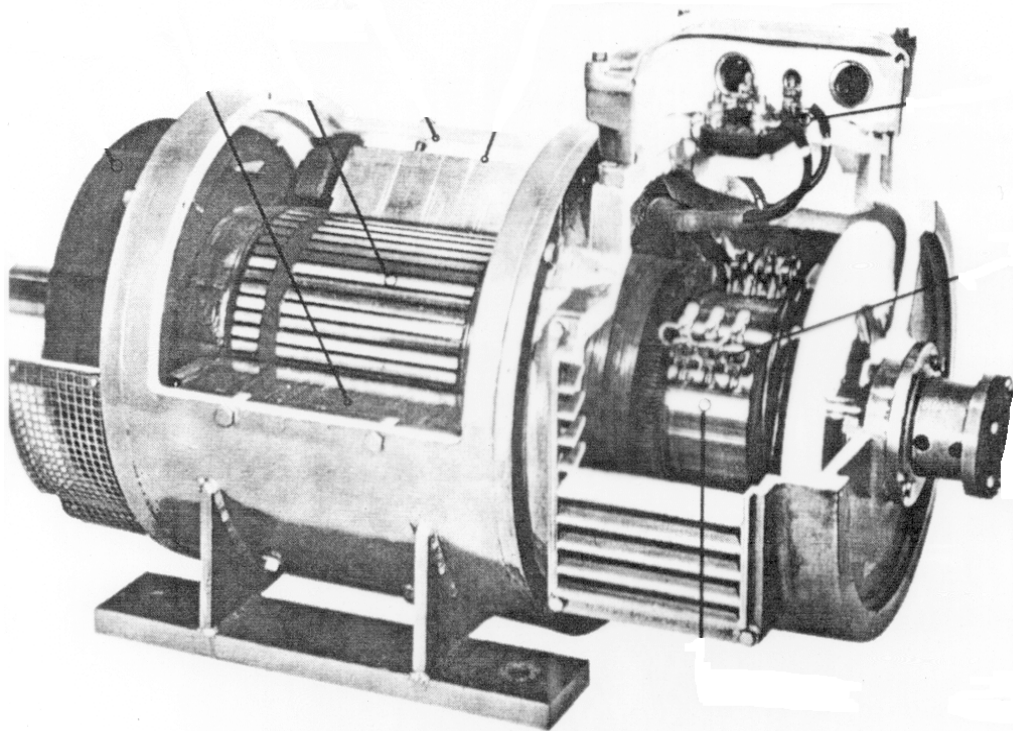


# Cours d'électrotechnique

**MACHINE TOURNANTE A COURANT CONTINU**

**LES MACHINES A COURANT CONTINU**



PARTIE N°2 :

**LA GENERATRICE**

## TABLE DES MATIERES

1.	Principe de fonctionnement.....	2
1.1.	Principe de base.....	2
1.2.	Le collecteur (rôle).....	4
1.3.	Pour N spires à l'induit.....	5
1.4.	Le collecteur réel.....	5
1.5.	Encore plus de courant.....	6
1.6.	Conclusion.....	7
2.	La force électromotrice.....	8
2.1.	La F.E.M. à vide.....	8
2.2.	La F.E.M. en charge.....	8
2.3.	L'ondulation de la F.E.M.....	8
2.4.	Généralisation de la F.E.M.....	8
3.	Quelques données numériques.....	9
4.	Les différentes caractéristiques d'une génératrice.....	10
4.1.	La caractéristique interne ou courbe à vide.....	10
4.2.	La caractéristique externe ou courbe en charge.....	10
4.3.	La caractéristique de réglage.....	10
4.4.	La caractéristique de vitesse.....	10
5.	Etudes de certaines caractéristiques.....	11
5.1.	Caractéristiques interne. (pour une machine indépendante, shunt et compound)....	11
5.1.1.	Mode opératoire.....	11
5.1.2.	Courbe.....	11
5.1.3.	Explication physique.....	12
5.2.	Caractéristiques externe. (pour une machine indépendante, shunt et compound) ...	12
5.2.1.	Mode opératoire.....	12
5.2.2.	Courbe.....	13
5.2.3.	Explication physique.....	13
5.3.	Caractéristiques de réglage. (pour une machine indépend., shunt et compound) ....	15
5.3.1.	Mode opératoire.....	15
5.3.2.	Courbe.....	15
5.3.3.	Explication physique.....	16

## 1. Principe de fonctionnement

### 1.1. Principe de base

Nous savons que la génératrice courant continu doit délivrer une tension continue afin de pouvoir débiter un courant continu.

Pour parvenir à ce type de fonctionnement, nous allons exploiter le principe même de la loi de LENZ. Cette loi nous dit que si nous voulons développer une FEM dans un conducteur, il faut soumettre ce dernier à une variation de flux.

Il existe deux façons de réaliser une variation de flux, soit le courant qui crée ce flux est variable ( signal alternatif ) soit le courant qui crée ce flux est continu et une mise en rotation du flux s'impose. Dans notre cas, nous n'avons pas de tension alternative à notre disposition, nous retiendrons la création d'un flux fixe couplé à une mise en rotation de ce dernier. Pour ce qui est de la mise en mouvement, nous pourrions plutôt que de mettre cet électro-aimant en rotation faire tourner les conducteurs qui devront être le siège de la génération de la FEM.

