

UFR SCIENCES ET TECHNIQUES  
LICENCE RENFORCÉE EN SCIENCE DE L'INGENIEUR

RAPPORT DU PROJET PERSONNEL DE RECHERCHE

---

# Conception d'un alternateur

---



FIGURE 1 – Schéma du phénomène d'induction

*Je souhaite remercier Mme Fremy pour son accompagnement, aide et patience tout le long de mon projet ainsi qu'à M.Biscaldi pour m'avoir prêter le matériel .*

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Théorie sur les alternateurs</b>	<b>2</b>
2.1	Principe de l'induction	2
2.2	Alternateur monophasé vs triphasé	3
2.2.1	Alternateur Monophasé	3
2.2.2	Alternateur Triphasé	3
2.2.3	Graphiques des tensions	3
2.2.4	Intérêt du triphasé	4
<b>3</b>	<b>Conception</b>	<b>5</b>
3.1	Rotor	5
3.2	Stator	5
<b>4</b>	<b>Calculs Théoriques</b>	<b>6</b>
4.1	Tension et fréquence attendues	6
4.1.1	Expression du flux magnétique	6
4.1.2	Tension induite instantanée	6
4.1.3	Forme finale de l'équation	7
4.2	Applications numériques	7
4.2.1	Calcul des paramètres	7
4.2.2	Calcul de la tension	8
4.2.3	Graphique des différentes tension induite	8
4.3	Lissage du courant	8
4.3.1	Pont de diodes triphasé	9
<b>5</b>	<b>Tests expérimentaux</b>	<b>9</b>
5.1	Branchement	9
5.1.1	Montage en étoile	10
5.2	Mesures relevées	12
5.2.1	Mesure des différentes phases	12
5.2.2	Mesure après lissage	13
<b>6</b>	<b>Piste d'amélioration</b>	<b>14</b>
6.1	Augmentation de la vitesse de rotation	14
6.2	Amélioration du bobinage	14
6.3	Amélioration du flux magnétique	14
6.3.1	Densité de flux magnétique	14
6.3.2	L'effet du doux sur un champ magnétique	14
<b>7</b>	<b>Conclusion</b>	<b>15</b>
<b>8</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>16</b>

# 1 Introduction

Dans un contexte où la production d'énergie renouvelable et décentralisée prend une place croissante, la conception et la fabrication d'un alternateur fait maison permet d'explorer concrètement les principes fondamentaux de l'électrotechnique et du magnétisme appliqué. Ce projet s'inscrit à la fois dans une démarche pédagogique et expérimentale.

## Objectifs du projet

L'objectif principal de ce projet est de concevoir, fabriquer et tester un alternateur triphasé artisanal capable de produire une tension alternative exploitable. Pour cela, plusieurs objectifs intermédiaires sont définis :

- Comprendre le fonctionnement théorique d'un alternateur et les phénomènes physiques associés (induction électromagnétique, flux, tension induite).
- Concevoir mécaniquement et électriquement un alternateur triphasé basé sur des aimants permanents et des bobines en cuivre.
- Réaliser une simulation électrique de l'alternateur à l'aide d'outils numériques.
- Construire physiquement le système à l'aide de matériaux simples.
- Effectuer des tests expérimentaux.
- Analyser les résultats expérimentaux et les comparer aux prévisions théoriques et simulées.
- Proposer des améliorations.

Dans un premier temps, ce rapport présente les bases théoriques nécessaires à la compréhension d'un alternateur, en expliquant les principes physiques comme l'induction électromagnétique, ainsi que les différences entre les systèmes monophasés et triphasés. Il introduit également les choix structurels retenus pour la conception du modèle réalisé.

Dans un second temps, seront exposés les résultats théoriques et expérimentaux. Nous verrons comment passer d'un courant triphasé à un courant continu utilisable.

Dans un troisième temps, le rapport propose des pistes d'amélioration et évoque quelques exemples d'utilisations possibles de l'alternateur dans des applications concrètes.

## 2 Théorie sur les alternateurs

### 2.1 Principe de l'induction

Le principe d'induction électromagnétique, découvert par Faraday, décrit la génération d'une tension électrique lorsqu'un conducteur est soumis à une variation de flux magnétique. Dans le cas d'un alternateur, ce phénomène est exploité en faisant tourner un ensemble d'aimants permanents devant des bobines de cuivre : la variation du champ magnétique à travers les spires induit une tension alternative.

Plus précisément, la tension induite  $e(t)$  dans une spire est proportionnelle à la dérivée temporelle du flux magnétique  $\Phi(t)$  qui la traverse :

$$e(t) = -\frac{d\Phi(t)}{dt}$$

Ce phénomène est à la base du fonctionnement de tous les alternateurs, qu'ils soient industriels ou artisanaux. La variation du flux peut être obtenue soit par le déplacement du champ (rotor tournant), soit par la rotation de la bobine elle-même. Dans notre cas, ce sont les aimants fixés sur le rotor qui tournent devant des bobines statiques.

