

# GÉNÉBIKE

## Rapport

A.Bulteau, B.Kerléguer, M.Louart, T.Loridant, V.Perrin

May 17, 2016

## Remerciement

Nous souhaitons adresser nos remerciements aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à la réalisation de notre projet.

Nous remercions tout d'abord Monsieur Javier Ojeda pour ses conseils, son soutien et pour nous avoir encadrés tout au long du projet.

Nous remercions également Monsieur Christian Roger pour nous avoir conseillé et aidé pour la fabrication de nos pièces.

## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
1.1	Analyse du projet de l'année dernière . . . . .	2
1.1.1	Analyse de la structure magnétique . . . . .	2
1.1.2	Analyse de la structure mécanique . . . . .	4
1.2	Analyse fonctionnel . . . . .	5
1.3	Fast . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Etude magnétique</b>	<b>6</b>
2.1	Méthode d'étude . . . . .	6
2.2	Hypothèses d'étude . . . . .	6
2.3	Critère de choix . . . . .	7
2.4	Machine à flux axial . . . . .	7
2.5	Machine à flux radial . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Détermination de la section des fils de cuivre du bobinage</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Etude théorique de la puissance fournie par la génératrice</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Etude de la partie électronique</b>	<b>11</b>
5.1	Présentation . . . . .	11
5.2	Partie théorique . . . . .	12
5.3	Conception . . . . .	13
5.4	Partie pratique . . . . .	13
<b>6</b>	<b>Conception du moyeu</b>	<b>14</b>
6.1	Normes . . . . .	14
6.2	Choix des quotations . . . . .	15
6.3	Choix des matériaux . . . . .	16
6.4	Conception . . . . .	16
6.5	Préparation d'usinage . . . . .	17
6.6	Usinage . . . . .	18
6.7	Montage . . . . .	18
<b>7</b>	<b>Validation du modèle</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>Conclusion</b>	<b>18</b>

# 1 Introduction

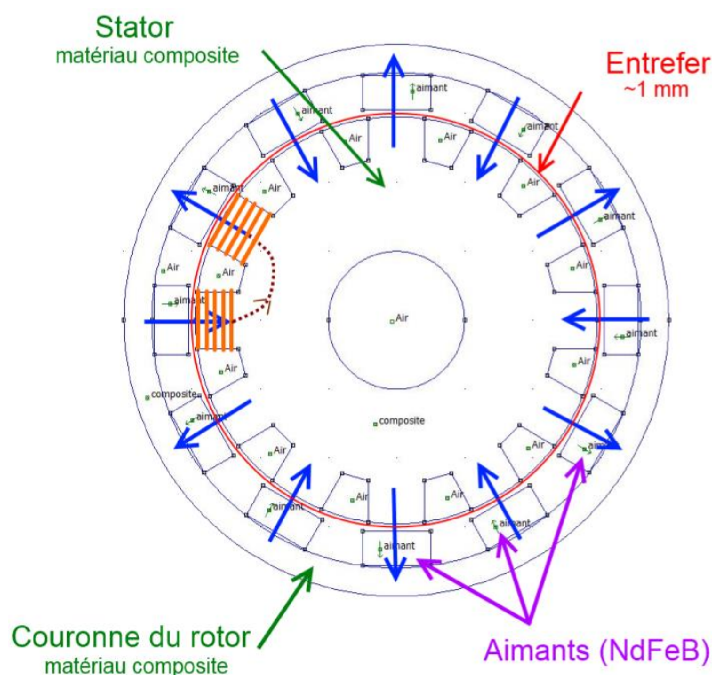
Ce projet, s'inscrivant dans la continuité des travaux d'étudiants de la promotion précédente, vise à réaliser une dynamo moyeu pour vélo en utilisant le moins de fer possible. En effet, les dynamos moyeu classiques utilisent beaucoup de matériaux ferromagnétiques pour canaliser les lignes de champs magnétique. L'enjeu est donc ici de trouver une géométrie permettant d'utiliser moins de matériaux ferromagnétique. Ceci permettra si, nous y parvenons, de diminuer la masse de la génératrice mais aussi de réduire son impact écologique. Cependant il faut que la génératrice conçue reste compétitive avec les modèles disponibles sur le marché en terme de performances et de coût. Ces différents critères nous ont permis, en se basant sur les dynamos du marché, d'établir un cahier des charges détaillé pour concevoir notre génératrice GeneBike.

## 1.1 Analyse du projet de l'année dernière

Un groupe de la promotion précédente a travaillé sur le même projet l'année dernière. Nous avons analysé leur travaux afin de l'améliorer.

### 1.1.1 Analyse de la structure magnétique

Une structure inversée (rotor à l'extérieur et stator au centre) à flux radial a été choisie. Le bobinage est présent sur le stator pour simplifier la récupération de l'énergie à travers les fils de cuivre qui, dans cette configuration, restent fixes pendant le fonctionnement de la dynamo. Afin de créer un champ magnétique réalisant une boucle passant par les bobines, ils ont fixé des aimants sur le rotor en les positionnant de telle manière que deux aimants adjacents aient leurs pôles inversés. Le champ magnétique, en bouclant, crée un flux à travers les bobines qui varie et produit une tension lorsque le rotor est en rotation.



La canalisation des lignes de champ n'est possible que si les matériaux contenus dans la structure ont une perméabilité magnétique élevée ( $>50$ ). C'est pourquoi ils ont choisi d'insérer des plaques de fer dans le rotor et stator réalisés en composite dans le but d'augmenter cette perméabilité. Le schéma ci-dessous illustre cette solution.

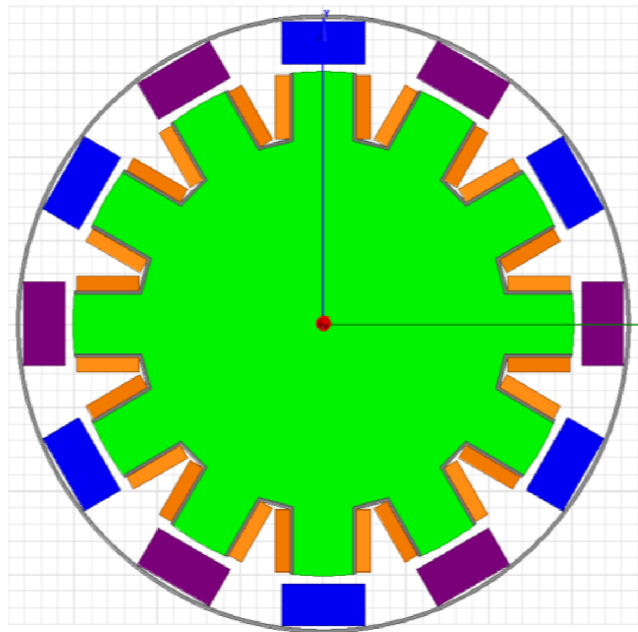


Figure 1: schémas structure magnétique

En bleu et violet : les aimants, une couleur par sens d'aimantation.