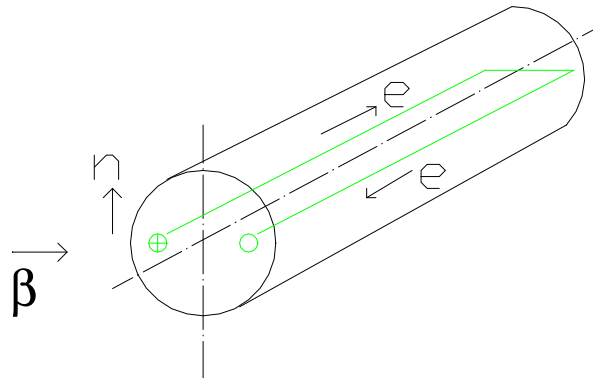
Voyons comment en pratique nous allons réaliser ces deux conditions :

- Afin de créer un flux magnétique fixe, nous avons deux possibilités, soit nous utilisons un aimant permanent soit nous utilisons un électro-aimant que nous alimenterons en tension continue.  
Afin d'obtenir un flux important mais aussi pour nous permettre de réguler ce dernier, nous allons retenir l'utilisation d'un électro-aimant. (les petits moteurs utilisés dans les jeux d'enfant utilisent des aimants permanents).  
Pour rappel, un électro-aimant n'est rien d'autre qu'une bobine composée de plusieurs spires et placée sur un circuit magnétique.  
Lors de la mise en œuvre pour notre machine, cette bobine sera partagée en deux parties égales (voir partie I : la description).  
Il nous suffit donc d'alimenter cette bobine sous une différence de potentiel continue et en regard à la loi d'ohm, ( $I = \frac{U}{R_{\text{inducteur}}}$ ) nous aurons circulation d'un courant continu qui entraînera la génération de champs magnétiques au sein des spires. Ces champs magnétiques induiront des lignes d'inductions au droit de la bobine et ces dernières le flux qui circulera dans le circuit magnétique.
- Afin de réaliser la mise en mouvement de nos conducteurs devant être le siège de la FEM, nous placerons ces derniers sur un support (rotor) mis en rotation par un élément extérieur (moteur quelconque).

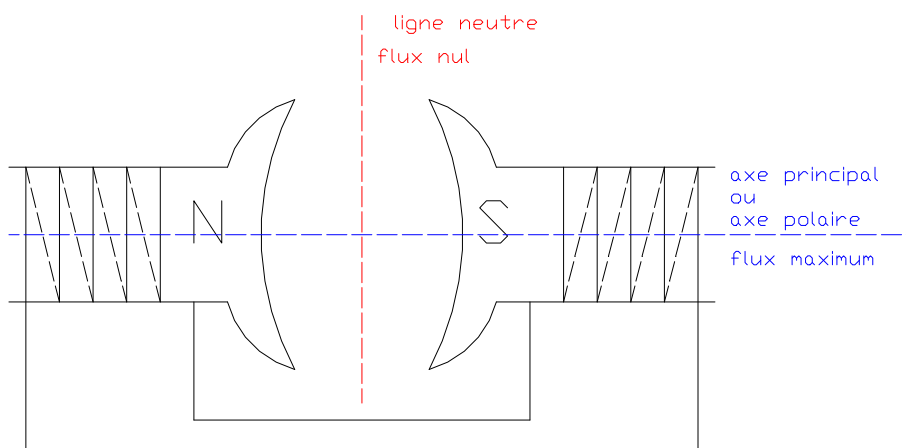
Si notre enroulement (inducteur) est traversé par un courant continu, cela veut dire que chaque spire se polarise et que par conséquent notre bobine va elle aussi se polariser. La polarisation n'est possible que parce que nous avons génération d'un flux fixe au droit de la bobine. Comme notre bobine est fixée sur un circuit magnétique nous avons donc un flux dans celui-ci. Ce flux génère donc la polarisation des extrémités du circuit magnétique. Dans notre cas, les deux extrémités du circuit magnétique sont appelées les épanouissements polaires. Notre flux arrive donc à l'extrémité de nos épanouissements polaires, il franchit ensuite l'entrefer pour se retrouver dans l'induit qu'il traverse et après avoir à nouveau traversé l'entrefer se retrouve dans le circuit magnétique de notre machine via lequel il pourra se refermer. Ne perdons pas de vue que le flux au sein d'un circuit magnétique circule toujours du sud vers le nord.

L'induit, la partie mobile de notre machine, est mis en rotation par l'action d'un moteur extérieur. Notre induit composé de conducteurs se déplace dans ce flux ce qui sous entend que les conducteurs de l'induit coupent perpendiculairement le flux. J'ai donc toutes les conditions pour obtenir l'induction d'une force électro-motrice dans les conducteurs de cet induit. Celle-ci après passage dans le collecteur engendrera notre source de tension continue exploitable.

Si mon induit ne comporte qu'une spire et que je place deux bagues pour récupérer la FEM, que vais-je obtenir ?



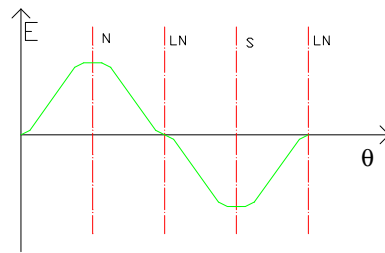
Selon notre raisonnement ci-dessus, ma spire va donc être soumise à une variation de flux. Noter que la variation est vu par la spire parce que cette dernière est en mouvement au sein du flux. En aucun cas, ce n'est le flux lui-même qui varie. Rappelons que le flux au sein de la machine est maximum sur l'axe principale ou axe polaire et nul sur l'axe de la ligne neutre.



Entre ces deux positions, la valeur de la densité de flux varie. Notre spire lorsqu'elle se trouve dans le plan de la ligne neutre est donc soumise à un flux nul et par conséquent, en ce point, la FEM est nulle. Lors de la rotation de notre spire, elle va pénétrer dans le flux, dans ce cas, la combinaison de la rotation de notre spire dans un flux dont la densité varie au long des épanouissements polaires va engendrer l'apparition d'une FEM. On peut donc conclure que la valeur de la FEM va croître plus la spire va se rapprocher du plan de l'axe principal. Elle fournira sa FEM maximum lorsqu'elle sera dans le plan principal, lieu où la densité de flux est maximum. Si la rotation continue, la densité de flux diminuant, pour s'annuler au droit de la ligne neutre, la valeur de la FEM au droit de notre spire va également évoluer dans ce sens pour s'annuler sur l'axe de la ligne neutre.

Que se passe-t-il lorsque la spire va passer la ligne neutre ?

