

Du vent pour la Terre

Albert Gauthier et Félix Perron

Abstract: The goal of this project was to build a wind turbine from scratch and calculate the efficiency of our construction. This first goal was transformed because of lack of time and resources. Many types of alternators were tested but none could prove this first goal, so a second goal was found. Instead, the goal was to see if there was a proportionality between the speed of rotation of an alternator and the voltage produced. First, the hard part was to build an alternator. The material used was wood, bearings, painted copper wire, strong magnets and hot glue. During the process, there was a lot of issues, research was done to find the problems and fix them. To verify the hypothesis, you need to measure the voltage with different RPMs (rotations per minute). To do so, the EXAO system is great to calculate the voltage and the time passing by using different rotations per minute with a drill. With the values obtained, graphs were made about the voltage in function of the time. To conclude, the goal of the project was reached. The hypothesis was confirmed, there is a proportionality between the voltage of the construction and the speed of rotation of it. There would still have a lot to do to finalize the initial project, which was to build a functional wind turbine. By reading the article, it would make a great start. Finally, this project would not be possible without everyone that helped us during this project, their time and resources were precious to us.

Mots clés : Électricité, éolienne, alternateur, électromagnétisme et aimant.

Introduction : L'énergie est omniprésente autour de nous. De la création de l'univers à aujourd'hui, l'énergie interagit sans cesse avec son environnement. Il existe plusieurs formes d'énergie : thermique, mécanique, nucléaire, éolienne, hydraulique, électrique, et lumineuse entre autres. Actuellement, l'humanité fait face à son plus gros problème depuis son existence : la pollution atmosphérique causée par les gaz à

effet de serre produits par l'humanité depuis le début de l'industrialisation. Lorsque la quantité de gaz à effets de serre produite dépasse un certain seuil critique, on remarque une déstabilisation du climat planétaire ce qui peut entraîner des sécheresses, des ouragans et des pluies torrentielles par exemple. Ces gaz à effets de serre sont produits par plusieurs choses, dont le transport, l'agriculture et la production d'énergie. Par exemple, l'utilisation de combustibles fossiles comme le charbon et le pétrole utilisés dans la production d'énergie devra cesser afin de réduire nos émissions de gaz à effet de serre. Pour aider la cause, des ingénieurs ont inventé l'éolienne qui permet de récupérer l'énergie supplémentaire de notre atmosphère écologiquement. Les éoliennes présentent plusieurs avantages. En effet, on peut les placer partout sur la planète, autant sur la terre que sur l'eau, pourvu qu'il y ait du vent. Leur utilisation produit très peu de gaz à effet de serre, puisqu'on utilise l'énergie du vent pour créer l'énergie électrique dont on a besoin. Les éoliennes ont besoin de peu d'entretien et ne nécessitent pas de surveillance. Pour l'activité synthèse de programme, la construction d'une éolienne faite maison a été entreprise. L'hypothèse de départ était la suivante : grâce à la construction d'une éolienne rudimentaire, nous pouvons récupérer au moins 15 % de la puissance du

vent. Des scientifiques ont déterminé que l'énergie maximale du vent récupérable serait de 59 % (Internet 1). Compte tenu des ressources limitées, il a été déterminé que le quart de cette valeur maximale serait atteignable. Pour parvenir à ce résultat, des notions vues dans le programme des Sciences de la nature sont nécessaires. En effet, la loi de Faraday (Internet 4) est nécessaire à la compréhension du projet puisqu'elle explique la création d'une différence de potentiel dans un circuit électrique. Cette loi exprime la création d'une force électromotrice lorsque le bobinage est placé dans un champ magnétique variable. Pour l'alternateur, la formation de champs magnétiques est créée grâce aux aimants qui en tournant font déplacer des charges électriques qui produisent un champ électromagnétique qui varie. Le flux magnétique sur le temps correspond à l'induction magnétique. C'est la variation du champ magnétique de façon périodique autour d'un fil qui va créer un courant électrique alternatif dans ce fil. Toutefois, durant le projet, même si plusieurs configurations du montage ont été testées, l'hypothèse originale a dû être abandonnée, le temps et les ressources manquants. Alors, on a dû émettre une nouvelle hypothèse : la différence de potentiel produite par un alternateur fait maison est

proportionnelle à la vitesse de rotation du rotor portant les aimants.

