une charge électrique. On peut établir le même bilan qu'au dessus, la puissance produite étant électrique on écrit :

$$P_{\text{elect.}} = P_{\text{méca.ext}} - P_{\text{joule}} - P_{\text{frottement}}$$

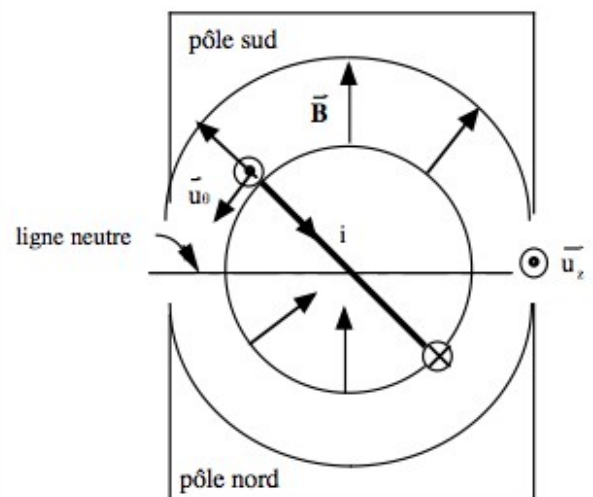
Ce fonctionnement est l'essence même du principe de fonctionnement d'une lampe dynamo. C'était aussi la manière d'utiliser notre moteur que nous avons choisi dans le but de recharger une batterie de téléphone portable. Il aurait en plus fallu grâce à un montage électrique additionnel s'assurer que le courant produit correspond bien à la norme micro USB des câbles de téléphone portable. Cependant, le temps nous a manqué.

4) Relation courant/couple :

Nous avons ainsi vu l'égalité des puissances dans les échanges électromécaniques. On peut alors se douter que le couple moteur produit par la rotation de celui-ci est lié par une formule au courant traversant le fil. C'est ce que nous allons étudier dans cette partie.

On imagine alors une spire parcourue par un courant i , baignant dans un champ magnétique radial. Ainsi, la spire tourne autour de l'axe \vec{U}_z avec une vitesse angulaire $\vec{\Omega} = \omega \vec{U}_z$. Ainsi on a le schéma ci-contre.

Concernant \vec{B} , on néglige les effets de bord donc B ne dépend que de R et θ .



On a ainsi :

$B(R,\theta)=B_0$ si θ appartient à $]0 ; \pi [$; $B(R,\theta)=-B_0$ si θ appartient à $]\pi ; 2\pi [$; $B=0$ sinon.

Si la spire a une longueur h et un diamètre $2R$, on obtient que la puissance des forces de Laplace s'exprime par : $2 Ri\omega h B_0 = C\omega = P_m$ ainsi on obtient que ,
 $C=2 RihB_0$ qu'on écrit souvent : $C=\varphi i$ avec $\varphi=2 RhB_0$

φ est ainsi homogène à un flux de B_0 à travers la surface de la spire.

φ est souvent appelé flux utile du champs magnétique sous chacun de ses pôles.

En étudiant l'aspect électrique on obtient de manière analogue que la force électromotrice

e vaut : $e=-2 B_0 R\omega h=-\varphi\omega$

Bien sur puisque $Pe=ei=-2 B_0 R\omega hi$ on retrouve $Pe + P_m = 0$.

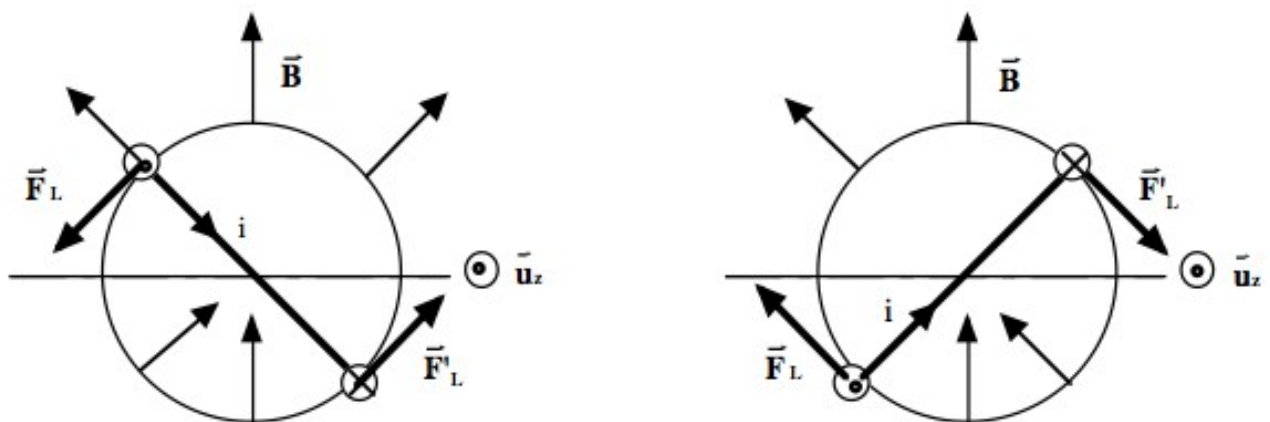
5) L'inversion du sens du courant :

A mi chemin entre la théorie et la technologie, une particularité du moteur à courant continu nous a causé quelques problèmes durant notre projet. En effet, au début, notre moteur ne faisait qu'un demi-tour puis s'arrêtait dans une position d'équilibre après quelques balancements.

Pour expliquer ce problème, il nous faut tout d'abord détailler les pièces qui forment le moteur à courant continu.

