

30/12/2018

Rapport Final du Projet de Réalisation Technique (PRT)

Sujet 24 : Dimensionnement d'un kit d'éolienne
expérimental

Binôme 4 :

KANDJI El Hadji Malick

LAIB Laura

Tuteurs :

DELPOUX Romain

SELLIN Eric

Remerciements

Nous tenons à remercier nos deux tuteurs Mr DELPOUX et Mr SELLIN pour toute l'aide qu'ils nous ont donné ainsi que de leur disponibilité.

Mais également Mr COTTINET et le technicien de la salle de TP de ETEP qui nous ont montré comment faire des bobines et des soudures.

Table des matières

I-	Introduction.....	3
II-	État de l'art du sujet.....	4
	1. Étude structurelle.....	5
	a. Pâles et matériaux.....	5
	b. Longueur.....	6
	c. Largeur.....	7
	d. Profil.....	7
	e. Forme.....	8
	f. Nombre.....	9
	g. Mât.....	10
	2. Étude fonctionnelle.....	10
	a. Nombre de spires des bobines.....	11
	b. Section des fils.....	11
	c. Vitesse de rotation et nombre de paires de pôles...12	
	d. Aimants.....	12
III-	Protocole de test.....	13
IV-	Réalisation technique.....	14
V-	Tests et Mesures.....	17
	a. Éolienne 1.....	17
	b. Éolienne 2.....	18
	c. Éolienne 3.....	19
	d. Éolienne 4.....	20
	e. Conclusion et améliorations possibles.....	21
VI-	Problèmes rencontrés.....	21
VII-	Conclusion générale.....	23
VIII-	Bibliographie.....	24

I- Introduction

Dans le cadre de notre formation, nous avons, tout au long du semestre, effectué un Projet de Réalisation Technique. Au début du semestre, nous avons choisi un sujet parmi ceux proposés. Le sujet que nous avons choisi pour notre PRT est le sujet 24 : “Dimensionnement d’un kit d’éolienne expérimentale”.

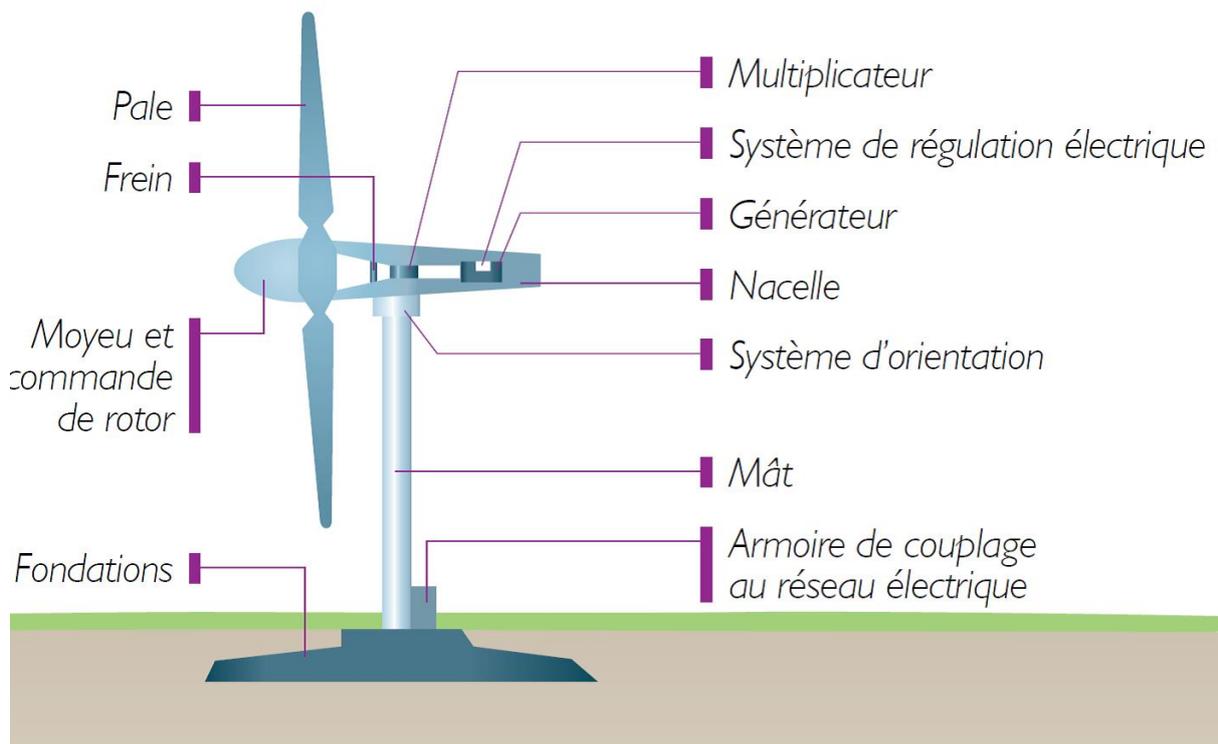
Pour ce projet, nous avons à disposition des kits d’éoliennes de l’association Éol’école. L’objectif de notre PRT était de réaliser le dimensionnement et la caractérisation de ces éoliennes en faisant varier différents paramètres. Après quelques recherches et discussions avec nos tuteurs, nous avons établi une stratégie de recherches que nous allons vous présenter.

Dans un premier temps, nous verrons plus en détail notre sujet ainsi que les recherches préliminaires que nous avons réalisées. Nous verrons ensuite notre protocole de test et nous comparerons les résultats obtenus aux résultats attendus. Nous reviendrons finalement sur le déroulement du projet et sa réalisation. À la fin de ce rapport, nous serons à même de conclure sur les éléments pouvant influencer le rendement d’une éolienne.

II- État de l'art du sujet

Afin de prendre possession de notre sujet et de l'appréhender au mieux, nous avons commencé par réaliser quelques recherches. Nous avons identifié les différents facteurs pouvant influencer sur le rendement d'une éolienne et étudié de quelles manières ils influencent le rendement. Notre étude se concentre sur les éoliennes à axe horizontal puisque ce sont les éoliennes les plus présentes en France et que le kit mis à notre disposition permet de concevoir une éolienne à axe horizontal.

Afin de simplifier la compréhension de la suite du rapport, voici un schéma d'éolienne permettant d'en définir les différentes parties. Les termes qui sont définis ici, seront utiles pour la compréhension globale de notre projet.



Nous avons décidé d'étudier l'éolienne d'un point de vue tant structurelle que fonctionnelle. Dans un premier temps, nous allons détailler l'étude structurelle. Cette étude est uniquement théorique puisque nous ne disposons ni du temps ni des moyens nécessaires pour les tests pratiques.

1. Étude structurelle

Par étude structurelle, nous entendons ici l'étude théorique de la structure externe d'une éolienne. Une éolienne se compose de nombreux éléments, mais nous allons uniquement aborder le mât et les pâles au cours de cette partie.