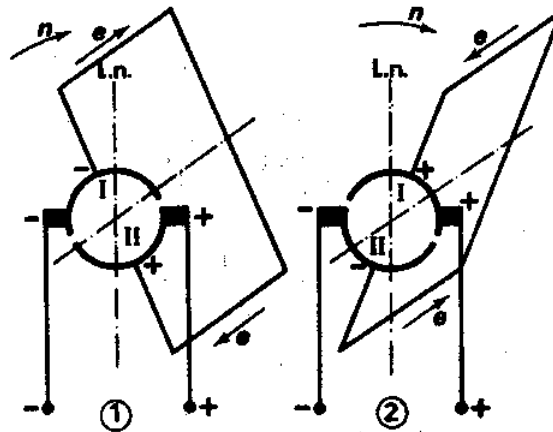
Nous remarquons que le sens du courant est inversé et que par conséquent le sens de la FEM également. Donc si nous traçons l'allure de la FEM après un tour de la spire, nous obtenons aux bornes de nos balais l'allure suivante proche d'une sinusoïde et montrant bien l'évolution de la densité de flux.



Cette allure ne nous intéresse pas car nous voulons une tension continue. Le problème à résoudre est donc par un artifice de modifier l'allure de telle sorte que nous supprimions le changement de polarité de la FEM.

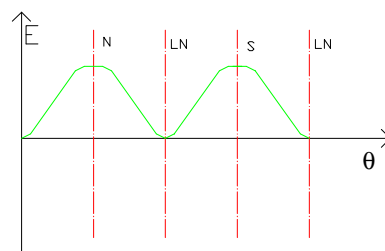
### 1.2. Le collecteur (rôle)

Pour parvenir à cela, nous allons placer un collecteur composé de deux lames et dont les deux extrémités de la spire y sont fixées.



Analysons à nouveau notre système, prenons comme hypothèse que le balais du dessus est le positif, nous remarquons que sa polarité ne change pas car lorsque la FEM change de sens dans la spire, le balais change de lame. Si la polarité change et que nous changeons de lame, cela revient à dire que nous ne changeons rien et que la polarité vue sur les balais est restée inchangée. Notons encore que le changement de polarité de la FEM dans le conducteur se fait pas un passage à zéro de la valeur de la FEM.

Nous obtenons donc une allure de double demi alternance mais positive. Nous venons donc en quelque sorte de créer un redressement mécanique. L'allure de la FEM devient la suivante :



### 1.3. Pour N spires à l'induit

Nous ne pouvons pas accepter une tension d'exploitation ayant la forme double alternance, il faut donc que nous modifions encore notre induit.

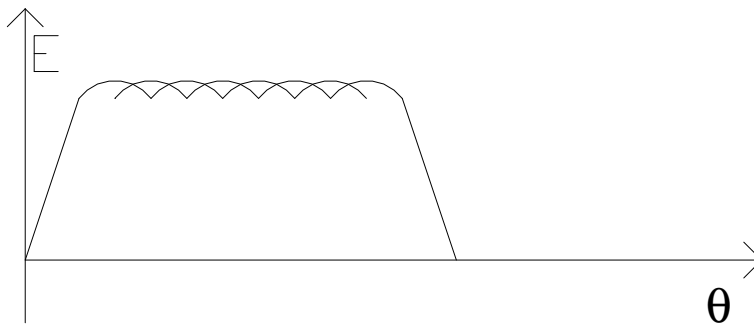
Une chose que nous pourrions modifier tout de suite, c'est la valeur de la tension débitée. Pour augmenter celle-ci, il nous suffirait tout simplement d'augmenter le nombre de spires dans l'induit de telle sorte que nous obtenions une mise en série de N conducteurs actifs et donc une FEM « e »

multipliée par N ( $E=e \times N$ ). Si nous devons considérer des spires et non plus des conducteurs actifs, ( $E=2 \times e \times N$ ). Le 2 provient du fait que une spire est composée de deux conducteurs actifs et que chacun de ceux ci génère une FEM « e ». Nous avons une mise en série de deux générateurs.

Afin de nous permettre la mise en œuvre de cela, nous allons être dans l'obligation de placer l'ensemble de ces spires non pas dans une seule encoche mais dans un nombre d'encoche réalisée sur le périmètre de notre induit. De cette façon, nous respecterons toujours le positionnement des conducteurs dans le flux. Comme nous devons veiller à ce que chaque spire au passage de la ligne neutre n'influence pas la polarité de notre tension de sortie, nous devons prévoir sur notre collecteur autant de lame que nous auront d'encoche.

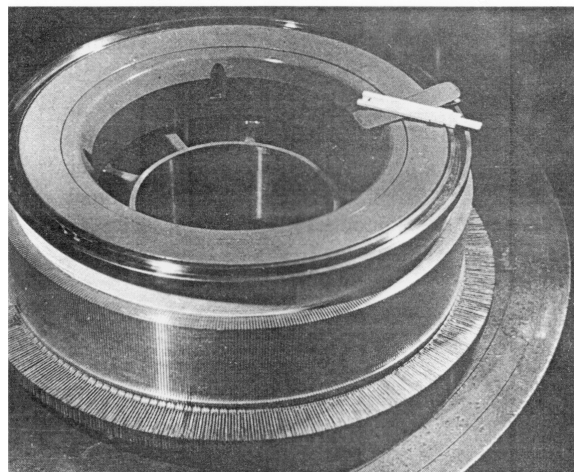
Analysons notre système, nous remarquons que notre FEM est plus importante. Nous avons bien augmenté la tension d'exploitation et de plus cette dernière est devenue relativement constante.

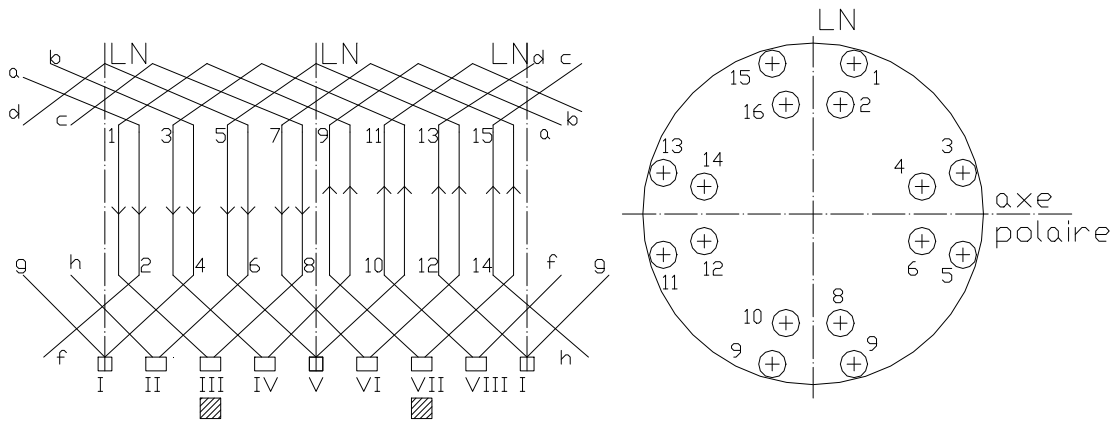
Nous pouvons expliquer cette constante de par le fait que en tout moment nous avons toujours un nombre identique de spires qui traverse en des points donnés le flux magnétique.