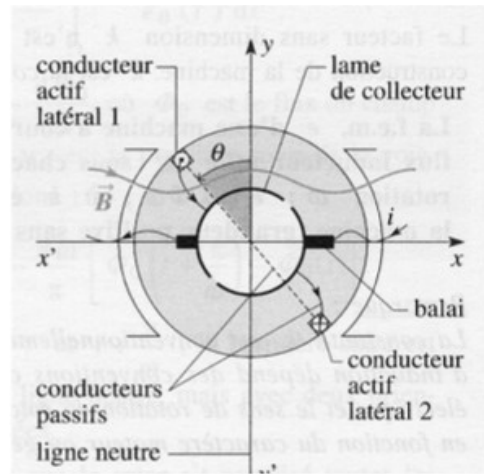
Ainsi, l'ensemble est tout d'abord constitué d'une partie fixe, appelé stator. Cette partie est naturellement solidaire du bâti. Un arbre de transmission porte la partie mobile, le rotor. Entre ces deux éléments principaux se trouve une zone appelée l'entrefer. C'est là où se trouve le champs magnétique. On choisit ensuite de faire ou non tourner les bobines. Ce sera détaillé plus tard.

On a vu plus haut que notre moteur comporte une ligne neutre, position dans laquelle notre moteur s'équilibrait. En effet, il est nécessaire que le sens du courant des spires s'inverse sinon, le couple des forces de Laplace s'inverse du fait de l'uni-direction du champs magnétique. Ainsi, la machine ne peut tourner toujours dans le même sens. On le voit sur ce schéma :



Cependant, puisque notre moteur fonctionne avec du courant continu, cette inversion ne peut se faire grâce à l'alimentation. Il faut ainsi trouver une solution technique. Chaque spire placée sur le rotor est connectée, dans notre cas par des fils de cuivre, à deux lames de cuivre isolées l'une de l'autre. L'ensemble des lames est appelé collecteur. Si on y ajoute les balais (dans notre cas de simples fils fixés par les mains), on obtient le commutateur.

Ainsi, en sachant que les balais sont supposés fixés au bâti tandis que les lames tournent avec le rotor, on comprend qu'au passage de la ligne neutre (les balais sont alors temporairement déconnectés des connecteurs), les lames de cuivre changent de balais. Ainsi, le sens du courant parcourant la spire s'inverse, permettant au couple des forces de Laplace de garder le même signe et donc au moteur de tourner dans un seul sens.



3.2. Partie Technologique : Les différents type de moteur à courant continu

1) Le moteur à courant continu

Dans de nombreuses applications industrielles il est nécessaire de transformer l'électricité en énergie mécanique, et inversement. De fait, il est nécessaire dans le but de réaliser notre moteur d'en comprendre le fonctionnement. C'est l'objet de la partie précédente.

Cependant, en utilisant les mêmes principes théoriques, on peut aboutir à la production de moteurs assez différents les uns des autres. C'est ce que nous allons étudier dans cette partie.

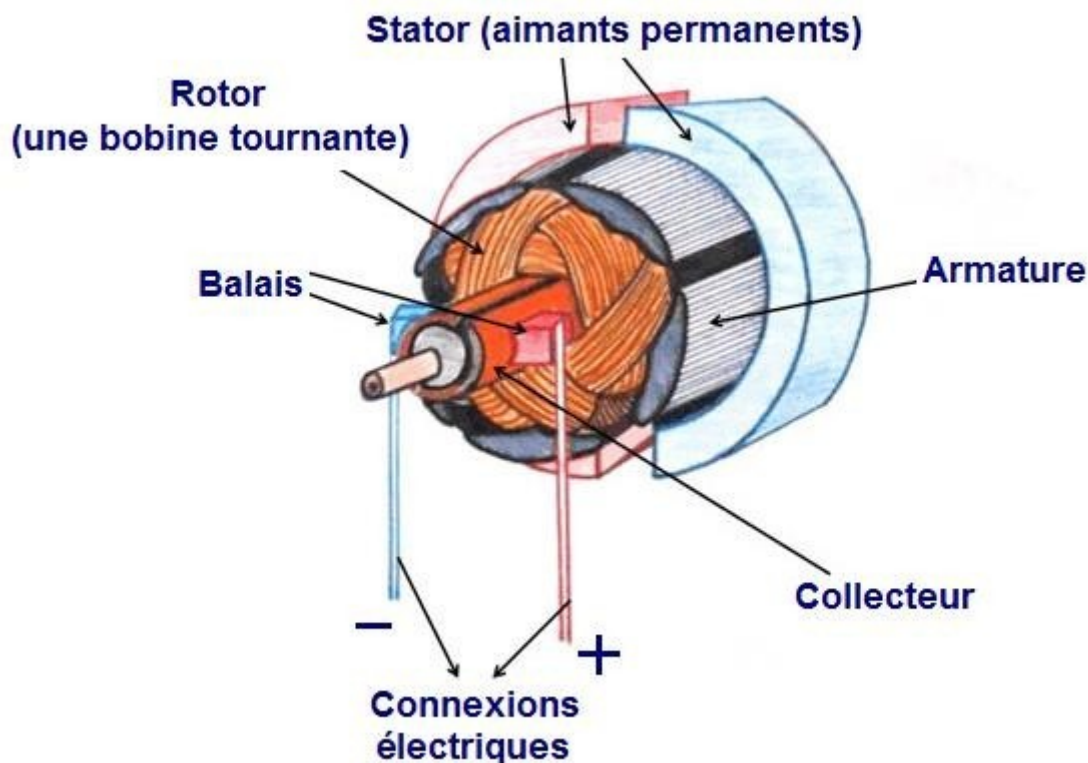


Illustration 3.1: Différentes parties du moteur à CC

a) Le stator

On peut ajouter quelques informations plus technologiques à celle théoriques définies dans la partie théorique.

Le stator peut être fait d'aimants permanents ou d'électroaimants qu'il faut alimenter. Dans ce cas, la relation électrique s'écrit : $U = R.I$

C'est la loi d'Ohm pour le stator (excitation) du moteur à courant continu. En tension et courant continus, l'aspect inductif du stator n'intervient pas. Une inductance est un court-circuit en continu. Seule la résistance compte.