Durant cette étude, nous allons considérer que nous étudions une éolienne tripale et les chiffres que nous vous présenterons seront ceux d'une éolienne tripale.

a. Pâles et matériaux

Bien que la majorité des éoliennes que l'on rencontre soit constituée d'éléments métalliques, il existe d'autres alternatives telles que le bois, la céramique, les matériaux polymères et les matériaux composites.

Nous allons dans un premier temps comparer les caractéristiques de ces différents matériaux en fonction des caractéristiques indispensables aux pâles.

Les pâles d'éoliennes doivent allier légèreté et solidité, mais il est également important qu'elles soient résistantes. Dans le cadre de notre projet, nous ne nous intéresserons qu'aux éoliennes terrestres, cependant il est à noter que pour les éoliennes installées en mer d'autres critères doivent être pris en compte.

Caractéristiques **Solidité** **Légèreté** **Résistance** **Autres informations**

Matériaux

<i>Bois</i>	oui	oui	moyenne	durée de vie limitée : réaction à l'humidité
<i>Aluminium</i>	oui	oui	oui	réalisation technique : matériel adapté
<i>Céramiques</i>	non	oui	oui	dur et fragile, mais résistance mécanique élevée
<i>Fibre de verre</i>	oui	oui	oui	moulage de la pôle difficile à réaliser
<i>Composites*</i>	oui	oui	oui	coût élevé, recyclage problématique

*Les matériaux composites sont des mélanges de fibre de verre, de fibre de carbone et de résines polyester ou d'époxy.

Nous voyons ici, qu'en dehors du coût et du problème de recyclage, les matériaux composites sont la meilleure alternative pour la fabrication des pâles. Ils sont à la fois légers, résistants et solides. D'autres matériaux présentent ces caractéristiques, cependant les matériaux composites semblent avoir de meilleures capacités lorsqu'il s'agit de réaliser de grandes éoliennes. Le bois, l'aluminium et la fibre de verre sont quant à eux plus indiqués dans la conception de petites éoliennes.

En effet plus une pôle est longue et plus les matériaux utilisés pour sa conception doivent être résistants. Parallèlement, c'est la légèreté autant que la résistance du matériau qui va

permettre de concevoir des pâles plus longues, ce qui explique que les matériaux composites soient particulièrement adaptés pour la conception de grandes éoliennes.

Cependant, on peut se demander quel est l'intérêt de concevoir des pâles plus longues. Puisque les autres matériaux semblent convenir à la conception d'éoliennes plus petites, il peut sembler plus simple de les utiliser et de concevoir des pâles moins longues. Nous allons donc étudier les autres caractéristiques des pâles des éoliennes en commençant par leurs longueurs.

b. Longueurs

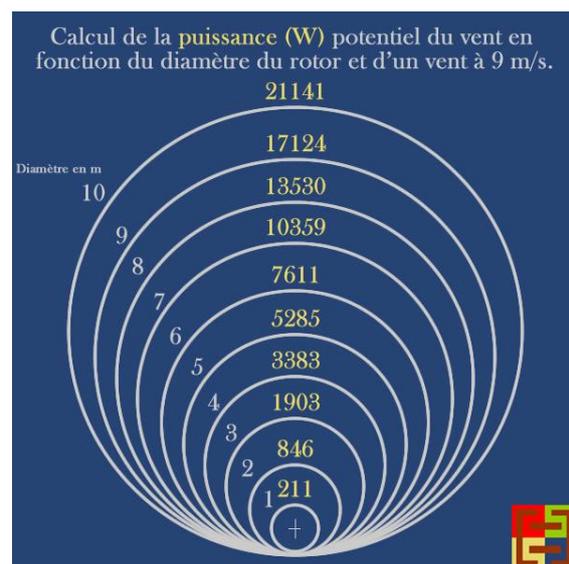
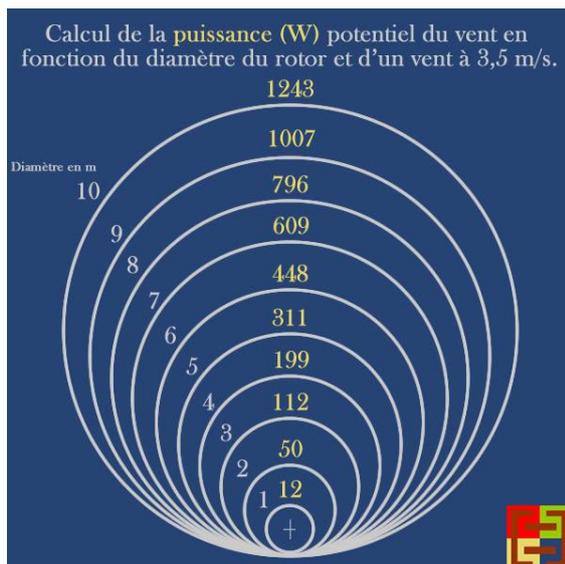
Pour une vitesse de vent donnée, on a :

$$P = 0.29 * D^2 * V^3$$

- D le diamètre de l'hélice,
- V la vitesse du vent,
- P la puissance fournie par l'éolienne.

Cette formule est la limite de Betz, inatteignable en réalité, mais qui donne une bonne indication sur l'influence de la longueur des pâles.

La puissance augmente avec la longueur des pâles, sur l'image suivante on peut voir la puissance en Watts en fonction du diamètre de l'hélice pour un vent de 3,5m/s et pour un vent de 9m/s.



Cependant plus les pales sont longues et plus la fréquence de rotation maximum est petite en raison de la force centrifuge en bout de pales. En effet, les pressions exercées sur une éolienne augmentent rapidement avec la longueur des pâles. C'est donc la résistance des matériaux qui permet de déterminer la longueur maximale d'une pale.

Pour augmenter le rendement d'une éolienne, il convient donc d'augmenter le diamètre de son hélice, cependant cela entraîne une augmentation de la pression sur les pâles qu'il ne faut pas négliger. Pour pallier cet inconvénient, il convient de prendre le matériau le plus résistant possible, d'où le choix de concevoir les pales en matériaux composites. Cela permet de concevoir des pales plus longues.

Nous avons vu que la longueur des pâles influence le rendement et qu'il convient de prendre des pâles les plus longues possible en tenant compte de la résistance du matériau. Nous allons maintenant nous intéresser à l'influence de la largeur des pales.

c. Largeurs

La largeur des pales n'influence pas le rendement de l'éolienne de manière directe, cependant elles influencent le couple de démarrage. En effet plus la pale est large et plus le couple de démarrage est bon, cependant pour obtenir de meilleures vitesses de rotation il vaut mieux privilégier des pales fines et légères. Il s'agit donc de faire des compromis, pour cela, nous allons nous intéresser aux profils de la pale.