### 1.4. Le collecteur réel

Nous pouvons dire que notre induit est une grande bobine que nous avons découpée en section et que chaque section est placée dans une encoche du rotor et comporte un nombre donné de spires. Nous pouvons donc conclure que dans une encoche nous avons N spires générant chacune une FEM et que les spires pouvant être considérées comme câblées en série, nous avons une sommation de FEM. Nous avons dit plus haut que chaque section était raccordée sur le collecteur. Je précise encore que le raccordement est tel que par l'intermédiaire du collecteur toutes mes sections soient aussi câblées en série ce qui me permet d'accroître la valeur totale de la FEM au droit des balais.

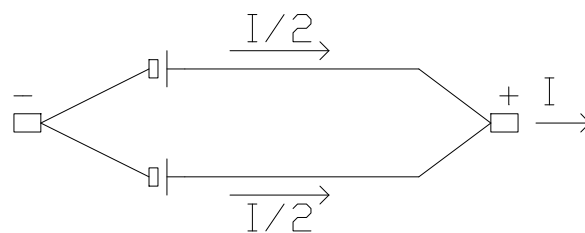
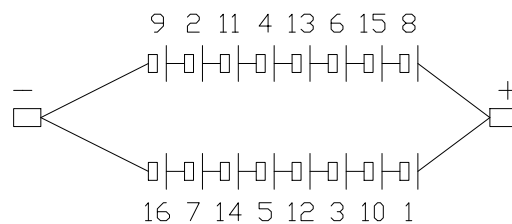




Cette construction va nous permettre de réaliser le passage des balais d'une lame à l'autre en vérifiant que deux lames consécutives au niveau des balais aient un potentiel identique. Comme nos balais vont passer d'une lame à l'autre et que ces dernières possèdent le même potentiel, je peux dire que la différence de potentiel entre ces deux lames est nulle.  
( Voir Partie I : La description - la commutation )

### 1.5. Encore plus de courant

Lorsque nous souhaitons augmenter le courant dans un circuit, nous utilisons souvent comme système le couplage de générateur en parallèle. Ce procédé permet de partager le courant dans chaque générateur et ainsi de permettre une élévation du courant global puisque si chaque générateur fournit un courant  $I$ , les deux générateurs couplés en // vont fournir à la charge un courant  $I_t = 2 \times I$ .  
Dans notre cas, il faut donc que nous formions au sein de notre machine un deuxième générateur, il nous suffit donc de doubler dans chaque encoche le nombre de petites bobines.  
Nous pourrions dire que notre machine possède deux voies d'enroulement.



## 1.6. Conclusion

Au stade actuel de notre étude, nous pouvons tirer une première conclusion sur le fonctionnement :

Soit une tension continue «  $u$  » appliquée à l'enroulement inducteur, cette dernière engendre en application à la loi d'ohm la circulation d'un courant «  $i$  » lié à la résistance du bobinage inducteur. Le courant d'excitation «  $i$  » traversant l'enroulement inducteur et donc la bobine inductrice crée au sein de celle-ci la génération de champs magnétiques au sein des spires formant le bobinage. Ces champs forment les lignes d'inductions et ces dernières donnent un flux  $\Phi_{ei}$ . La bobine inductrice étant placée sur un circuit magnétique, ce dernier va conduire le flux  $\Phi_{ee}$  et ainsi polariser le stator de la machine. Le flux devant se refermer sur lui-même, il traverse l'entrefer pour se retrouver dans l'induit ou l'on parlera du flux  $\Phi_i$ . A la condition indispensable que le rotor soit mis en rotation, nous pouvons dire que les conducteurs de l'induit coupant les lignes de flux  $\Phi_i$  sont le siège de la création d'une FEM «  $e$  ». Comme nous possédons un nombre donné de conducteurs actifs formant les spires, cela sous-entend que nous obtenons une FEM «  $E$  » qui après passage dans les balais engendre aux bornes de la machine une tension «  $U$  ». Si cette dernière alimente une charge, nous aurons dans cette dernière circulation d'un courant.

Ceci n'est toutefois qu'une partie du principe de fonctionnement. En effet, nous ne pouvons pas oublier la chute de tension ohmique et la réaction d'induit.

Lorsque notre machine débite un courant sur une charge, nous avons au sein de l'enroulement induit des chutes de tension ohmique qui se soustraient à la FEM pour donner la tension de sortie. Ce même courant va également permettre la génération des champs magnétiques siège de la réaction d'induit. Cette dernière aura donc une répercussion directe sur le flux induit. Les enroulements d'induit seront donc soumis à un flux qui sera une combinaison du flux inducteur et de la réaction d'induit. Nous avons encore vu dans les notes que nous pouvions placer pour limiter l'effet dévastateur de cette réaction d'induit des enroulements auxiliaires. Ces derniers enroulements sont également traversés par le courant de charge et produisent aussi grâce à ce dernier des champs magnétiques qui vont s'opposer aux champs magnétiques de la réaction d'induit.



## 2. La force électromotrice

### 2.1. La F.E.M. à vide

$$E = n \times N \times \phi$$

Avec : E = la FEM totale en volt  
n = la vitesse de rotation en tr/sec  
N = le nombre de conducteur actif  
 $\Phi$  = le flux induit produit par l'inducteur en Wéber

Lors du fonctionnement à vide, nous pouvons dire que la tension de sortie est égale à la FEM totale.  $U = E$ .

