

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail  
DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

OFPPT

**SECTEUR ELECTROTECHNIQUE**

# **RESUMES DE THEORIE ET TRAVAUX PRATIQUES**

**Module n° 11:**

**PRINCIPES DE MOTEURS ET DE  
GÉNÉRATRICES A C.A.**

**Spécialité :**

**ÉLECTRICITÉ D'ENTRETIEN  
INDUSTRIEL**

**Niveau :**

***Qualification***

**ANNÉE : 2001**

## PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : [www.marocetude.com](http://www.marocetude.com)

Pour cela visiter notre site [www.marocetude.com](http://www.marocetude.com) et choisissez la rubrique :

### MODULES ISTA



The screenshot shows the website interface for Maroc Etude.Com. At the top, a navigation bar contains the following links: HOME, LIVRES, **MODULES ISTA**, ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, and SE CONNECTER. Below the navigation bar is the site's logo, "Maroc Etude.Com", and the tagline "Connaissance - Métier - Technique". A secondary navigation bar includes links for "Annonces Google", "Emploi Maroc", "Messagerie", "Telecharger Un Jeu", and "Maroc Annonces". A search bar is located on the right side of the page.

The main content area is divided into three columns:

- Left Column:** Contains a notification "Nous avons 14 invités en ligne", a list of links under "Annonces Google" (Annonces Google, Annonces Emploi Maroc, Jeux Telecharger Gratuit, Jeux PC En Ligne), and a "Connexion" section with a login form. The login form includes fields for "Identifiant" (containing "sniper") and "Mot de passe", a "Se souvenir de moi" checkbox, and a "Connexion" button. Below the form are links for "Mot de passe oublié ?" and "Identifiant oublié ?".
- Center Column:** Features a promotional banner for "MacKeeper" with a "-20%" discount. The text reads: "Notre Bibliothèque que ...Livres à Télé charger Gratuitement", "MacKeeper -20%", "Complete your Purchase Now and save 20% Guaranteed with this Coupon Code", and "Apply Discount Automatically". It also includes a quote: "On ne jouit bien que de ce qu'on partage" [Madame de Genlis].
- Right Column:** Contains a "recherche..." search bar and a list of links under "Annonces Google": "Jeu De Jeux", "Jeux Sur Internet", "Ecole Ingénieur", "Dépanner et configurer votre réseau à domicile (Outil de Diagnostic)", "Wi-Fi / Ethernet", "Console de jeu", "Imprimante", and "Messagerie".

## Remerciements

La DRIF remercie les personnes qui ont participé ou permis l'élaboration de ce Module (*Principe de moteurs et de génératrices à c.a.*).

### Pour la supervision

- M. Mustapha ESSAGHIR : Chef de la Division Modes et Méthodes de Formation
- M. Brahim KHARBOUCH : Chef de projet marocain PRICAM-RGE
- M. René LAPIERRE : Chef de projet canadien PRICAM-RGE
- M. Jocelyn BERTRAND : Expert canadien

### Pour l'élaboration

- Mme Najat FARHANE – Responsable CFF/Électrotechnique(ISIC)
- Mme Carmen DINCA – Formatrice au CFF/Électrotechnique(ISIC)
- Mme Naima EL KORNO – Formatrice au CFF/Électrotechnique(ISIC)
- Mme Meryem SKALI – Formatrice au CFF/Électrotechnique(ISIC)
- M. A. EL YAKOUTI – Formateur au CFF/Électrotechnique(ISIC)

### Pour le secrétariat

- Melle Fatima Zahra MOUTAWAKIL

**Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.**

**Mme EL ALAMI**

**DRIF**

# SOMMAIRE

Présentation du module Page 4

Contenu du document Page 10

- Projet synthèse
- Résumés de théorie des :
  - Objectifs opérationnels de premier niveau et leur durée
  - Objectifs opérationnels de second niveau et leur durée
- Exercices pratiques des:
  - Objectifs opérationnels de premier niveau et leur durée
  - Objectifs opérationnels de second niveau et leur durée

## PRESENTATION OU PREAMBULE

L'étude du module 11 : *Principe de moteurs et de génératrices à c.a.* permet d'acquérir les savoirs, savoirs-faire et savoirs-être nécessaires à la maîtrise de la compétence.

Ce résumé de théorie et recueil de travaux pratiques est composé des éléments suivants :

Le projet synthèse faisant état de ce que le stagiaire devra **savoir-faire** à la fin des apprentissages réalisés dans ce module, est présenté en début du document afin de bien le situer. La compréhension univoque du projet synthèse est essentielle à l'orientation des apprentissages.

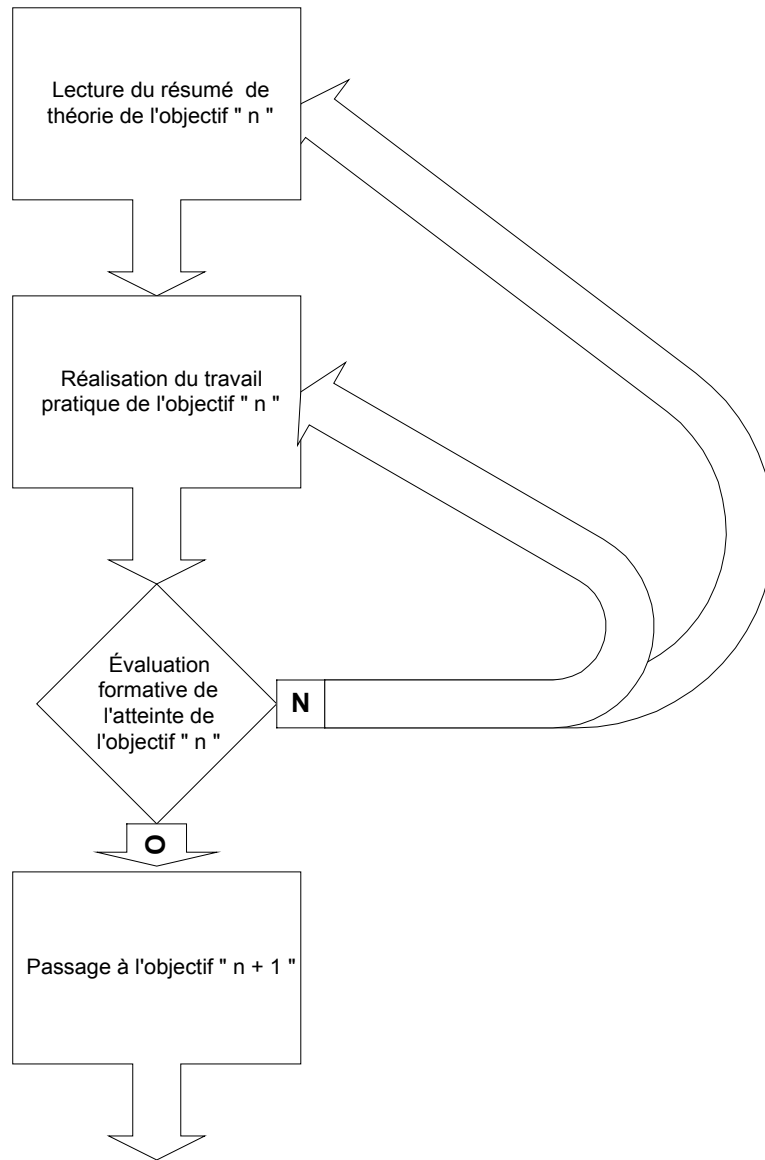
Viennent ensuite, les résumés de théorie suivis de travaux pratiques à réaliser pour chacun des objectifs du module.

Les objectifs de second niveau (les préalables) sont identifiés par un préfixe numérique alors que les objectifs de premier niveau (les précisions sur le comportement attendu) sont marqués d'un préfixe alphabétique.

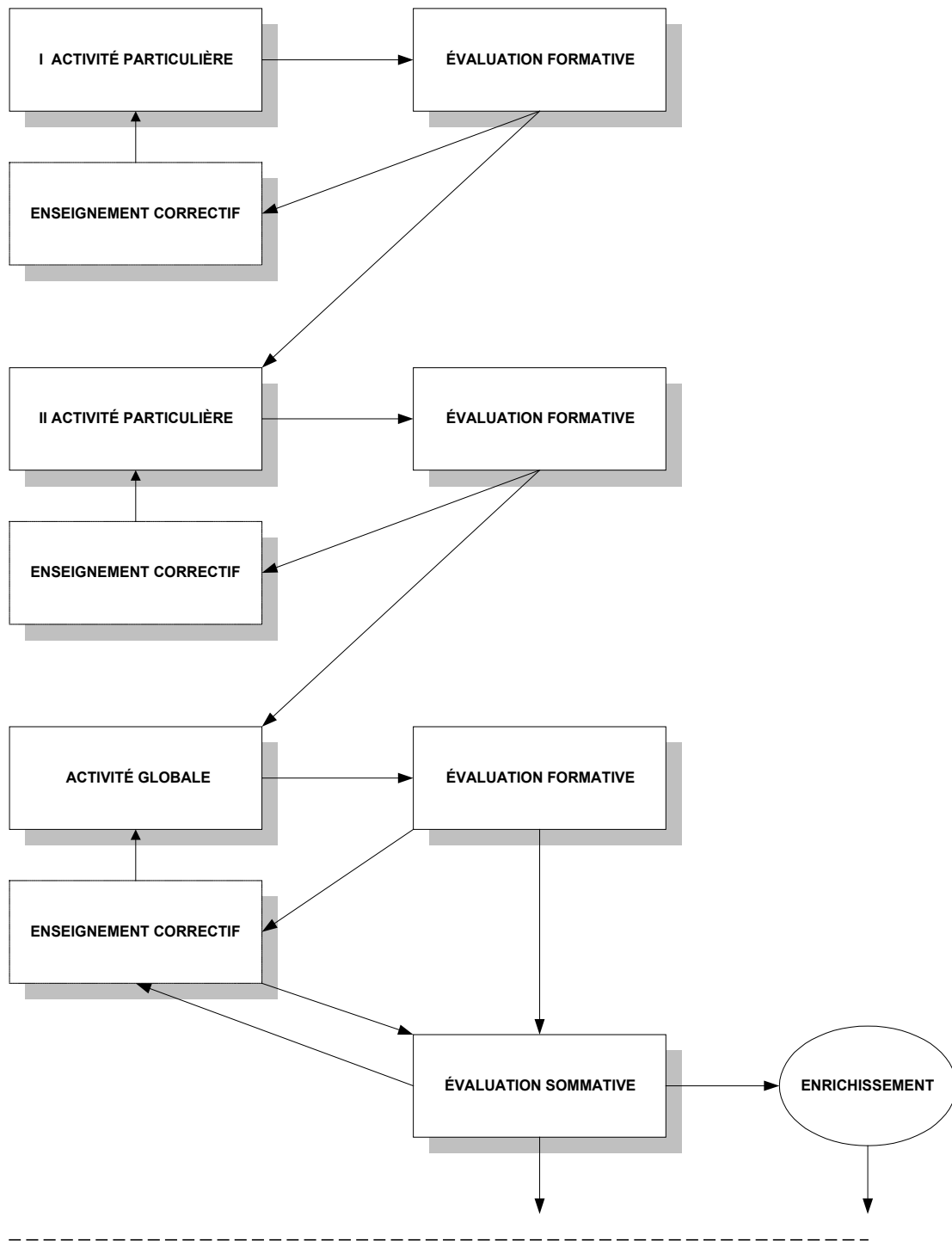
Le concept d'apprentissage repose sur une pédagogie de la réussite qui favorise la motivation du stagiaire, il s'agit donc de progresser à petits pas et de faire valider son travail.

Les apprentissages devraient se réaliser selon les schémas représentés aux pages qui suivent :

## SCHÉMA D'APPRENTISSAGE D'UN OBJECTIF



## SCHÉMA DE LA STRATÉGIE D'APPRENTISSAGE



## **MODULE 11 : PRINCIPE DE MOTEURS ET DE GENERATRICES A C.A.**

**Code :**

**Durée : 60 h**

### **OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT**

#### **COMPORTEMENT ATTENDU**

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit **appliquer les principes de fonctionnement de moteurs et de génératrices à c.a.** selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

#### **CONDITIONS D'ÉVALUATION**

- Travail individuel.
- À partir de directives.
- À l'aide :
  - de l'outillage;
  - des instruments de mesure;
  - d'un moteur et d'une génératrice c.a.;
  - de l'équipement de protection individuelle;
  - de la documentation technique.

#### **CRITÈRES GÉNÉRAUX DE PERFORMANCE**

- Respect des règles de santé et de sécurité et des mesures de protection individuelle et collective.
- Respect des directives.
- Respect des techniques de travail.
- Travail soigné et propre.
- Respect de l'environnement et de l'aménagement.