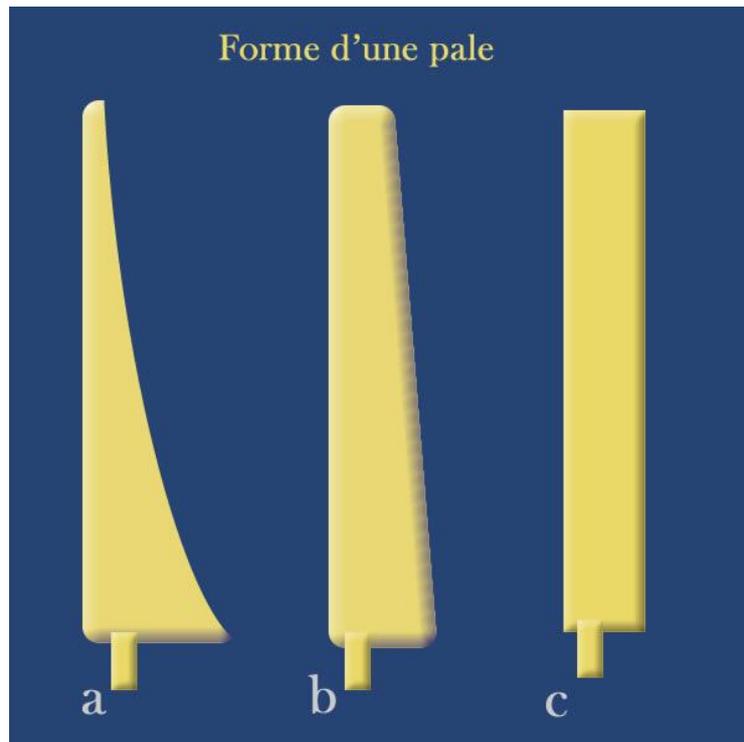
d. Profil

Le profil d'une pale correspond à la forme de la pale vue en coupe. Le profil doit être choisi en fonction du couple que l'on souhaite avoir. Pour les éoliennes de grandes puissances (>100kW), les pales sont généralement vrillées de sorte que l'angle d'incidence du vent soit optimal tout le long de la pale. Ce n'est pas le cas pour les éoliennes de faibles et moyennes puissances.

Cependant puisque le profil n'influe pas directement sur le rendement nous ne nous y intéresserons pas plus dans ce document. Nous allons maintenant nous concentrer sur la forme des pales.

e. Forme

Si le profil n'a pas d'influence sur le rendement, la forme, elle, en revanche joue sur les performances de la pale. Plus le bout est large, offrant une prise au vent importante et plus il y a de fuites en bout d'aires. L'image suivante permet d'étudier les différentes formes de pales.



La forme c, avec ses bords parallèles, est celle ayant le moins d'efficacité, bien qu'elle soit la plus facile à réaliser.

La forme elliptique de la pale a en revanche répartie la portance le plus loin au bout et, ce faisant, diminue la traînée aérodynamique (force résistante exercée par l'air sur la pale). Cependant, elle est difficile à réaliser.

La forme b est un compromis entre les 2, cette forme trapézoïdale a un effet proche de l'optimum de la forme elliptique.

La forme elliptique permet de diminuer la traînée aérodynamique et donc d'augmenter le rendement, elle est plus adaptée pour un rendement optimal.

Nous avons étudié les pales d'un point de vue constitutions, nous allons maintenant nous intéresser à l'influence du nombre de pales sur le rendement.

f. Nombres

Les chiffres que nous avons donnés jusqu'à présent se placent dans le cadre d'une éolienne tripale, cependant, bien qu'il s'agisse du modèle le plus répandu, ce n'est pas le seul qui existe. Il semble alors légitime de s'interroger sur ce choix, somme toute, très répandu.

La première raison que l'on peut avancer est la stabilité. Si le rotor a un nombre pair de pales lorsque la pale atteint le point le plus extrême du disque et fléchit légèrement vers l'arrière, la pale inférieure, elle, traverse la zone d'abri devant la tour. L'ensemble est déséquilibré et instable.

Ce problème a néanmoins pu être compensé pour les éoliennes bipales grâce à un rotor basculant. Le rotor doit pouvoir basculer pour éviter que l'éolienne ne subisse des chocs trop

importants lorsque les pales passent devant le mât. Cependant, ces éoliennes ont besoin d'une vitesse de rotation bien plus élevée que les tripales pour produire la même énergie.

Les éoliennes bipales sont cependant bien adaptées aux milieux cycloniques puisqu'elles supportent mieux les vents forts, sont plus légères et peuvent en cas de nécessité, être couchées au sol plus facilement.

Nous avons vu, que pour des raisons de stabilité, les éoliennes ayant un nombre impair de pales étaient privilégiées, bien que les éoliennes bipales trouvent leurs places en milieux cycloniques, pour autant cela n'explique pas le choix de concevoir des éoliennes tripales.

Bien qu'il ne s'agisse pas des éoliennes les plus présentes sur le territoire français, il existe des éoliennes monopales. L'avantage, non négligeable, de ces éoliennes est l'économie réalisée sur la conception des pales. Cependant, on retrouve les mêmes inconvénients que pour les éoliennes bipales. À savoir, d'une part, il faut une vitesse de rotation bien supérieure pour égaler la production d'une éolienne tripale. D'autre part, il devient nécessaire d'équilibrer le rotor en ajoutant un balancier du côté du moyeu opposé à la pale. Ces éoliennes présentent de nombreux inconvénients et ne sont quasiment pas commercialisées.

Si réduire le nombre de pales semble donc proscrit, que se passe-t-il lorsqu'on ajoute des pales ?

On a vu que pour des raisons de stabilité, les éoliennes ayant un nombre impair de pales étaient plus indiquées. On pourrait donc envisager de concevoir des éoliennes à 5 ou 7 pales.

Plus le nombre de pales d'une éolienne est élevé et plus l'éolienne peut démarrer à une vitesse de vent faible, le couple transmis à l'arbre du rotor étant plus grand. Parallèlement, la vitesse de rotation est limitée en raison des turbulences que chaque pale induit aux autres. À cela s'ajoute une plus grande prise aux vents qui empêche le fonctionnement des éoliennes par vents forts et augmente la nuisance sonore. Sans compter le coût additionnel de chaque pale.

Les éoliennes tripales sont le meilleur compromis trouvé entre le rendement, les contraintes de fonctionnement et les coûts de fabrication.

Maintenant que nous avons étudié les pales, nous allons nous intéresser au mât de l'éolienne.

g. Mât

La première condition sinequanone à la taille est évidente : le mât doit avoir une taille supérieure à celle de la pale. Pour des raisons de sécurité, la norme veut que la pale ne descende pas à moins de 3 mètres du sol, ce qui signifie que le mât doit, au minimum, faire la taille de la pale + 3 mètres.