### 2.2. La F.E.M. en charge

$$E = U + ( R_{AB} \times I )$$

Avec : E = la FEM totale en volt  
U = la tension débitée par la machine en volt  
 $R_{AB}$  = la résistance total de l'induit comprenant la résistance de l'enroulement d'induit (rotor) et la résistance balais – collecteur en ohms  
I = le courant débité par la machine en ampère

### 2.3. L'ondulation de la F.E.M.

Nous avons vu au début de ces notes que la FEM fournie par l'ensemble des spires n'était pas constante. Du fait du positionnement des conducteurs sur le périmètre de l'induit, les différentes FEM au droit des conducteurs ne sont pas maximum simultanément. De plus, ne perdons pas de vue que la FEM induite par les conducteurs varie en fonction de la rotation de l'induit. Je peux encore déduire que la FEM totale ne s'annule plus lors du changement de lame sur le collecteur comme c'était le cas avec une spire. Si cette FEM totale n'est pas constante, elle reste néanmoins légèrement ondulée. L'amplitude de l'ondulation diminue quand le nombre de lames de collecteur augmente. Quand le nombre de lame de collecteur est grand, l'ondulation est faible. Pour 50 lames l'ondulation serait égale à 0,4% de E. On peut donc admettre que E est une FEM constante.

### 2.4. Généralisation de la F.E.M.

Nous avons jusqu'à présent considéré que notre machine était constituée de deux pôles et de deux voies d'enroulement. Nous pouvons trouver des machines ayant plus de deux voies d'enroulement afin d'augmenter la valeur du courant que l'on peut absorber. On peut aussi trouver des machines ayant plus de deux pôles mais attention le nombre de pôles sera toujours paire. La formule généralisée devient :

$$E = N \times n \times \phi_i \times \frac{P}{a}$$

P = nombre de paire de pôle  
a = nombre de paire de voie d'enroulement  
E = Force Electro Motrice (FEM) en volt  
n = vitesse de rotation en tr/sec  
N = nombre de conducteur actif  
 $\Phi_i$  = le flux d'induit en wéber

### 3. Quelques données numériques

Données d'une machine JEUMONT – SCHNEIDER :

- Puissance utile  $P_{ut} = 100 \text{ Kw}$
- Vitesse de rotation  $n = 1500 \text{ tr/min}$
- Inducteur possède 4 pôles principaux
- Diamètre de l'induit : 0.3m
- Longueur de l'induit : 0.305m
- Nombre d'encoches : 42
- Nombre de conducteur : 252
- Nombre de conducteur par encoche : 6
- Nombre de lames au collecteur : 126
- Entrefer : 2 fois 2.8mm
- Flux sous un pôle : 42mWb
- Induction dans un noyau polaire : 1.5T
- Induction dans l'entrefer : 0.85T
- Induction dans l'induit : 1.3T
- Induction dans une dent : 1.56 à 2.1T
- Induction dans la culasse : 1.3T
- FMM par pôle : 1450 AT

#### 4. Les différentes caractéristiques d'une génératrice

##### 4.1. La caractéristique interne ou courbe à vide

Paramètres constants	Paramètres variables
Vitesse du moteur d'entraînement	Courant d'excitation (via le rhéostat de champ)
Courant d'induit (essai à vide)	La Force Electro Motrice

Cette courbe nous donnera un graphe montrant l'évolution de la FEM en fonction du courant d'excitation ( $E=f(i)$ ).

##### 4.2. La caractéristique externe ou courbe en charge

Paramètres constants	Paramètres variables
Vitesse du moteur d'entraînement	Courant d'induit
Courant inducteur	La tension débitée

Cette courbe nous donnera un graphe montrant l'évolution de la tension  $U$  en fonction du courant d'induit ( $U=f(I)$ ).

##### 4.3. La caractéristique de réglage

Paramètres constants	Paramètres variables
Vitesse du moteur d'entraînement	Courant d'excitation (via le rhéostat de champ)
La tension débitée	Le courant d'induit

Cette courbe nous donnera un graphe montrant l'évolution du courant d'induit en fonction du courant d'excitation ( $I=f(i)$ ).

##### 4.4. La caractéristique de vitesse

Paramètres constants	Paramètres variables
Courant d'excitation	Vitesse du moteur d'entraînement
Courant d'induit (essai à vide)	La Force Electro Motrice

Cette courbe nous donnera un graphe montrant l'évolution de la FEM en fonction de la vitesse de rotation ( $E=f(n)$ ).

## 5. Etudes de certaines caractéristiques.

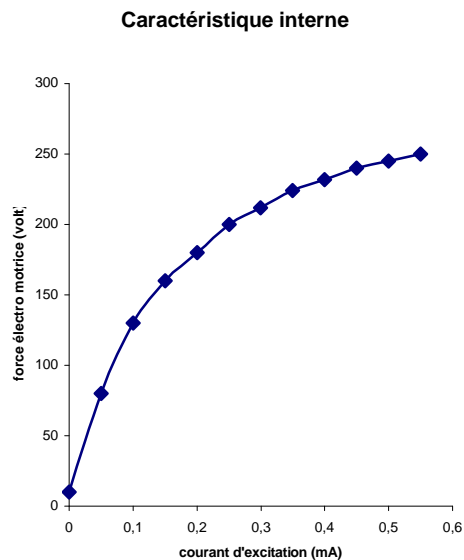
(Cette partie vous sera indispensable pour le laboratoire sur les machines courant continu)

### 5.1. **Caractéristique interne. (pour une machine indépendante, shunt et compound)**

#### 5.1.1. Mode opératoire.

- ❑ Câbler la machine courant continu pour un fonctionnement en génératrice. (voir schéma en page 1-19) Placer les appareils de mesure nécessaire à savoir un voltmètre pour la mesure de la tension débitée « U » car à vide  $E=U$  et un ampèremètre pour mesurer le courant d'excitation.
- ❑ Vérifier que le rhéostat de champ est bien placé et que son réglage est tel qu'il offre le maximum de résistance afin d'avoir un courant d'excitation le plus faible possible. En cas de doute, déconnecter ce dernier et vérifier avec un ohmmètre.
- ❑ Lancer le moteur d'entraînement et laisser ce dernier se stabiliser. Si possible ajuster la valeur de la vitesse afin d'obtenir la vitesse nominale de notre machine courant continu.
- ❑ Réaliser les mesures du courant d'excitation « i », de la tension débitée « U » et de la vitesse de rotation. Pour ce faire, vous diminuerez la valeur du rhéostat de champ par palier constant. La valeur du courant d'excitation vous servira de repère. Une fois le rhéostat de champ court-circuité, refaire la même démarche mais en sens inverse, vous augmenterez la valeur du rhéostat de champ par palier constant.