Matériel et méthodes : Le matériel utilisé est le suivant : goujons de bois de 1,25 pouce (31,75 mm) et de 0,625 pouce (15,875 mm), des morceaux de bois 2"x4", des vis de longueurs variées, deux roulements à billes avec 32 mm de diamètre central, 10 aimants puissants de néodyme, des tubes en carton, du fil de cuivre nu (sans gaine) et du fil de cuivre avec une gaine (fait d'une peinture isolante), une scie, des tournevis variés, du ruban adhésif, des bâtons pour mélanger la peinture, de la colle chaude ainsi qu'un pistolet à colle chaude, une perceuse, un marteau, un multimètre, du lubrifiant (WD-40), une seringue et une agrafeuse industrielle. Pour débiter le projet, un remue-méninges sur la construction d'une éolienne a été fait avec notre tuteur, Jean Bédard. N'ayant que peu de connaissances sur les éoliennes et les alternateurs, des recherches ont été faites et un alternateur de camion défectueux a été trouvé. Cet alternateur a été démonté pour étudier ses différentes composantes et son fonctionnement. Les observations sur ce dernier ont montré que le bobinage était fixe et fait de fil de cuivre. Aussi, il a été remarqué qu'il y avait des aimants au centre de l'alternateur qui tournaient sur un axe en métal.

Ces observations ont donc poussé à recréer le même principe. Il y a eu des tests en faisant tourner l'alternateur à la main pour tester s'il était encore en mesure de produire du courant, et c'était le cas. Après analyse, il a été conclu que la raison que cet alternateur serait défectueux est, car les aimants n'étaient plus très puissants, ce qui ferait que le champ magnétique a perdu de sa force ce qui limiterait la puissance électrique produite. Il a été pensé de réutiliser le boîtier de l'alternateur pour ne pas refaire le bobinage, mais cette idée a été vite abandonnée, il avait déjà été décidé que l'éolienne serait construite de façon artisanale. La semaine suivante, le but était d'en savoir plus sur les éoliennes et leur capacité à utiliser l'énergie du vent. Notre tuteur a prêté deux modèles réduits d'éolienne. La première était plutôt simple : avec l'énergie du vent, elle créait de l'électricité qui servait à recharger une petite voiture télécommandée. Il n'y avait pas de résultats concrets avec cette éolienne, à part le fait qu'elle fonctionnait. Toutefois, avec la deuxième éolienne, qui était un modèle beaucoup plus élaboré qui permettait de réaliser quelques tests intéressants. Il était possible de faire allumer des petites lumières et mesurer le courant et la différence de potentiel. Ces essais qui peuvent sembler anodins ont permis de réaliser que le projet était réalisable. Avec la deuxième éolienne, il a été remarqué