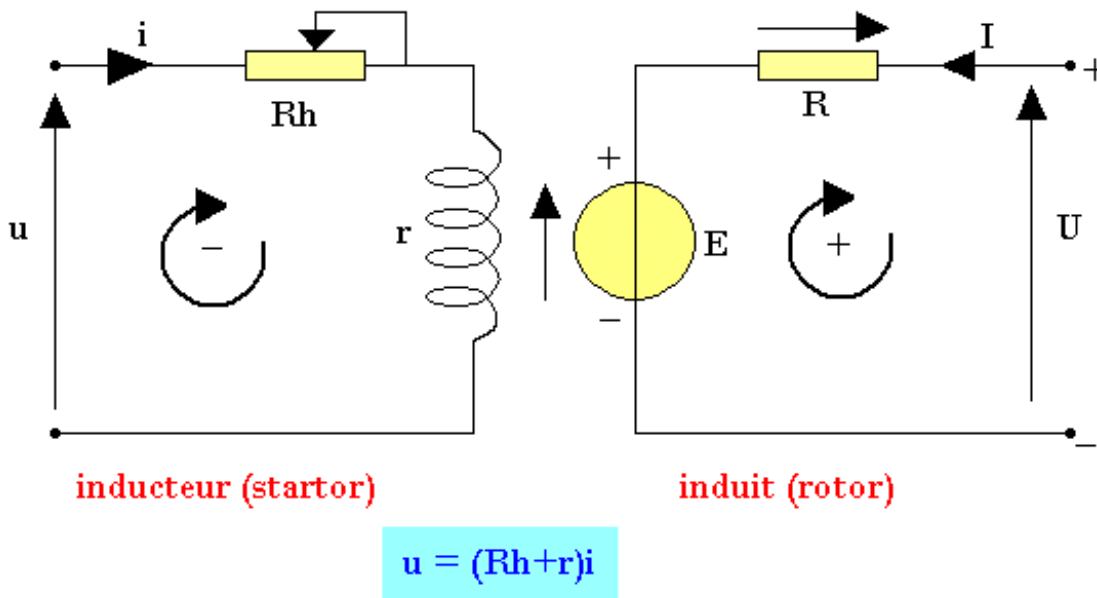
b) Le collecteur et les balais

De même, il semble nécessaire de compléter les informations sur les balais. Ceux-ci permettent l'alimentation de l'induit grâce à un contact glissant entre les lames du collecteur reliées aux conducteurs du rotor et le circuit électrique extérieur. Ils sont constitués de petits cubes ayant une surface de contact comprise entre quelques mm² et quelques cm² en graphite pur ou en alliage, qui doivent résister à des conditions d'utilisation sévères (courants élevés, températures élevées, frottements, arc, atmosphères chargées ou très sèches, ...).

Ils sont équipés d'une tresse de raccordement et maintenus en place par un porte-balais solidaire du stator. Un ressort exerce une pression constante sur la partie en graphite quel que soit l'usure du balai.

2) Les différents type d'excitations du moteur à courant continu

a) : Moteur à excitation indépendante



On rappelle maintenant qu'il est important de savoir que le sens de rotation d'un moteur dépend du sens des forces électromagnétiques.

Ces dernières entraînent la rotation à l'aide du courant d'excitation et du courant du conducteur de l'induit. Pour inverser le sens de rotation il suffit d'inverser ces deux courants. Il est donc bon de préciser que le sens de rotation est possible dans les deux sens. Souvent associé au sens de rotation d'un moteur, la vitesse a pour expression :

$V_r = (U - RI) / K\Phi$ avec U la tension, R la résistance, I l'intensité, K une constante et Φ le flux.

On va maintenant parler du fonctionnement du moteur et plus particulièrement de l'intensité du courant.

Le moteur entraîne en rotation une charge à la vitesse V_r vu précédemment, qui va imposer l'intensité du courant en fonctionnement I . Cependant pour que cette dernière soit mise en rotation il faut qu'elle ait un couple électromagnétique d'expression $T = K\Phi I$.

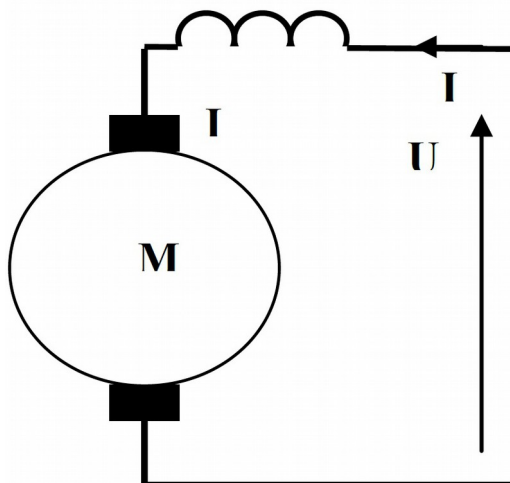
A vitesse $V_r = 0$, la force électromagnétique est nulle et le rotor se comporte en tant que résistance. Au moment où on branche le moteur à une source d'alimentation, l'induit crée un courant d'intensité $I_0 = U/R$ avec I_0 l'intensité au démarrage. Le rotor va alors se mettre en rotation avec V_r et $E > 0$.

L'intensité devient alors $I_d = (U - E)/R$ qui diminue au fil du temps jusqu'à atteindre I . On peut alors dire que la phase de démarrage est terminée. La durée de cette phase varie suivant le moment du couple résistant de la charge. En revanche, pour que le moteur puisse effectivement entraîner cette charge il faut que son moment de couple soit supérieur au moment opposé par la charge $T_d > T_{rd}$ c'est à dire que le courant de démarrage soit supérieur à I_0 .

Cela pose néanmoins des problèmes car l'induit absorbe des courants bien supérieurs pendant la phase de démarrage. Cette surintensité entraîne une détérioration assez conséquente du rotor due à l'effet joule, et aux chocs mécaniques à cause de la mise en rotation brutale.

Pour éviter ce problème il est donc recommandé de limiter l'intensité maximale du courant. Une solution a été trouvée pour arriver à remédier à ce problème. En effet, on induit une faible tension $T < T_n$ avec T_n la tension en fonctionnement afin que la mise en route soit plus progressive et ainsi réduire la surintensité.

b) Machine à excitation en série



Tout d'abord, nous allons voir qu'il existe certaines analogies avec le moteur à excitation indépendante, principalement concernant le freinage et le démarrage. Cependant, il existe aussi d'importantes différences dues à la production du flux et au courant d'intensité I . Nous allons donc voir en quoi ces différences influent sur le fonctionnement du moteur.