#### 5.1.2. Courbe.



N.B. : cette courbe correspond à l'allure générale obtenue pour un câblage en indépendant ou en shunt ou en compound. En fonction du type de câblage, la caractéristique peut avoir une inclinaison et une courbure différente.

### 5.1.3. Explication physique.

Trois particularités doivent être expliquées.

La courbe ne commence pas à l'origine, pourquoi ?

Sur base de notre allure, on remarque que la courbe ne commence pas à l'origine des axes. Cette constatation signifie que pour une excitation nulle, et moyennant une mise en rotation de la machine, cette dernière va débiter une FEM. Nous savons que pour produire une FEM, une génératrice courant continu a besoin de deux choses, une mise en rotation que nous avons, et la présence d'un flux inducteur que nous ne créons pas puisque le courant d'excitation est nul. Nous sommes certains que si nous avons une FEM nous devons avoir un autre flux qui joue le rôle de flux inducteur. Rappelons nous que notre machine est constituée de masses magnétiques (carcasse, noyaux polaires, épanouissements polaires, cornes polaires) qui ont pour rôle de permettre au flux de se refermer sur lui-même. Peut-on dire que ces masses sont entièrement démagnétisées lors de l'arrêt de la machine ? Non. Le flux ainsi généré par les masses magnétiques est appelé le flux rémanent et c'est lui qui permet à la machine de débiter une FEM sans excitation.

La première partie de la courbe est une droite, pourquoi ?

Nous savons que toute augmentation du courant d'excitation (via une diminution de la résistance du rhéostat de champ) va entraîner une augmentation du flux inducteur. Cette dernière augmentation va quant à elle permettre une augmentation de la FEM. Si nous reprenons le principe de fonctionnement et les formules associées, nous pouvons remarquer que la FEM est proportionnelle au courant d'excitation. Noter encore que comme notre essai est réalisé à vide, nous n'avons pas de chute de tension ohmique et pas de phénomène de réaction d'induit.

La dernière partie de la courbe montre une saturation, pourquoi ?

Si nous avons une saturation de la FEM cela ne peut être du que par les conditions de départ, la vitesse et/ou le flux. La vitesse étant indépendante grâce au moteur extérieur, il ne peut s'agir que du flux inducteur. Comment ce dernier peut-il se saturer ? Nous sommes à vide donc pas de réaction d'induit. Il faut donc chercher du côté des éléments qui conduisent ce flux inducteur. Il s'agit des masses magnétiques. Ces dernières ont la particularité de permettre une conduction aisée du flux magnétique, mais comme toute chose, elles ont aussi des limites. En effet, les masses magnétiques sont capables de transporter une quantité donnée de flux et au delà de cette valeur, ces masses seaturent. Votre électro aimant à beau produire plus de flux, les masses magnétiques sont incapables de le transporter et nous obtenons ainsi une saturation du flux inducteur et par conséquent une saturation de la FEM.

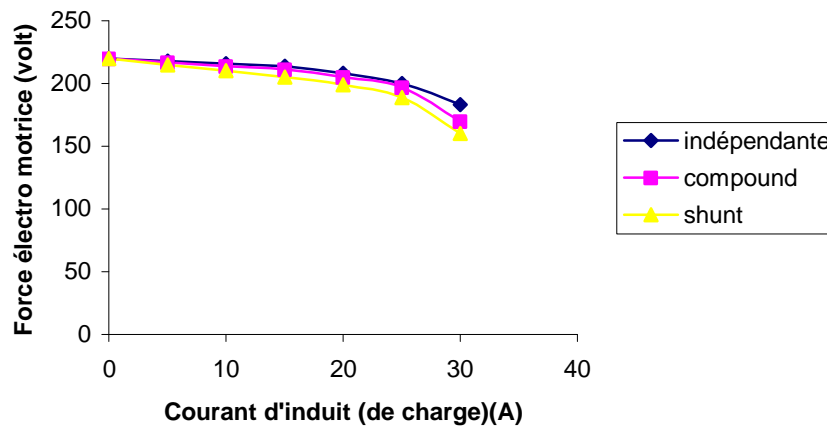
## 5.2. **Caractéristique externe. (pour une machine indépendante, shunt et compound)**

### 5.2.1. Mode opératoire.

- ❑ Câbler la machine courant continu pour un fonctionnement en génératrice. (voir schéma en page 1-19) Placer les appareils de mesure nécessaire à savoir un voltmètre pour la mesure de la tension débitée « U » et un ampèremètre pour mesurer le courant de charge.
- ❑ Vérifier que le rhéostat de champ est bien placé et que son réglage est tel qu'il offre le maximum de résistance afin d'avoir un courant d'excitation le plus faible possible. En cas de doute, déconnecter ce dernier et vérifier avec un ohmmètre.
- ❑ Lancer le moteur d'entraînement et laisser ce dernier se stabiliser. Si possible ajuster la valeur de la vitesse afin d'obtenir la vitesse nominale de notre machine courant continu.
- ❑ Régler à l'aide du rhéostat de champs la tension nominale que doit débiter la machine. Aidez-vous du voltmètre pour réaliser ce réglage.
- ❑ Réaliser les mesures du courant de charge « I », de la tension débitée « U » et de la vitesse de rotation. Pour ce faire, vous placerez des charges qui permettront à votre machine de fournir un courant d'induit. Vous chargerez la machine en veillant à ne pas dépasser le courant nominal de la machine. Une fois toutes les charges branchées, refaire la même démarche mais en sens inverse, vous retirez les charges par palier constant.

5.2.2. Courbe.

**Caractéristique externe**



5.2.3. Explication physique.

Nous remarquons deux parties distinctes dans cette courbe, la première nous montre que le début de la courbe est une droite et que la seconde partie est une courbe. Pourquoi ?

Pourquoi une droite ?