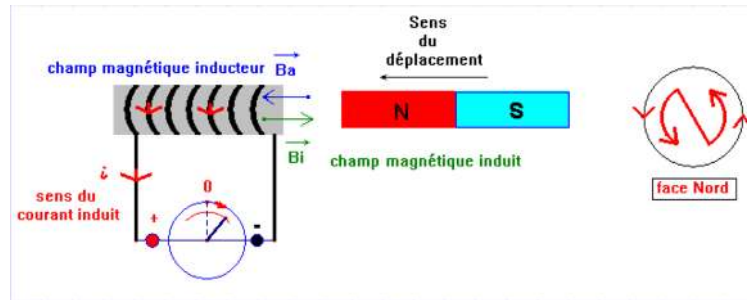


FIGURE 2 – Schéma du phénomène d'induction

## 2.2 Alternateur monophasé vs triphasé

### 2.2.1 Alternateur Monophasé

Comme son nom l'indique l'alternateur monophasé génère une tension monophasée. De manière générale les bobine du stator sont branchée entre elles cela donne une tension alternative :

$$e(t) = E_{\max} \sin(\omega t)$$

### 2.2.2 Alternateur Triphasé

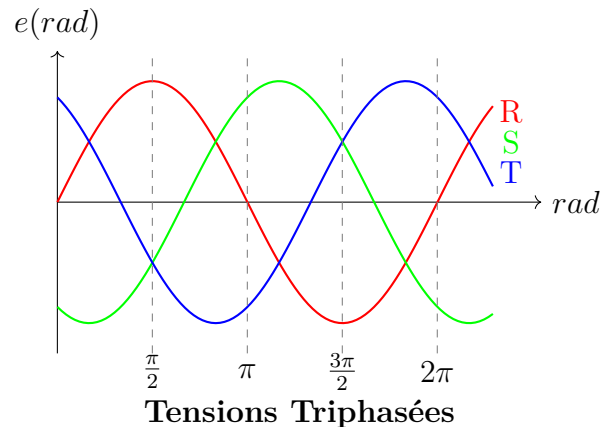
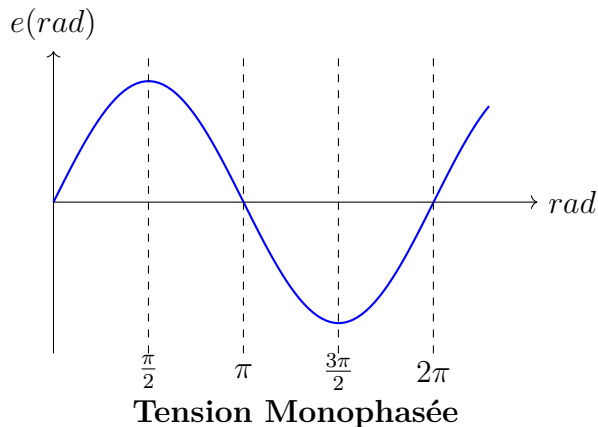
A la différence de l'alternateur monophasé, l'alternateur triphasé possède trois bobines décalés de  $120^\circ$  dans l'espace, générant trois tensions déphasées de  $120^\circ$  :

$$e_1(t) = E_{\max} \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$e_2(t) = E_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2)$$

$$e_3(t) = E_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \quad (3)$$

### 2.2.3 Graphiques des tensions



### 2.2.4 Intérêt du triphasé

Comme on a pu le voir plutôt le signal triphasé est constitué de 3 phases déphasées de  $120^\circ$  cela implique différentes contraintes mais génère certains avantages. En effet le signal triphasé engendre plus de câblage étant donné que nous avons trois "générateur" de tension donc 6 câbles comme le montre la figure 2

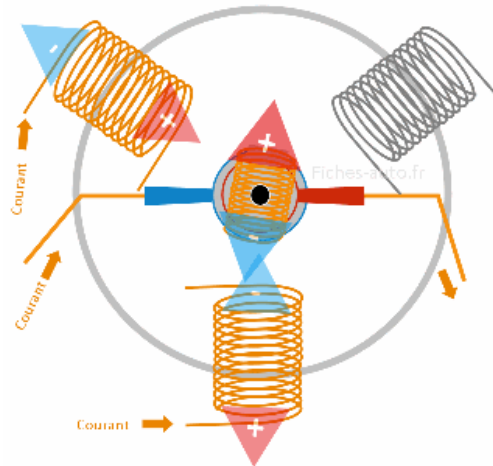


FIGURE 3 – Schéma d'un alternateur triphasé

Mais grâce à un certain type de câblage que l'on verra plus tard on peut réduire ce nombre de câbles nécessaire à 4 voir 3 dans certaines configurations. Cela permet d'avoir 3 fois plus de puissance qu'un signal monophasé pour un câble de plus. En effet le signal triphasé permet une puissance plus constante comme on peut le voir ci-dessous :

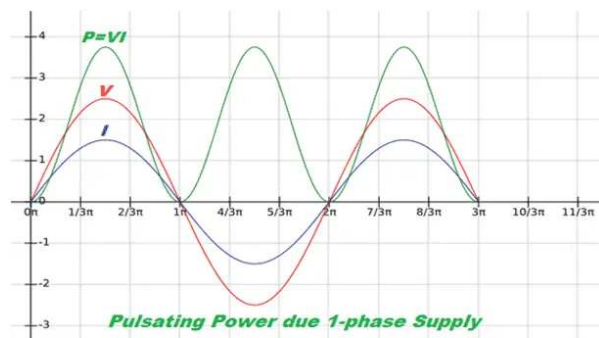


Figure (C)