En gris : Fer

En vert : Stator

En orange : Bobine

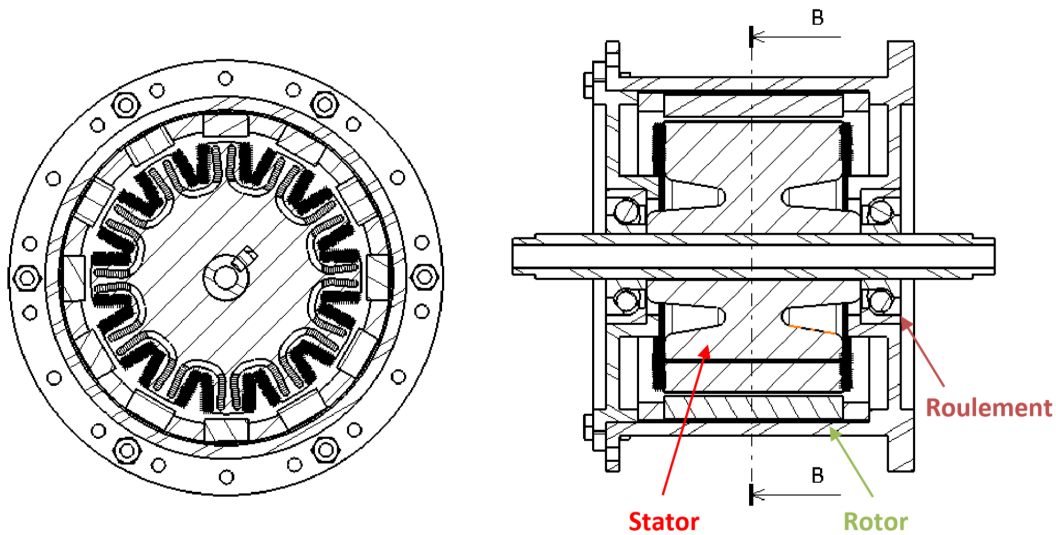
### Inconvénients de cette structure magnétique :

- Couple de détente trop élevé. En effet en utilisant des plaques de Fer et en les positionnant comme sur la photo, on a une variation de la réluctance magnétique en fonction de l'angle de rotation. Cette variation associée à la présence d'aimants crée un couple résistant appelé couple de détente. Ici ce couple de détente était trop important, pour le contraindre le cycliste devait fournir la même énergie que s'il montait une pente à 5 %.
- Puissance fournie trop faible. En effet, la puissance fournie par cette génératrice est très inférieure à la puissance fournie par la dynamo Shimano qui est une dynamo moyenne proposée sur le marché. En effet, à 22km/h, la dynamo Shimano produit 3W pour une résistance de charge de 12 ohms alors que la dynamo fabriquée pendant ce projet ne produit que 0,6W pour la même résistance.

Nous allons donc chercher à homogénéiser la quantité de Fer autour du stator pour éviter la variation de réluctance. On va aussi revoir la structure magnétique afin de pouvoir fournir une plus grande puissance électrique.

### 1.1.2 Analyse de la structure mécanique

Afin d'avoir un générateur performant, ils ont principalement dicté le modèle mécanique par la contrainte de résistance et par l'architecture électromagnétique du générateur.



L'architecture choisie est isostatique et démontable. Le moyeu tournant (le rotor) est en liaison pivot, par le biais d'un montage de roulement, avec l'axe tubulaire qui est solidaire de la fourche (le stator). De nombreuses pièces viennent s'ajouter dans ce montage, notamment pour répondre à des critères magnétiques. L'axe tubulaire a été réalisé en acier INOX afin de résister aux actions mécaniques subies par le vélo et aux agressions de l'environnement. Ils ont aussi choisi d'usiner le rotor et stator en prototypage rapide en polymère car cette usinage est très rapide et permet d'usiner des formes complexes.

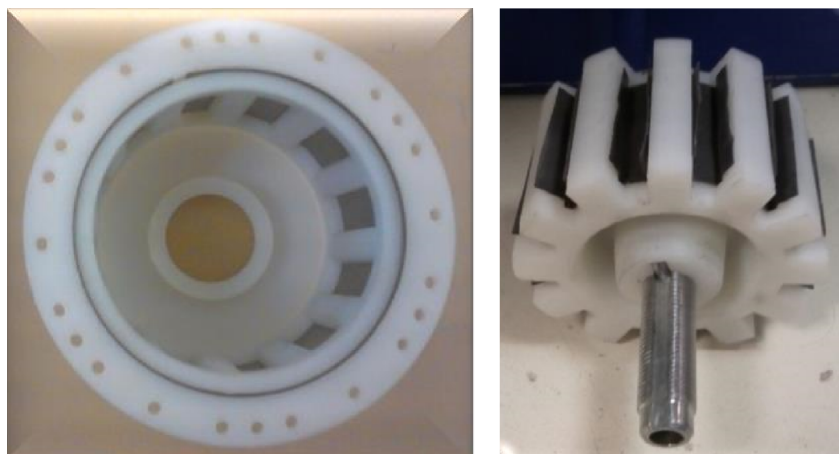
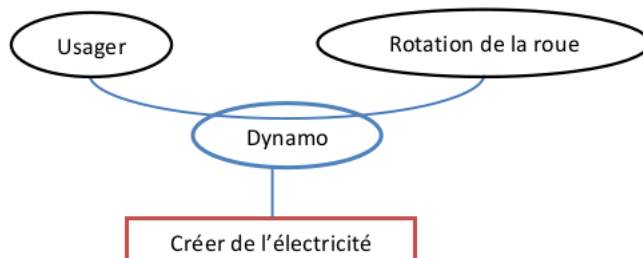


Figure 2: photo du rotor à droite et du stator à gauche

#### Inconvénient de cette structure mécanique:

- Résistance mécanique insuffisante pour supporter l'effort exercé par les rayons.
- Nous allons donc fabriquer le rotor dans un matériau plus solide que le polymère.