Intéressons nous tout d'abord au sens de rotation.

Pour ce moteur, le sens de rotation est indépendant de celui du courant puisque le même courant circule aussi bien dans l'induit que dans l'inducteur. Il suffit d'inverser les connexions entre les circuits inducteurs de l'inducteur et de l'induit pour changer le sens de rotation. Vu qu'il est assez simple de changer de sens en opérant de mineures modifications, ce moteur est souvent appelé moteur universel puisqu'il peut aussi fonctionner sous tension alternative.

Dans le cas de ce moteur la vitesse V_r s'écrit sous la forme : $V_r = (U - RI) / RI$ avec R la résistance et I l'intensité qui parcourt le courant.

On peut assimiler cette vitesse à tension constante pour ce moteur à une fonction hyperbolique de courant.

A tension nominale U_n , le moteur absorbe un courant d'intensité $I = U_n / R_t$ inférieur à I_n (ou l'intensité nominale). Comme on l'a déjà vu pour le moteur à excitation indépendante, il faut limiter le point de courant au démarrage pour éviter la surtension.

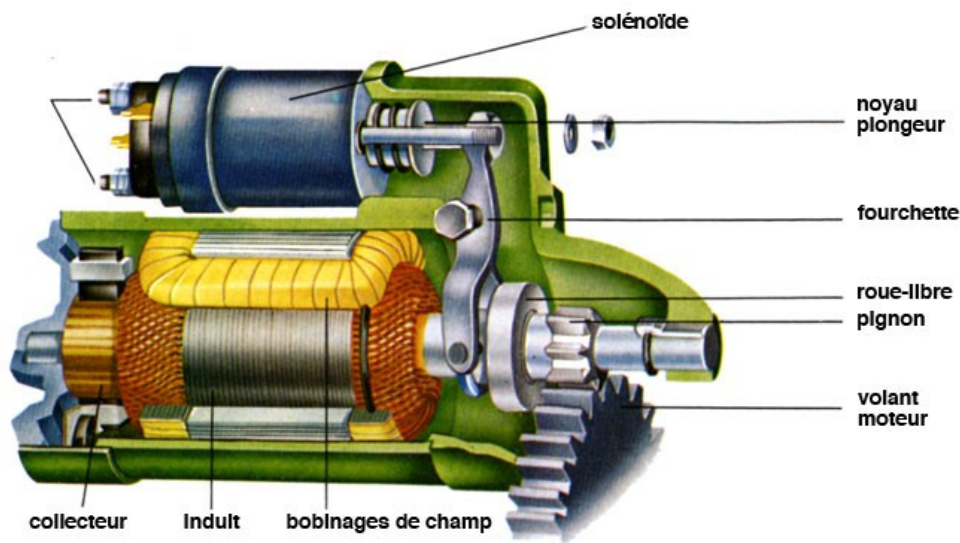
On va maintenant analyser les moments pour les comparer.

A tension et intensité égale en limitant l'intensité à une fois et demie l'intensité nominale, on obtient pour l'excitation indépendante : $T_d = 1,5(K \varnothing I_n)$

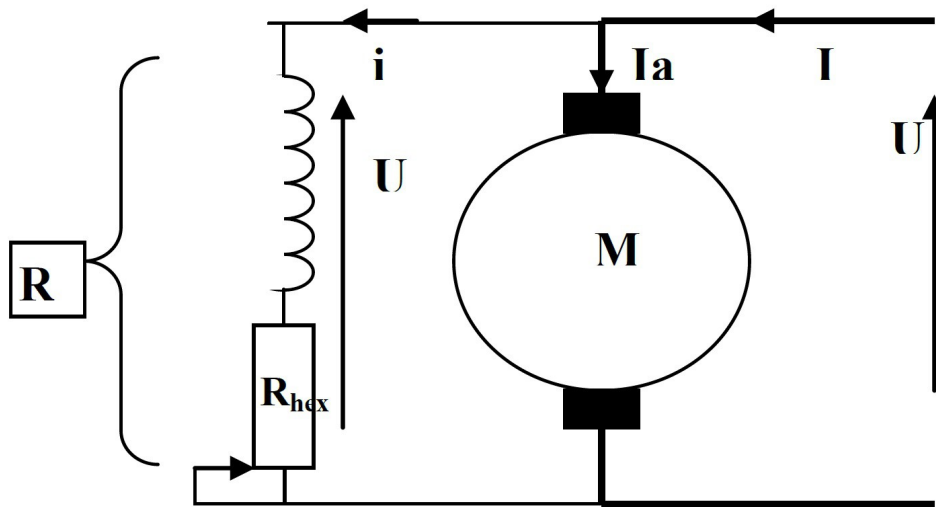
et pour l'excitation en série : $T_d = 2,25 k I_n^2$ avec $k = K K'$ et $\varnothing = K' l$ donc $T_d = 2,25 K \varnothing I_n$

En comparant les deux, on remarque donc que le moteur à excitation en série possède un plus grand couple moteur et donc ce dernier est souvent favorisé quand on a besoin d'un couple important.

Exemple d'application : Démarreur automobile



c) Machine shunt (excitation en dérivation)



A l'inverse du moteur à excitation indépendante, le sens de rotation du moteur Shunt est indépendant de la force électromagnétique appliquée sur cette machine.

Passons maintenant au fonctionnement d'un moteur shunt.