FIGURE 4 – Graphique de la puissance d'un signal monophasé

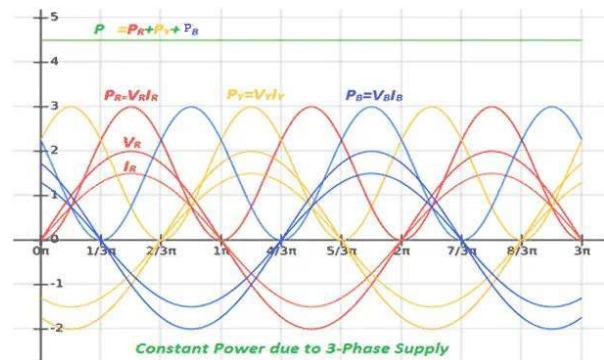


Figure (D)

FIGURE 5 – Graphique de la puissance d'un signal triphasé

Un autre avantage est que lors du transport de ces tensions pour une même puissance il faudrait des câbles plus épais pour le monophasé étant donné que pour le triphasé la puissance sera répartie entre les trois fils.

## 3 Conception

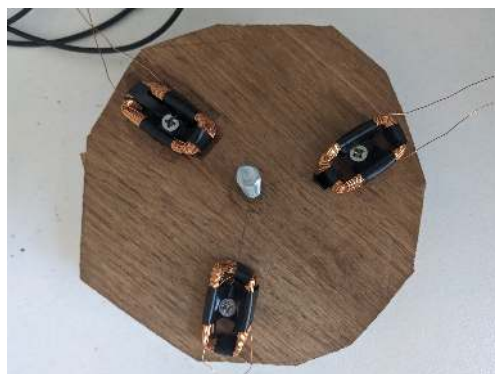
### 3.1 Rotor

Le rotor est la partie tournante de l'alternateur et est chargé de faire varier le flux magnétique. Il est composé d'un disque de 8cm de diamètre fait en bois avec 4 aimant N45 de dimension 30x10x4 mm écarté de 90° collé à lui.



### 3.2 Stator

Le stator est un disque de même dimension que le rotor fait en bois avec des bobine de 200 spire de dimension 40x10mm ,disposé a 120° l'un de l'autre. C'est la pièce permettant de générer un courant alternatif grâce au phénomène d'induction.



## 4 Calculs Théoriques

### 4.1 Tension et fréquence attendues

Dans un alternateur, la tension induite dans une bobine résulte de la variation du flux magnétique selon la loi de Faraday-Lenz.

La tension électromotrice (f.é.m.) induite dans une bobine est donnée par :

$$e(t) = -\frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (4)$$

où :

- $e(t)$  : tension induite instantanée (V)
- $\Phi(t)$  : flux magnétique traversant la bobine (Wb)
- $t$  : temps (s)

#### 4.1.1 Expression du flux magnétique

Pour une bobine de  $N$  spires dans un champ magnétique uniforme :

$$\Phi(t) = N \cdot B \cdot S \cdot \cos(\theta(t)) \quad (5)$$

Dans un alternateur rotatif à vitesse angulaire constante  $\omega$  :

$$\theta(t) = \omega t + \phi_0 \quad (6)$$

Donc :

$$\Phi(t) = N \cdot B \cdot S \cdot \cos(\omega t + \phi_0) \quad (7)$$

où :

- $N$  : nombre de spires de la bobine
- $B$  : induction magnétique (T)
- $S$  : surface de la spire ( $\text{m}^2$ )
- $\omega$  : vitesse angulaire de rotation (rad/s)
- $\phi_0$  : phase initiale (rad)

#### 4.1.2 Tension induite instantanée

En appliquant la loi de Faraday :

$$e(t) = -\frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (8)$$

$$= -\frac{d}{dt}[N \cdot B \cdot S \cdot \cos(\omega t + \phi_0)] \quad (9)$$

$$= -N \cdot B \cdot S \cdot (-\omega) \cdot \sin(\omega t + \phi_0) \quad (10)$$

$$= N \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + \phi_0) \quad (11)$$



### 4.1.3 Forme finale de l'équation

$$e(t) = E_{\max} \sin(\omega t + \phi_0) \quad (12)$$

avec :

$$E_{\max} = N \cdot B \cdot S \cdot \omega \quad (13)$$

Sachant que  $\omega = 2\pi f$  :

$$e(t) = 2\pi f \cdot N \cdot B \cdot S \cdot \sin(2\pi f t + \phi_0) \quad (14)$$

## 4.2 Applications numériques

On prend une vitesse de 100 rpm étant une vitesse atteignable pour un personne le tournant a la main.

- $N = 200$  spires
- Dimensions des spires :  $40 \times 10$  mm
- Aimant N45 (néodyme)
- Vitesse de rotation : 100 rpm