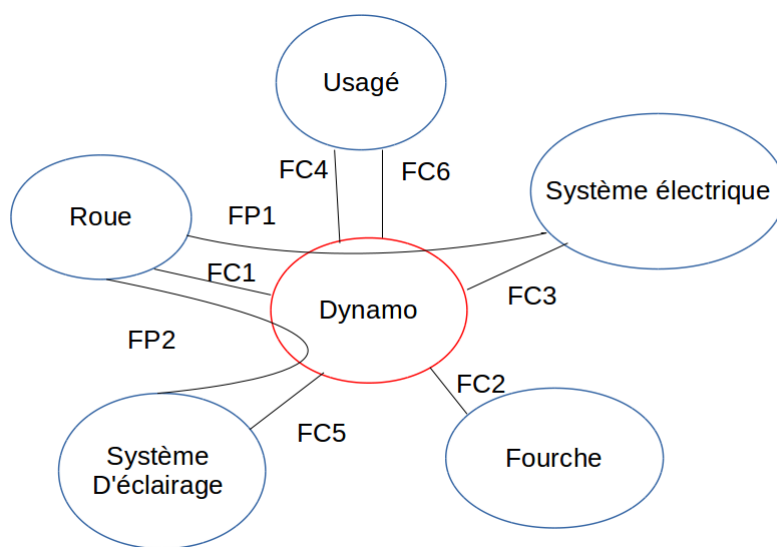
## 1.2 Analyse fonctionnel



L'objectif de la dynamo est de créer de l'énergie électrique grâce à la puissance mécanique de l'utilisateur.

Ce système doit s'adapter sur un ensemble de vélo de ville qui sera utilisé par un utilisateur quelconque, ainsi ce système ne devra pas gêner l'utilisateur.

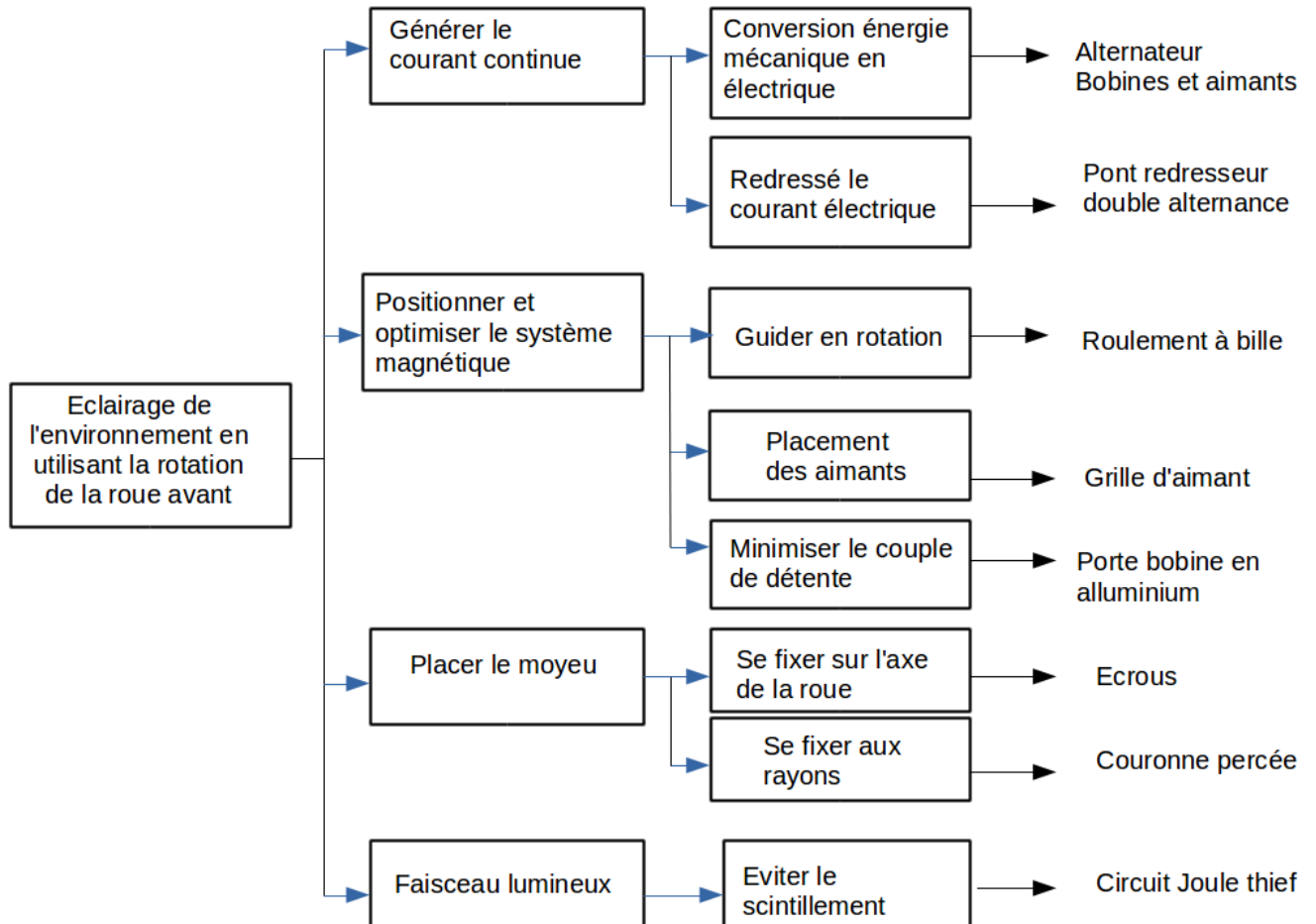
Nous avons redéfini le cahier des charges à partir de celui de l'année précédente et des problèmes rencontrés l'an passé.



Fonction		Critères et valeurs	Niveaux
FP 1	Alimenter un système électriquement	6V, 1.5W	Minimum
FP 2	Eclairage de la route	60 Lux à 1m	Strict
FC 1	S'adapter aux rayons de la roue avant	36 rayons	Strict
FC 2	S'adapter à la fourche	Espacement 80mm	Maximum
FC 3	Transmettre une énergie par un système électrique	courant continu	Strict
FC 4	Ne pas augmenter l'effort de pédalage	??? N.m	Maximum
FC 5	Garder une luminosité lors d'un arrêt	5s	Minimum
FC 6	Plaire à l'utilisateur	Esthétisme	

## 1.3 Fast

Le diagramme fast présentant les différentes solutions envisagées au cours de ce projet.



## 2 Etude magnétique

### 2.1 Méthode d'étude

Etant donné le fait que la condition principale du cahier des charges soit une tension de 6V à vide pour notre génératrice, la méthode d'étude suivie fût de d'abord concevoir une géométrie pour le circuit magnétique puis de simuler ses performances pour valider ou non cette géométrie. Pour les simulations des différents circuits magnétiques envisagés nous avons décidé d'utiliser le logiciel ANSYS Maxwell permettant de modéliser des circuits magnétiques 3D.

### 2.2 Hypothèses d'étude

Pour réaliser l'étude des différentes géométries envisagées et concevoir notre génératrice certaines hypothèses simplifcatrices sont utilisées:

- La variation du flux dans une spire en fonction de l'angle du rotor par rapport au stator est considérée comme sinusoïdale.