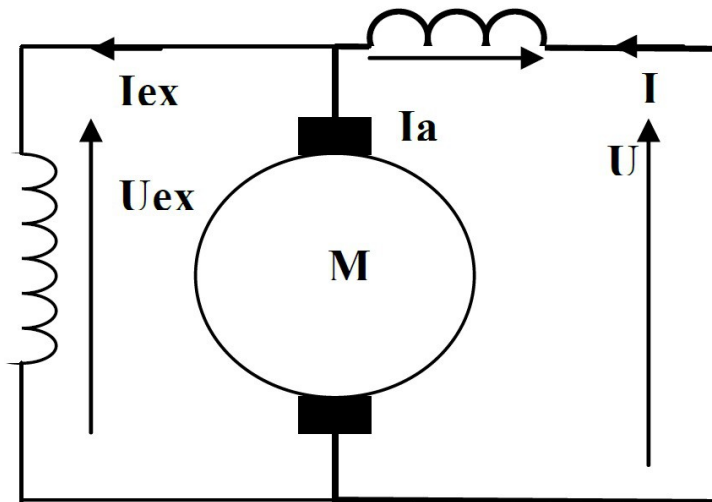
On ne peut appliquer une tension U directement à l'induit d'un moteur à l'arrêt, le courant y serait trop fort. Dans le but de réduire le courant d'intensité I , on monte en série avec l'induit une résistance variable appelée rhéostat de démarrage. Il est important de noter que ce type de moteur ne s'emballé pas à vide car lorsque la vitesse augmente, arrive un moment où $E=U$, sauf qu'à ce moment la valeur de I sera celle attendue car I ne dépend pas de la vitesse du moteur.

Pour finir l'inducteur shunt est constitué de plusieurs spires de section de conducteur très petites car ce dernier ne supporte pas un courant fort. En revanche, l'inducteur série est constitué de peu de spire car ce dernier supporte de grands courants.

Exemple d'application : Machine outil



d) Machine compound (excitation composée)



Comme le suggère si bien son nom ce moteur est en quelque sorte un hybride entre le moteur shunt ou à excitation en dérivation et le moteur à excitation en série. Cette machine possède des propriétés propres à l'un et l'autre. En effet, à vide et faible charge, ce dernier s'assimile à un moteur shunt à savoir qu'il ne s'emballe pas. A l'inverse, au fur et à mesure que la charge augmente, les propriétés se rapprochent plus d'un moteur série. C'est à dire qu'il a un bon couple de démarrage en charge.

La prochaine partie concernera la réalisation du moteur en elle-même, c'est à dire toutes les étapes pratiques qui ont permis sa conception. Il est bon de noter que nous avons fait le choix de réaliser une machine à excitation en série. En effet, c'est le choix technologique le plus simple, qui convenait donc bien avec nos objectifs. De plus, nous ne sommes pas réellement sensibles aux différentes contraintes qu'il crée car nous ne comptons pas entraîner de lourdes charges.

Exemple d'application : Treuil



4) Comparaison entre les différents types de moteurs à courant continu.

	Série	Shunt	Compound
Propriétés	<ul style="list-style-type: none"> - Vitesse très variable - S'emballe à vide - Couple de démarrage élevé - Grande vitesse à faible charge - Absorbe très bien les surcharges passagères - Couple indépendant de la tension 	<ul style="list-style-type: none"> -Vitesse sensiblement constante et facile à régler -Degré de stabilité élevé 	<ul style="list-style-type: none"> - Couple de démarrage plus élève que celui du moteur shunt et croissant très rapidement avec le courant. - Vitesse pratiquement constante aux charges normales et très rapidement décroissante lorsque le couple résistant augmente. - Ne s'emballe pas a vide ou aux faibles charges comme le moteur série.
Utilisations	<ul style="list-style-type: none"> - Traction électrique - Démarreur d'automobile - Ventilateurs, pompes centrifuges, compresseurs ,pompes à piston 	<ul style="list-style-type: none"> - Machines outils, - pompes, - ventilateurs, - Appareils de levage 	<ul style="list-style-type: none"> - Machines-outils a couple variable ou a mouvement alternatif (étaux-limeurs, raboteuses); - Machines démarrant en charge (treuils, pompes à piston) ; - Traction électrique

3.3. Partie Pratique : Réalisation du moteur

Dès la première séance, lorsque nous avons été confronté au choix de ce que nous voulions faire au cours de ce projet, il nous a paru important de réaliser une maquette, afin d'être confrontés à de réels problèmes à résoudre au cours de ce projet. Puisque l'objectif final est de fabriquer de A à Z un moteur, chaque étape fut cruciale. En effet la moindre incompréhension d'un aspect technique nous exposait à un problème technique à résoudre. Impossible de se dissimuler donc : soit le moteur tourne, soit il ne tourne pas.

Je vais donc dans cette partie vous exposer le travail qui à été fait tout au long de ce projet afin de parvenir à notre objectif. Pour cela, je m'appuierais sur la description des problèmes que nous avons rencontré et des solutions que nous avons mises en œuvre pour les résoudre.

1) Objectifs initiaux :

Lors de nos recherches, nous nous sommes aperçus que les moteurs pouvaient également servir de générateur électriques car les phénomènes physique au sein de ceux ci étaient réversibles. Afin d'assurer une motivation et un cap à suivre, nous nous tout d'abord fixer comme objectif ambitieux de réaliser un générateur qui pourrait à l'aide d'une manivelle recharger des batteries de faibles capacités (ex : téléphone portable).

2) Recherches :

Bien décidé à atteindre l'objectif final, nous avons commencé à regardé sur internet divers sites , blog et vidéos sur la fabrication de moteurs à courant continu. Ces recherches nous ont pris du temps et nous avons été positivement surpris vis à vis de la documentation sur le sujet. En effet, une simple requête sur Youtube par exemple permet de voir des dizaines de vidéos de petits moteurs à courant continu « home-made ».

Cependant, parmi cette importante masse d'informations, certaines étaient contradictoires. Il nous a donc fallu sélectionner les informations qui nous paraissaient les plus vraisemblables en faisant appel à nos quelques connaissances en Électromagnétisme et Électricité, acquises au cours des cours de P3 et de P5. Nous avons tout d'abord écarté certains sites aux sources floues, et dont les affirmations nous paraissaient fausse physiquement.

En particulier, le cours sur les conversions électromécaniques de la CPGE du Lycée Brizeux nous a été très utile.

3) Réalisation :

a) Guidage en rotation

Les premières étapes d'informations étant passées, nous avons donc après quelques séances commencé réellement la fabrication de notre moteur.

