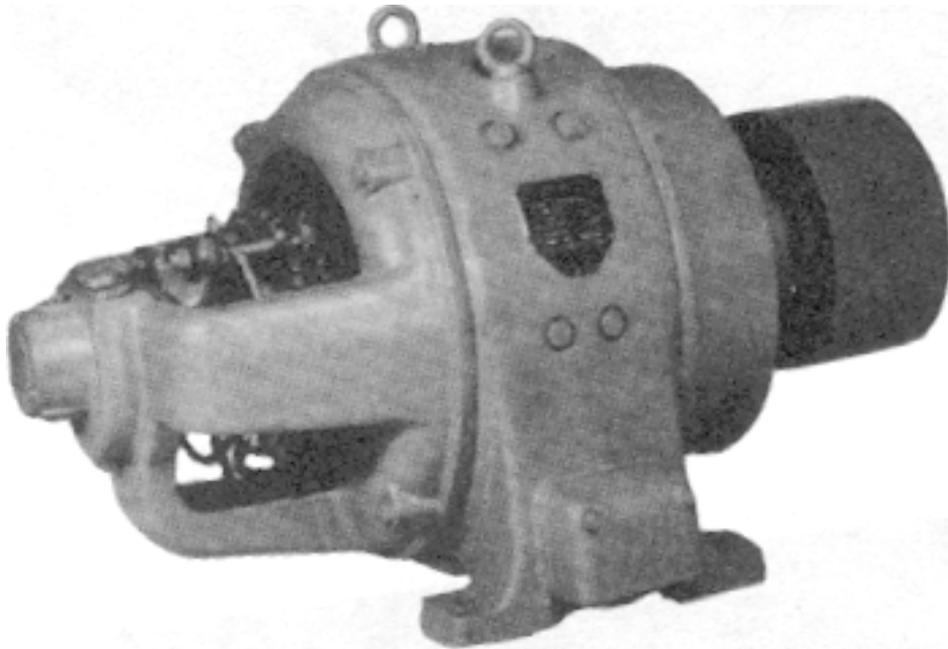


# Cours d'électrotechnique

**MACHINE TOURNANTE A COURANT CONTINU**

**LES MACHINES A COURANT CONTINU**



PARTIE N°3 :

**LE MOTEUR**

**TABLE DES MATIERES**

1.	Principe de fonctionnement.....	3
1.1.	Principe de base.....	3
1.2.	Pour N spires à l'induit.....	7
1.3.	Le collecteur réel.....	8
1.4.	Encore plus de couple.....	9
2.	La force contre électromotrice.....	11
2.1.	La F.C.E.M. à vide.....	11
3.	Le couple.....	11
3.1.	Le couple à vide.....	11
4.	Etude du comportement de la machine en charge.....	12
4.1.	Evolution du courant.....	12
4.2.	Evolution du couple.....	12
4.3.	Evolution de la vitesse.....	12
5.	Formules de base.....	13
6.	Généralisation des formules de base.....	13
7.	Quelques données numériques.....	14
8.	Comparaison avec la génératrice (réversibilité).....	15
9.	Stabilité des moteurs.....	16
9.1.	Courbes.....	16
9.2.	Explication physique.....	16
10.	L'emballement.....	18
11.	Le freinage.....	18
11.1.	Freinage sans récupération (débite sur des résistances).....	18
12.	Les différentes caractéristiques d'un moteur.....	19
12.1.	La caractéristique à vide.....	19
12.2.	La caractéristique de vitesse.....	19
12.3.	La caractéristique de couple.....	19
12.4.	La caractéristique mécanique.....	19
13.	Etude de la machine C.C. indépendante et shunt.....	20
13.1.	Les équations mathématiques.....	20
13.2.	Caractéristique à vide $[n=f(i)]$ (machine indépendante ou shunt).....	20
13.2.1.	Mode opératoire.....	20
13.2.2.	Courbe.....	20
13.2.3.	Explication physique.....	21
13.3.	Caractéristique de vitesse $[n=f(I)]$ (machine indépendante ou shunt).....	21
13.3.1.	Mode opératoire.....	21
13.3.2.	Courbe.....	22
13.3.3.	Explication physique.....	22
13.4.	Caractéristique de couple $[C=f(I)]$ (machine indépendante ou shunt).....	23
13.4.1.	Mode opératoire.....	23
13.4.2.	Courbe.....	23
13.4.3.	Explication physique.....	23
13.5.	Caractéristique mécanique $[C=f(n)]$ (machine indépendante ou shunt).....	24
13.5.1.	Mode opératoire.....	24
13.5.2.	Courbe.....	24
13.5.3.	Explication physique.....	24