Un autre facteur entre cependant en jeu et explique la hauteur de mât, parfois impressionnante, des éoliennes. Il s'agit cette fois d'un facteur météorologique. Ainsi, Bernard Multon, enseignant chercheur à l'ENS de Rennes, spécialisé dans les technologies de l'énergie explique que « La vitesse du vent varie considérablement selon la hauteur. Si vous la mesurez au ras du sol, même en pleine tempête, le vent sera quasi nul, à cause de tous les

obstacles et frottements de l'air. À l'inverse, dès que vous montez en altitude, vous avez des vents plus intenses. »

Afin de permettre à une éolienne de fonctionner à pleine puissance, il suffit parfois d'augmenter la taille du mât de quelques mètres.

De manière générale, la hauteur du mât dépend donc de la région où est installée l'éolienne et de la vitesse de vent optimal à son fonctionnement puisqu'en dehors de la loi sur les 3 mètres de sécurité il n'existe pas de contrainte concrète sur la hauteur. Il est nécessaire de s'adapter aux contraintes locales. Cependant qu'en est-il des matériaux ?

De manière analogue aux pales, la première caractéristique du matériau utilisé pour le mât doit être sa résistance aux éléments extérieurs. Le mât ne doit pas rouiller ni être trop léger afin de ne pas être emporté par le vent. Il doit également pouvoir résister au gel et aux contraintes de fonctionnements en cas de problème. Dans la majorité des cas, les mâts sont en aluminium ou en métal résistant à la rouille et ils sont implantés sur des fondations afin d'assurer un bon ancrage et d'éviter un déracinement.

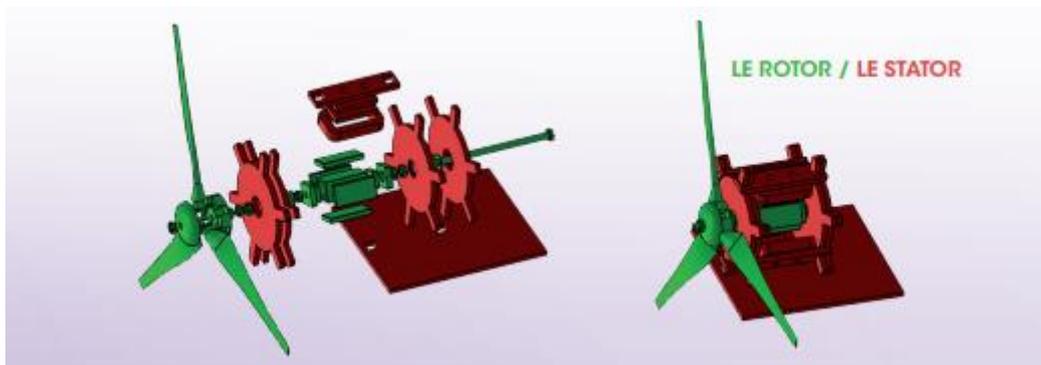
Nous avons vu succinctement dans la partie consacrée aux pâles que le mât, lors du passage de l'hélice provoque des perturbations sur les pales et des vibrations préjudiciables. Il est donc important d'avoir recours à des pylônes à faibles traînées d'où la forme allongée et fine du mât.

Maintenant que nous avons étudié les éléments extérieurs pouvant influencer le rendement d'une éolienne, nous allons passer à l'étude fonctionnelle du rotor et du stator. Les résultats de la partie suivante seront par la suite appuyés expérimentalement.

2. Étude fonctionnelle

Après avoir étudié l'éolienne d'un point de vue structurelle, nous allons maintenant passer à ce qui fut réellement le cœur de notre sujet.

Dans un premier temps, nous allons identifier les différents éléments du moteur pouvant influencer le rendement.



Pour se faire, nous commençons d'abord par rappeler la formule de la puissance parce que le rendement dépend de la puissance.

$$P = U * I * \cos\varphi$$

- U la tension
- I le courant.

Ainsi, les éléments influençant le rendement sont ceux qui influencent le courant ou la tension.

De ce fait, nous avons identifié les éléments suivants :

- le type des aimants,
- les sections des fils de cuivres (diamètre),
- le nombre de spires des bobines,
- la vitesse de rotation du rotor
- et le nombre de paires de pôles.

a. Nombre de spires des bobines

$$U = N \frac{d\Phi}{dt}$$

- N le nombre de spires des bobines

=> Plus N est grand, plus la tension est grande et plus la puissance est grande

=> Rendement plus élevé

Paradoxalement, la longueur du fil augmentant cela augmente également les pertes. Cependant, l'apport reste plus important que les pertes, en théories.

b. Section des fils de cuivres

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- S la section des fils
- l la longueur des fils

$$I = \frac{U}{R} \text{ donc } P = \frac{U^2}{R}$$

=> Plus la section est grande, plus la résistance est faible

=> Plus la puissance fournie est élevée et donc le rendement aussi

Cela signifie que le rendement de l'éolienne est meilleur lorsque l'on prend un fil de cuivre de diamètre plus important.

Il y a un compromis entre nombre de spires des bobines qui influence sur la longueur du fil et donc les pertes, et la section des fils de cuivres.

c. Vitesse de rotation et nombres de paires de pôles

On a :

$$U = N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Leftrightarrow U = N * S * B * p * \Omega$$

Avec Ω = vitesse de rotation en trs/s

N = Nombre d'enroulement des bobines

B = champ magnétique produit par les aimants

S = surface des bobines traversée par le champ magnétique

On remarque que plus la vitesse de rotation est grande, plus la valeur de la tension est élevée.

De même moins on a de paires de pôles, plus la vitesse de rotation est élevée et plus la valeur de la tension est importante, car $n = \frac{f}{p}$

Donc le rendement est meilleur lorsqu'on augmente la vitesse de rotation ou lorsqu'on diminue le nombre de paires de pôles. En pratique, les kits ne nous ont pas permis de vérifier l'influence du nombre de paires de pôles en revanche, nous avons pu observer l'influence de la vitesse de rotation.

d. Aimants

On vient de voir que $U = N * S * B * p * \Omega$

B est le champ magnétique produit par les aimants donc lorsque B augmente la tension augmente et le rendement augmente. Le champ magnétique est propre au type d'aimant, pour améliorer le rendement il faut donc choisir des aimants avec un champ magnétique important.