Mais pour fabriquer notre moteur, il nous fallait évidemment des pièces ! Suivant nos instructions du cours de CTI2, nous avons commencé par chercher les pièces que l'on ne pouvait fabriquer nous même (ex : roulements, aimants) avant de commencer la conception du bâti et du rotor. En effet, c'était bien à nous de nous adapter aux pièces d'occasions dont nous disposions et nous préférons éviter au maximum de faire acheter du matériel à l'INSA.

C'est pourquoi nous sommes partis à la recherche dans la salle ainsi que dans l'atelier de tout type de pièces qui auraient pu nous servir d'élément roulant, d'axe de transmission, de socle et ... de rotor !

Après de longues recherches, nous sommes finalement parvenus à rassembler diverses éléments de récupération parmi lesquels 2 roulements à billes, une tige filetée de diamètre compatibles avec ces roulements et de la quincaillerie.

b) Conception socle et du rotor

Nous avons ensuite commandé plusieurs aimants permanents de taille réduite et d'une rémanence de 1.35 Teslas sur le site « Conrad » car nous ne pouvions pas fabriquer ces éléments nous même, et que nous n'en avions pas trouvé d'assez puissants autre part.

La conception a tout d'abord débuté sur le papier, où nous avons établi un premier plan ayant pour but de définir clairement l'architecture de notre moteur. Puis, nous avons fait une modélisation 3D sous SolidWorks afin de nous assurer de la cohérence des côtes établies.

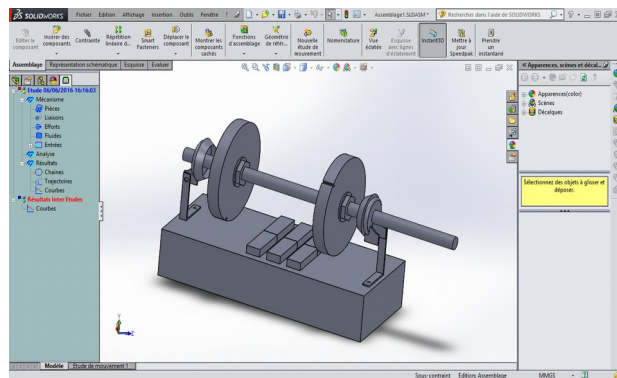
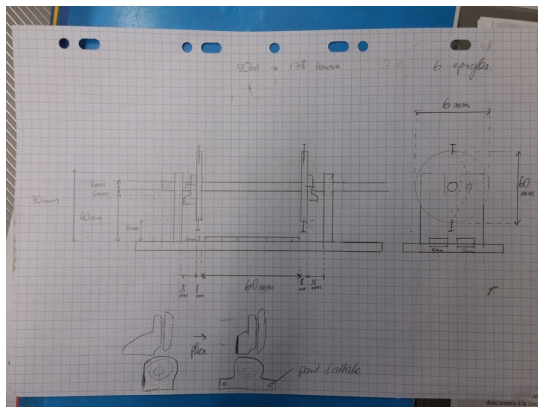


Illustration 3.2 :

Grâce à ce plan, nous nous sommes rendus chez le menuisier de l'INSA afin de lui demander de découper pour nous certaines pièces en bois, ce qu'il a généreusement accepté de faire. Nous avons donc passé un certains temps à l'atelier afin de lui spécifier nos attentes d'une manière la plus précise possible, et c'est ainsi que nous avons obtenus les deux pièces cylindriques constituant notre rotor, et que nous avons également obtenu notre premier socle (qui a du être modifié par la suite).

Le menuisier a donc utilisé une scie circulaire ainsi qu'une fraise afin de réaliser nos pièces. Pour des questions de sécurité, nous n'avons évidemment pas pu manipuler durant ces opérations ! Cette fabrication nous a pris du temps car il fallait bien expliquer nos besoins au menuisier afin d'avoir les pièces convenables, et donc éviter de devoir le déranger à nouveau.

Après cela, nous avons pu commencer le montage. Avant de commencer le bobinage du rotor, nous avons tout d'abord voulu tester différents type de fixation du rotor sur l'axe.

Nous pouvions soit le fixer totalement avec de la colle par exemple, assurant donc une transmission maximale, soit le fixer au moyen d'écrous.

La première solution à été écartée en raison de son irréversibilité. En cas d'ajustement nécessaire pour le montage, nous n'aurions pas pu faire marche arrière ! C'est donc pour cela que nous sommes partis sur l'idée d'un moteur modulable, donc chaque élément était présent sur la tige filetée et réglable grâce à des écrous.

c) Bobinage

Disposant d'un bâti pour notre moteur, nous nous sommes engagés dans l'opération du bobinage. Sur de nombreux sites, le nombres de 150 tours revenait souvent. Nous avons donc opté pour l'achat d'une bobine de fil de cuivre émaillé de 50m de long, nous permettant en théorie (selon notre pré-conception) de faire 178 tours. Pour la fixation de ce bobinage, nous avons simplement pris des punaises, conforme à notre envie d'utiliser un maximum d'objet de récupération. Finalement, nous sommes arrivés à 168 tours de bobines et avons remonté le rotor complet sur notre axe.



Illustration 3.3 :

d) Commutateurs

Le rotor terminé, il fallait maintenant créer l'alimentation du moteur par le biais de contacteurs et de balais. C'est à partir de cette étape que la réalisation du moteur est devenue plus technique.

En effet, comme expliqué dans les parties technologiques et théoriques, le principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu à aimant permanent repose en grande partie d'une part sur la présence de balais (ici simplement des câbles électriques sécurisé du laboratoire), d'autre part sur la présence d'un commutateur permettant d'inverser le sens du courant parcourant la bobine.

Après réflexion sur les manières de réaliser ces commutateurs, nous nous sommes finalement procuré de fines feuilles de cuivre souples. En découpant précisément ces feuilles, nous avons pu artificiellement créer l'équivalent de deux demi-cylindres métalliques totalement isolés électriquement du reste du système sur notre axe, ceci grâce à un bout de tuyau récupéré dans l'atelier. Cette opération délicate, et dont nous savions que la précision influencerait en grande partie sur la qualité de notre moteur a due être répétée plusieurs fois : il ne fallait pas un trop grand écart entre chaque demi-cylindre de peur que le temps de commutation soit trop grand et que notre moteur ne soit pas efficace (perte de puissance due à une période de non alimentation électrique dans un cycle de rotation).