Cette allure nous montre que la FEM diminue avec l'augmentation de la charge et donc avec l'augmentation du courant d'induit. Il y a donc un lien entre le courant d'induit et la FEM. Nous savons que la vitesse du moteur est constante il ne peut donc s'agir que d'un lien encore plus précis entre le courant d'induit et le flux inducteur. En effet, il y a en charge un phénomène qui interfère sur le flux inducteur, il s'agit du phénomène de réaction d'induit. Comme ce phénomène est dû à l'influence de champs magnétiques de réaction d'induit sur le flux inducteur et que ces champs sont proportionnels au courant d'induit, je peux en conclure que les déformations apportées au flux inducteur sont également proportionnelle au courant d'induit. Nous venons ici d'expliquer la diminution de la FEM produite par la machine. N'oublions pas que nous mesurons la tension débitée et non pas la FEM. Nous pourrions dès lors nous poser la question de savoir si la tension « U » majorée des chutes de tensions dues à la réaction d'induit me donnerait bien la tension ou la FEM nominale. Il n'en est en réalité rien, en effet il existe encore entre la FEM et la tension débitée un autre phénomène qui accentue encore la chute de tension de la tension débitée. Il s'agit des chutes de tension ohmiques dues à la résistance de l'enroulement d'induit et à la résistance balais-collecteur. Comme ces chutes sont fonction de la loi d'ohm, je peux dire que ces chutes de tension sont proportionnelles au courant d'induit. En conclusion, je peux confirmer l'allure linéaire de la courbe dans la première portion.

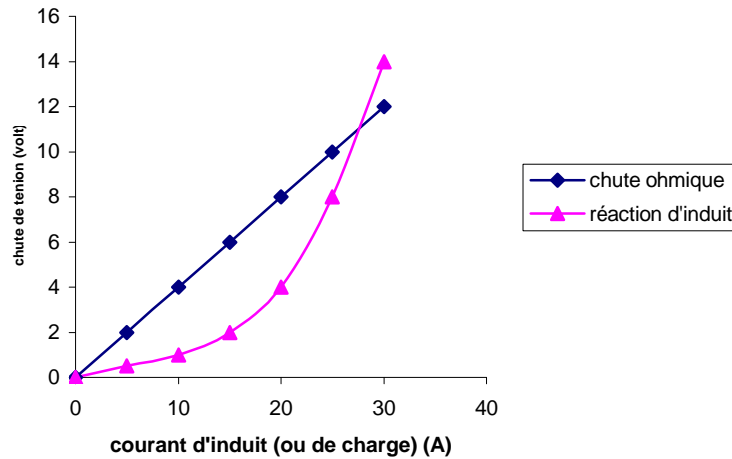
Je peux encore dire que la FEM nominale moins les effets de la réaction d'induit me donne la FEM réelle qui elle même majorée par les chutes de tension ohmiques me donne la tension réelle débitée par la machine.

Pourquoi une courbe ?

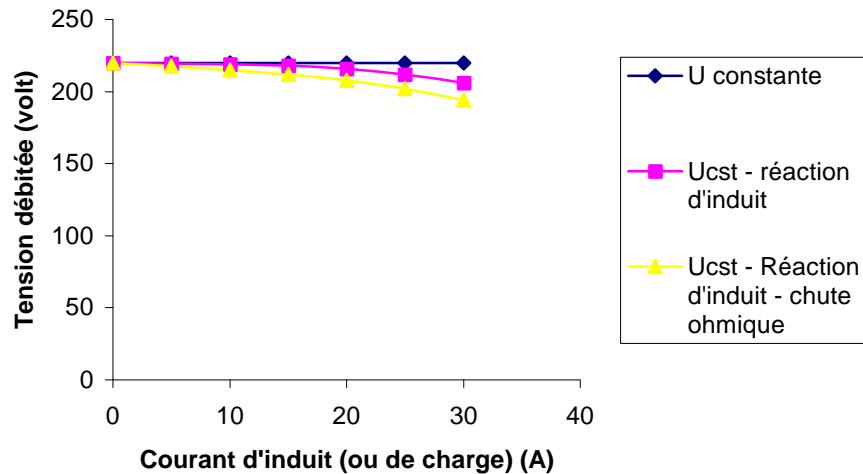
Si il y a une courbe, cela veut dire qu'il n'y a plus proportionnalité. Reprenons chacun des phénomènes voyons celui qui n'offre plus cette proportionnalité. Les chutes de tension ohmiques sont fonction de la loi d'ohm, je peux donc confirmer que ces dernières seront toujours proportionnelles au courant d'induit. Pour ce qui est du phénomène de réaction d'induit, nous devons être beaucoup plus prudent. Nous savons qu'il s'agit de l'influence de champs magnétiques de réaction d'induit sur le flux inducteur. Rappelons que ce sont les conducteurs de l'induit qui parcourus par le courant d'induit génèrent ces champs magnétiques. Nous savons que le flux inducteur est au départ constant puisque l'excitation est constante. De plus, les champs magnétiques de réaction d'induit sont proportionnels au courant induit et il ne pourrait en être autrement. Nous avons pour lutter contre ce dernier des enroulements auxiliaires parcourus par le même courant d'induit et qui produisent des champs de compensation devant annuler le

phénomène de réaction d'induit. Le champ de compensation est lui aussi conduit par les masses magnétiques et je peux donc en conclure que nous avons une augmentation de la magnétisation de ces dernières. Hors nous savons que les masses magnétiques ont une limite de conduction, je peux donc tirer comme conclusion que plus le courant d'induit augmente, et plus le champ de compensation augmente créant ainsi la saturation du circuit magnétique ce qui a pour conséquence une diminution du flux inducteur en sortie des masses magnétiques, une diminution de l'action du champ de compensation sur le champ magnétique de réaction d'induit ayant pour conséquence une déformation accrue du flux inducteur. En conclusion, plus le courant d'induit devient important et plus le rôle des enroulements auxiliaires devient négligeable entraînant une déformation accélérée du flux inducteur et donc une diminution de la FEM.