## 2.3 Critère de choix

Les critères permettant de valider ou non l'utilisation du circuit magnétique étudié lors de la simulation les critères suivant seront utilisés :

- Placer un maximum d'aimants permanents
- Flux assez important pour permettre d'atteindre 6V à vide avec un nombre de spires par bobine raisonnable.
- Placer les bobines dans la géométrie.
- Couple de détente le plus faible possible.

## 2.4 Machine à flux axial

Dans un premier temps nous avons choisi d'étudier une géométrie de type machine à flux axial (dont la géométrie typique est présentée ci-dessous) pour notre génératrice. En effet ce type de géométrie possède plusieurs avantages:

- Masse faible.
- Facilité d'usinage.
- Possibilité de ne pas utiliser de fer.

Le premier élément à déterminer est le nombre d'aimant NdFeB à utiliser. Ce nombre doit être le plus grand possible pour augmenter le nombre de paires de pôles. Cependant si l'on utilise trop d'aimants ceux ci seront trop proches les uns des autres et on verra apparaître des lignes de champs reliant les aimants juxtaposés, il y aura un court-circuit magnétique. Pour les dimensions de la génératrice, et les aimants choisis, nous pouvons montrer avec les simulations que le nombre d'aimants à utiliser est de 18. Le nombre d'aimants étant déterminé, on peut simuler la géométrie pour différentes valeurs de l'espace entre les aimants. On voit que cet espace doit être minimiser pour avoir le flux le plus grand possible au centre des aimants. Cependant même en réduisant au maximum cet espace en tenant compte de l'épaisseur du stator utilisée et des limites mécaniques le flux obtenu est trop faible pour permettre d'atteindre une tension de 6V à vide en utilisant un nombre raisonnable de spires par bobine.

## 2.5 Machine à flux radial

Nous avons donc décidé de choisir une géométrie à flux radial pour concevoir notre génératrice. Cette géométrie nécessite l'utilisation de matériau ferromagnétique pour canaliser le flux magnétique il faudra donc être vigilant au couple de détente qui peut devenir important lors d'utilisation de matériau ferromagnétique.

Dans un premier temps nous avons décidé d'étudier une solution utilisant une couronne de fer comme stator dans laquelle on pratiquera des extrusions pour venir y loger les spires



Figure 3: Représentation de la première géométrie à flux radial envisagée

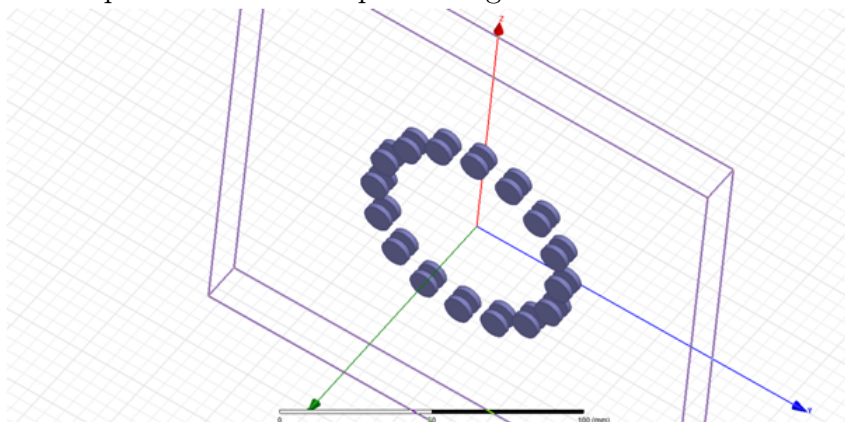
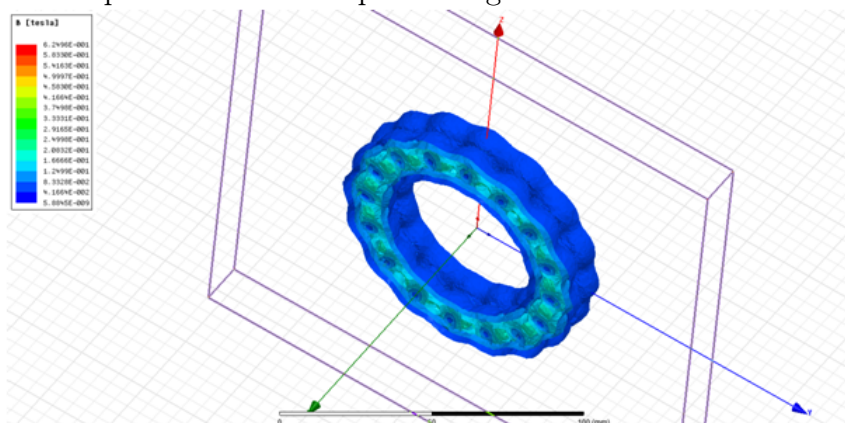


Figure 4: Représentation de la première géométrie à flux radial envisagée



des bobines. Un dessin avec Maxwell de la géométrie est présenté ci-dessous. Là encore le premier élément à déterminer est le nombre d'aimant à utiliser. Nous avons ici aussi choisit d'utiliser 18 aimants car compte tenu de leur disposition et de leurs dimensions, le phénomène de court-circuit magnétique n'est alors pas observé. Le nombre d'aimants est aussi limité par le coût de production de notre génératrice, en effet il faut que cette dernière soit compétitive avec les autres génératrices déjà présentes sur le marché.

La simulation avec Maxwell fournit les résultats suivants:

- Flux maximal par spire par bobine :  $8.7 \cdot 10^{-5} \text{Wb}$
- Couple de détente maximal : 0.48 Nm

Ce couple de détente est très satisfaisant.

On peut déterminer le nombre de spires par bobines nécessaire pour atteindre une tension d'amplitude 6V en fonctionnement nominal à vide :

$$U = \frac{N^2}{2} \cdot M \cdot \Phi \cdot \omega$$

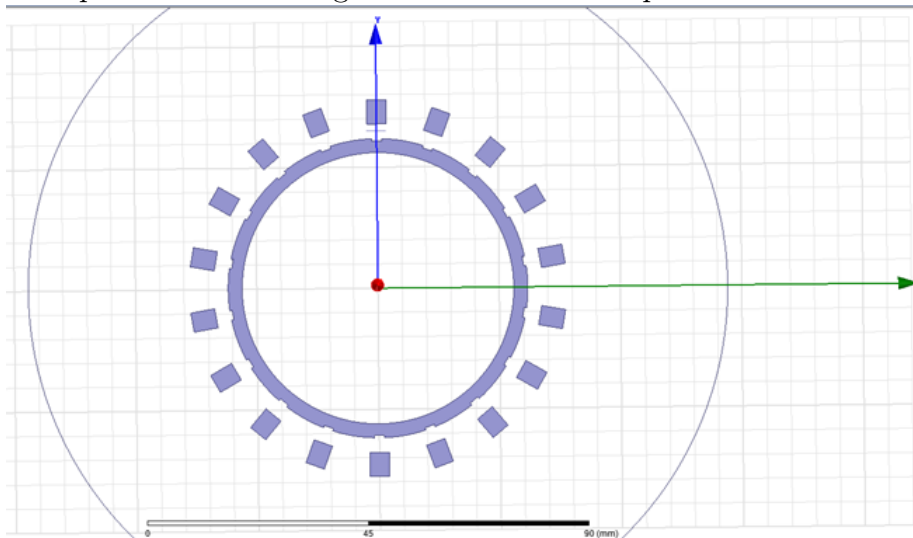
Où :

- $N$  : Nombre d'aimants
- $\Phi$  : flux par spire par bobine en Wb
- $\omega$  : vitesse de rotation mécanique en rad/s
- $M$  : Nombre de spires par bobine

Ici on obtient donc en résolvant cette équation  $M=30$  ce qui est correct . Cependant le bobinage de cette machine n'étant pas facilement industrialisable et le stator nécessitant une masse importante de fer, nous avons étudié une dernière solution.