(à suivre)



**OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU  
DE COMPORTEMENT(suite)**

**PRÉCISIONS SUR LE  
COMPORTEMENT ATTENDU**

**CRITÈRES PARTICULIERS  
DE PERFORMANCE**

- |                                                           |                                  |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|
| A. Expliquer le fonctionnement des alternateurs.          | - Exactitude des explications.   |
| B. Appliquer les lois du magnétisme pour l'effet moteur.  | - Application correcte des lois. |
| C. Expliquer le fonctionnement des moteurs à c.a.         | - Exactitude des explications.   |
| D. Déterminer la puissance consommée par un moteur à c.a. | - Respect de la méthode.         |

## OBJECTIFS OPÉRATIONNELS DE SECOND NIVEAU

LE STAGIAIRE DOIT MAÎTRISER LES SAVOIRS, SAVOIR-FAIRE, SAVOIR PERCEVOIR OU SAVOIR ÊTRE JUGÉS PRÉALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE :

### **Avant d'apprendre à expliquer le fonctionnement des alternateurs (A) :**

1. Identifier les différentes parties d'un alternateur ainsi que leurs rôles.
2. Décrire les caractéristiques des alternateurs.
3. Distinguer les classes d'alternateurs selon leur construction.
4. Différencier les modes d'excitation des alternateurs.
5. Identifier les facteurs qui déterminent la fréquence et la tension de sortie d'un alternateur.
6. Distinguer les principaux types d'alternateurs selon leur construction.
7. Distinguer les modes de couplage des alternateurs.

### **Avant d'apprendre à appliquer les lois du magnétisme pour l'effet moteur (B) :**

8. Expliquer les lois du magnétisme en rapport avec l'effet moteur.
9. Expliquer la règle de la main gauche.

### **Avant d'apprendre à expliquer le fonctionnement des moteurs à c.a. (C) :**

10. Caractériser le fonctionnement des moteurs à c.a.
11. Identifier les facteurs qui déterminent la vitesse synchrone des moteurs à c.a.
12. Distinguer les principaux types de moteurs à c.a. et leurs modes de fonctionnement.

### **Avant d'apprendre à déterminer la puissance d'un moteur à c.a. (D) :**

13. Définir le rendement d'un moteur à c.a.
14. Identifier les sources de pertes qui affectent le rendement des moteurs à c.a.
15. Calculer la puissance consommée par un moteur à c.a.

**PROJET SYNTHESE**

Le stagiaire doit expliquer le fonctionnement des moteurs et génératrices à c.a., appliquer les lois du magnétisme pour l'effet moteur et déterminer la puissance consommée par un moteur à c.a.

**OBJECTIF : N°1**

**DURÉE : 1.8H**

---

- **Objectif poursuivi** : Identifier les différentes parties d'un alternateur, ainsi que leurs rôles.

- **Description sommaire du contenu** :

**Ce résumé théorique comprend** : la présentation des éléments constituant d'un alternateur, tel que : stator (induit), rotor (inducteur) balais et bagues.

- **Lieu de l'activité** : En classe et atelier.

- **Directives particulières** :

**OBJECTIF : N°1****DURÉE : 1.8H**

L'alternateur est composé d'un inducteur et d'induit.

Le plus souvent on a :

**Stator = induit**

**Rotor = inducteur**

### **⊗ Inducteur :**

C'est l'organe générateur du flux.

Ses enroulements alimentés en courant continu par l'intermédiaire de bagues et de balais réalisent un électro-aimant dont les pôles sont alternativement nord et sud.

On distingue deux types de rotor :

- Les rotors à pôles lisses :

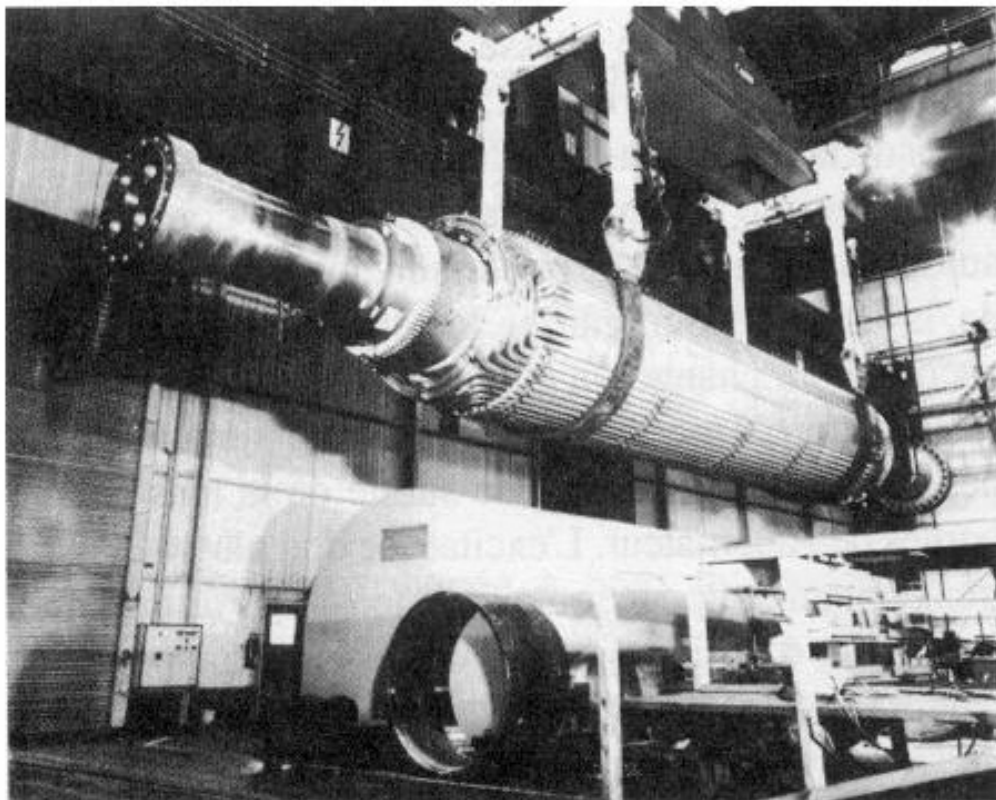


Figure 1

Rotor avec ces enroulements ; massa totale : 240 t; moment d'inertie : 85  $\text{tm}^2$ ; entrefer : 120 mm. Le courant d'excitation de 11,2 KA sous une tension de 600 V est fourni par une excitatrice sans balais ni bagues. (Allis Chalmers Power Systems, Inc. West Allis, Wisconsin).

- Les rotors à pôles saillants :

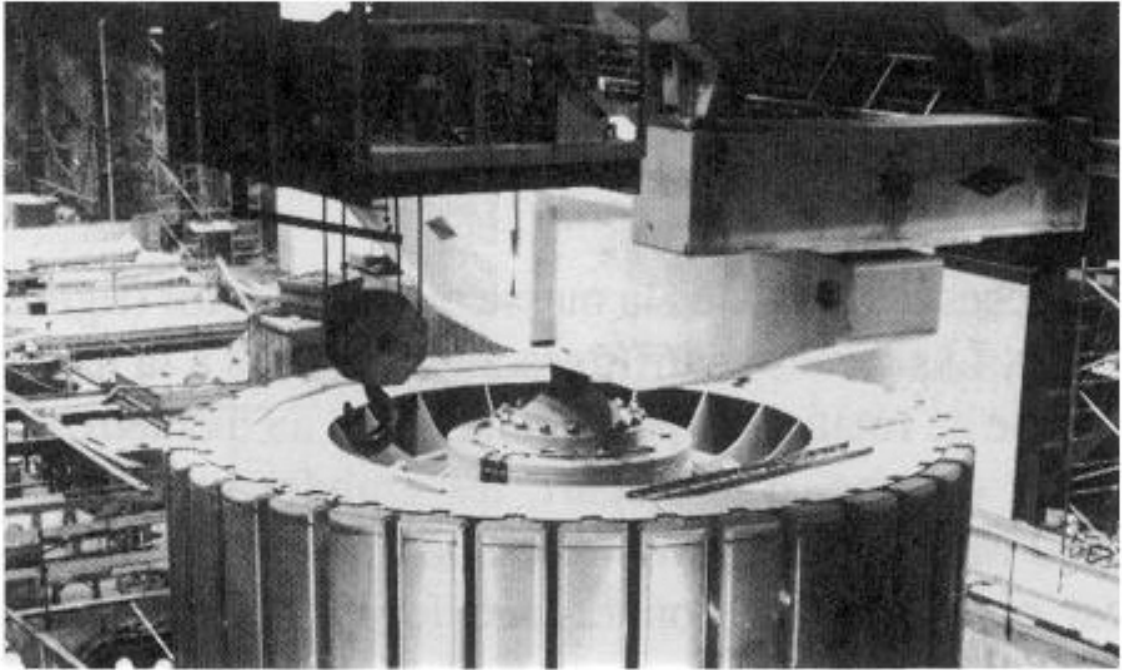
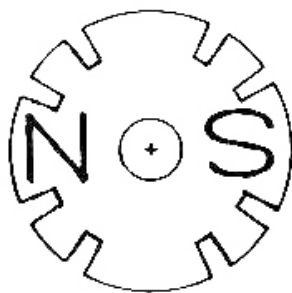


Figure 2

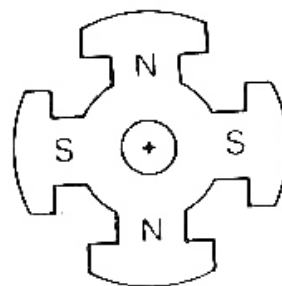
Rotor à 36 pôles prêt à être placé à l'intérieur du stator; masse 600 t; moment d'inertie : 4140  $\text{tm}^2$ ; entrefer : 33mm. L'excitation de 2400 A sous une tension continue de 330 V est assurée par un redresseur.

**Induit :**

Il est formé d'un anneau fixe portant dans des encoches les enroulements induits. C'est dans ces enroulements que prend naissance la f.e.m induite.



Schématisation d'un rotor lisse



Schématisation d'un rotor à pôles saillants

– Induit bobiné :

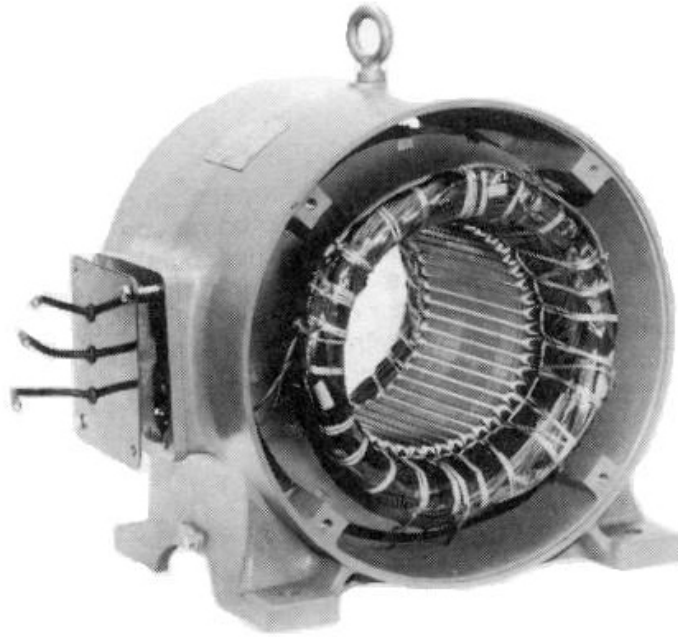


Figure 3

**OBJECTIF : N° 1**

**DURÉE : 1,2 H**

---

**Objectif poursuivi :** Identifier les différentes parties d'un alternateur

**Description sommaire de l'activité :**

**Le stagiaire doit :** pouvoir identifier les éléments constituant un alternateur, tel que : stator (induit), et rotor (inducteur), balais et bagues.

**Endroit proposé pour réaliser l'activité :** En atelier.

**Liste du matériel requis :**

- Alternateur ;
- Outillages pour faire le démontage et le montage.

**Directives particulières :**



**OBJECTIF : N°1**

**DURÉE : 1.2H**

1- Identifier les éléments suivants :

Figure 1-.....

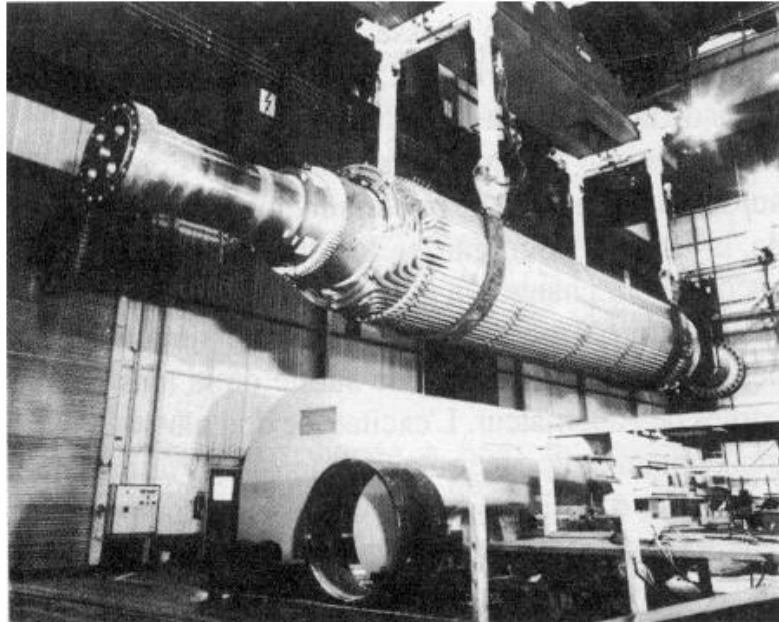


Figure 1

Figure 2-.....