qu'avoir plus de pales augmentait le courant généré et qu'une inclinaison faible des pales était la meilleure façon de récupérer l'énergie du vent produite par un gros ventilateur. Maintenant que les connaissances étaient accumulées sur les éoliennes et alternateurs, il était temps de passer à l'étape de la conception de l'éolienne artisanale. Il faut tout d'abord enrouler du fil de cuivre nu sur le tuyau en carton, puis coller des aimants sur un goujon de bois 5/8 pouce. Après quelques essais, il a été conclu que le fil de cuivre nu n'était pas adéquat, car le courant électrique passait entre les boucles. Comme l'efficacité de ce système initial était quasiment nulle, l'expérience a été reprise avec un bobinage de fil fait de fil de cuivre gainé de peinture. Il y avait une nette différence avec les tests effectués, le projet allait dans la bonne direction. En effet, sur le premier prototype composé de 6 aimants avec le fil dénudé avec 112 tours de bobinage, les résultats sont de 1,5 mV à 1500 tours par minute et 2,8 mV à 2800 tours par minute. Puis, le fil peinturé a été testé : les résultats sont de 70 mV à 2800 tours par minute, ce qui est une bonne amélioration. Le fil dénudé a été abandonné pour laisser place au fil de cuivre peinturé. La construction de notre produit final par la suite. À part les roulements à billes, aucune pièce n'était préassemblée. Durant la construction, on a eu quelques difficultés. Par

exemple, la fixation des aimants a été compliquée, puisque ces derniers sont puissants et se repoussaient sans cesse. Deux aimants ont été cassés durant le processus. Pour les faire tenir correctement, il a fallu faire un moule autour du goujon de bois de 32 mm ce qui maintenait les aimants en place. De plus, il fallait enrouler quelque chose autour de ces aimants pour empêcher qu'ils sortent lors de la rotation. Au début, le fil de pêche standard a été utilisé, mais comme cette solution fonctionnait plus ou moins bien, les aimants ont été recouverts de ruban adhésif en évitant d'utiliser un ruban pouvant contenir du matériel ferromagnétique. À la dixième semaine d'expérimentation, il y avait enfin un produit final d'alternateur. Ce dernier est composé d'une structure de bois, de deux roulements à billes, d'un goujon de bois de 32 mm, d'environ 400 tours de bobinage en fil de cuivre peinturé et de 4 aimants en néodyme (figure 1).

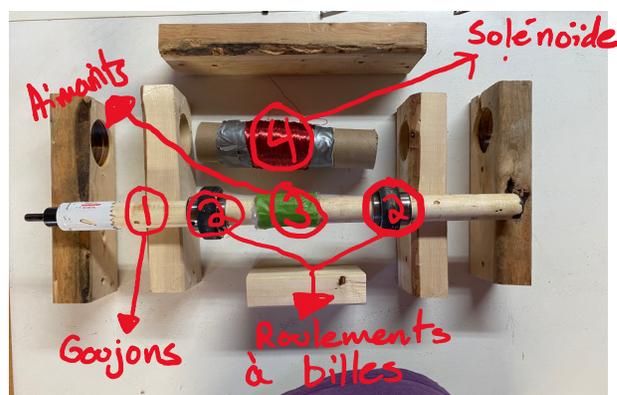


Figure 1. Prototype final

La longueur du fil a été estimée en divisant le volume du solénoïde, calculé à l'aide des mesures de rayons internes (r_{int}) et externes (r_{ext}) et de la longueur (L_{sol}) du solénoïde, par l'aire du fil ($\pi \cdot r_{fil}$), on obtient la longueur du fil (L_{fil}) :

$$V = \pi(r_{ext}^2 - r_{int}^2)L_{sol} = \pi r_{fil}^2 l_{fil}$$

$$N = \frac{l_{fil}}{2\pi r_{fil}} = \frac{\pi(r_{ext}^2 - r_{int}^2)L_{sol}}{\pi r_{fil}^2 \times 2\pi r_{fil}}$$

$$= \frac{(r_{ext}^2 - r_{int}^2)L_{sol}}{2\pi r_{fil}^3}$$

Ce calcul donne 432 tours de fils, ce qui est une approximation. Lors de tests, les résultats obtenus étaient de 0,017 V et 0,22 mA à 1500 tours par minute. Toutefois, ces résultats n'étaient pas convaincants, il y a eu des recherches pour améliorer la construction. La disposition des aimants a été modifiée, ce qui a amélioré les résultats obtenus. Avec la construction finale, le voltage produit en fonction du temps a été mesuré avec le système EXAO avec l'assistance de madame Jessica Maltais, technicienne de laboratoire. La perceuse a fonctionné à environ un tiers de la puissance, à deux tiers de la puissance puis à puissance maximale (2800 RPM). Avec le système EXAO, il était possible d'obtenir des graphiques de la différence de potentiel (voltage) en fonction du temps.