Pour cette solution, nous avons décidé d'utiliser des portes-bobines en aluminium pour ne pas induire de couple de détente trop important comme ce fut le cas l'année dernière et réduire la masse de notre génératrice. Le dessin de cette géométrie sous Maxwell est présenté ci-dessous .

Figure 5: Représentation de la géométrie utilisant les porte-bobines avec Maxwell



L'encastrement des portes-bobines dans le stator sera assuré par le biais de simples encoches dont les dimensions ne génèrent pas de discontinuités importantes du matériau ferromagnétique et ainsi ne devrait pas généré de couple de détente trop important.

Les résultats fournis par la simulation sont les suivants:

- Le flux par spire par bobine moyen mesuré est d'environ  $0,562 \cdot 10^{-4}$  Wb
- Le couple de détente a une valeur maximale de 0.2 Nm

Ces résultats sont satisfaisants du point de vue de notre cahier des charges. En effet en utilisant la même démarche que précédemment nous constatons qu'il faudra utiliser 49 spires par bobines pour atteindre une tension à vide d'amplitude 6V. Il faudra donc concevoir les portes-bobines en conséquence. Comparée à la géométrie précédente, cette géométrie n'est pas avantageuse du point de vue des pertes ohmiques de notre génératrice mais elle permet de réduire la masse de cette dernière c'est pourquoi nous avons choisi d'usiner cette génératrice. Nous aurions pu envisager d'utiliser plus d'aimants pour réduire le nombre de spires par bobine et donc les chutes de tension ohmiques lors de l'utilisation en charge de la génératrice, cependant nous constaterons qu'il n'est pas possible de disposer plus que 18 porte-bobines sur le pourtour du stator. Ainsi nous ne nous sommes pas intéressés à cette solution.

### 3 Détermination de la section des fils de cuivre du bobinage

Pour déterminer la section minimale du câble, nous avons utilisé une densité de courant:  $D = 5\text{A}/\text{mm}^2$ , cette densité est déterminée par le courant admissible dans un câble de section  $1\text{mm}^2$  pour que celui-ci puisse rester à température ambiante sans système de refroidissement. Il nous reste à déterminer l'intensité, pour cela, nous savons que notre génératrice a une amplitude de  $6\text{V}$  et que nous souhaitons une puissance de  $1,5\text{W}$ . Il vient que le courant est de  $0,25\text{A}$ .

Grâce à la densité de courant,  $D$ , défini auparavant, nous pouvons déterminer la section minimale des câbles:  $0,05\text{mm}^2$ . Ce qui nous impose un rayon minimum de  $0,13\text{mm}$ . Nous avons choisi d'utiliser un câble de section  $0,15\text{mm}^2$ , connaissant la résistivité du cuivre et la longueur de câble, nous avons pu déterminer que la résistance était d'environ  $19\ \Omega$ .

### 4 Etude théorique de la puissance fournie par la génératrice

L'étude du circuit magnétique final ainsi que le choix des câbles de cuivres nous permet d'étudier la puissance théorique de la génératrice en fonction de la vitesse de rotation mécanique et de la charge à ses bornes. Cette étude va nous permettre de savoir si il est possible ou non d'atteindre une puissance de  $1.5\text{W}$  pour des vitesses courantes d'utilisation du vélo.

Pour connaître la puissance fournie par la génératrice en fonction de la vitesse de rotation on décide tout d'abord de se placer dans le cas le plus favorable où la charge est identique à la résistance interne de la génératrice.

Puisque notre génératrice ne sera pas utilisée à de très grande fréquence électrique on peut négliger les chutes de tension dues à l'inductance propre de la génératrice devant les chutes de tension ohmiques. En effet l'inductance des bobines est faible puisque les portes-bobines sont en aluminium.

Dans le cadre de ces hypothèses on obtient la courbe de puissance suivante pour notre génératrice.

La résistance interne peut être calculée puisque nous connaissons le type de fils utilisés pour bobiner. On obtient une résistance interne théorique de  $18.5\ \text{Ohms}$  dans notre cas.

On constate ainsi que théoriquement la génératrice peut fournir une puissance de  $1.5\ \text{W}$  pour des vitesses aux alentours de  $25\ \text{km/h}$ . Ainsi elle vérifie le critère de puissance du cahier des charges.

Figure 6: Représentation de la géométrie utilisant les porte-bobines avec Maxwell

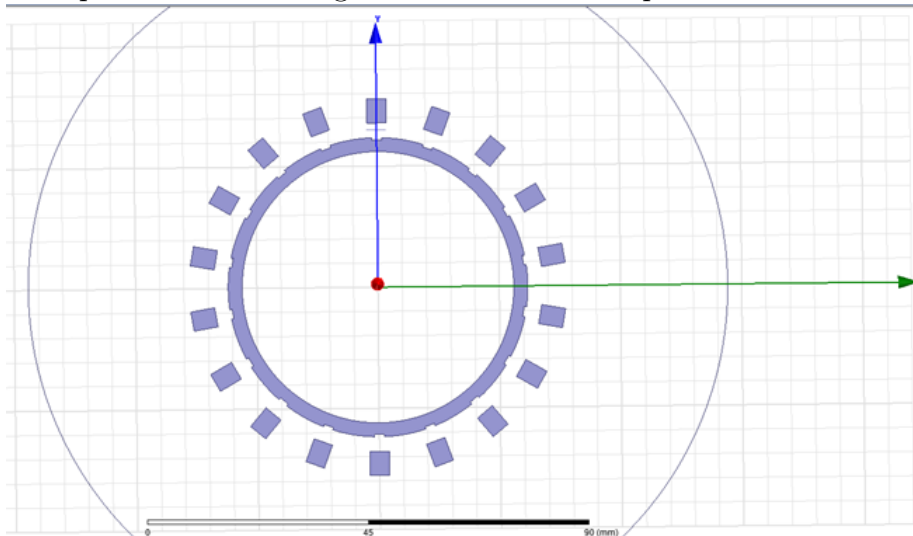
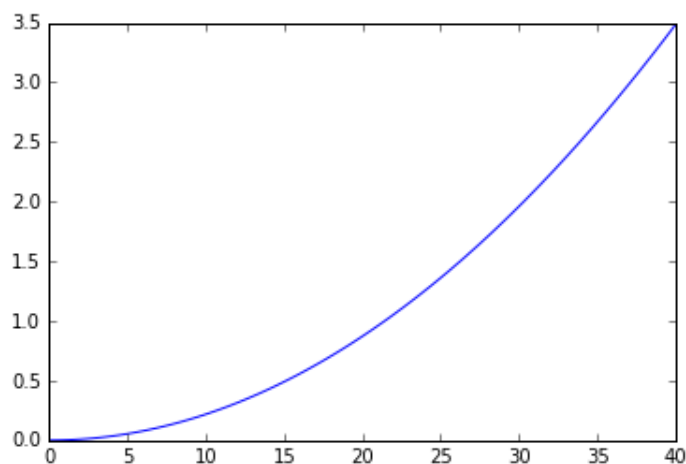