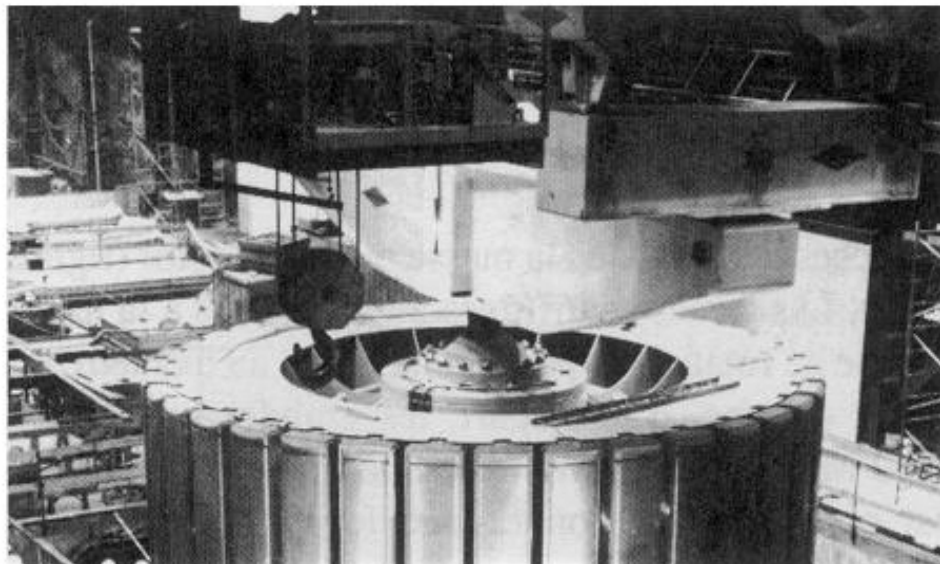


Figure 2

Figure 3.....

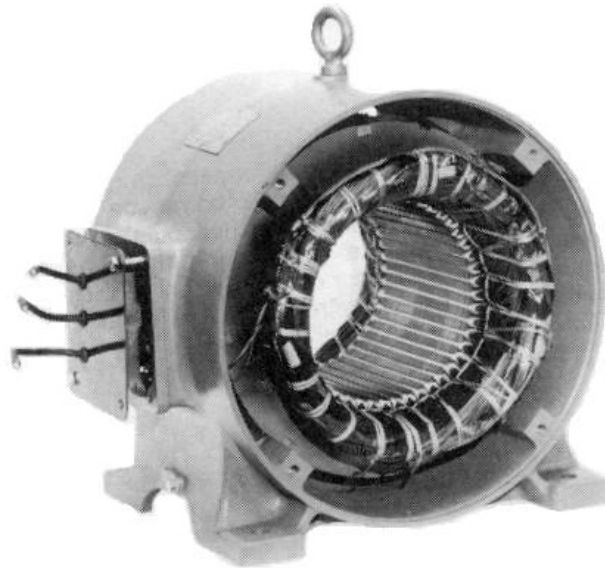


Figure 3

- 2- Schématisée un rotor lisse et un rotor à pôles saillants.
- 3- Faire le démontage d'un alternateur parmi ceux du laboratoire.

**OBJECTIF : N°2**

**DURÉE : 1.8H**

---

- **Objectif poursuivi** : Décrire les caractéristiques des alternateurs.

- **Description sommaire du contenu** :

**Ce résumé théorique comprend** : le principe d'un alternateur élémentaire, la notion de f.e.m. induite ainsi que les caractéristiques d'un alternateur tel que : le type (monophasé ou triphasé), les modes d'excitation et les modes de couplage.

- **Lieu de l'activité** : En classe et en atelier.

- **Directives particulières** :

OBJECTIF : N° 2

DURÉE : 1.8H

L'alternateur élémentaire est constitué d'un aimant permanent donnant le champ magnétique et d'un conducteur, sous la forme d'un cadre nommé bobine ou enroulement. Lorsque la bobine tourne dans le champ magnétique, autour d'un axe à l'aide d'une source externe de puissance mécanique, une tension est induite dans la bobine.

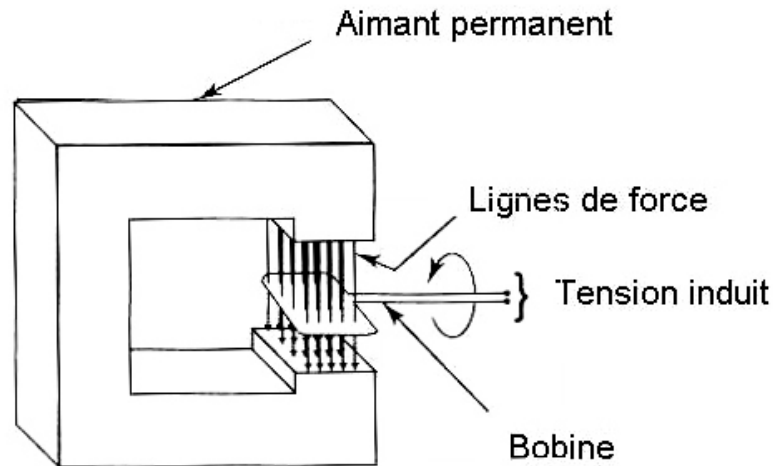


Figure 1 -Alternateur élémentaire

### 🔗 Forme de la tension induite :

- La tension induite par un alternateur est appelée tension alternative, puisque sa polarité change (alterne) à chaque demi-cercle.

### 🔗 Représentation de l'onde sinusoïdale de la tension induite :

- a) En unités de degré (Figure 2).

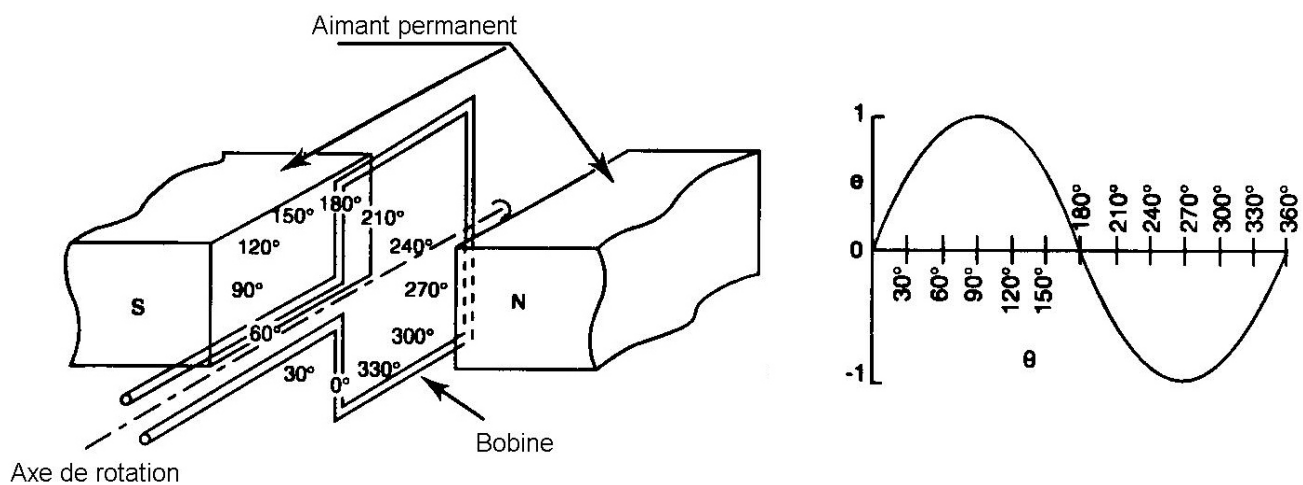


Figure 2 – Onde sinusoïdale de la tension induite

b) En radians (rad) (un cycle correspond à  $2\pi$  rad) (figure 3).

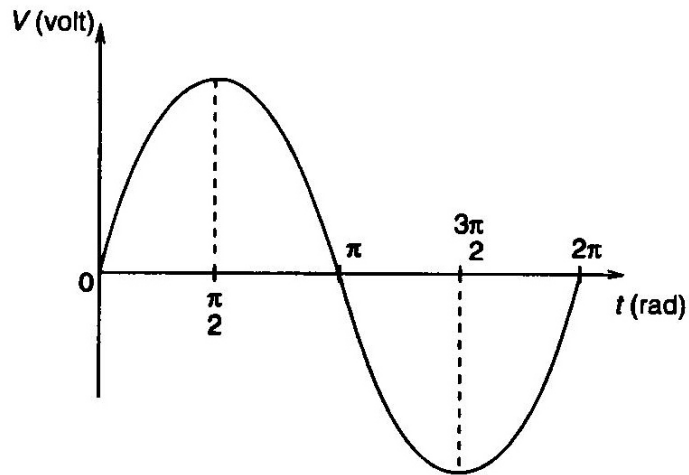


Figure 3 – Cycle de tension exprimé en radians

### Les alternateurs sont caractérisés par :

- leur type :

- a) Les alternateurs monophasés : (un seul enroulement = une seule phase)
- b) Les alternateurs triphasés : (trois c a d = trois enroulements).

- Leurs modes d'excitation :

- a) Par génératrice à C.C appelée excitatrice.
- b) Par auto-excitation : à l'aide d'un convertisseur alternatif continu qui redresse la tension délivrée par l'alternateur et le rein jette dans le circuit inducteur.

### Par leurs principaux éléments constituants :

On a :

- a) Les alternateurs à inducteur mobile et induit fixe.
- b) Les alternateurs à induit mobile et inducteur fixe.

### Par le mode de couplage de l'induit :

Le couplage de l'induit peut être fait de deux façons :

- a) Soit en étoile avec neutre accessible (Y).
- b) Soit en triangle ( $\Delta$ ).

**OBJECTIF : N°2**

**DURÉE : 1.2H**

---

- **Objectif poursuivi** : Décrire les caractéristiques des alternateurs.

- **Description sommaire de l'activité** :

**Le stagiaire doit** être capable de décrire les caractéristiques des alternateurs, leurs types : monophasé ou triphasé, leurs modes d'excitation, leurs principaux éléments constitutants et leurs modes de couplage de l'induit.

- **Lieu de l'activité** : En classe et en atelier.

- **Liste du matériel requis** :

- Différents types d'alternateurs.

- **Directives particulières** :

**OBJECTIF : N°2**

**DURÉE : 1.2H**

---

**Exercice N°1 :**

- 1- Décrire le fonctionnement d'un alternateur élémentaire.
- 2- Décrire les caractéristiques de la tension induite par un alternateur à c.a.
- 3- Quels sont les types des alternateurs à c.a. ?
- 4- Citer le mode d'excitation des alternateurs à c.a. ?
- 5- Quels sont les modes de couplage des alternateurs à c.a. ?

**Exercice N°2 :**

À partir des plaques signalétiques des alternateurs à c.a. qui sont mis à la disposition des stagiaires dans l'atelier des travaux pratiques. Le stagiaire doit déterminer :

- Le type de l'alternateur ;
- Son mode d'excitation ;
- Son mode de couplage ;
- La valeur de la tension induite.

**OBJECTIF : N°3**

**DURÉE : 1.8H**

---

- **Objectif poursuivi** : Distinguer les classes d'alternateurs selon leur construction.

- **Description sommaire du contenu** :

**Ce résumé théorique comprend** : la classification des alternateurs selon leurs modes de construction.

- **Lieu de l'activité** : En atelier et en classe.

- **Directives particulières** :



OBJECTIF : N°3

DURÉE : 1.8 H

Les alternateurs commerciaux sont construits avec **un inducteur fixe** (fig.1) ou **un inducteur rotatif** (fig.2).

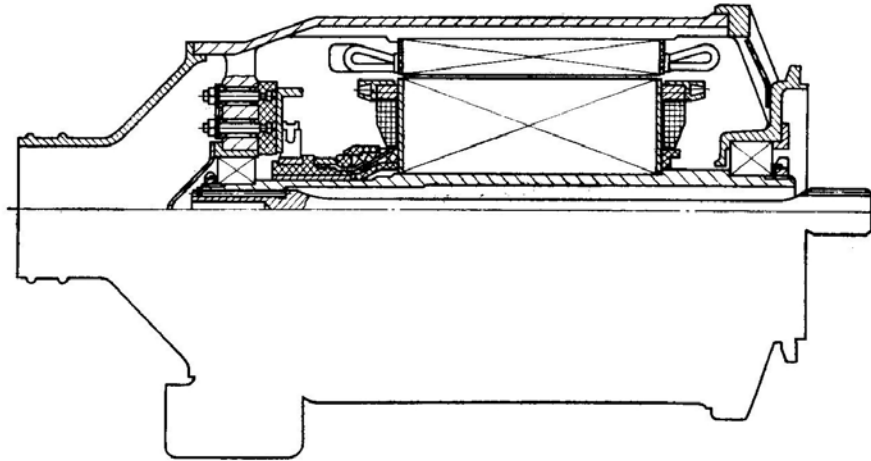


Figure 1

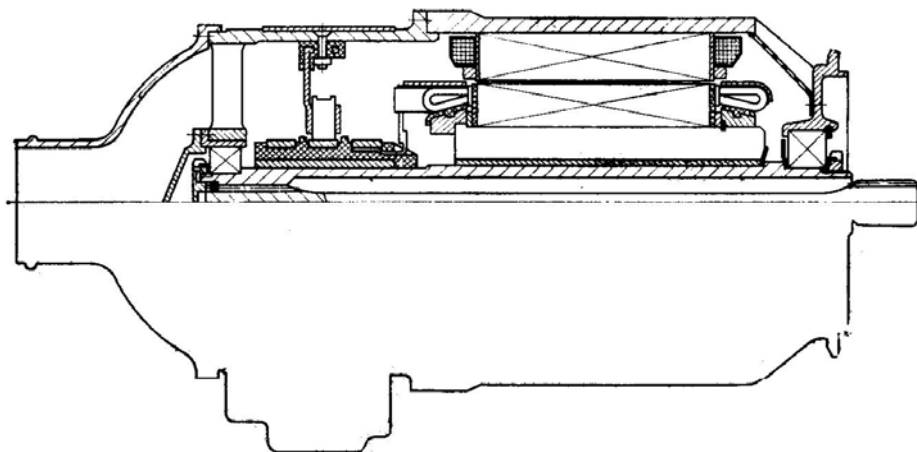


Figure 2

◆ L'alternateur à **inducteur fixe** a la même apparence extérieure qu'une génératrice à courant continu les pôles saillants produisent le champ magnétique qui est coupé par les conducteurs situés sur l'induit.