Résultats : Lors des expérimentations, la différence de potentiel produite par l'alternateur en fonction du temps a été mesurée. Trois graphiques ont été obtenus pour des vitesses différentes (figures 3,4 et 5) ainsi qu'un graphique représentant toutes les données prises du prototype final (figure 2).

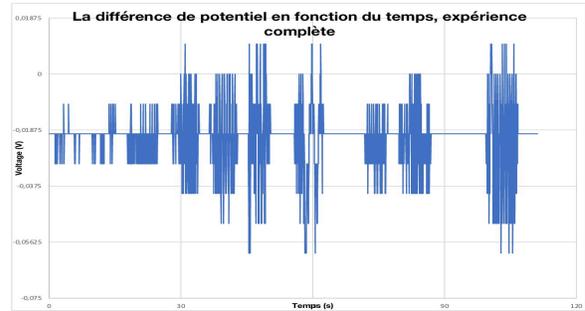


Figure 2. Mesure de la différence de potentiel en fonction du temps avec EXAO.

Les zones où il y a un signal indiquent les moments où le rotor était en rotation, intercalées de zones d'arrêt. On voit avec ce graphique que selon la vitesse de rotation, plus ou moins élevée, la différence de potentiel produite sera proportionnellement plus grande ou plus faible.

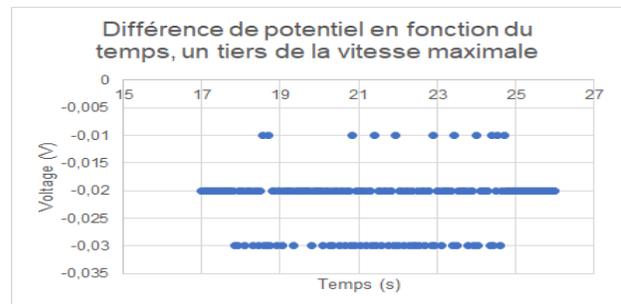


Figure 3. La différence de potentiel produite à un tiers de la vitesse maximale.

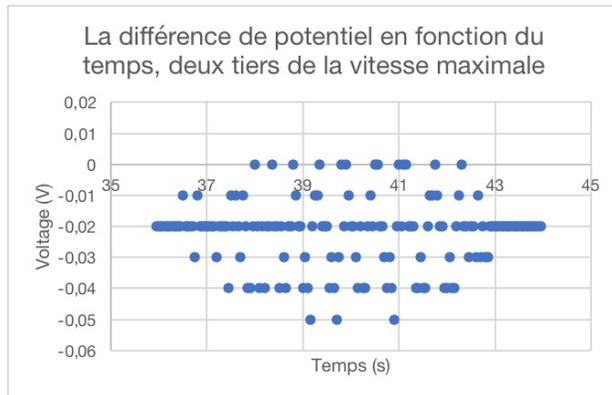


Figure 4. La différence de potentiel produite à deux tiers de la vitesse maximale.

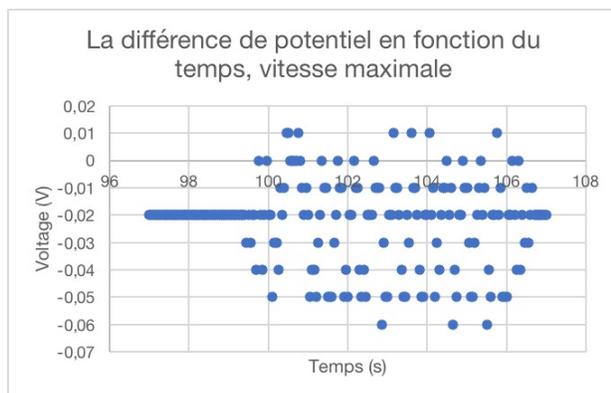


Figure 5. La différence de potentiel produite à la vitesse maximale.