III- Protocole de test

But des tests :

Voir l'influence, sur la tension et sur le courant (donc sur la puissance et le rendement) des éléments suivants :

- type d'aimant,
- nombre de spires des bobines
- section des fils de cuivres
- vitesse de rotation du rotor

Pour cela, il nous aurait fallu réaliser un grand nombre de montages. Cela étant fastidieux, nous avons établi que certains kits pouvaient permettre de réaliser plusieurs expériences et après discussions, nous avons décidé de réaliser 4 éoliennes avec les caractéristiques suivantes :

	type d'aimant	nombre de spires	diamètre du fil de cuivre
éolienne 1	Néodyme	100	0.4mm
éolienne 2	Néodyme	70	0.4mm
éolienne 3	Néodyme	70	0.7mm
éolienne 4	Ferrite	70	0.7mm

Nous aurions pu réaliser les bobines de 100 spires avec le fil de 0.7mm de diamètre, le rendement aurait, d'après nos études théoriques, été meilleur. Cependant, pour des raisons d'encombrement spatial, nous avons dû prendre le fil de 0.4mm de diamètre sinon nos bobines auraient été trop imposantes et le rotor n'aurait pas pu tourner.

- Éolienne 1 et 2 : permettent de voir l'influence du nombre de spires, car les 2 kits sont identiques à l'exception du nombre de spires.
- Éolienne 2 et 3 : permettent de voir l'influence de la section du fil de cuivre, car les 2 kits sont identiques à l'exception de la section des fils.
- Éolienne 3 et 4 : permettent de voir l'influence du type d'aimants, car les 2 kits sont identiques à l'exception du type d'aimant.

Pour chaque éolienne :

- Relevé des tensions triphasées en sortie de l'éolienne (forme, déphasage, amplitude, fréquence)
- Relevé des courants triphasés en sortie (forme, amplitude, déphasage, fréquence)
- Relevé de tension en sortie du pont de diode (amplitude)
- Relevé courant en sortie du pont (amplitude)
- Calcul de la puissance en sortie du pont
- Calcul de la puissance de la MCC (puissance en entrée)
- Calcul du rendement du pont de diode (vérifier son influence sur le rendement de l'éolienne)
- Calcul du rendement de l'éolienne

Prévisions :

- La puissance fournie par l'éolienne 1 doit être supérieure à celle de l'éolienne 2, car son nombre de spires est plus élevé
- La puissance fournie par l'éolienne 3 doit être supérieure à celle de l'éolienne 2, car sa section est plus importante (du fait qu'elle laisse passer plus de courant)
- La puissance fournie par l'éolienne 3 doit être supérieure à celle de l'éolienne 4, car son type d'aimant possède un champ plus important.

Tension en sortie du pont de diodes :
$$U = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_{max}$$

Avec V_{max} la tension max simple en sortie de l'éolienne

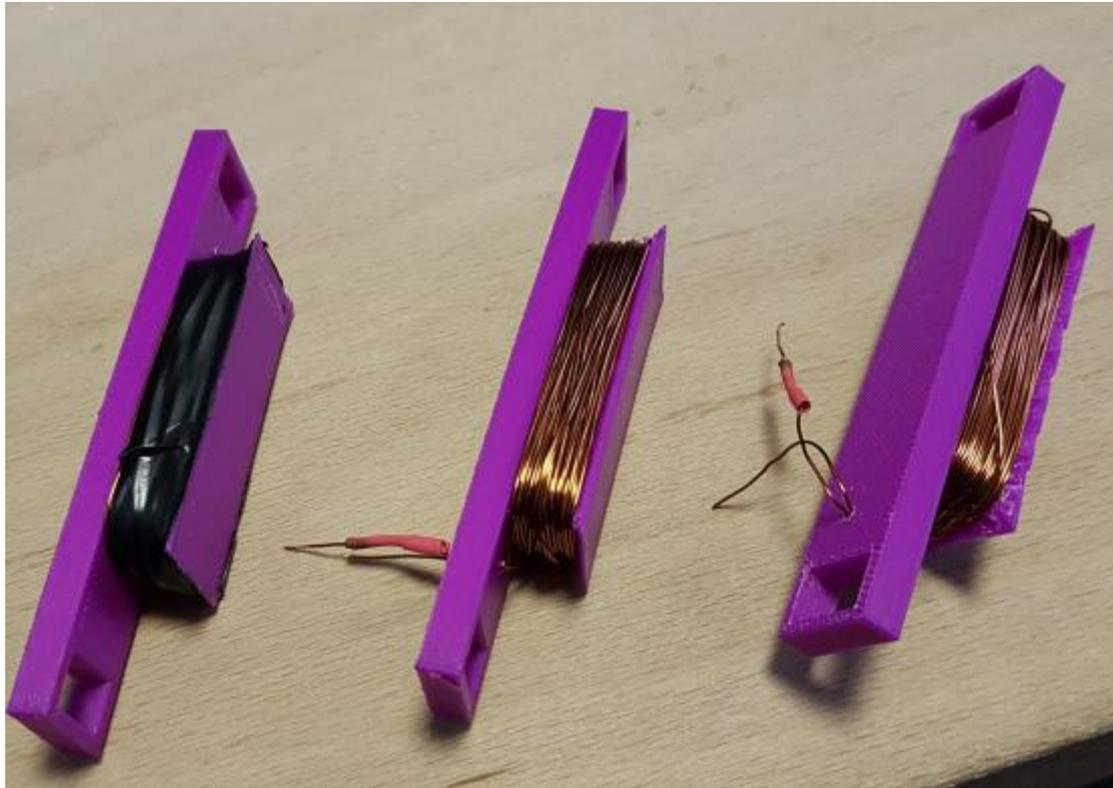
Nous reprenons l'étude des paramètres précédemment établis en ajoutant cependant l'étude de l'influence de la capacité du pont de diodes triphasé sur la tension de sortie. Ce point est propre à nos kits et non aux éoliennes en général, c'est pour cela qu'il ne figure pas dans notre étude théorique.

IV- Réalisation technique

Pour effectuer les tests sur les différents paramètres, il nous a fallu réaliser plusieurs éoliennes. Dans le kit école nous disposons du matériel nécessaire à la conception de 2 kits complets. L'une des premières choses que nous avons faites fut donc de commander le matériel nécessaire pour la conception de 2 kits supplémentaires. Nous avons rapidement établi qu'une fois un kit monté, il ne pouvait plus être démonté, ainsi, il n'était pas envisageable de simplement changer les aimants de l'éolienne ou les bobines.