L'induit porte un enroulement triphasé dont les bornes sont connectées à trois bagues montées sur l'arbre.

Un groupe de balais fixes recueille la tension triphasée qui est appliquée à la charge.

L'induit est entraîné par un moteur à explosion ou toute autre source de force motrice.

Les alternateurs à inducteur fixe sont utilisés pour des puissances inférieures à 5KVA.

Pour des puissances plus importantes il est plus économique, plus sécuritaire et plus pratique d'employer un inducteur tournant.

**OBJECTIF :** N°3

**DURÉE :** 1.2 H

- **Objectif poursuivi :** Distinguer les classes d'alternateurs selon leur construction.

- **Description sommaire de l'activité :**

**Le stagiaire doit :** Distinguer entre les alternateurs à inducteur mobile et les alternateurs à induit mobile.

- **Lieu de l'activité :** En classe et en atelier.

- **Liste du matériel requis :**

- **Directives particulières :**

**OBJECTIF : N° 3**

**DURÉE : 1.2 H**

Distinguer les classes des alternateurs à c.a représentés par les figures suivantes :

**Exercice N°1 :**

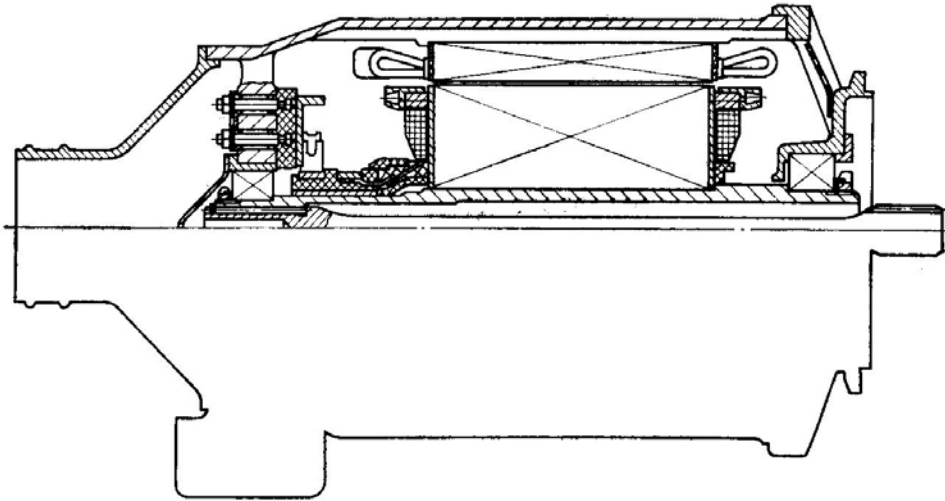


Figure 1

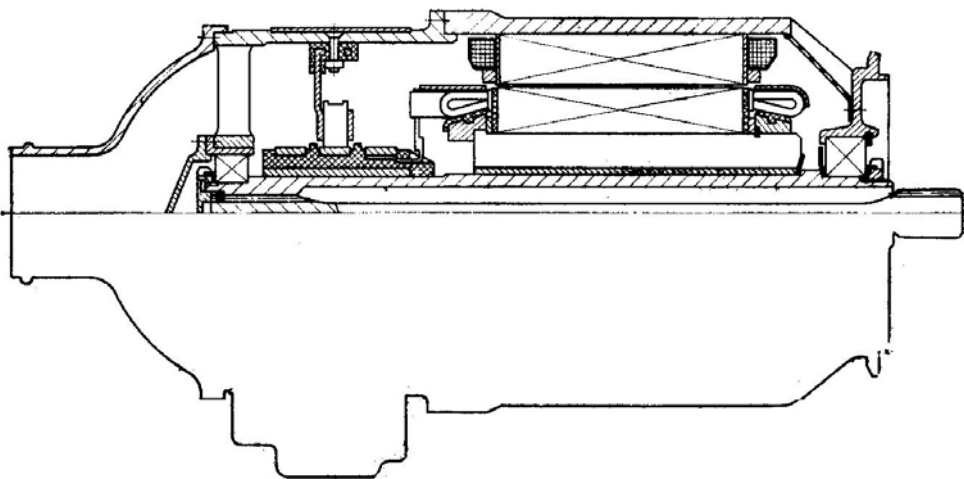


Figure 2

**Exercice N°2 :**

À partir de l'ensemble des alternateurs à courant alternatif de votre atelier, distinguer ceux à inducteur fixe et ceux à inducteur mobile.

**OBJECTIF : N°4**

**DURÉE : 1.8H**

---

- **Objectif poursuivi** : Différencier les modes d'excitation des alternateurs.

- **Description sommaire du contenu** :

**Ce résumé théorique comprend** : les trois mode d'excitation des alternateurs (par génératrice à c.c par auto excitation, par système dit « a diodes tournantes »).

- **Lieu de l'activité** : En classe et en atelier.

- **Directives particulières** :

OBJECTIF : N°4

DURÉE : 1,8 H

L'excitation est l'élément physique fondamental pour le fonctionnement d'un alternateur.  
L'excitation s'obtient :

A) Par génératrice à courant continu montée en bout d'arbre (fig.1) :

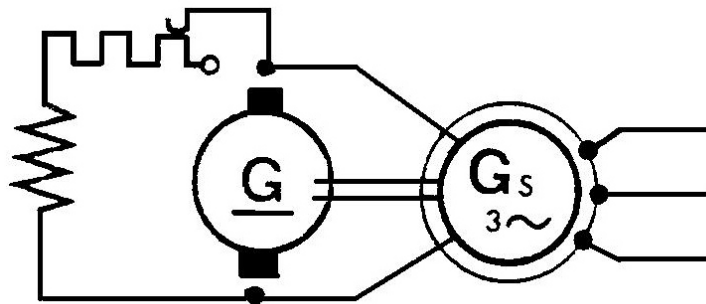


Figure 1

Le courant continu est transmis au rotor par deux bagues en bronze, le réglage de l'intensité de ce courant est obtenu en intervenant sur le courant de l'inducteur de la génératrice.

B) Par auto-excitation :

Un redresseur à diodes ou à thyristors qui délivre le courant continu à l'inducteur directement à partir du système de tensions alternatives triphasés ( figure 2).

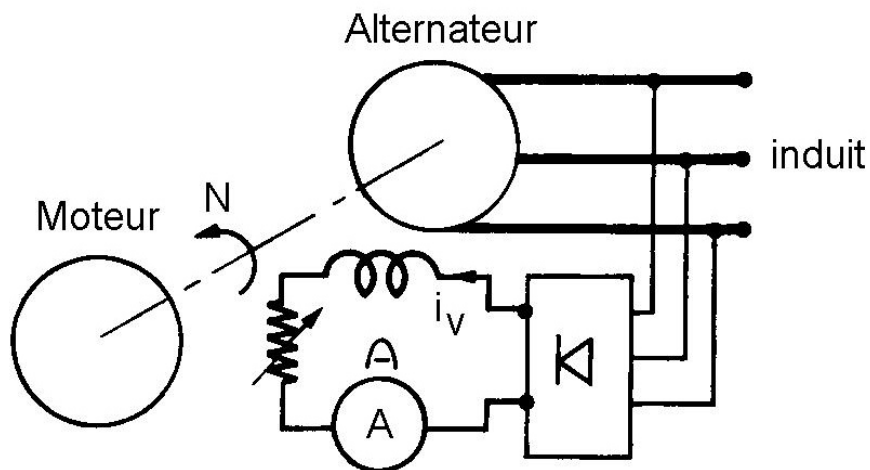


Figure 2

C) Par système dit "à diodes tournantes" (fig.3) :

L'excitation est fournie par un petit alternateur à induit tournant et à inducteur fixe ; à la sortie de l'induit, un redresseur à diodes transmet du courant continu à la roue polaire.

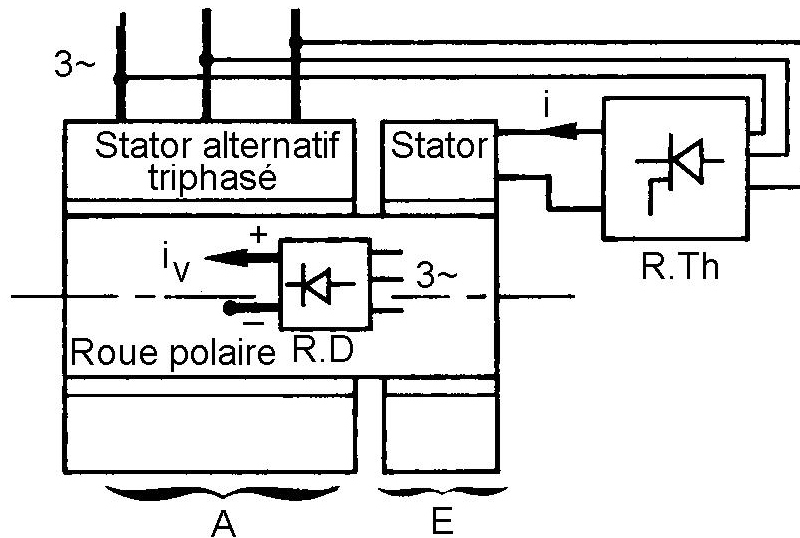


Figure 3

Machine synchrone à diodes tournantes :

- A – inducteur au rotor;
- B – excitatrice avec inducteur au stator;
- R.D – redresseur à diodes incorporé dans le rotor;
- R.Th – redresseur à thyristors.

**OBJECTIF : N° 4**

**DURÉE : 1,2 H**

---

**Objectif poursuivi :** Différencier les modes d'excitation des alternateurs.

**Description sommaire de l'activité :**

**Le stagiaire doit :** différencier entre les trois modes d'excitation des alternateurs (par génératrice à c.c, par auto excitation, par système dit "à diodes tournantes").

**Endroit proposé pour réaliser l'activité :** En classe et en atelier.

**Liste du matériel requis :**

**Directives particulières :**

OBJECTIF : N° 4

DURÉE : 1,2 H

Indiquer pour chaque figure ci dessous le type d'excitation qui lui correspond?

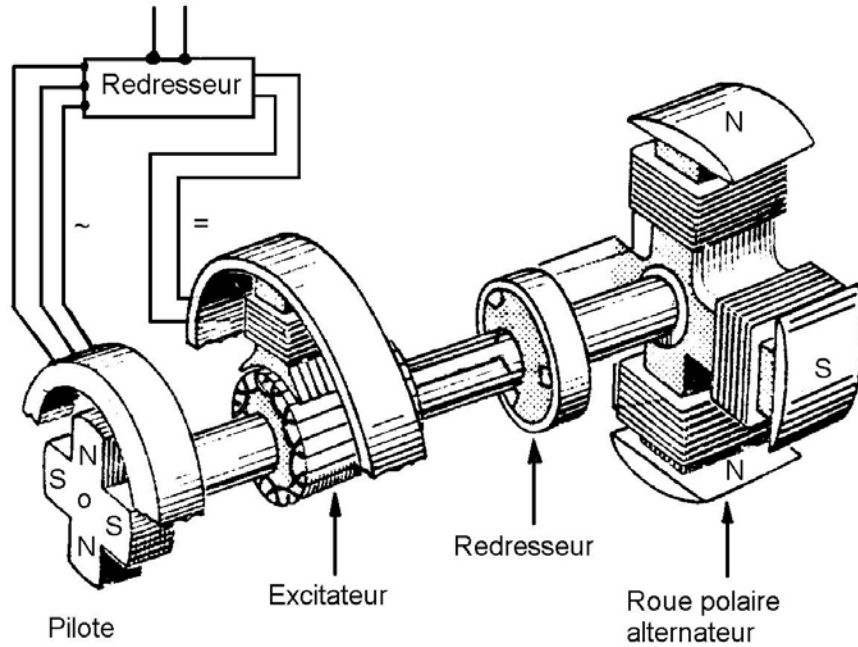


Figure 1

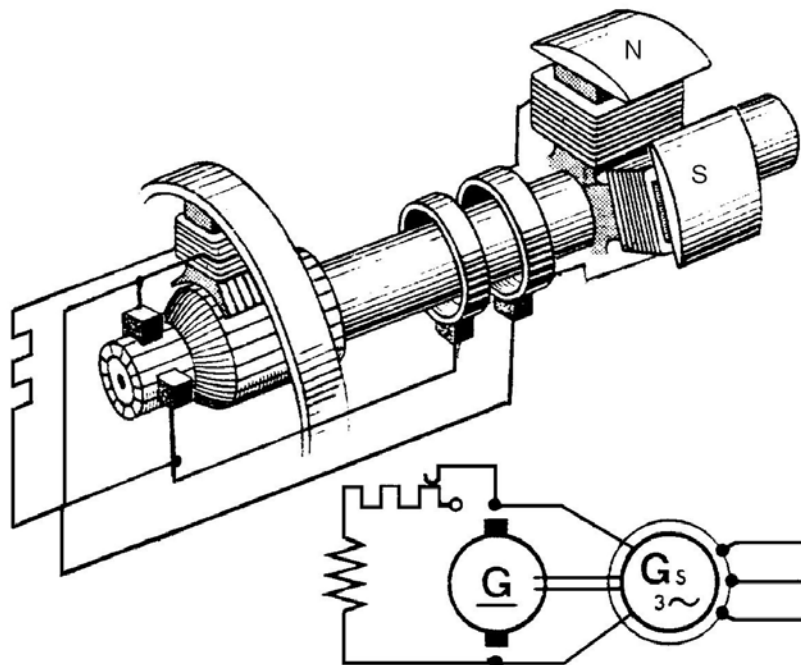


Figure 2



**OBJECTIF : N° 5**

**DURÉE : 1,8 H**

---

**Objectif poursuivi :** Identifier les facteurs qui déterminent la fréquence et la tension de sortie d'un alternateur.

**Description sommaire du contenu :**

**Ce résumé théorique comprend :** les facteurs qui déterminent la fréquence et la tension de sortie d'un alternateur.

**- Lieu de l'activité :** En classe.

**Directives particulières :**

OBJECTIF : N° 5

DURÉE : 1.8 H

**⌘ Fréquence de la f.é.m. d'un alternateur :**

La fréquence de la f.é.m. induite est proportionnelle :