### 4.2.1 Calcul des paramètres

#### 1. Surface d'une spire :

$$S = \text{longueur} \times \text{largeur} \quad (15)$$

$$= 40 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{-3} \quad (16)$$

$$= 40 \times 10^{-3} \times 10^{-2} \quad (17)$$

$$= 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (18)$$

**2. Induction magnétique de l'aimant N45 :** L'aimant néodyme N45 a une induction résiduelle typique :

$$B_r = 1.32 \text{ T} \quad (19)$$

Dans l'entrefer d'un alternateur, on considère généralement :

$$B \approx 0.8 \times B_r = 0.8 \times 1.32 = 1.056 \text{ T} \quad (20)$$

#### 2. Fréquence :

Lorsqu'un rotor effectue un tour complet, chaque paire de pôles (Nord-Sud) génère un cycle électrique complet. Ainsi, si la machine possède  $p$  pôles, soit  $\frac{p}{2}$  paires de pôles, alors à chaque tour du rotor, il y a :

$$\text{Nombre de cycles électriques par tour} = \frac{p}{2}$$

Si la vitesse de rotation du rotor est de  $n$  tours par minute (tr/min), alors le nombre total de cycles par minute est :

$$\text{Cycles par minute} = n \times \frac{p}{2}$$

#### 3. Conversion en hertz (Hz)

La fréquence  $f$  en hertz correspond au nombre de cycles par seconde. Or, une minute contient 60 secondes, donc :

$$f = \frac{n \cdot \frac{p}{2}}{60} = \frac{n \cdot p}{120} = 4 \times \frac{100}{120} = 3.33 \text{ Hz}$$

#### 4.2.2 Calcul de la tension

Amplitude maximale de la tension :

$$E_{\max} = N \cdot B \cdot S \cdot \omega \quad (21)$$

$$= 200 \times 1.056 \times 4 \times 10^{-4} \times 2 \times \pi \times 3.33 \quad (22)$$

$$= 200 \times 1.056 \times 4 \times 10^{-4} \times 2 \times \pi \times 3.33 \quad (23)$$

$$= 1.7 \text{ V} \quad (24)$$

Valeur efficace :

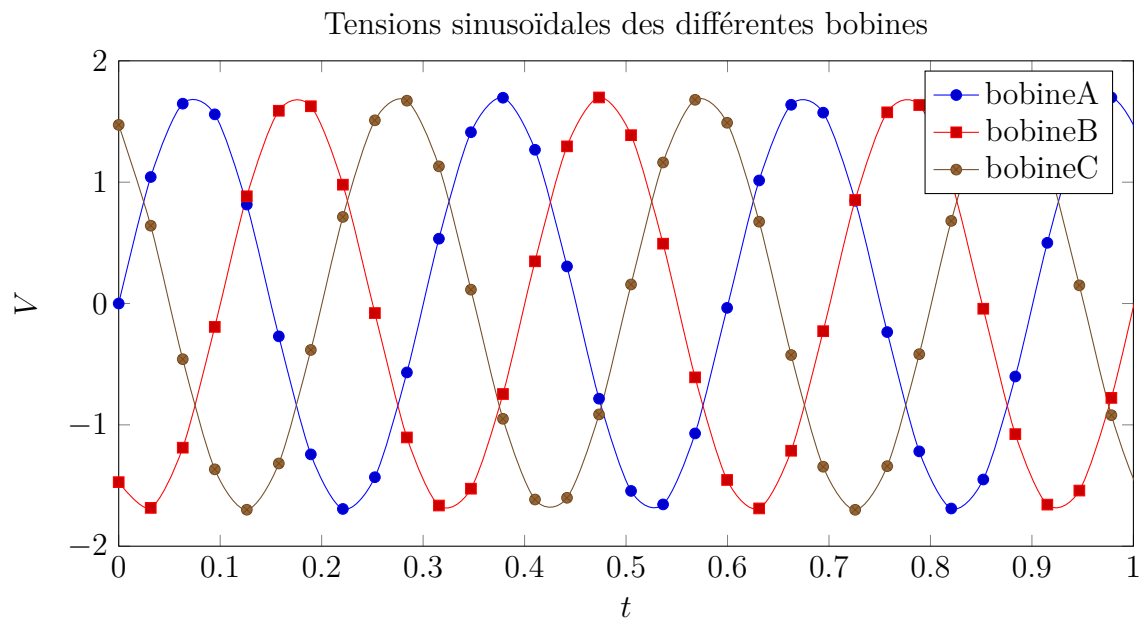
$$E_{\text{eff}} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (25)$$

$$= \frac{1.7}{\sqrt{2}} \quad (26)$$

$$= \frac{1.7}{1.414} \quad (27)$$

$$= 1.2 \text{ V} \quad (28)$$

#### 4.2.3 Graphique des différentes tension induite



### 4.3 Lissage du courant

Dans un système triphasé, chaque phase fournit une tension sinusoïdale décalée de  $120^\circ$  par rapport aux deux autres. On aura donc 3 tensions alternatives. Nous allons voir comment passer de ces trois tensions alternatives à une tension continu utilisable.

### 4.3.1 Pont de diodes triphasé

Le pont de diodes triphasé est un composant essentiel dans la conversion de la tension alternative triphasée en tension continue. Il est constitué de six diodes connectées de manière à rediriger les tensions les plus élevées et les plus basses des trois phases vers la sortie continue.

À chaque instant, deux des trois phases sont actives dans le transfert d'énergie : celle qui a la tension la plus élevée est connectée à la sortie positive, et celle qui a la tension la plus basse est connectée à la sortie négative. Cette commutation automatique entre les diodes permet de redresser la tension de manière continue sans interruption, ce qui rend la tension en sortie bien plus stable qu'en monophasé.

Le redressement triphasé permet d'obtenir une tension avec peu d'ondulations et une fréquence d'ondulation triple de celle d'un système monophasé. Cela simplifie ensuite le lissage de la tension via un condensateur.