### Les chutes de tension



### Evolution de la tension débitée en retirant les différentes chutes de tension



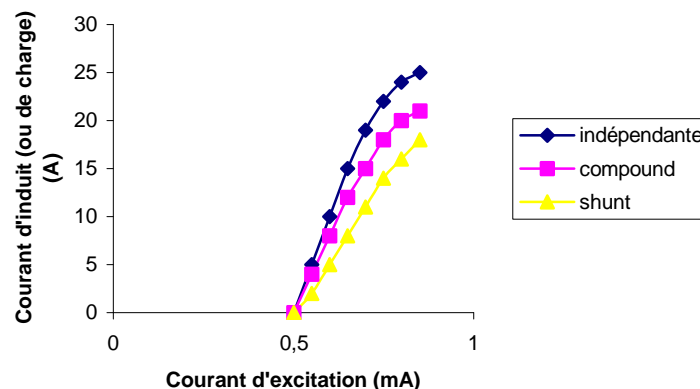
### 5.3. Caractéristique de réglage. (pour une machine indépendante, shunt et compound)

#### 5.3.1. Mode opératoire.

- ❑ Câbler la machine courant continu pour un fonctionnement en génératrice. (voir schéma en page 1-19) Placer les appareils de mesure nécessaire à savoir un ampèremètre pour mesurer le courant de charge « I » et un ampèremètre pour mesurer le courant d'excitation. Vous placerez encore un voltmètre pour la mesure de la tension débitée.
- ❑ Vérifier que le rhéostat de champ est bien placé et que son réglage est tel qu'il offre le maximum de résistance afin d'avoir un courant d'excitation le plus faible possible. En cas de doute, déconnecter ce dernier et vérifier avec un ohmmètre.
- ❑ Lancer le moteur d'entraînement et laisser ce dernier se stabiliser. Si possible ajuster la valeur de la vitesse afin d'obtenir la vitesse nominale de notre machine courant continu.
- ❑ Régler à l'aide du rhéostat de champ la tension nominale que doit débiter la machine. Aidez-vous du voltmètre pour réaliser ce réglage.
- ❑ Réaliser les mesures du courant d'excitation « i », du courant de charge et de la vitesse de rotation en veillant à ce que la tension débitée reste constante et égale à la tension nominale. Vous devez rattraper toute diminution de cette dernière avec le rhéostat de champ. Vous chargerez la machine en plaçant des charges qui permettront à votre machine de fournir un courant d'induit. Vous chargerez la machine en veillant à ne pas dépasser le courant nominal de la machine. Une fois toutes les charges branchées, refaire la même démarche mais en sens inverse, vous retirez les charges par palier constant. Attention à maintenir la tension constante en jouant sur le rhéostat de champ.

#### 5.3.2. Courbe.

Caractéristique de réglage





### 5.3.3. Explication physique.

Trois particularités doivent être expliquées.

Nous voyons que la courbe ne commence pas à l'origine des axes, pourquoi ?

Pour un courant d'induit nul donc à vide, nous avons une certaine valeur du courant d'excitation. Cette état est normal puisque la condition de cet essai est de travailler sous tension constante.

Donc pour que la machine produise, nous devons l'exciter afin quelle crée un flux inducteur qui lié à la mise en rotation de la machine permettra de débiter un potentiel. Vous pouvez retrouver la valeur particulière du courant d'excitation pour obtenir la tension nominale sur la courbe de magnétisation ou caractéristique interne.

Nous voyons dans la première partie de la caractéristique une évolution linéaire, Pourquoi ?

Remarquons que le courant d'excitation augmente lorsque le courant d'induit ou de charge augmente. Si le courant d'excitation augmente, cela sous-entend que le flux inducteur augmente également et nous savons que dans ces conditions la FEM devrait elle aussi augmenter. Hors nous savons que cet essai se déroule sous tension constante, que se passe t'il donc au sein de la machine pour que l'augmentation de l'excitation n'influence pas la tension débitée. Dans l'explication de la caractéristique externe, nous avons soulevé deux phénomènes ayant un rôle négatif au sein de la machine. Le premier est la chute de tension ohmique qui comme nous l'avons vu est liée à la loi d'ohm et est par conséquent toujours proportionnelle au courant d'induit. Ce phénomène entraînait une diminution de la tension débitée que nous ne pouvions rattraper que par une augmentation de la FEM que nous obtenons en augmentant le flux inducteur lui même lié à une augmentation du courant d'excitation. Le second est le phénomène de réaction d'induit qui entraîne une déformation du flux inducteur. Pour combler la diminution du flux inducteur suite à cette déformation, nous devons également augmenter le flux inducteur en augmentant le courant d'excitation. Dans un premier temps, l'évolution de la déformation étant proportionnelle au courant d'induit je peux conclure que l'augmentation du courant d'induit entraîne une diminution proportionnelle de la tension débitée et que pour maintenir cette dernière constante, nous devons augmenter la FEM, donc le flux inducteur et donc le courant d'excitation de façon proportionnel à ce même courant d'induit. Devant dans chaque cas de figure augmenter le courant d'excitation, il est normal d'obtenir une droite sur notre courbe.

Nous voyons pour la seconde partie de la caractéristique est une courbe, pourquoi ?

La seule explication de l'augmentation du courant d'excitation est de combler un effondrement de la tension débitée. Hors nous avons vu dans l'explication de la caractéristique externe que plus le courant d'induit augmentait et plus le phénomène de déformation s'accroissait car nous avions saturation des masses magnétiques de par la mise en commun du flux inducteur et des champs de compensations développés par les enroulements auxiliaires. Je peux donc dire que si la réaction d'induit diminue de plus en plus le flux inducteur, que la FEM va elle aussi diminuer de plus en plus rapidement entraînant une diminution tout aussi rapide de la tension débitée. Je devrai donc pour maintenir cette dernière constante augmenter de plus en plus le courant d'excitation pour garantir une tension d'alimentation constante.

NOTE : L'étude des courbes de la machine série peut être réalisée en utilisant les mêmes résonnement, la grande différence est que le courant d'excitation et le courant d'induit ne font qu'un et que par conséquent cette machine à la faculté de s'auto réguler mais qu'elle ne permet pas de réglage extérieur. Noter encore que comme  $i=I'$ , il n'y a pas d'essai à vide possible avec ce couplage. La caractéristique interne se ramène à un point fonction du flux rémanent.