- à la vitesse de rotation  $n$ ;
- au nombre  $p$  de paires de pôles,

et à pour expression :

$$f = \frac{p \times n}{60}$$

$f$  = en hertz;  
 $n$  = en tr/min

**⌘ La f.é.m. d'un alternateur :**

La f.é.m. est directement proportionnelle :

- au flux fourni par un pôle,  $\phi$  webers;
- à la vitesse de rotation,  $n$  tours par seconde;
- au nombre paires de pôles  $p$ ;
- au nombre de conducteurs de l'induit  $N$ ;

on l'exprime par la formule :

$$E = K \times p \times n \times N \times \phi \quad \text{volts}$$

Le coefficient  $K$ , que l'on nomme coefficient de Kapp, dépend du nombre des encoches par pôle et de leur écartement, il tient compte de la loi de variation du flux dans l'entrefer et du facteur  $1:\sqrt{2}$ , puisque  $E$  est une f.é.m. efficace.

**OBJECTIF : N° 5**

**DURÉE : 1,2 H**

---

**Objectif poursuivi :** Identifier les facteurs qui déterminent la fréquence et la tension de sortie d'un alternateur.

**Description sommaire de l'activité :**

**Le stagiaire doit :** être capable d'identifier les facteurs dont dépend la fréquence et la tension induite d'un alternateur (la vitesse de rotation, le nombre de paires de pôles, le flux par pôle, le nombre de conducteurs actifs).

**Endroit proposé pour réaliser l'activité :** En classe.

**Liste du matériel requis :**

**Directives particulières :**

**OBJECTIF : N° 5****DURÉE : 1.2 H**

---

**Exercice N°1 :**

Un alternateur à 6 pôles à 120 conducteurs, il tourne à 1000 tr/min. Le flux sous un pôle est 0,0106 Webers. Le coefficient de Kapp qui lui est applicable est  $K = 1,8$ .

- Calculer sa f.é.m.

**Exercice N°2 :**

Un alternateur d'une centrale hydraulique à 40 pôles.

- A quelle vitesse doit-il tourner pour fournir un courant à 50 périodes par seconde ?

**Exercice N°3 :**

Un alternateur monophasé hexapolaire est entraîné à une fréquence de rotation de 16,66 tr/s, le flux utile par pôle est 0,025 Wb.

L'enroulement induit statorique est constitué de 72 conducteurs actifs en série. Le coefficient de Kapp est  $K = 2,22$ .

- Calculer la fréquence de la tension fournie par l'alternateur.
- Calculer sa f.é.m.

**OBJECTIF : N° 6**

**DURÉE : 1,8 H**

---

**Objectif poursuivi :** Distinguer les principaux types d'alternateurs selon leur construction.

**Description sommaire du contenu :**

**Ce résumé théorique comprend :** les principaux types d'alternateurs selon leur construction, à savoir les alternateurs monophasés et triphasés.

**- Lieu de l'activité :** En classe et en atelier.

**Directives particulières :**

OBJECTIF : N° 6

DURÉE : 1.8H

**Selon leur construction on distingue deux types d'alternateurs :**

- Les alternateurs monophasés.
- Les alternateurs triphasés.

**☞ ALTERNATEUR MONOPHASE :**

C'est une génératrice de courant alternatif de puissance réduite, dont l'enroulement induit est en général fixe. Il est soumis à des variations de flux dues à la rotation d'une roue polaire à aimants permanent (1) ou électro-aimants (2).

Symbole d'un alternateur monophasé :

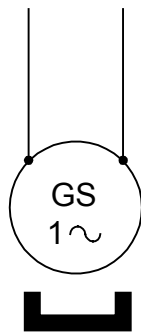


Figure 1

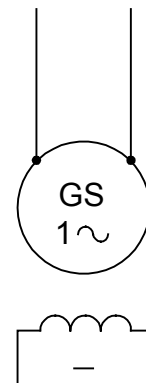


Figure 2

- la tension induite dans l'enroulement de l'induit est une tension monophasé.

**⌘ ALTERNATEUR TRIPHASE :**

Un alternateur triphasé est semblable à un alternateur monophasé, sauf que l'induit porte trois enroulements identiques, au lieu d'un. Les trois enroulements sont disposés à 120° l'un de l'autre.

Symbole d'un alternateur triphasé :



Figure 3: Alternateur triphasé (synchrone) à aimant permanent.



Figure 4: Alternateur triphasé à électro-aimant.

**OBJECTIF : N° 6**

**DURÉE : 1,2 H**

---

**Objectif poursuivi :** Distinguer les principaux types d'alternateurs selon leur construction.

**Description sommaire de l'activité :**

**Le stagiaire doit :** être capable de distinguer entre les alternateurs types monophasés et les alternateurs types triphasés.

**- Lieu de l'activité :** En classe.

**Liste du matériel requis :**

**Directives particulières :**

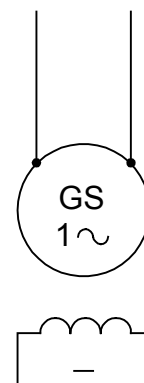
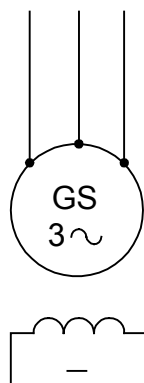


**OBJECTIF : N° 6**

**DURÉE : 1.2 H**

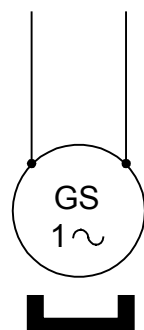
**Exercice N°1 :**

A partir des symboles suivantes distinguer ceux qui représentent les alternateurs monophasés et ceux qui représentent les alternateurs triphasés.



1)-----

2)-----



3)-----

4)-----

**Exercice N°2 :**

A partir de l'ensemble des générateurs qui sont disposés dans l'atelier, distinguer ceux qui sont à courant alternatif et parmi ces derniers distinguer ceux qui sont à courant monophasé , et ceux à courant triphasé.

**OBJECTIF : N° 7**

**DURÉE : 1,8 H**

---

**Objectif poursuivi :** Distinguer les modes de couplage des alternateurs.

**Description sommaire du contenu :**

**Ce résumé théorique comprend :** les deux modes de couplage d'un alternateur, le couplage étoile avec neutre accessible et le couplage triangle.

**- Lieu de l'activité :** En classe et en atelier.

**Directives particulières :**

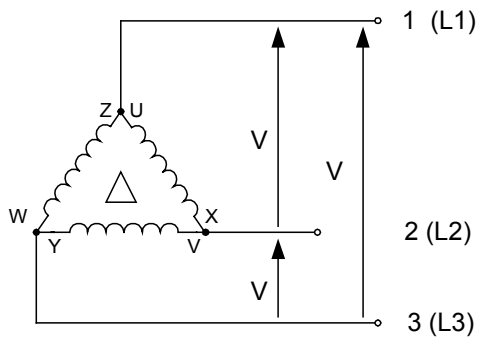
OBJECTIF : N°7

DURÉE : 1,8 H

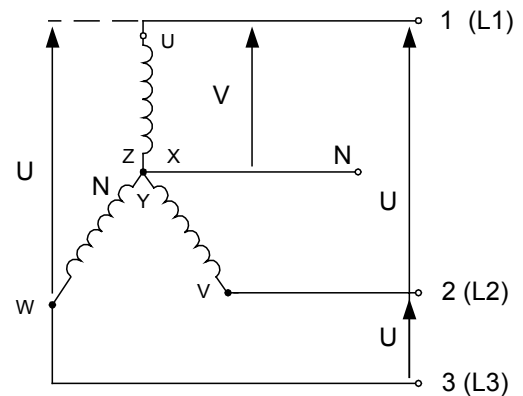
L'alternateur triphasé est principalement utilisé en production d'énergie, il comporte :

- Un inducteur identique à celui de l'alternateur monophasé.
- Un circuit induit constitué de trois enroulements indépendants, ayant le même nombre de conducteurs actifs, disposés chacun dans un de trois des encoches de l'induit et décalé entre eux d'un angle électrique égale à  $2\pi/3$ .

Ces enroulements peuvent être couplés soit en triangle ( $\Delta$ ), soit en étoile (Y).



Couplage triangle



Couplage étoile avec neutre

V- tension simple.  
U- tension composée.  
V- point neutre.

**OBJECTIF : N° 7**

**DURÉE : 1,2 H**

---

**Objectif poursuivi :** Distinguer les modes de couplage des alternateurs.

**Description sommaire de l'activité :** pouvoir distinguer entre les deux modes de couplage d'un alternateur : le couplage étoile avec neutre accessible et le couplage triangle.

**Le stagiaire doit :**

- **Lieu de l'activité :** En classe.

**Liste du matériel requis :**

**Directives particulières :**

**OBJECTIF : N° 7**

**DURÉE : 1,2 H**

**Exercice N°1 :**

D'après les figures suivantes représentent les modes de couplage d'un alternateur. Distinguer la figure qui représente le couplage étoile et celui qui représente le couplage triangle.

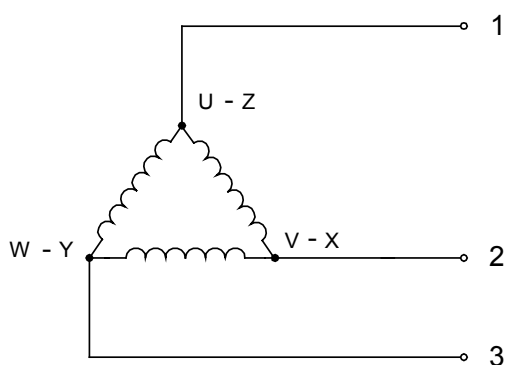


Figure 1

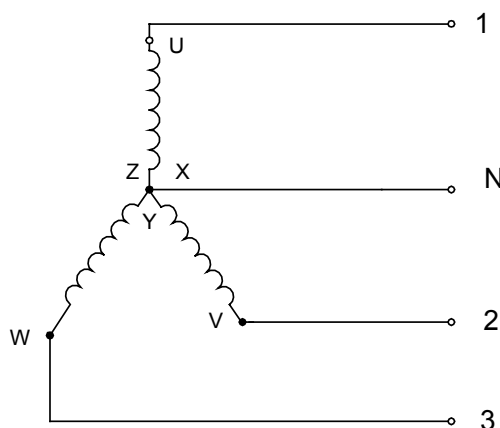


Figure 2

**Exercice N°2 :**

Soit les plaques à bornes suivantes de deux alternateurs :

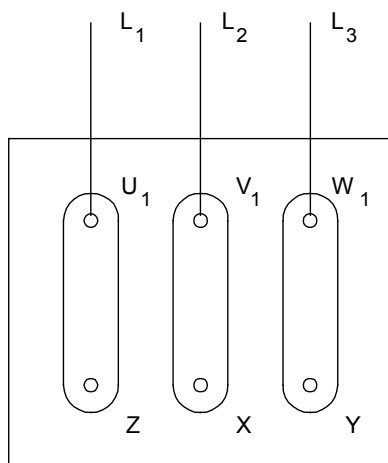


Figure 3

Le couplage de l'alternateur figure 3 est couplé en -----

## EXERCICE PRATIQUE

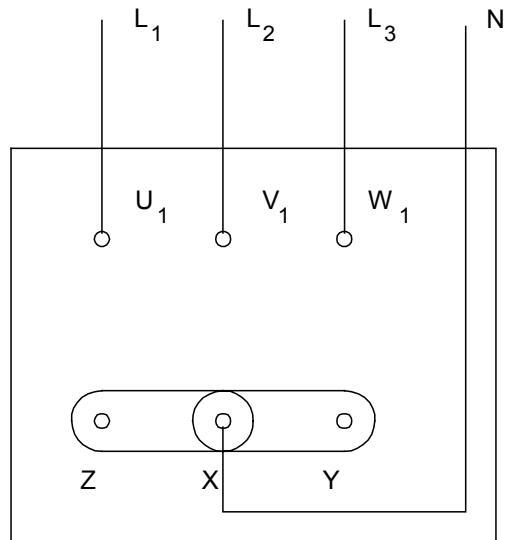


Figure 4

Le couplage de l'alternateur figure 4 est couplé en -----

- ◆ Distinguer le type de couplage du premier alternateur et le couplage du 2<sup>ème</sup> alternateur.
- ◆ A quoi est égale la tension sur une phase lorsque l'alternateur est couplé en triangle, et lorsqu'il est couplé en étoile.