Le schéma suivant montre la configuration classique d'un pont de diodes triphasé :

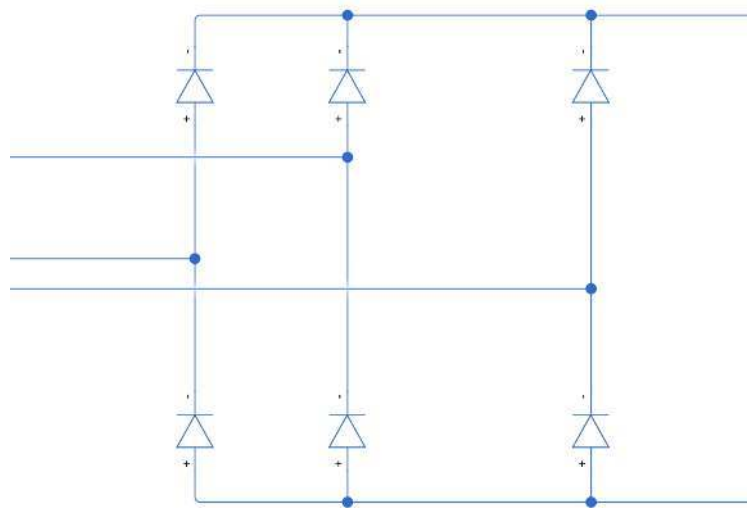


FIGURE 6 – Schema d'un pont de diode triphasé

Les fils entrants étant les différentes phases.

## 5 Tests expérimentaux

### 5.1 Branchement

Il existe deux types de branchement pour un alternateur triphasée : le branchement en triangle ou en étoiles(ou en Y). Les 2 possèdent des avantages et inconvénient.

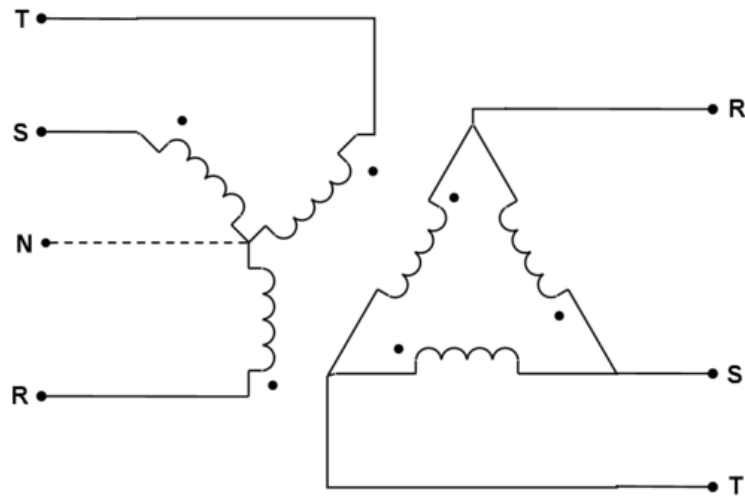


FIGURE 7 – Schema du montage en étoile(à gauche) et du montage en triangle(à droite)

Dans notre cas le montage en étoile sera préféré car plus adéquat car il permet de multiplier la tension entre deux phases par  $\sqrt{3}$ .

#### 5.1.1 Montage en étoile

Dans cette section nous allons voir pourquoi le montage en étoile multiplie la tension entre phases par  $\sqrt{3}$  : Le montage en étoile est, dans notre cas composé de 3 bobine ,relié en un fil de retour, appelé fil neutre portant la somme des trois courant. La figure 4 représente de façon schématique, le diagramme vectoriel des 3 tensions induites

On suppose que leur valeur efficace soit  $E_{LN}$ . Quelle est alors la valeur des tensions entre les bornes a, b et c ?

D'après la première loi de Kirchhoff, et en suivant la boucle dans le sens horaire, on peut écrire l'équation suivante :

$$E_{ab} + E_{bn} + E_{na} = 0 \quad (29)$$

$$\Rightarrow E_{ab} = -E_{bn} - E_{na} \quad (30)$$

$$\Rightarrow E_{ab} = E_{an} - E_{bn} \quad (31)$$

Cette somme vectorielle donne le vecteur  $E_{ab}$  montré à la figure. Il est en avance de  $30^\circ$  sur le vecteur  $E_{an}$  et sa valeur efficace  $E_L$  est donnée par :

$$E_L = 2 \cdot E_{LN} \cdot \cos 30^\circ \quad (32)$$

$$E_L = 2 \cdot E_{LN} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cdot E_{LN} \quad (33)$$

Le diagramme vectoriel complet se trouve sur la figure d.

On peut donc écrire :

$$E_L = \sqrt{3} \cdot E_{LN}$$

- $E_L$  = tension entre les lignes en Volt
- $E_{LN}$  = tension entre les lignes et le neutre en Volt