- **Bobines:**

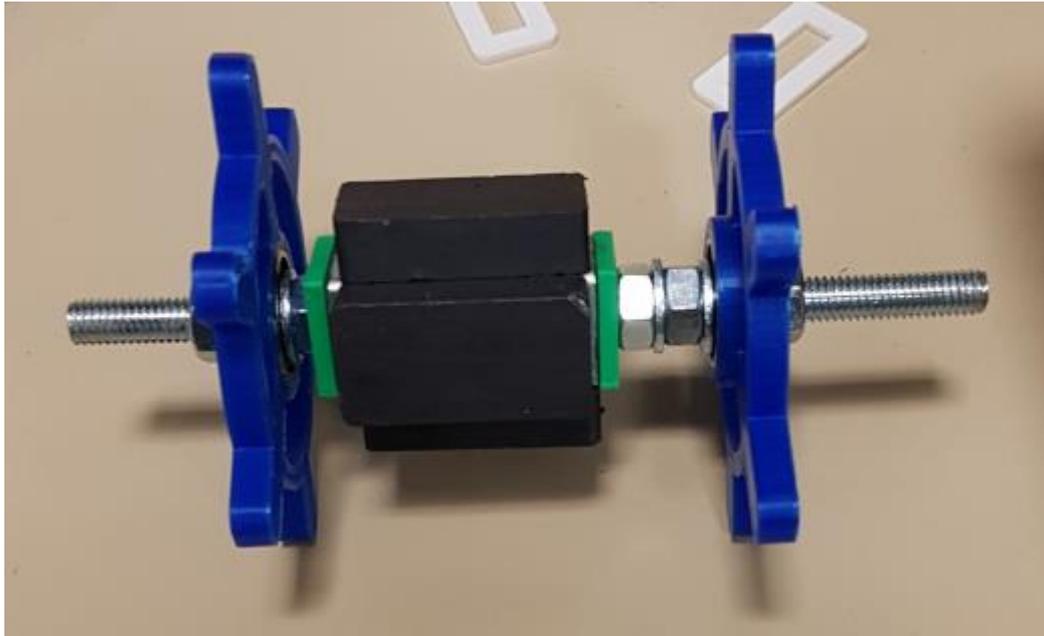
Au cours de ce PRT, nous avons dû bobiner à la main les 4 jeux de 6 bobines. C'est finalement ce qui nous a pris le plus de temps. En effet, nous n'avions encore jamais fait de bobines et les premières ont dû être recommencées un certains nombres de fois afin d'obtenir un résultat satisfaisant comme nous le montre la figure suivante :



Ceci représente 3 bobines de 70 spires avec 0.4 mm de diamètre. Nous avons rajouté du scotch pour des raisons d'esthétique.

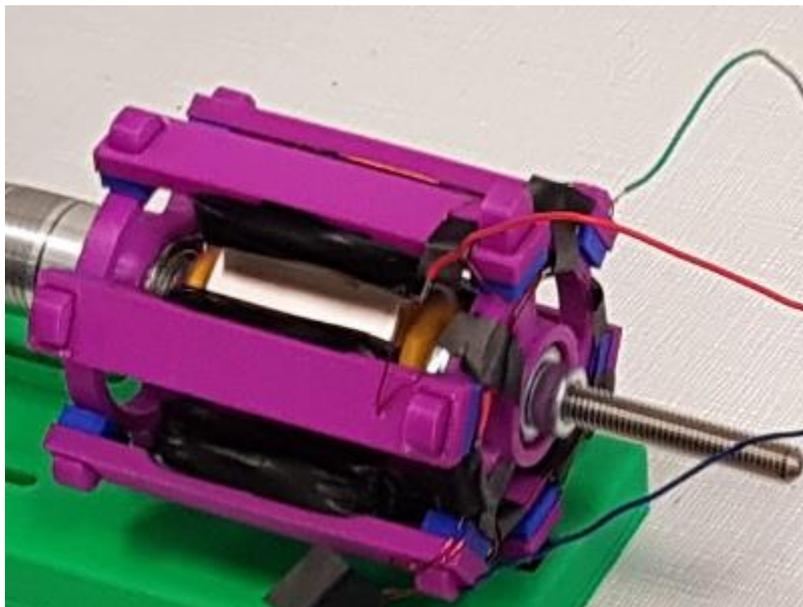
- **Aimants :**

Nous avons ensuite assemblé les kits en prenant garde à nos doigts lorsque nous mettons les aimants en place, notamment les aimants en néodyme dont la force d'attraction était très importante. La figure suivante nous montre la pose des aimants en ferrite sur un montage (éolienne 4) :



- **Montage final :**

Lorsque le kit était assemblé il restait à souder entre elles les bobines, pour cela, nous avons bénéficié de l'aide d'un technicien qui nous a montré comment réaliser des soudures efficaces. La figure suivante nous montre un kit déjà assemblé :



Bien que nous ayons, à chaque fois, vérifié que notre éolienne était fonctionnelle, nous n'avons pu réaliser tous nos relevés et mesures que lors de la dernière séance, une fois toutes les éoliennes réalisées.

V- Tests et Mesures :

Lors de nos expériences, nous utilisons un moteur pour faire tourner l'axe du rotor et non pas l'hélice et la force du vent. D'une part, cela nous permettait de contrôler la vitesse de rotation et de nous assurer de répéter les expériences dans des conditions identiques. D'autre part, la vitesse de rotation était ainsi bien supérieure à celle que nous aurions pu obtenir avec l'hélice.

Les tests se sont fait à une vitesse du rotor de 1000 trs/min ce qui correspond à une fréquence de 50 Hz (étant celle du réseau) car nous avons 3 paires de pôles. Ce calcul s'est fait grâce à la formule suivante :

$$f = n p$$

avec

n = vitesse de rotation en tr/s

p = nombre de paires de pôles

Les tests et mesures ont été effectués sur chacune des éoliennes comme énoncé sur le protocole de test. Le calcul de la puissance en sortie du pont de diodes s'est fait grâce à une résistance R de 12 Ω . Le courant étant image de la tension (parce que c'est une charge résistive), nous avons jugé pas nécessaire de le représenter.

a. Éolienne 1 : Néodyne, 100 spires, 0.4 mm

Formes d'ondes des tensions en sortie du montage :