**OBJECTIF : N° A**

**DURÉE : 2 H**

---

**Objectif poursuivi :** Expliquer le fonctionnement des alternateurs.

**Description sommaire du contenu :**

**Ce résumé théorique comprend :** l'explication du principe de fonctionnement des alternateurs ainsi que leur modes de marche à vide et en charge.

**- Lieu de l'activité :** En classe et en atelier.

**Directives particulières :**

OBJECTIF : N° A

DURÉE : 2 H

Le fonctionnement des alternateurs est fondé sur le principe des champs magnétiques tournants.

Dans un alternateur la création d'un champ tournant est obtenue par la rotation d'un aimant ou électro-aimant porté par le rotor (inducteur), à une fréquence de rotation appelée fréquence de synchronisme.

$$n = \frac{60 \times f}{p}$$

n - en tr/min.

f - en Hertz

P - nombre de paire de pôles

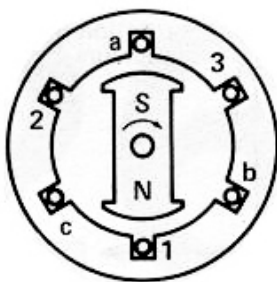
- Tension induite

Lorsque le rotor tourne à vitesse constante à l'intérieur d'un ensemble constitué de q bobines, logées dans le stator (induit), celles-ci sont le siège d'une tension sinusoïdale polyphasée.

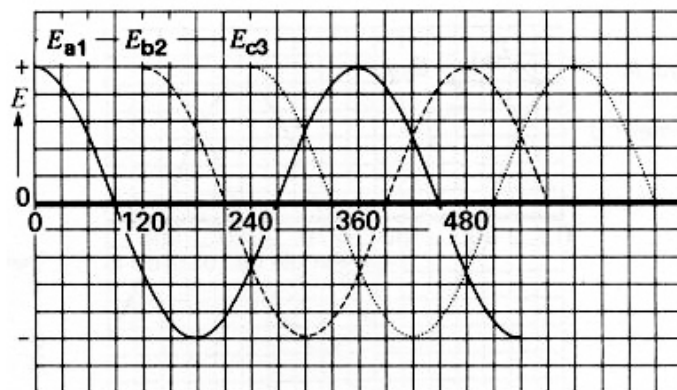
Généralement q = 3, la tension est alors sinusoïdale triphasée.

Les tensions induites dans les enroulements en même valeur efficace, mais elles n'atteignent pas leur valeur maximale en même temps.

Les trois tensions  $E_{a1}$ ,  $E_{b2}$  et  $E_{c3}$  déphasées l'une de l'autre de  $120^\circ$  sont représentées sous forme de courbes sinusoïdales (figure 1).



c)



b)

Figure 1

- a) Alternateur triphasé;  
b) Tensions alternatives générés par les trois enroulements.



- Fonctionnement d'un alternateur

- Marche à vide, courbe de saturation :

Soit un alternateur triphasé bipolaire tournant à vide à une vitesse constante. (figure2 a).

Le courant d'excitation  $I_x$  permanent d'une excitatrice appropriée, crée le flux  $\phi$  dans l'entrefer. Les extrémités de l'enroulement triphasé du stator (induit) sont raccordées aux bornes A, B, C et N.

La figure 2 b est un diagramme schématique de l'alternateur, montrant le rotor et les trois phases du stator.

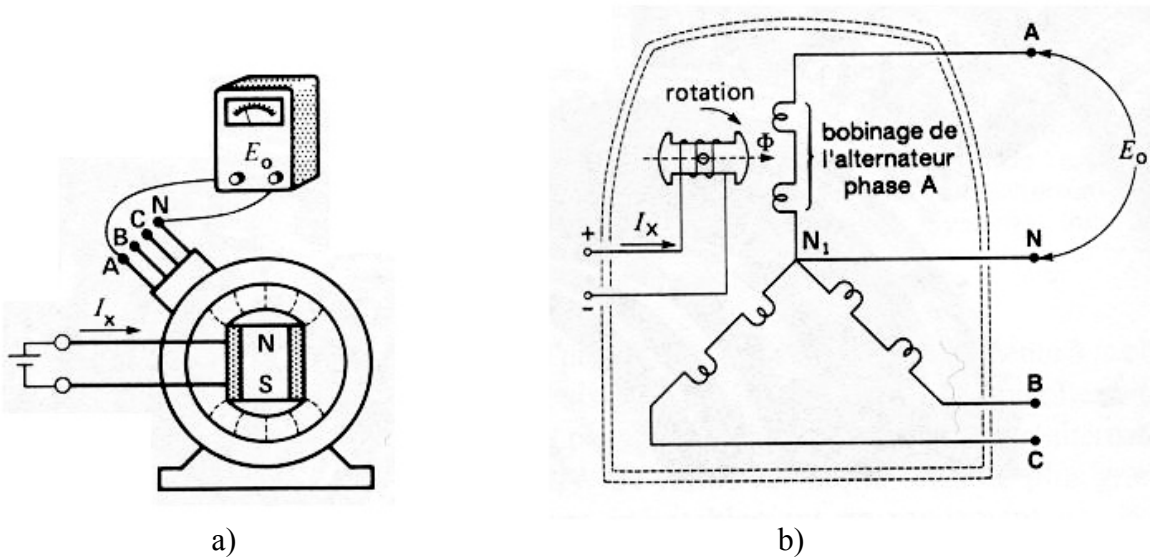


Figure 2 - Alternateur de 36 MVA, 12 KV

- Courbe de saturation :  $E_o = f(I_x)$ .

En maintenant la fréquence de rotation constante et en augmentant graduellement le courant d'excitation, tout en observant la tension  $E_o$  entre une phase (la phase A par exemple) et le neutre N.

On constate que  $E_o$  augmente d'abord proportionnellement à  $I_x$ .

Ce pendant au fur et au mesure que le flux augmente, l'acier se sature, et la tension croîte de moins en moins pour une même augmentation de  $I_x$ . En effet si l'on trace la courbe  $E_o$  en fonction de  $I_x$ , on obtient une courbe de saturation semblable à celle d'une génératrice à c.c.

La figure 3 donne l'exemple d'une courbe de saturation à vide pour un alternateur de 36 MW ayant une tension nominale de 12 KV (ligne à neutre).

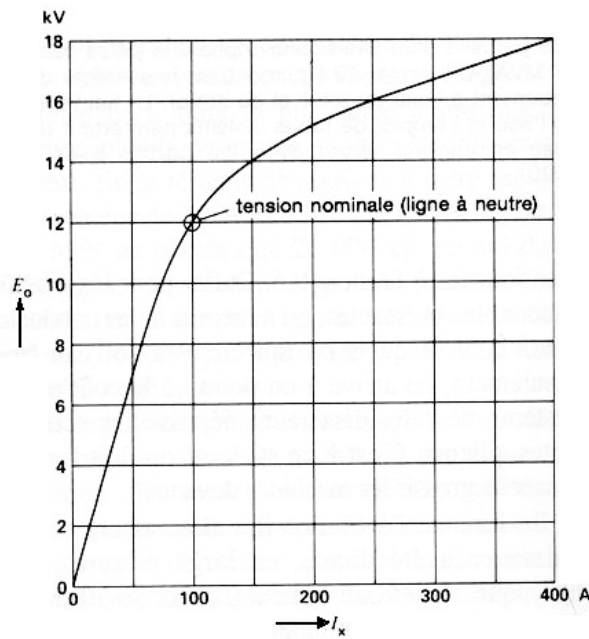


Figure 3 – Courbe de saturation de l’alternateur montrant la tension induite en fonction du courant d’excitation

- Circuit équivalent d'un alternateur ; réactance synchrone

On peut représenter un alternateur triphasé par un circuit qui montre trois tensions induites  $E_o$  correspondent à chacune des phases. De plus comme il s'agit d'une machine à c.a ; il faut ajouter à la résistance  $R$  de chaque phase, une réactance  $X_s$ , appelée **réactance synchrone** de l'alternateur.

La réactance synchrone est due à la self-inductance des enroulements du stator et comme leur résistance, elle constitue **une impédance interne**.

La figure 4 représente le circuit équivalent d'un alternateur alimentant trois impédances  $Z$ .

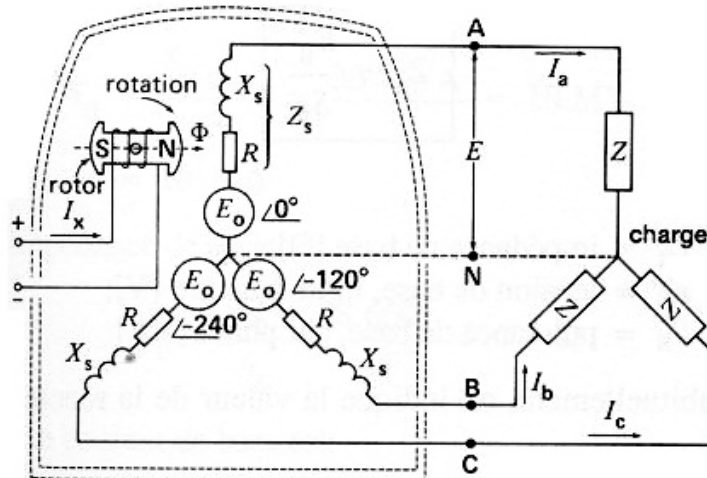


Figure 4 – Tensions et impédances d’un alternateur alimentant une charge triphasée

Généralement la valeur de  $X_s$  est toujours au moins 10 fois plus grande que celle de  $R$ . On peut donc négliger la résistance, ce qui donne le circuit simple de la figure 5.

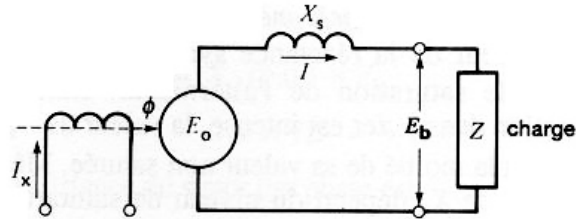


Figure 5 – Circuit équivalent d'un alternateur triphasé, montrant une phase seulement

#### - Détermination de la valeur de $X_s$

On peut déterminer la valeur de la réactance synchrone  $X_s$  au moyen d'un essai à vide et d'un essai en court-circuit.

##### • L'essai à vide :

Lors de l'essai à vide, l'alternateur est entraîné à la vitesse nominale et le courant d'excitation est ajusté de façon à produire la tension nominale  $E_n$ , ligne à neutre. On note alors la valeur correspondante du courant d'excitation  $I_{xn}$ .

##### • L'essai en court-circuit :

Ensuite, l'excitation est réduite à zéro, les trois bornes du stator sont mises en court-circuit, et des ampèremètre sont introduits dans le circuit du stator afin de mesurer les courants de court-circuit.

L'alternateur tournant toujours à la vitesse nominale, on augmente le courant d'excitation à sa valeur originale  $I_{xn}$  et on mesure le courant de court-circuit  $I_{sc}$  résultant.

La valeur de  $X_s$  est alors donnée par l'expression :

$$X_s = \frac{E_n}{I_{sc}}$$

ou  $X_s$  = réactance synchrone par phase [ $\Omega$ ]

$E_n$  = tension nominale, ligne à neutre [V]

$I_{sc}$  = courant de court-circuit.

La valeur de la réactance synchrone ainsi obtenue s'appelle réactance synchrone non saturée.

Habituellement, on indique la valeur de la réactance synchrone d'un alternateur en pourcentage de l'impédance de base.

$$Z_B = \frac{E^2}{S_B}$$

$Z_B$  = impédance de base [ $\Omega$ ]

$E_B$  = tension de base, ligne à neutre [V].

$S_B$  = puissance de base, par phase [V.A].

• **L'alternateur en charge :**

Le comportement d'un alternateur dépend de la nature de la charge qu'il alimente. On distingue quatre sortes de charges :

1. Charge résistive.
2. charge inductive.
3. charge capacitive.
4. réseau infini.

Pour l'étude de fonctionnement en charge d'un alternateur. Prenons l'exemple d'un alternateur de 36 MW, ayant une tension nominale de 12 KV (ligne à neutre), une réactance synchrone de 5  $\Omega$  et un courant de 1 KA. La courbe de saturation est donnée à la figure 3.

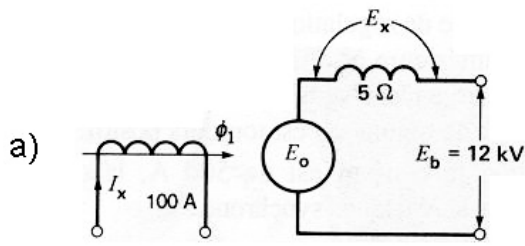
En considérant une phase seulement, branchons successivement aux bornes de cette machine, une charge résistive, inductive et capacitive de 12  $\Omega$ .

Ajustons l'excitation à chaque fois à fin que la tension aux bornes reste égale à 12 V (ligne à neutre) et le courant à 1 KA (figure 6).