Ces trois graphiques montrent la différence de potentiel produite en fonction du temps pour trois vitesses différentes, soit d'environ un tiers, deux tiers et au maximum de la vitesse de la perceuse (≈ 2800 tours par minute). Avec ces graphiques, en les comparant, on remarque que plus la vitesse de rotation est élevée, plus la différence de potentiel produite est élevée. La tension alternative produite à la figure 3 présente une tension de crête de 0,01 V (environ 900 RPM), de 0,025 V (environ 1800

RPM) à la figure 4 et de 0,035 V (environ 2800 RPM) à la figure 5.

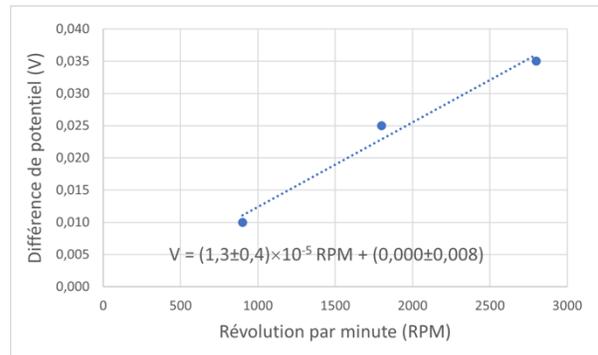


Figure 6. La proportionnalité entre la différence de potentiel produite et la vitesse de rotation.

Grâce à ce dernier graphique, les observations montrent qu'il y a bel et bien une corrélation entre la vitesse de rotation et la différence de potentiel produite.

Discussion : Les résultats obtenus, bien que rudimentaires, permettent de vérifier la seconde hypothèse (alternative à l'hypothèse originale qui n'a pas pu être testée pour les raisons citées précédemment). Les résultats obtenus permettent de confirmer l'hypothèse que plus la vitesse est grande plus il y aura une grande production de courant (figure 6). Bien que les résultats obtenus confirment l'hypothèse, ces résultats ont une incertitude énorme puisque plusieurs choses ont été estimées comme la vitesse de rotation de la perceuse en plus de la vitesse qui n'était pas à 100 % constante puisqu'on la faisait tourner en essayant de rester à vitesse constante. Pour la figure 6, le coefficient de détermination se

montre à 97,9 %, ce qui est une corrélation forte. Bien que l'incertitude est plutôt élevée (environ 30 %), il n'en demeure pas moins qu'il y a bel et bien une relation de proportionnalité. Aussi, il n'y a pas de différence de potentiel lorsque le rotor est immobile puisque le champ magnétique est constant, c'est ce qui a été obtenu. Malgré la fiabilité assez faible de nos résultats, l'hypothèse reste confirmée puisque l'on voit quand même un lien entre l'augmentation de la vitesse et l'augmentation de la production de courant (figure 6).

Conclusion : Pour terminer, l'hypothèse initiale qui était de récupérer 15 % de l'énergie du vent d'un ventilateur grâce à la fabrication d'une éolienne ainsi que d'un alternateur n'a pas pu aboutir à la suite de divers problèmes techniques et matériels. C'est pourquoi il a été décidé de seulement faire des tests sur l'alternateur qui fonctionnait même s'il n'était pas optimal. Il a été possible d'obtenir des résultats de voltage en fonctions du temps grâce à l'alternateur artisanal ainsi qu'une perceuse. Les points majeurs de cette expérience sont certainement le nombre de points faibles à vérifier durant la conception. En effet, une équipe qui déciderait de poursuivre le projet aurait déjà les points sur lesquels ils doivent se concentrer et faire des