Figure 7: Représentation de la puissance fournie par la génératrice en fonction de la vitesse du vélo pour une charge identique à la résistac interne de la génératrice:



## 5 Etude de la partie électronique

### 5.1 Présentation

L'objectif est de trouver un montage permettant à l'éclairage de rester alimenté pendant un temps d'environ trente secondes après l'arrêt du cyclisme et notamment, d'avoir un éclairage le plus continu possible. De plus, l'éclairage devra respecter les normes sur l'intensité lumineuse.

Pour répondre à la première problématique liée à la continuité de l'éclairage, nous avons choisi de redresser la tension. Pour cela, nous possédons trois solutions techniques envisageables:

- Un pont simple alternance,
- Deux ponts simples alternances qui alimenterait, pour l'un, l'éclairage de l'avant et pour l'autre, l'éclairage de l'arrière,
- Un pont double alternance.

L'un des principaux problèmes de ces différents montages est la chute de tension aux bornes de la, ou des, diode(s). En effet, nous savons que cette chute est d'environ 0,7V et sachant que notre génératrice fournira au maximum 6V, nous pouvons en conclure que cette chute ne sera pas négligeable. De plus, à cela, il faudra prendre en compte la chute de tension dans la résistance.

Pour la seconde problématique, nous avons choisi d'utiliser seulement des condensateurs, ce qui nous permettra de lisser la tension, mais aussi, de maintenir l'alimentation des LED après l'arrêt du cycliste, pendant quelques secondes. Pour limiter au maximum les chutes de tensions, nous n'avons pas pris la peine d'étudier un montage RC, qui, de part sa résistance aurait fortement fait diminuer la puissance électrique en sortie du pont.

## 5.2 Partie théorique

Premièrement, nous avons choisi de dimensionner les condensateurs permettant le redressement de la tension. Le condensateur en parallèle permet de réduire la variation de tension en sortie. Après le redressement, la tension de sortie est positive mais n'est toujours pas constante. Pour lisser la tension on utilise un condensateur qui stock l'énergie quand la tension est haute et qui la restitue quand la tension est basse.

### PARTIE BAPTISTE

Ensuite, nous avons choisi de mesurer pour un montage simple alternance et, double alternance, la tension de sortie, pour savoir si elle était suffisante à l'alimentation de l'éclairage.

Image Figure 1

Nous constatons que l'éclairage est insuffisante à cause de la tension en sortie est bien trop faible. Pour combler ces chutes de tensions relativement importantes, nous avons choisi d'utiliser un montage amplificateur de tension qui ne sera pas étudié du fait de sa complexité, nous le verrons en simple boîte noire. (Il serait judicieux d'expliquer les conséquence et le nom de "cette boîte noire")

Notre installation se présente donc de la façon suivante:

Image Figure 2

Première solution: Pont Simple Alternance

Image Figure 3

Image Figure 4

En sortie du pont, une fois le transitoire terminé, nous remarquons que la tension est d'amplitude et de valeur moyenne, environ équivalente à 5V, nous avons donc pu amplifier la tension par 5, toutefois, la tension n'est pas continue. Ce qui n'impactera pas la continuité de l'éclairage, puisque la fréquence du signal est très supérieur à 50Hz, l'oeil humain ne verra donc pas les oscillations.

L'un des soucis de ce pont est que nous perdons la moitié de la puissance, en effet, une alternance sur deux n'est pas utilisée, nous avons donc pensé à utiliser deux ponts simples alternances, un pour alimenté l'éclairage à l'avant et un pour celle de l'arrière.

Deuxième choix: Deux ponts simples alternances

Image Figure 5

Image Figure 6

Au bout de 10 minutes, la tension aux bornes de la diode est toujours de valeur moyenne nul, le montage possédant un transitoire trop important, ainsi qu'une tension trop faible, il ne permet pas comme nous l'espérons de récupérer l'ensemble de la puissance du signal.

Nous avons donc choisi d'essayer, par la suite, un pont double alternance qui permettrait d'utiliser la puissance du signal, mais qui, en contrepartie, augmente les chutes de tensions.

Troisième choix: Pont double alternance

Image Figure 7

Image Figure 8

Le premier constat est équivalent au pont simple alternance: la tension est amplifié avec un coefficient de 5 entre l'entrée et la sortie. La fréquence du signal est toujours très importante devant 50Hz. De plus, ce montage permet de récupérer l'ensemble de la puissance du pont. Nous pensions de prime abord que ce montage, de par la plus grande valeur des chutes de tensions, ne serait pas intéressant. Or, grâce à l'amplificateur de tension, son principal problème n'est plus réellement important. Pour finir, ce pont possède un transitoire moins long que son prédécesseur.

Le pont double alternance associé à l'amplificateur possède les avantages du pont simple alternance sans les soucis: la tension est correctement amplifié et la fréquence est supérieur à l'oeil humain, le transitoire est moins important pour le pont de double alternance et nous récupérons l'ensemble de l'énergie du signal. Nous utilisons se circuit lors du montage final.