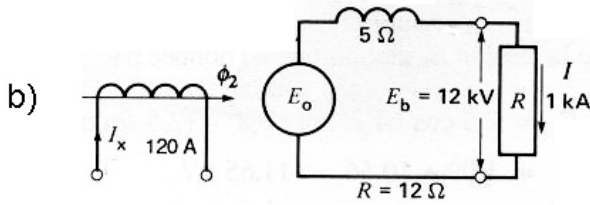
La chute de tension dans la réactance synchrone demeure donc constante et égale à une valeur de :

$$E_x = 5\Omega \times 1KV = 5KV$$

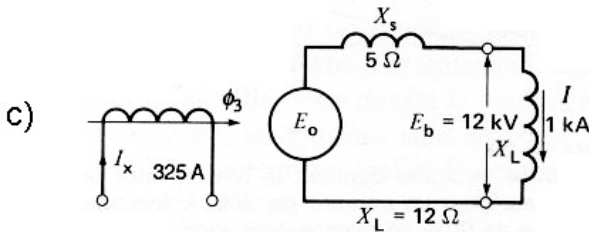
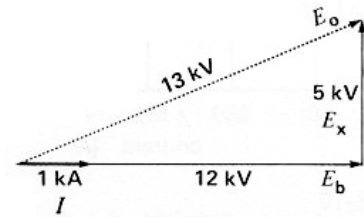
A cause de la nature inductive de  $X_s$ , cette tension est déphasé de  $90^\circ$  en avant de courant.



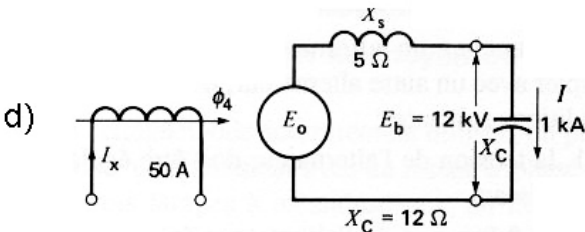
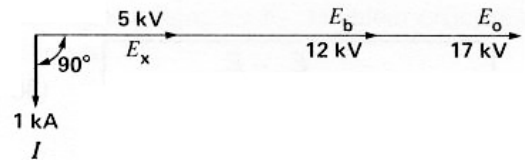
a) circuit ouvert



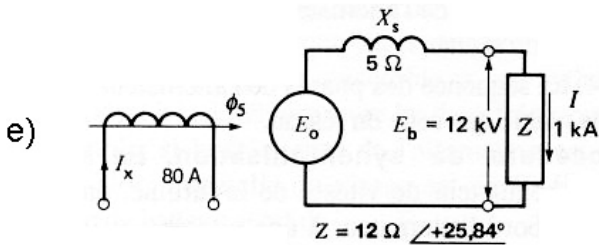
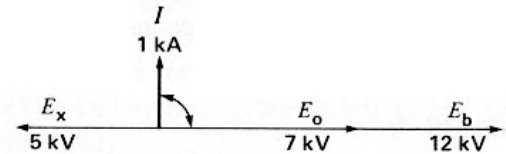
b) charge résistive



c) charge inductive



d) charge capacitive



e) charge dont le facteur de puissance est de 90% en avance

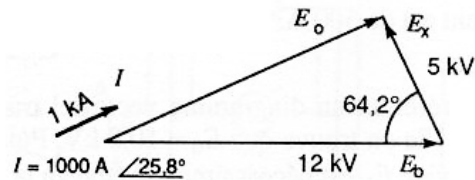


Figure 6 – Circuits équivalents et diagrammes vectorielles pour diverses charges raccordées aux bornes d'un alternateur de 36 MVA, 12 KV, 60 Hz ayant une réactance synchrone de 5 Ω

Considérons maintenant les figures 6 a) à 6 d) et les diagrammes vectoriels correspondants.

- Figure 6 a)

L'alternateur tourne à vide,  $E_0 = E_b = 12 \text{ KV}$  car  $E_x = 0$ .  
Le courant d'excitation doit être de 100A.

- Figure 6 b)

La charge est résistive, le courant  $I$  de 1 KA est en phase avec  $E_b$  de sorte que la tension  $E_x$  de 5 KV est déphasée de  $90^\circ$  en avant de  $E_b$  on trouve que  $E_0$  doit être :

$$E_o = \sqrt{E_b^2 + E_x^2} = 13 \text{ KV}$$

Il faut donc augmenter le courant d'excitation  $I_x$  pour maintenir une tension de 12 KV aux bornes de l'alternateur.

Comme la tension  $E_0 = 13 \text{ KV}$  le courant doit être  $I_x = 120 \text{ A}$ .

- Figure 6 c)

La charge est inductive, le courant  $I$  est  $90^\circ$  en arrière de  $E_b$  de sorte que la tension de  $E_x$  de 5KV est en phase avec  $E_b$ . Il s'ensuit qu'il faut augmenter  $E_0$  à :

$$E_o = 12 \text{ KV} + 5 \text{ KV} = 17 \text{ KV}$$

Ce qui nécessite un courant  $I_x$  encore plus grand, soit une valeur de 325A (figure 6 c).

- Figure 6 d)

La charge est capacitive,  $I$  est  $90^\circ$  en avance sur  $E_b$  de sorte que la tension  $E_x = 5 \text{ KV}$  est déphasé de  $180^\circ$  par rapport à  $E_b$ . Il s'ensuit qu'on doit diminuer  $E_0$  à :

$$E_o = 12 \text{ KV} - 5 \text{ KV} = 7 \text{ KV}$$

Ce qui implique un faible courant d'excitation, en ce réfèrent à la figure (6 c) , on trouve que le courant requis est de 50A seulement.

(la tension aux bornes est toujours plus élevée que la tension induite quand un alternateur alimente une charge capacitive).

- Figure 6 e)

Avec une charge industrielle ayant un facteur de puissance de  $90^\circ$  en avance. I est en avance sur  $E_b$  de  $25,8^\circ$ .

Le diagramme vectoriel donne une tension d'excitation  $E_0 = 10,8 \text{ KV}$ ,  $24,6^\circ$  en avance sur  $E_b$ . Par conséquent le courant d'excitation  $I_x = 80\text{A}$ .

- La caractéristique externe de l'alternateur (courbe de régulation)

Elle représente les variations de la tension délivré par l'alternateur en fonction de l'intensité du courant débité dans le circuit extérieur avec pour paramètres, le courant d'excitation et le facteur de puissance de circuit.

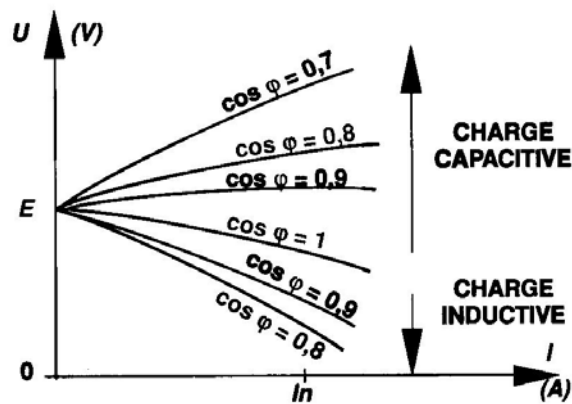


Figure 7 – Caractéristique externe

Sur cette caractéristique on observe que :

- La tension décroît quand le récepteur est résistif ou inductif.
- La tension augmente quand le récepteur est capacitif.

• **Pertes et rendement :**

Le rendement de l'alternateur est égale au quotient de la puissance utile  $P_u$  qu'il fournit à la puissance  $P_a$  qu'il absorbe soit :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + \text{pertes}}$$

avec  $P_a = P_u + \text{pertes}$

ou  $P_a = P_{\text{mécannique}} + P_{\text{inducteur}}$

en monophasé

$$\eta = \frac{U \times I \times \cos \varphi}{U \times I \times \cos \varphi + \text{pertes}}$$

en triphasé

$$\eta = \frac{\sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi}{\sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi + \text{pertes}}$$

**Les pertes se répartissent en deux catégories :**

• ***Les pertes constantes ou pertes a vide :***

- pertes mécaniques par frottement et ventilation.
- pertes par effet Joule dans le circuit d'excitation

Les pertes variables ou pertes en charge se limitent aux pertes par effet Joule dans le circuit induit.

Le rendement des alternateurs est très bon, il est de l'ordre de 0,85 pour les alternateurs de quelques KVA jusqu'à 0,98 pour les alternateurs triphasés de fortes puissance.

Le rendement diminue avec le facteur de puissance (figure 8).

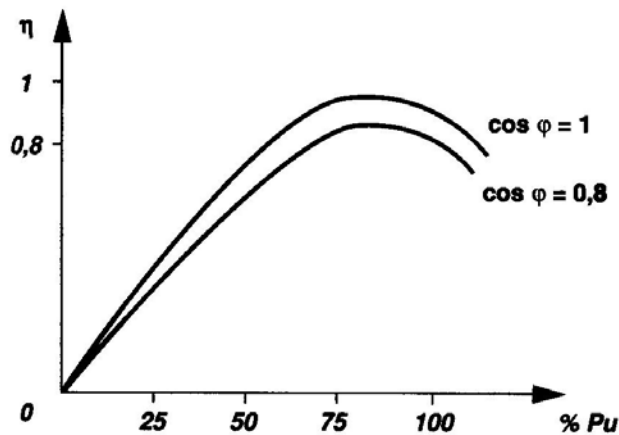


Figure 8 – Courbes  $\eta = f(P_u)$



**OBJECTIF : N° A**

**DURÉE : 1,3 H**

---

**Objectif poursuivi :** Expliquer le fonctionnement des alternateurs.

**Description sommaire de l'activité :**

**Le stagiaire doit :** être capable d'expliquer le principe de fonctionnement des alternateurs ainsi que leurs modes de fonctionnement à vide et en charge.

**- Lieu de l'activité :** En classe et en atelier.

**Liste du matériel requis :**

**Directives particulières :**

OBJECTIF : N° A

DURÉE : 1,3 H

1. Expliquer le principe de fonctionnement d'un alternateur triphasé ?
2. Expliquer le comportement d'un alternateur triphasé en marche à vide et en charge ?
3. Un alternateur fonctionnant à vide et tournant à 1200 tr/min, génère une tension triphasée de 9 KV, 60 Hz. Comment la tension à ses bornes sera t-elle affectée lorsqu'on y branche :
  - a) Une charge résistive.
  - b) Une charge inductive.
  - c) Une charge capacitive.
4. Dans la question (problème) N°3, calculer la tension et la fréquence à vide, si la vitesse baisse à :
  - a) 1000 tr/min.
  - b) 5 tr/min.
5. Expliquer ce que représente la réactance synchrone d'un alternateur ?
6. Tracer le circuit équivalent d'un alternateur et expliquer la signification de tous les paramètres ?
7. Faire les essais suivants d'un alternateur triphasé :

a) L'essai à vide

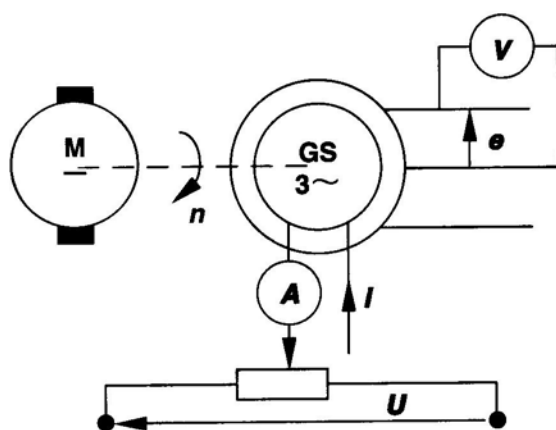


Figure 1 a)

b) L'essai en charge

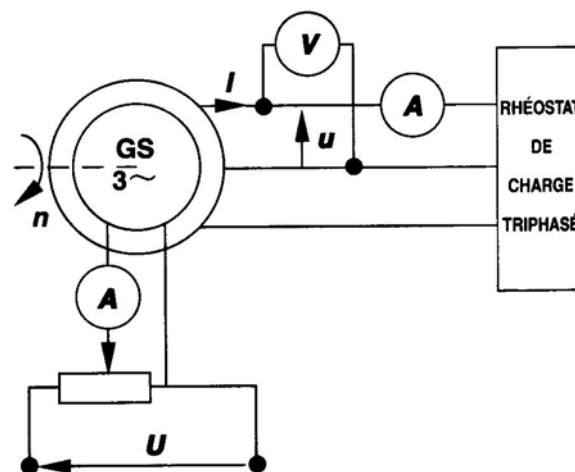


Figure 2 b)

**OBJECTIF : N°8**

**DURÉE : 1.8 H**

---

- **Objectif poursuivi :** Expliquer les lois du magnétisme en rapport avec l'effet moteur.

- **Description sommaire du contenu :**

**Ce résumé théorique comprend :** l'explication des lois du magnétisme en rapport avec l'effet moteur.

- **Lieu de l'activité :** En classe.

- **Directives particulières :**

Les trois principes de l'électromagnétisme, (I, II, III) en rapport avec l'effet moteur sont :

**Principe I :**

**☞ Création d'un champ magnétique par un courant**

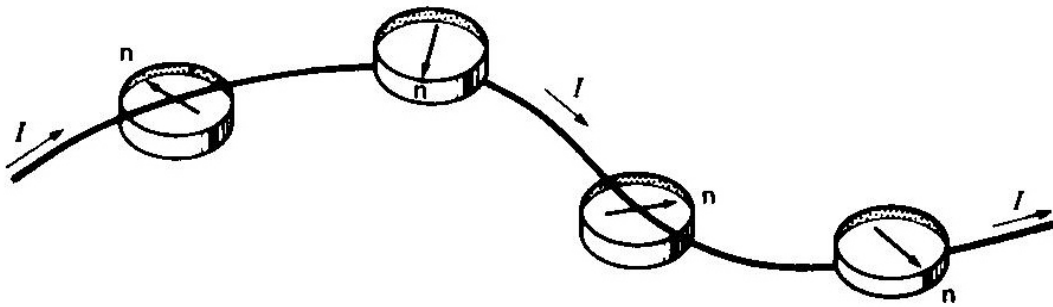


Figure 1

Un courant électrique produit un champ magnétique.