recherches pour arriver à quelque chose de fonctionnel et efficace. Ceci est le point marquant du projet que l'on a fait. Pour ce qui est des inconvénients de faire une éolienne avec un alternateur, il y a certainement les aimants que l'on devait coller sur le goujon. Cela a apporté des problèmes puisque des aimants ont une force d'attraction entre eux donc la colle n'était pas capable de contrer cette force et souvent les aimants finissaient par se coller et à se décoller. Certaines limites ont posé problème comme le manque de connaissances, le manque de budget ainsi que l'accès à du matériel plus optimal pour la conception de l'éolienne. C'est ainsi que l'on est arrivé avec ce résultat même si le projet a un potentiel énorme.

Suggestions et perspectives d'avenir : Une équipe pourrait vouloir continuer et améliorer notre projet. Pour cette équipe, il serait de s'intéresser à la création d'une éolienne fonctionnelle et vérifier notre hypothèse originale sur la capacité à récupérer un certain pourcentage de la puissance du vent pour le transformer en puissance électrique. Suite à nos échecs, nous avons trouvé la plupart des points qui font que notre éolienne ne fonctionne pas. Par exemple, notre bobinage de fil n'était pas optimal et n'avait pas la meilleure configuration pour créer un



Figure 7. Bobinage de l'alternateur de camion.

maximum de courant. Il serait intéressant d'utiliser le même type d'enroulement de fil que sur l'alternateur de camion que nous avons démonté (figure 7). Ce type d'enroulement est comme on le voit sur la photo ci-dessus, un enroulement qui n'est pas autour du rouleau de carton, mais bien en rond parallèle aux aimants. Plusieurs autres problèmes ont été trouvés qui aideraient une équipe à poursuivre notre projet comme la position du nord et du sud des aimants, de façon à faire varier le champ magnétique, les gros roulements à billes qui faisaient beaucoup trop de résistance. De plus, il faudrait faire des recherches sur une configuration plus optimale des aimants et du fil pour arriver à des résultats beaucoup plus

concluants. Tout cela serait réalisable, car en se basant sur certaines choses dont on a déjà expérimenté, on ne ferait pas les mêmes erreurs qui ont déjà été faites ce qui sauverait beaucoup de temps.

Remerciements : Nous tenons à remercier Jean Bédard, qui a été notre tuteur, qui a su croire en nous et qui nous a aidés tout au long de notre projet. Nous remercions également Jessica Maltais qui a su trouver tout le matériel nécessaire dans de brefs délais. On remercie Jean-Norbert Fournier de nous avoir donné des idées et des conseils face aux problèmes rencontrés. De plus, ce projet n'aurait pas pu avoir lieu sans le support de Steve Gamache, qui a donné des explications quant au projet et qui a pu être disponible durant les plusieurs semaines de travail. Un dernier remerciement à Martin Imbeault qui nous a filmés durant notre expérimentation.

Un remerciement spécial à HD Parts Chibougamau pour le don d'un alternateur de camion qui nous a aidés à comprendre le fonctionnement de ces derniers.

Médiagraphie :

- Internet 1 : WikiÉolienne. (2021). Étude théorique d'une éolienne. Document consulté le 9 février 2021. https://eolienne.f4jr.org/eolienne_etude_theorique
- Internet 2 : Tribe, C. (24 avril 2017). How to make an alternator. Document consulté le 13 février 2021. <https://sciencing.com/make-alternator-4740911.html>
- Internet 3 : Wikipédia. (2021). Champ magnétique. Document consulté le 8 mai 2021. https://fr.wikipedia.org/wiki/Champ_magn%C3%A9tique
- Internet 4 : Wikipédia. (2021). Loi de Lenz-Faraday. Document consulté le 6 mai 2021. https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Lenz-Faraday
- Séguin, M. (2010). *Électricité et magnétisme*. ERPI