### 5.3 Conception

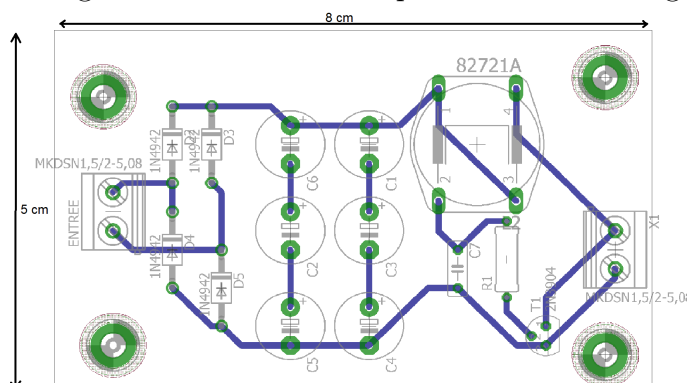
Nous avons choisi d'utiliser le logiciel Heagle afin de définir le circuit électrique qui sera imprimé sur une carte électronique. Ce logiciel permet aussi de minimiser l'espace utilisé par l'électronique de puissance.

Une fois le circuit imprimé sur la carte nous avons soudé tous les composants électriques et ensuite fixé cette carte sur un boîté.

### 5.4 Partie pratique

Nous avons ensuite mesuré et observé la luminosité produite par les LED de notre carte électronique dans ses conditions de fonctionnement. Concernant la mesure de la luminosité, nous

Figure 8: Carte électronique définie sous Heagle



avons alimenté notre carte électronique avec une tension continue de 6V (amplitude de la tension récupérée en sortie de la génératrice) et utilisé un luxmètre. Quant à l'observation nous avons alimenté notre carte électronique par la dynamo shymano lorsque la vitesse de rotation de la roue correspondait à une vitesse de déplacement de 15 km/h ( allure moyenne d'un cycliste). Le fait d'utiliser la dynamo shymano et non la dynamo que l'on a créé ne pose pas de problème car l'amplitude et la fréquence de la tension de sortie sont très voisines dans les deux cas. Nous obtenons donc une bonne approche qualitative de l'éclairage.

Les résultats sont positifs, le scintillement est inexistant et la luminosité est de 60 lux à 1 mètre ce qui remplit les critères imposés par le cahier des charges. De plus, grâce aux condensateurs utilisés sur notre carte électronique, les LED continuent d'éclairer pendant 10 secondes après l'arrêt du vélo, ce qui permet au cycliste de continuer à être vu sur une route mal éclairée lorsqu'il s'arrête temporairement, comme par exemple pour un STOP. (Photo mesure luminosité)

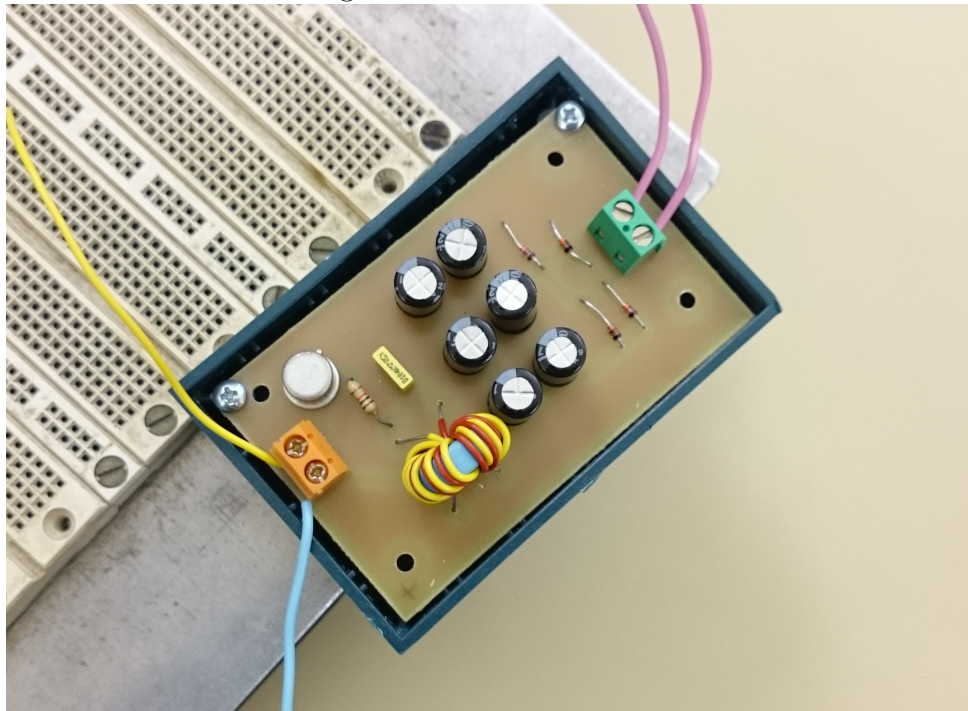
## 6 Conception du moyeu

### 6.1 Normes

Dans un premier temps, il a fallu faire une recherche élargie sur la connaissance des normes associées à un moyeu de vélo, afin d'éviter tout problème d'incompatibilité et de rendre notre modèle le plus standard possible. Voici une liste des normes qu'il a fallu prendre en compte lors de la conception :

- Le rayon et la longueur maximal de notre moyeu.
- La longueur d'entraxe de la fourche étant de 110mm.
- Le filage sous la norme BSC (British Standard Cycle).
- Le nombre de rayons

Figure 9: Photo du boîtier



## 6.2 Choix des quotations

En appliquant les normes, on constate qu'on n'a pas de liste de différent dimension de moyeu, ainsi la conception du moyeu va reposer essentiellement sur ces critères :

- Les résultats expérimentaux de l'étude magnétique
- Contrainte axiale de 3000N sur l'axe du moyeu
- Le respect des normes d'un moyeu de roue avant
- L'usinabilité des pièces
- Minimiser la masse du système

Il faut savoir que la dimension des rayons n'est pas à prendre en compte dans la modélisation car il existe des abaques pour la dimmension des rayons en fonction de :

- Du nombre de rayons
- Dimension de la jante de la roue
- Paramètre du moyeu
- Du type de montage, c'est à dire, si on fait un deux ou trois croisement



### 6.3 Choix des matériaux

Grace aux travaux de l'année précédente, nous avons décidé de ne pas reproduire l'erreur d'utiliser l'impression 3D pour l'ensemble de nos pièces. Ces pièces étaient fabriquées avec une excellente qualité géométrique mais ces dernières ne pouvaient pas supporter les contraintes exercées par l'utilisateur. Nous avons décidés d'utiliser des matériaux beaucoup plus résistant tels que la contrainte impliquée sur le moyeu ne déforme aucunes pièces. Voici la liste des matériaux présents dans l'assemblage :

- Acier d'usage général et inox
- Aluminium standard
- plastique du type ABS (Acrylonitrile butadiène styrène)
- Acier spécifique pour les roulements : 100 Cr 6

L'acier est utilisé sur les pièces subissant les contraintes les plus importantes et pour fermer les lignes de champ magnétique. L'aluminium est utilisé pour les autres pièces subissant des contraintes réparties à différents endroit de la pièce. Finalement, une pièce est fabriquée par impression 3D car elle ne subit aucuns efforts, elle a pour but de placer les aimants dans notre système. Les autres pièces seront usinées par tournage et par fraisage. Nous utilisons aussi l'électro-érosion à fil dans le but de réaliser certaines pièces, notamment les portes bobines et le stator car nous recherchons une précision de l'ordre du dixième de millimètre.