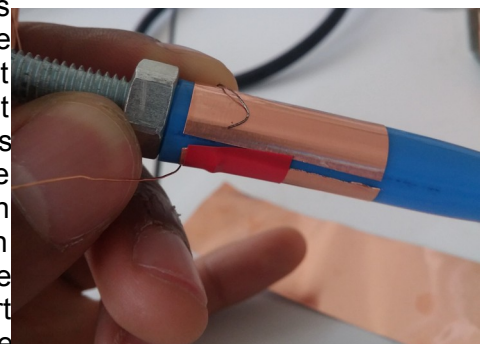


Illustration 3.4 :

Les extrémités de la bobine ont été ensuite fixées sur ces demi-cylindres grâce à de la bande adhésive d'électricien, qui possédait en plus de ses qualités de fixation des qualités d'isolation électrique.

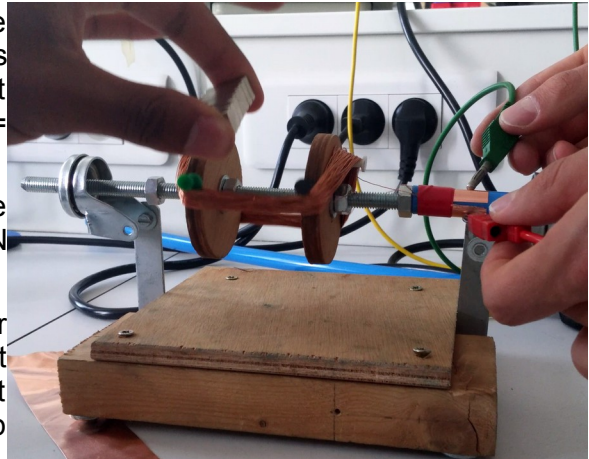
e) Premiers tests électromagnétiques

Nous avons donc procédé aux premiers tests électromagnétiques et branchant une alimentation de puissance. Ainsi, nous avons mesuré pour la bobine une résistance équivalente de 1 Ohm. Une tension de 12V créait donc un courant de 1.2A.

Ainsi, en théorie, la force de Laplace résultante du rapprochement d'un aimant près de la bobine était de $1.2 \times 1.35 = 1.6N$, soit l'équivalent d'un poids de $1.62 \times 9.81 = 0.165 \text{ kg} = 165g$.

En utilisant 3 aimants, la force estimée était donc environ 3 fois plus importante (4,8N soit l'équivalent d'un poids 500g).

Ces calculs sont cependant à nuancer car le champ magnétique est inversement proportionnel à la distance séparant nos aimants de la bobine. Hors cette distance varie beaucoup au cours d'un cycle de rotation.



f) Stator

Fort de ces premiers tests qui, à force de persévérance, ont fini par être concluants, nous nous sommes donc lancés dans la construction d'un stator afin de permettre aux aimants d'être au plus près de la bobine au cours du mouvement de rotation du moteur.

La conception de ce stator nous a posé de nombreux problèmes, notamment vis à vis des frottements et des contacts entre les pièces du rotor et du stator. Son réglage ne fut pas aisé et nous à donc pris du temps. Après de nombreux essais fluctuants, nous avons finalement créé une deuxième version de ce stator, qui était moins sujette au contact entre les éléments cités précédemment.

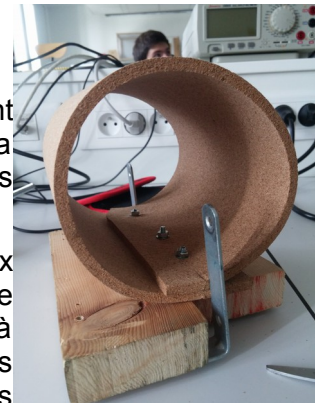


Illustration 3.5 :

g) Essais de fonctionnement du moteur

La rotation du rotor dans le stator étant maintenant permise, nous avons commencé à essayer de faire tourner notre moteur grâce aux forces électromécaniques. Seulement, encore une fois, cela ne fonctionnait pas. Nous avons donc réfléchi sur ce que n'allait pas et nous avons finalement décidé de demander de l'aide à notre professeur encadrant M. Guillotin. Ce dernier a mis le doigt sur les défauts de montage qui empêchaient notre moteur de fonctionner à savoir un trop grand écart de distance entre les aimants et les bobines (de l'ordre du centimètre) ainsi qu'un commutateur de courant désaxé de 90° par rapport à la bobine. De plus, il nous a suggéré d'ajouter un peu de lubrifiant sur les roulements.



A cause de ces différents problèmes, notre bobine était simplement attirée par les aimants, mais jamais repoussée. Notre moteur n'entamait donc jamais de mouvement de rotation continu. Nous avons donc recommencé la mise en place des commutateurs et cette fois ci, le moteur à fonctionné ! (voir vidéo)

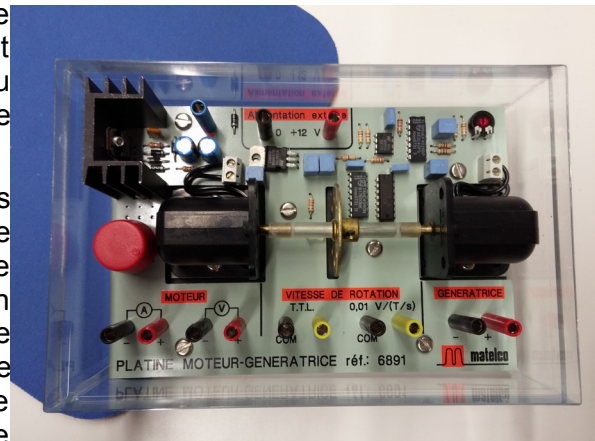
Celui ci nécessite une légère impulsion pour démarrer mais entretient ensuite un mouvement de rotation stable grâce à un courant de 1,2A (tension de 12V). Le dernier problème à régler est celui de la tige filetée. En effet, notre moteur avance sur son axe en même temps qu'il tourne (à cause de la nature hélicoïdale de la liaison entre la tige filetée et les roulements), ce qui limite son nombre de tour. Nous projetons de recouvrir les pas de filetages afin de régler ce problème. Ceci fut ensuite réalisé et fonctionna acceptablement bien.

h) Pistes d'amélioration

La structure du moteur peut être améliorée afin de la rendre plus robuste et permettre un plus grand nombre de tour du moteur avant que celui ci ne translate et ne perde sa connexion avec nos « balais ».