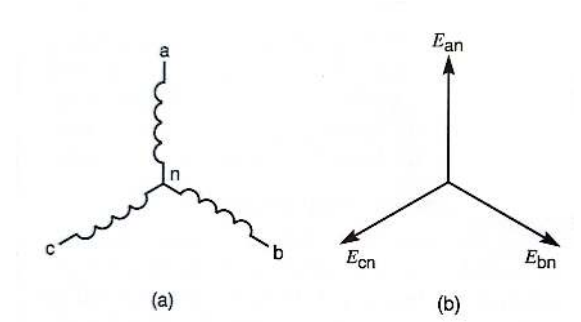


FIGURE 8 – Schéma vectoriel du montage en étoile

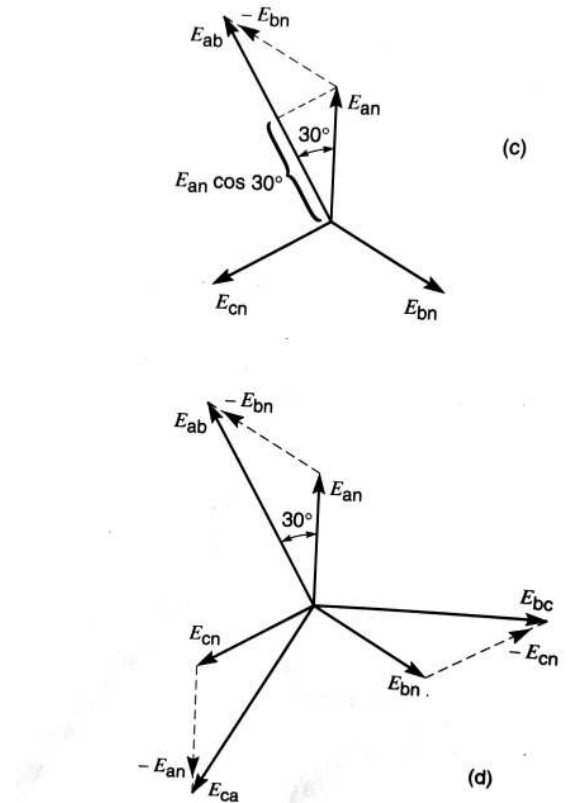
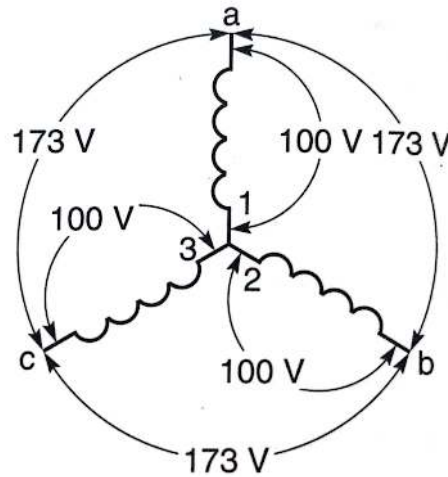


FIGURE 9 – Projection de  $E_{ab}$  sur  $E_{an}$

FIGURE 10 – Graphique récapitulatif des tension pour  $E_{LN} = 100 \text{ V}$ 

## 5.2 Mesures relevées

### 5.2.1 Mesure des différentes phases

Nous appliquons le montage en étoile et nous mesurons avec un oscilloscope la tension des phases :

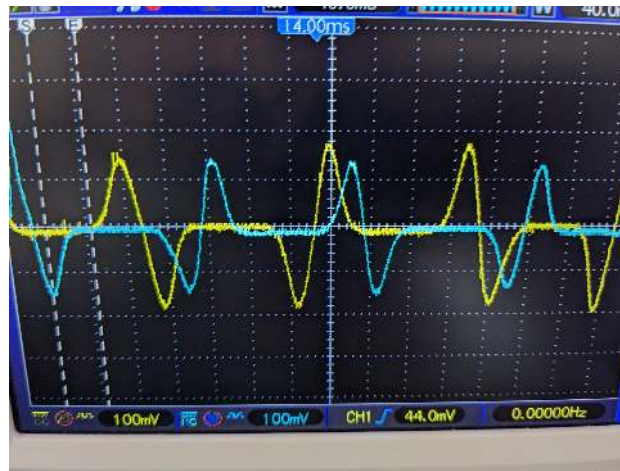


FIGURE 11 – Graphique des phases après expérimentation

Comme on peut le voir les différentes phases, bien qu'avec un déphasage cohérent de  $120^\circ$ , ne sont totalement égales cela est sûrement dû à la confection des bobines qui ne sont pas de diamètre ou n'ont pas le même nombre de spires. On peut voir aussi que la tension maximale des phases ne correspond pas aux calculs théoriques. Surtout on remarque que la courbe n'est pas totalement sinusoïdale en effet cela est dû au manque de champ magnétique à ce temps  $t$  là je renvoie à la photo du rotor où nous pouvons voir un manque d'aimant qui implique une tension proche de zéro

### 5.2.2 Mesure après lissage

Comme l'alternateur ne produit que très peu de tension on ne peut pas le tester manuellement car les diodes ont une résistance interne trop grande et donc on ne mesure rien. C'est pour cela que l'on fera une simulation Simulink avec la bibliothèque Simscape pour paramétrer les diodes avec des résistances internes proches de zéro.