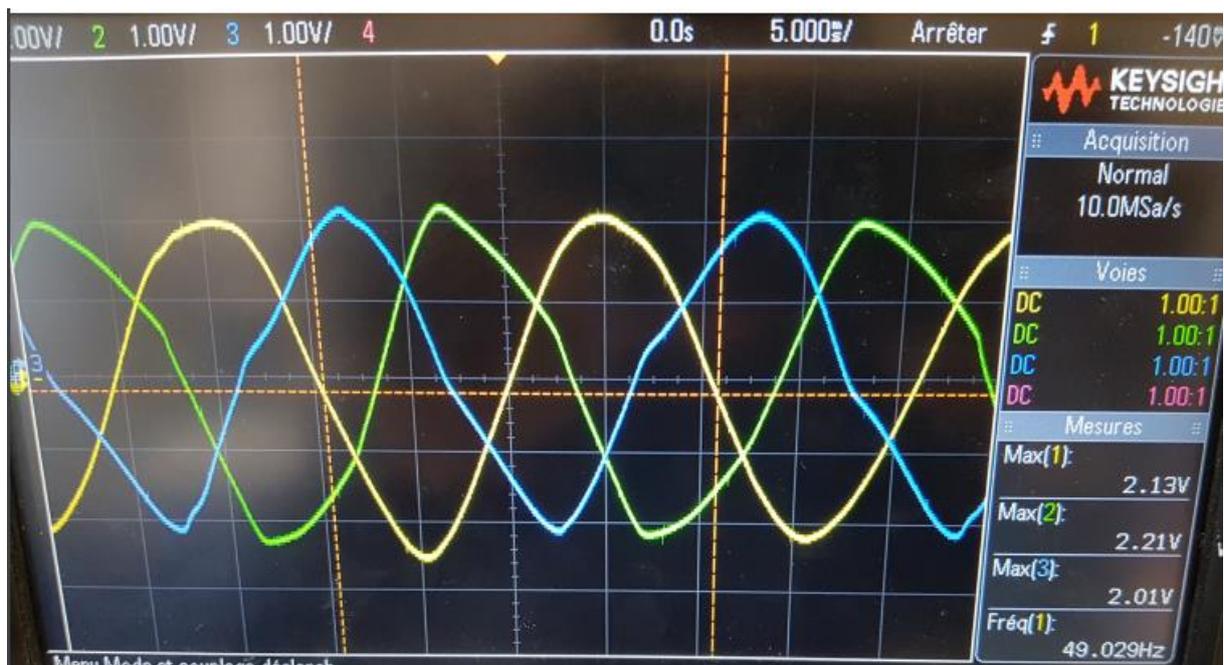


Relevés et calculs :

En sortie du montage				
Tension triphasée	Forme	Amplitude	Fréquence	Déphasage
	Sinusoïdale	2.20 / 3.81 V	50 Hz	117 °
Après pont de diodes				
Tension			3.40 V	
Puissance			963 mW	

$$\text{Déphasage} = (1.3/4) \cdot 360 = 117^\circ$$

b. Éolienne 2 : Néodyme, 70 spires, 0.4 mm

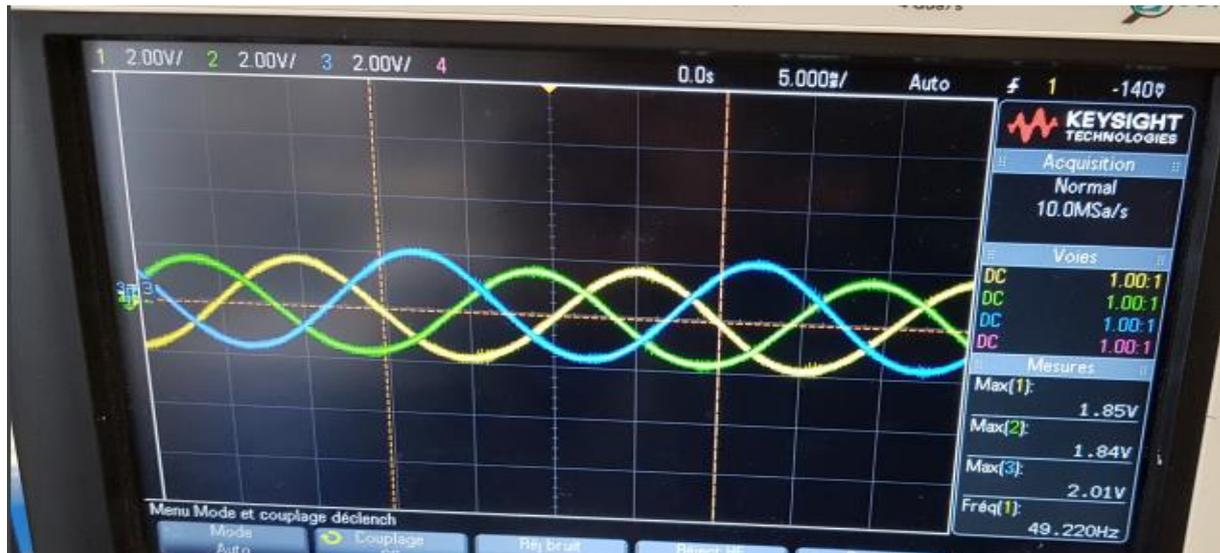


Observations :

En sortie du montage				
Tension triphasée	Forme	Amplitude	Fréquence	Déphasage
	Pas parfaitement Sinusoïdale	2.1 / 3.63 V	49 Hz	110 °
Après pont de diodes				
Tension			2.23 V	
Puissance			413 mW	

c. Éolienne 3 : Néodyne, 70 spires, 0.7 mm

Forme d'onde des tensions triphasées :



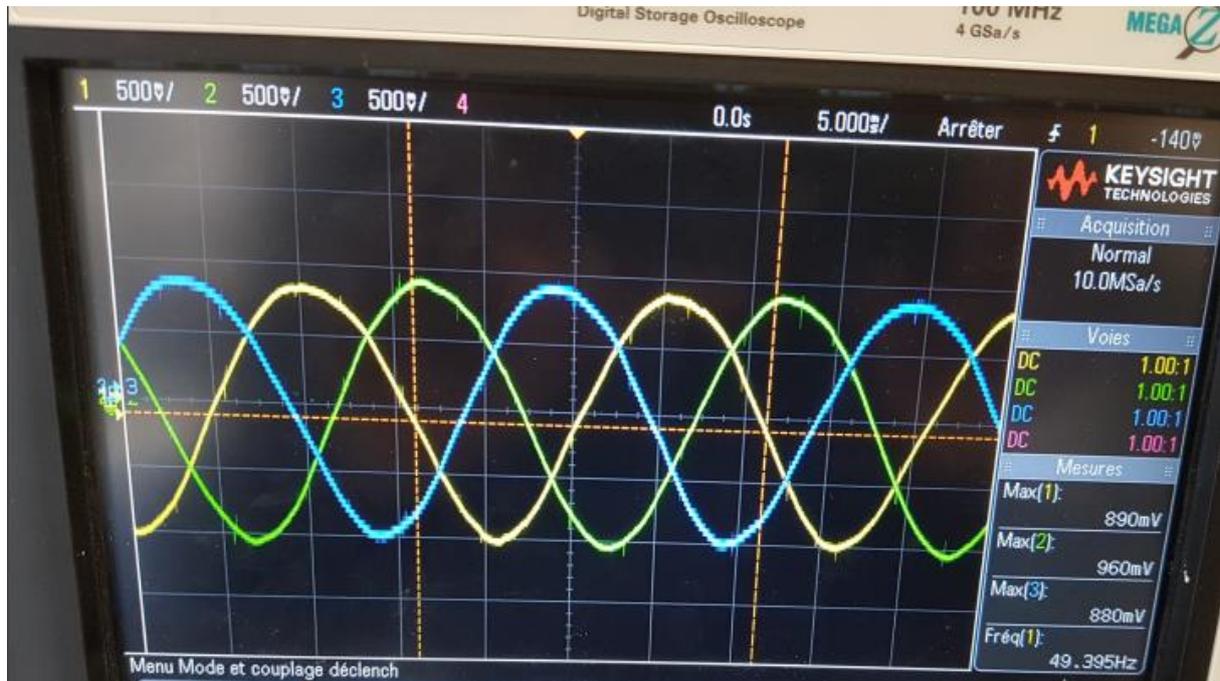
Observations :