Par manque de temps, nous n'avons pas pu effectuer de mesures concrètes afin de confronter les performances réelles de notre moteur avec celles qu'il serait censé fournir en théorie (relation entre couple, vitesse de rotation, courant, etc...). Il s'agirait d'une prochaine étape possible dans l'étude de notre moteur, qui pourrait avoir lieu par exemple

grâce au dispositif ci-contre (en insérant une transmission entre l'axe de notre arbre et l'axe du système).



4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Pour conclure, ce projet a été très bénéfique sur de nombreux aspects aussi bien humains que techniques. En effet, cela nous a permis d'apprendre à mieux travailler ensemble et à se répartir les tâches au mieux car sinon le projet n'aurait pas été réalisable. En effet, même si à certains moments on a effectué des tâches que l'on appréciait moins, on a rapidement compris que c'était dans l'intérêt du groupe. Cela nous a aussi beaucoup apporté sur la gestion du temps puisqu'il était nécessaire de réaliser le moteur. La communication s'est aussi beaucoup améliorée au cours du projet pour faciliter la compréhension pour les autres. En effet, il était nécessaire que la personne à qui l'on s'adressait comprenne exactement ce que l'on souhaitait dire car pour un travail précis comme la réalisation d'un moteur, on ne peut pas vraiment se permettre d'être approximatif. Pour finir, le fait que l'on ait rencontré des problèmes avec le moteur nous a obligé à être plus persévérants dans notre travail.

Certes, nous n'avons pas pu atteindre tous nos objectifs du à un manque de temps et de connaissances de base, mais nous sommes quand même fiers d'avoir réussi à faire tourner notre moteur.

Hugo : « Pour ma part, je garderais un bon souvenir de ce projet de P6. J'ai réellement développé mes compétences pratiques principalement mais aussi enrichi mes connaissances scientifiques globales avec toutes les recherches nécessaires. J'aime le fait de réaliser un projet, qui se rapproche selon moi plus du travail d'ingénieur que les cours magistraux, et m'a permis de mettre en pratique les connaissances très théoriques de P5. »

Dimitri : « Pour ma part, je trouve que la présence d'un EC projet dans notre deuxième année est très enrichissante pour les étudiants. En effet, aussi bien sur le plan technique que sur celui humain, cet EC permet de mener à bien un projet où chaque a peu ou pas de notions. Il est donc nécessaire de mettre en lien les connaissances et atouts de chacun dans un but commun. En plus, le fait qu'un professeur soit affecté à notre projet nous permet d'être aiguillé en cas de problème. Pour ma part, j'ai beaucoup apprécié travailler sur ce projet car le sujet est intéressant et réellement utile pour un étudiant ingénieur. De plus, la communication a été très bonne au sein de notre groupe car mes deux camarades sont des personnes avec qui je m'entends bien. Ils m'ont beaucoup aidé à comprendre le fonctionnement d'un moteur car j'étais bien plus novice qu'eux. Surtout ce qui m'a paru le plus important est le fait qu'on se soit forcé à travailler de manière régulière avec une harmonisation hebdomadaire qui nous a permis d'être en permanence au courant de l'avancé du projet. »

Xavier : « Comme dit par mes partenaires de projets plus haut, ce projet fut très intéressant d'un point de vue technique et humain. J'ai particulièrement apprécié d'avoir pu mener avec eux la réalisation d'un prototype de moteur. La place importante accordée par chacun à la partie pratique du projet nous a permis de progresser petit à petit grâce à l'émulation collective et aux nombreuses idées proposées pour résoudre les problèmes (électriques, magnétiques ou mécaniques) auxquels nous étions confrontés. »

On va maintenant aborder les perspectives quant à la poursuite de ce projet. Tout d'abord, on aurait aimé parfaire notre moteur, afin qu'il se lance sans qu'il n'y ait besoin d'impulsions de l'un d'entre nous.

Après, l'un des autres axes d'amélioration est au niveau du temps de marche du moteur. En effet, actuellement le moteur ne tourne que durant une période assez réduite dû à des

frottements durant la rotation de ce dernier et aussi car notre moteur est monté en liaison hélicoïdale avec le bâti. Cela crée une translation non voulue qui entraîne à terme l'arrêt du moteur. Aussi le moteur n'est pas très solide et requiert donc de la délicatesse lors de son utilisation. Toutes ces imperfections auraient pu être corrigées avec quelques séances supplémentaires sans trop de problèmes.

Pour finir, nous n'avons pas eu le temps d'effectuer de mesures couples/vitesses lorsqu'il est en marche. Il aurait été intéressant de confronter les performances de notre moteur avec celle théorique. Avec une séance supplémentaire, on aurait pu les mener à bien mais avec le rendu du rapport qui approchait on a préféré profiter des séances qui nous restaient pour harmoniser nos parties afin d'éviter les répétitions dans le rapport et surtout pour qu'on puisse retracer avec exactitude les différentes étapes à la réalisation du moteur.

5. BIBLIOGRAPHIE

<http://www.astuces-pratiques.fr/electronique> (valide à la date du 09/06/2016)

<http://www.mongosukulu.com> (valide à la date du 09/06/2016)

<http://www.cpge-brizeux.fr/casiers/francoise/cours/convpuiss/ConvPuis2.pdf> (valide à la date du 09/06/2016)

6. ANNEXE :

Cours sur les conversions électromécaniques de la CPGE De Brizeux.