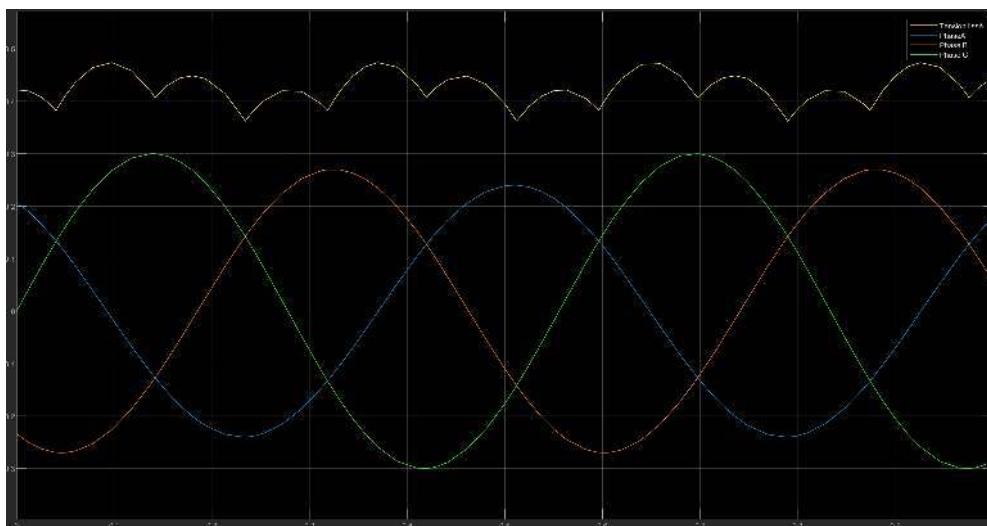


FIGURE 12 – Graphique des phases après lissage

On voit que la tension est redressée mais reste variable on peut arranger cela avec un condensateur.

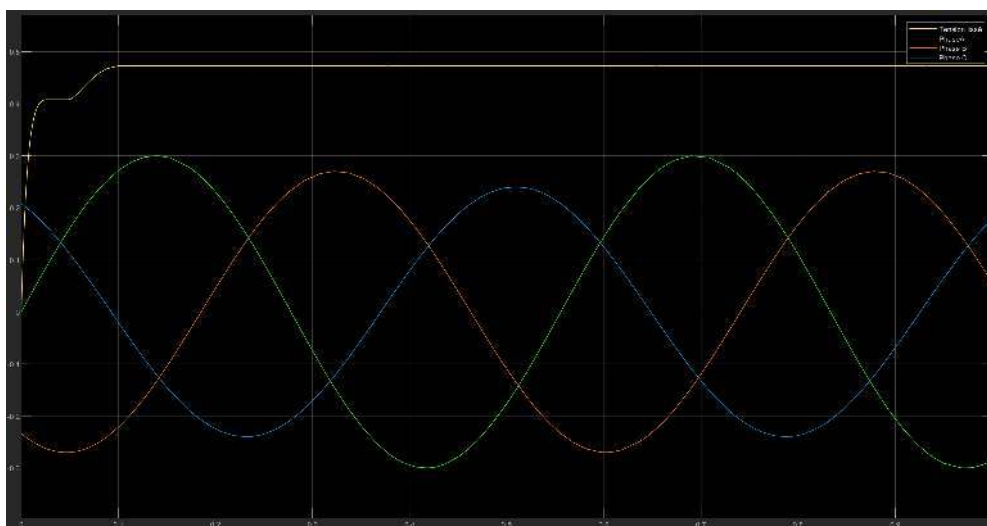


FIGURE 13 – Graphique avec un condensateur ( $C=0.01$  F )

Après lissage on se retrouve avec une tension continue d'environ 0.47 mV. On remarque que l'on a bien une augmentation de la tension d'un facteur d'environ  $\sqrt{3}$  grâce au montage en étoile.

## 6 Piste d'amélioration

Comme on peut le constater l'alternateur est très peu puissant, voir inutilisable. Dans cette partie nous allons voir comment optimiser l'alternateur en nous servant de l'équation précédemment trouvé, pour rappel :

$$e(t) = w \cdot N \cdot B \cdot S \cdot \sin(2\pi ft + \phi_0) \quad (34)$$

- $N$  : nombre de spires de la bobine
- $B$  : induction magnétique (T)
- $S$  : surface de la spire ( $\text{m}^2$ )
- $\omega$  : vitesse angulaire de rotation (rad/s)
- $\phi_0$  : phase initiale (rad)

Nous allons voir comment augmenter la tension induite :

### 6.1 Augmentation de la vitesse de rotation

Une première piste concerne l'augmentation de la vitesse de rotation  $w$  en effet plus la vitesse est grande plus la tension maximale le sera. Pour augmenter la vitesse on pourrait, par exemple, attacher un moyeu de vélo au rotor. Nous pourrions aussi attacher un multiplicateur grâce à des engrenage.

### 6.2 Amélioration du bobinage

L'enroulement des bobines peut aussi être optimisé. L'usage d'un fil de cuivre émaillé de meilleure qualité, d'un plus grand diamètre  $S$ , et d'un plus grand nombre de spires  $N$  contribueraient à l'augmentation de la tension.

### 6.3 Amélioration du flux magnétique

L'amélioration du flux magnétique  $\Phi$  passe par la compréhension de la densité de flux magnétique  $B$  :

#### 6.3.1 Densité de flux magnétique

Lorsqu'on a un aimant permanent entre nos mains on remarque que la force d'attraction sur un morceau de fer croît à mesure que l'on approche un des pôles de l'aimant. D'autre part on sait que les lignes de flux sont plus serrées près de cette zone. On est donc amené à la conclusion que la concentration des lignes de force est une mesure de la densité du champ. Plus le champ sera dense, plus le nombre de lignes dans un espace donné sera grand.

Maintenant qu'on sait que la densité de flux magnétique  $B$  est la concentration des lignes de force d'un aimant dans un espace donné, comment on dirige ces lignes de champs pour optimiser le système.