### 6.4 Conception

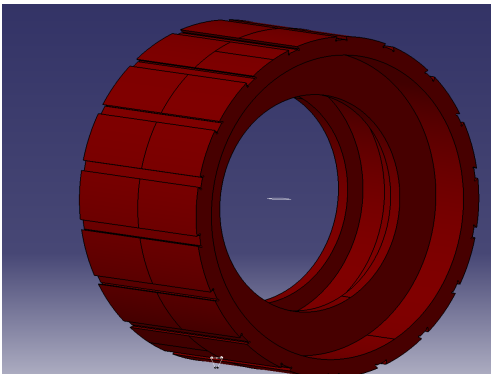
Lors de la conception des pièces, nous avons du penser aux différents procédés d'obtentions qui nous sont disponibles tels que :

- Tour manuel
- Fraise manuel
- Electro-érosion

Grace à toutes ces connaissances, nous avons pu modéliser nos pièces sous un logiciel de CAO tel que Catia. Ainsi, nous avons modélisé deux modèles pouvant répondre au cahier des charges. La réalisation de la partie tournante et de l'axe ne présentant pas de particularité. Toutes les surfaces ont été définies grâce à Catia puis des phases d'usinages ont été définies. Les questionnements sont principalement pour permettre s'usiner les surfaces qui doivent être bien positionnées entre elle dans la même phase d'usinage. Leur réalisation n'a pas posé de problème particulé et a été relativement rapide.

La différence entre les deux modèles diffère au niveau de la conception de la partie statorique de la génératrice, toutes les autres pièces étant les mêmes nous avons désidé de ne réaliser qu'une série de pièces.

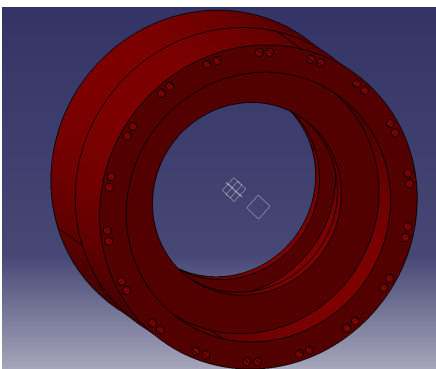
Le premier modèle: Modèle porte bobine



Cette première solution permet de réduire au maximum le couple de détente tout en garantissant la puissance demandée par le cahier des charges. Le couple de détente, plus il y a d'irrégularité plus le couple de détente est important. La réalisation des portes bobines reste néanmoins compliquée de par la précision demandée par l'outil d'usinage et aussi de par les propriétés du matériau. L'aluminium s'usine trop bien à cela induit le problème de l'usinage souhaité. Il a fallu être astucieux et comprendre la finesse de la machine et

de sa capacité. L'autre difficulté intervenant dans l'usinage des supports bobines réside sur l'épaisseur de certaines parties étant de l'ordre de quelques dixièmes. Ce qui induit un temps d'usinage très long car la vitesse de coupe est de l'ordre de  $1\text{mm}/\text{min}$  à  $5\text{mm}/\text{min}$ . Donc le temps d'usinage est de plus de 20 minutes, car la longueur du contour est de  $56,218\text{mm}$ . Ce qui pose un problème car il y a 18 portes bobines donc 6 heures au minimum d'usinage.

Le second modèle: Modèle bobine intégrées



La seconde solution permet de passer à travers le problème d'usinabilité des supports bobines. On gagne en temps et en facilité d'usinage en restant sur une fraise et tour manuel. De plus, nous gagnerons sur la valeur de la FEM créée car le couple de détente sera supérieur à la première solution. Le couple de détente reste tout de même nettement inférieur à celui présent sur le premier prototype issu du groupe de l'année précédente.

## 6.5 Préparation d'usinage

Toutes les pièces réalisées en fraisage et en électro-érosion sont réalisées par commande numérique ainsi les écarts géométriques sont plus faibles et cela minimise le nombre d'erreurs possibles. Cependant il est impératif de prévoir en amont le code pour la réalisation de toutes les surfaces techniques. Pour ce faire nous utilisons le logiciel CATIA qui permet grâce à notre modèle 3D des pièces de réaliser les phases d'usinage et d'en produire des petites animations. Après avoir bien défini les trajectoires des outils nous les avons traduit en langage compréhensible par la machine, c'est à dire le code ISO. Chaque machine possède ses propres variations du code il est important de bien les relire et de vérifier que le code correspond bien à la machine. On établit également aussi un programme de commande pour l'usinage sous la forme .CMD. Ces programmes permettent d'usiner tous les portes bobines à la fois.

## 6.6 Usinage

Après l'usinage des pièces à l'aide de notre co-encadrant, voici les deux modèles de génébike

PHOTO MODELE 1

PHOTO MODELE 2

Les portes bobines.

Cette pièce a été un vrai challenge pour la réalisation. Nous avons du jouer avec les limites de ce que peut nous faire la machine à l'électroérosion à fil. (Photo + schéma )

## 6.7 Montage

Le montage des aimant est particulièrement difficile ainsi de le temps de bobinage. Pour faciliter le montage des aimant nous utilisons une cage ce qui permet de bien les positionner. Pour les bobines le choix des portes bobines permet de faire un bobinage rapide car possible avec les 18 bobines à la fois.

## 7 Validation du modèle

## 8 Conclusion

Nous sommes passés d'un TRL(Technology Readiness Level) 4 à un TRL 5. -Prototype, avantage/défaut

defaut, blocage des jeux pour le montage en O des roulements à bille.

Il aurait fallu faire une étude plus poussée sur la déformation des matériaux car à chaque usinages ont a du réadapter notre modèle à cause de certains problème et des imprécisions d'usinage.

Exemple lors de l'usinage interne du rotor, lorsque le brut a été usiné par l'intérieur, cela a liberer des contraintes internes. Les conséquences ont été que notre cylindre c'est ovalisé de quelques 10ème de millimètre. "Sachant qu'on joue sur le dixième de millimètre et adaptation du cylindre suite à la place occupé par le porte bobine et sa déformation lorsque le porte bobine étant équipé. L'usinage du stator qui a du être minucieux pour éviter un problème de coaxialité. Le porte bobine étant très petit demande une forte précision, cela nous à demander de maîtriser la machine à électro-érosion afin de sortir des prototypes correspondant, cela nous à demander beaucoup de temps. Il pourrait être envisageable d'adapter le programme d'usinage pour du fraisage. Cela ferait gagner du temps et donc permettrait de faire un produit plus compétitif. Toutes, es