En sortie du montage				
Tension triphasée	Forme	Amplitude	Fréquence	Déphasage
		Sinusoïdale	1.85 / 3.2 V	49 Hz
Après pont de diodes				
Tension			1.45 V	
Puissance			175 mW	



Comme cette figure nous le montre, lorsque la fréquence augmente, la valeur de la tension augmente.

d. Éolienne 4 : Ferrite, 70 spires, 0. mm



Observations :

En sortie du montage				
Tension triphasée	Forme	Amplitude	Fréquence	Déphasage
	Sinusoïdale	0.89 / 1.541 V	49 Hz	117 °
Après pont de diodes				
Tension			0.68 V	
Puissance			39 mW	

e. Conclusion et améliorations possibles :

Après les tests, nous avons globalement eu les résultats attendus, c'est-à-dire que le montage avec 100 spires a une valeur de tension plus élevée et donc une puissance fournie plus importante que celui avec 70 spires, de même que le montage en néodyme vis-à-vis de celui en ferrite.

La vitesse de rotation du moteur influence la tension produite : plus elle est grande, plus la tension l'est.

En revanche, nous avons un problème avec les montages qui diffèrent par leur section de fil. Il a été prévu que le montage avec une section de 0.7 mm ait une plus grande puissance que celle avec 0.4 mm de section, ce qui n'est pas le cas vu que celui avec 0.4 mm de section a une plus grande tension et puissance fournie.

Ceci peut être dû à de mauvaises mesures ou un problème sur le montage. Nous avons malheureusement manqué de temps pour refaire les tests.

Le rendement du montage n'a pas pu être calculé parce que la puissance en entrée de la MCC ne pouvait pas être mesurée.

Les tensions sont faibles en sortie des montages et il y a plusieurs facteurs augmentant les pertes.

Une possibilité d'amélioration peut être d'utiliser des matériaux en forme de cylindre pour bloquer les lignes de champ de fuite et ainsi réduire considérablement les pertes (liées aux fuites du champ magnétique).

Il peut aussi être intéressant de voir l'influence du nombre de paires de pôles ainsi que de la section des bobines sur les tensions induites.

VI- Problèmes rencontrés :

Par ailleurs si le projet s'est dans l'ensemble bien déroulé, nous avons rencontré de nombreuses difficultés inattendues avec l'éolienne 4.

Pour commencer, l'un des aimants en ferrite était cassé lorsque nous l'avons réceptionné, il nous a donc fallu demander de l'aide au service technique pour le recoller sans certitude que cela n'influence pas nos résultats.

Lors de l'assemblage, l'une des roues servant de support aux bobines a cédé. Nous l'avons recollé comme nous le pouvions, mais cela n'a pas tenu lorsque nous avons lancé le moteur. Pour pallier à ce problème, nous avons eu recours à du scotch d'électricien.

Malheureusement lors de l'assemblage, nous nous sommes aperçus que nous ne disposions pas de suffisamment d'entretoises ni du temps nécessaire pour en réimprimer, or, notre rotor tournait difficilement. En effet, nous n'avions pas pris en compte que les aimants en ferrite étaient bien plus épais que ceux en néodyme. Nous avons donc éloigné au maximum les bobines pour permettre la rotation, ce faisant l'une des attaches de bobine a cédé...

Malgré de nombreux contretemps, nous sommes finalement parvenus à assembler cette éolienne.

Cependant, celle-ci "explosait" dès que nous atteignons les 50Hz, fréquence choisie au préalable pour nos tests.

Nous parlons ici d'explosion, mais le terme est impropre à la situation. En réalité, deux ou trois bobines selon les fois se détachaient, d'au moins un côté parfois les deux. Les aimants

venaient alors se superposer sur une des faces empêchant toute rotation et rendant leurs accès difficiles.

À force de persévérance, pendant que l'un de nous maintenait l'éolienne du mieux possible en prenant garde à garder en place les bobines qui avaient tendance à se détacher, l'autre augmentait doucement jusqu'à 50Hz, nous avons, finalement, réussi à avoir des résultats. L'éolienne ayant de nouveau cédé une seconde après.

En raison de tous ces contretemps, nous pensons que nos résultats, sur l'éolienne 4 sont biaisés bien qu'ils restent exploitables, le rendement est sûrement moins bon qu'il n'aurait dû l'être, ce dont nous avons tenu compte dans notre analyse de résultats.

VII- Conclusion générale

Beaucoup de facteurs influencent le rendement d'une éolienne comme nous l'avons vu dans notre étude théorique. Pour améliorer le rendement d'une éolienne, il convient d'augmenter le nombre de spires des bobines en prenant garde à l'encombrement spatial, de choisir un fil de diamètre plus important. Il faut également choisir des aimants ayant un champ magnétique important. C'est de cette manière que l'on peut améliorer le rendement au niveau du rotor et du stator. Pour la structure externe, il convient de choisir des pales de formes elliptiques les plus longues possible et d'adapter la hauteur du mât en fonction de la région d'installation de l'éolienne.

Ce projet nous a apporté beaucoup au niveau des réalisations techniques, nous avons pu bobiner à la main, souder et étudier les différents paramètres influençant le rendement d'un moteur électrique. Cela nous a permis de donner une autre dimension à nos cours et de mieux comprendre certaines notions vues au préalable.

VIII- Bibliographie

- [1] : « Construire une éolienne », HUGH PIGGOTT, Réseau Tripalium, www.tripalium.org
<https://eolienne.f4jr.org/>
<https://eolienne.ooreka.fr/>
<https://reporterre.net/Les-eoliennes-pourquoi-si-hautes-comment-ca-marche-combien-sont-elles>
<http://lsenez.free.fr/spip.php?rubrique137>
<http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/fr/tour/design/concepts.htm>
<https://www.connaissancedesenergies.org/pourquoi-la-plupart-des-eoliennes-ont-elles-trois-pales-140919>
<https://reporterre.net/Les-eoliennes-pourquoi-si-hautes-comment-ca-marche-combien-sont-elles>
<http://www.parc-eolien-mont-des-quatre-faux.fr/lenergie-eolienne/comment-ca-marche/>
<https://www.eolecole.fr/>
<https://www.supermagnete.fr/faq/Devrais-je-acheter-un-aimant-en-ferrite-ou-un-aimant-en-neodyme>
<https://lenergeek.com/2013/02/04/avec-quels-materiaux-sont-fabriquees-les-pales-des-eoliennes/>
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01176297/document>
<https://lewebpedagogique.com/dtrouillard/files/2014/05/Materiaux-eoliennes1.pdf>
<https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89olienne>
<http://wind.stadar.org/>
<https://www.tripalium.org>
<http://www.tieole.fr/content/11-formations>