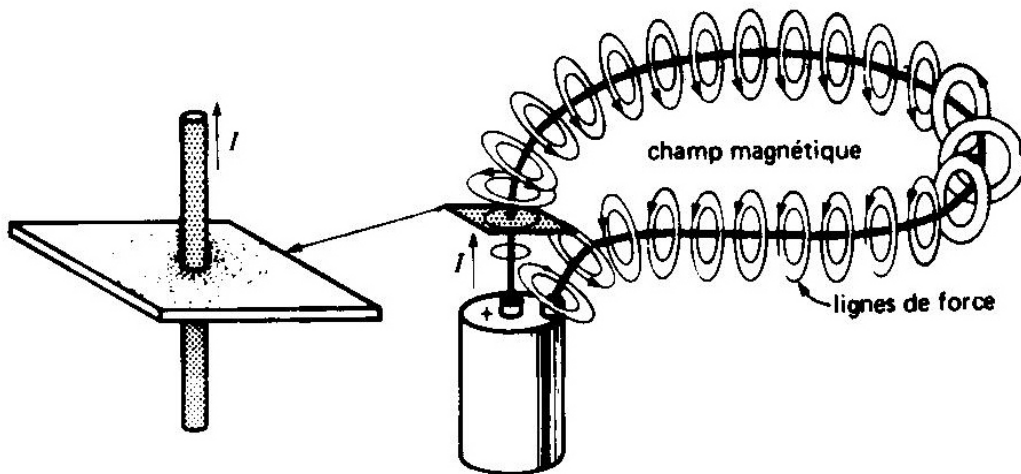


Figure 2

Les lignes de force autour d'un conducteur forment des cercles fermés. La nature de ce champ magnétique est révélée par la limaille de fer.

**🔗 Création d'un champ par une bobine parcourue par un courant.**

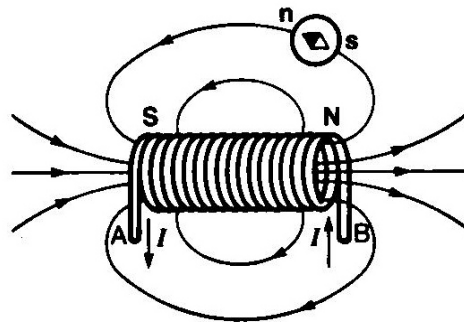


Figure 3

Champ magnétique crée par un solénoïde

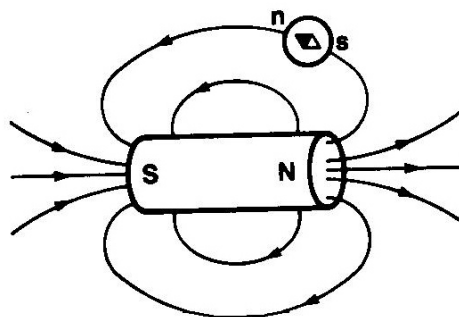


Figure 4

Ce barreau aimanté produit le même champ magnétique que le solénoïde de la figure 3.

**Principe II :**

**Force exercée sur un courant placé dans un champ magnétique :**

- Lorsqu'un conducteur portant un courant est orienté convenablement dans un champ magnétique, il est soumis à une force que l'on appelle force électromagnétique (force de la place).
- Soit un conducteur rectiligne parcouru par un courant entrant dans la feuille, il sera entouré d'un champ magnétique.

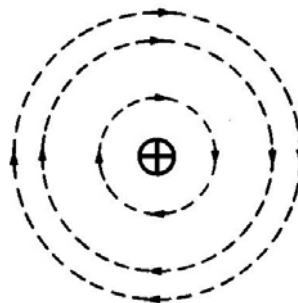


Figure 5

Champ magnétique autour d'un conducteur lorsque le courant entre dans la feuille.

- D'autre part soit un champ magnétique uniforme crée entre les deux pôles d'un aimant permanent puissant.

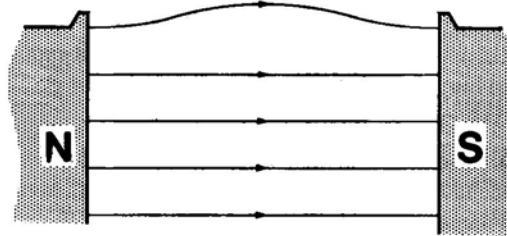


Figure 6 - Champ magnétique entre les pôles d'un aimant permanent.

Si l'on place ce conducteur, parcouru par un courant, entre les pôles de l'aimant permanent, on constate que :

- 1) Le conducteur est soumis à une force qui tend à le déplacer vers le bas.
- 2) Si l'on change le sens du courant dans le conducteur, le sens de la force change également.
- 3) La force agit dans une direction qui est à la fois perpendiculaire à la direction du courant et à celle des lignes d force.

$$F = B \times I \times l$$

(N)

- B en Tesla [ T ] ;
- I en [A] ;
- l en [m].

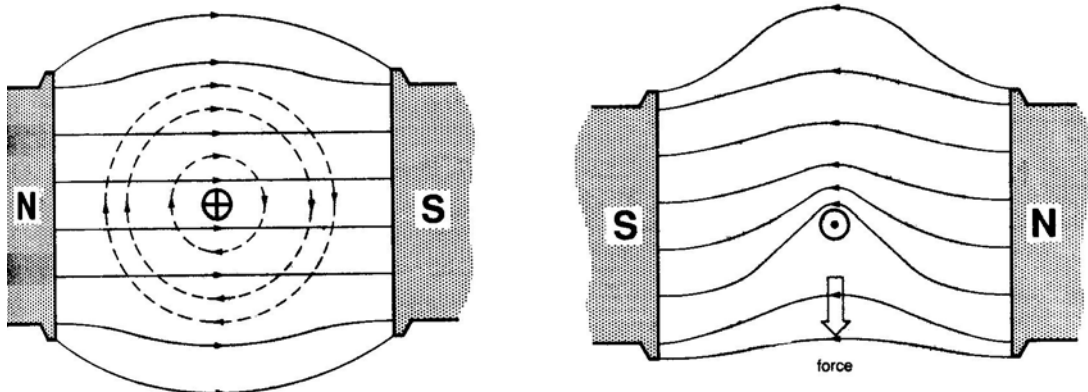


Figure 7 - Superposition des champs magnétiques

Les lignes de force agissent dans le même sens au-dessus du conducteur, ce qui augmente la densité de flux à cet endroit. Les lignes de force agissent en sens contraires en dessous du conducteur en sorte que la densité de flux est réduite à cet endroit.

Lorsque la direction du champ et le sens du courant sont inversés, le sens de la force demeure le même.

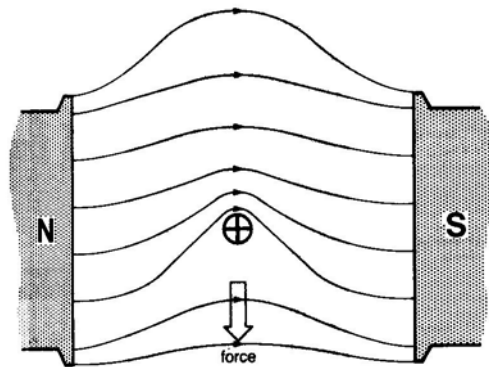


Figure 8  
Spectre du champ magnétique résultant.

➤ **Cas d'un cadre rectangulaire :**

Soit un cadre conducteur ABCD parcouru par un courant et placé entre les deux pôles d'un aimant. Chacun des côtés AB et CD est soumis à une force. Ces forces F1 et F2 agissent en sens contraire, de façon à faire tourner le cadre.

Le cadre est donc soumis à un couple  $T = F \times d$ , [N.m] (d= distance séparant les conducteurs actifs).

Si le cadre à N spires  $T = N \times F \times d$

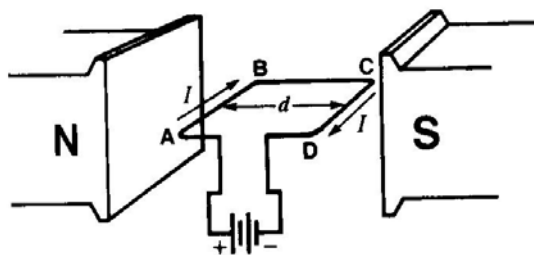


Figure 9  
Cadre placé dans un champ magnétique. Des forces agissent sur les côtés AB et CD; elles sont nulles sur les côtés AD et BC.

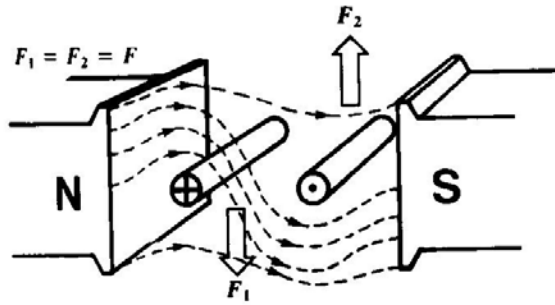


Figure 10

Les forces agissent sur les côtés AB et CD du cadre produisent un couple qui tend à le faire tourner.

**Principe III :**

**Déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique, induction d'une tension :**

- Selon le principe III de l'électromagnétique, lorsque l'on déplace un conducteur dans un champ magnétique de façon à «couper» des lignes de force, il apparaît une différence de potentiel entre ses extrémités. On dit alors qu'une tension est induite dans le conducteur.

$$E = B \times l \times v$$

- B en Tesla
- v en m/s

Induction d'une tension dans un conducteur en mouvement :

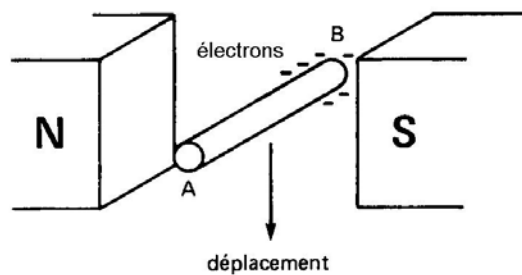


Figure 11

- La tension induite est maximale lorsque le conducteur est perpendiculaire au flux.



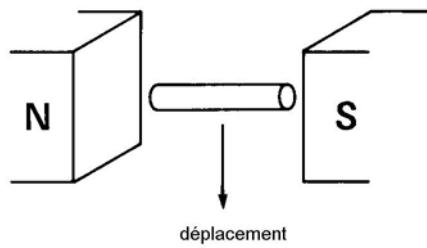


Figure 12

- La tension induite est nulle lorsque le conducteur est parallèle au flux.

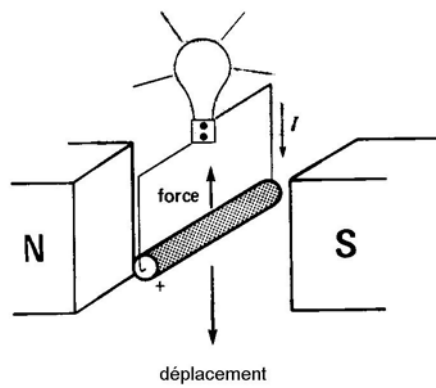


Figure 13

Le déplacement du conducteur induit une tension. Si le conducteur est raccordé à une charge, la tension induite provoque la circulation d'un courant. A son tour, le courant, situé dans un champ, engendre une force qui s'oppose au déplacement.

- le sens de tension induite :

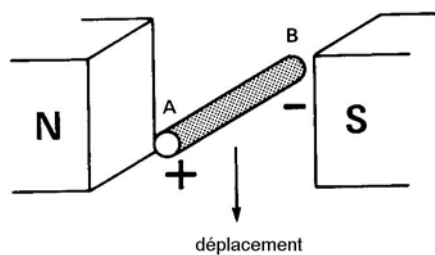


Figure 14

La polarité de la tension induite dépend de la direction du flux.

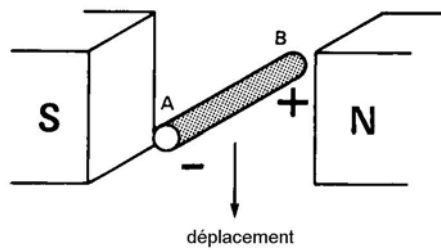


Figure 15

La polarité de la tension induite dépend de la direction du déplacement.

Notons que le mouvement du conducteur par rapport au champ magnétique est relatif : un conducteur stationnaire peut être coupé par un champ qui se déplace. En somme, la valeur de la tension induite dépend seulement du flux coupé par seconde.

$$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad [\text{V}]$$

- $\Delta \Phi$  - flux coupé par seconde [Wb];
- $\Delta t$  - intervalle de temps [s].

**OBJECTIF : N° 8**

**DURÉE : 1,2 H**

---

**Objectif poursuivi :** Expliquer les lois du magnétisme en rapport avec l'effet moteur.

**Description sommaire de l'activité :**

**Le stagiaire doit :** être capable d'expliquer les lois du magnétisme en rapport avec l'effet moteur, tel que la loi d'ampère, loi de la place, loi de Faraday.

**- Lieu de l'activité :** En classe et en atelier.

**Liste du matériel requis :**

**Directives particulières :**