#### 6.3.2 L'effet du doux sur un champ magnétique

Un barreau de fer doux placé au voisinage d'un aimant acquiert temporairement les propriétés d'un aimant tel que :



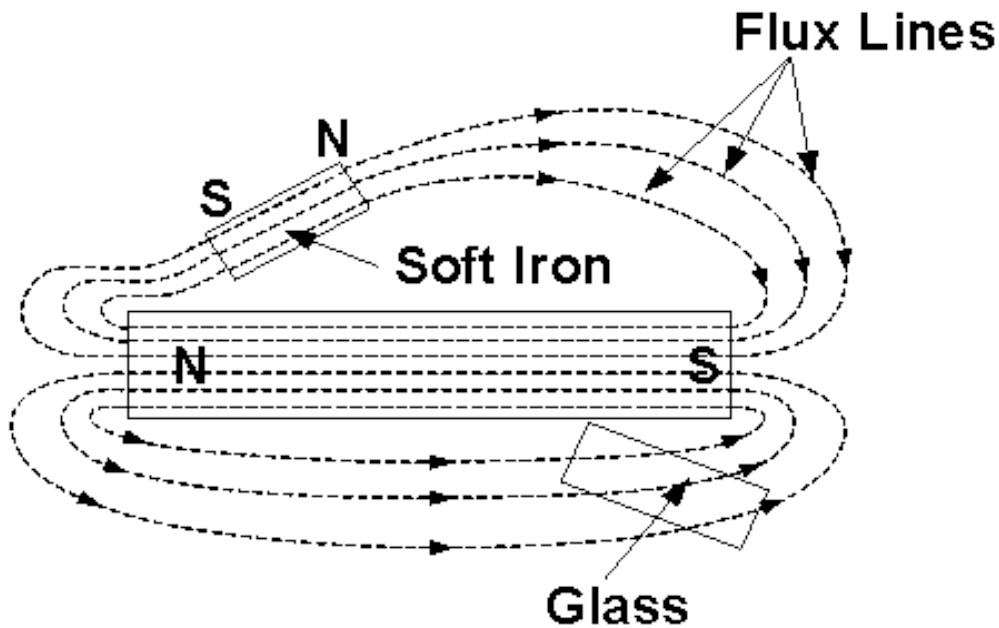


FIGURE 14 – Schema des lignes de champ d’un aimant à travers du fer doux et du verre.

Comme on peut le voir les lignes de champs sont attirés par le fer doux, on peut utiliser ce principe en mettant un morceau de fer doux dans une bobine pour favoriser le flux magnétique à travers et ainsi augmenter la tension induite.

## 7 Conclusion

Ce projet d’alternateur triphasé fait maison a permis d’explorer de manière concrète les principes fondamentaux de l’électromagnétisme et de la conversion d’énergie mécanique en énergie électrique. À travers l’étude théorique, la conception, la fabrication et les expérimentations, on a vu qu’il était possible de valider le fonctionnement d’un alternateur simple basé sur l’induction électromagnétique. De plus nous avons abordé pourquoi le triphasé est aussi utilisé ainsi que comment avoir un courant continu à partir d’un courant triphasé.

La théorie a montré que la tension induite était proportionnelle à la vitesse de rotation ce qu’on a pu démontrer. Mais les formes d’ondes mesurées supposées sinusoïdale ne le sont pas à cause d’un manque de champ magnétique au niveau du rotor même si de grande vitesse permettent de pallier à ce défaut. On a pu voir que ce prototype possède beaucoup de problèmes et nous avons proposé différentes pistes d’amélioration qui vont nous être utiles lors de la conception d’un futur alternateur.

## 8 Bibliographie

### Références

- [1] Théodore Wildi, *Électrotechnique*, De Boeck Université, 2010. Disponible en ligne : [http://mediatheque.accesmad.org/educmad/pluginfile.php/59800/mod\\_resource/content/1/Alternateur%20triphas%C3%A9.pdf](http://mediatheque.accesmad.org/educmad/pluginfile.php/59800/mod_resource/content/1/Alternateur%20triphas%C3%A9.pdf)
- [2] *Alternateur triphasé*, AccèsMAD, [http://mediatheque.accesmad.org/educmad/pluginfile.php/59800/mod\\_resource/content/1/Alternateur%20triphas%C3%A9.pdf](http://mediatheque.accesmad.org/educmad/pluginfile.php/59800/mod_resource/content/1/Alternateur%20triphas%C3%A9.pdf), consulté en juin 2025.
- [3] Electrical4U, *Advantages of Three Phase System over Single Phase System*, [https://www.electrical4u.com/advantages-of-three-phase-system-over-single-phase-system/#google\\_vignette](https://www.electrical4u.com/advantages-of-three-phase-system-over-single-phase-system/#google_vignette), consulté en juin 2025.
- [4] User sur Physics Stack Exchange, *Magnetic field lines within the cylindrical soft iron core within a galvanometer*, <https://physics.stackexchange.com/questions/455229/magnetic-field-lines-within-the-cylindrical-soft-iron-core-within-a-galvanometer>, 2018, consulté en juin 2025.
- [5] Baplab, *Chaîne YouTube – Bobines et générateurs*, <https://www.youtube.com/@baplab5494>, consulté en juin 2025.