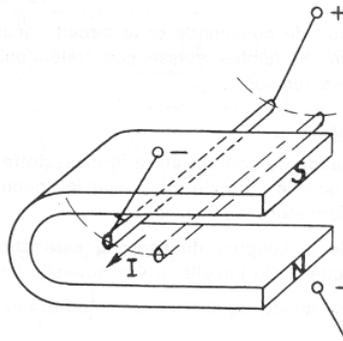
13.6.	Bilan énergétique.....	25
13.7.	Domaine d'application .....	25
13.8.	Quelques comportements .....	25
13.8.1.	Changement du sens de rotation.....	25
14.	Etude de la machine C.C. série .....	26
14.1.	Les équations mathématiques.....	26
14.2.	Caractéristique à vide [ $n=f(i)$ ] .....	26
14.2.1.	Danger de cet essai .....	26
14.3.	Caractéristique de vitesse [ $n=f(I)$ ].....	26
14.3.1.	Mode opératoire .....	26
14.3.2.	Courbe .....	27
14.3.3.	Explication physique .....	27
14.3.4.	Réglage de la vitesse .....	27
14.4.	Caractéristique de couple [ $C=f(I)$ ] .....	28
14.4.1.	Mode opératoire .....	28
14.4.2.	Courbe .....	28
14.5.	Caractéristique mécanique [ $C=f(n)$ ].....	29
14.5.1.	Mode opératoire .....	29
14.5.2.	Courbe .....	29
14.5.3.	Explication physique .....	29
14.6.	Bilan énergétique.....	30
14.7.	Domaine d'application .....	30
14.8.	Quelques comportements .....	30
14.8.1.	Changement du sens de rotation.....	30
15.	Calcul d'un rhéostat .....	31
16.	Exercices .....	32

## 1. Principe de fonctionnement

### 1.1. Principe de base

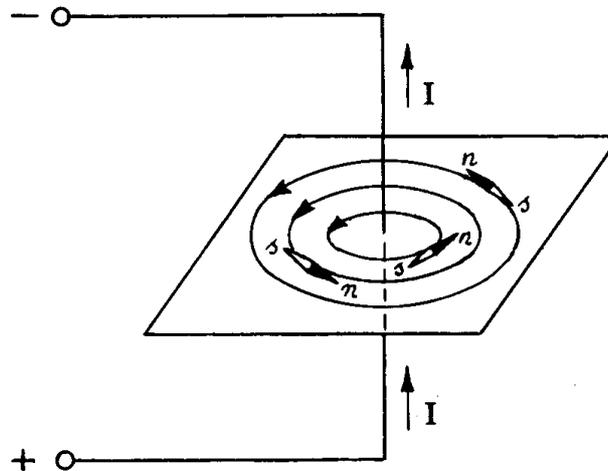
Avant de rentrer dans l'analyse du fonctionnement d'un moteur courant continu, nous allons faire un rappel de la loi de LAPLACE.

Cette loi nous dit ceci, « lorsqu'un courant électrique est placé perpendiculairement à des lignes d'inductions magnétiques, il existe une force appelée **force électromagnétique** qui déplace le courant en lui faisant faucher les lignes d'induction ». Comme le courant est véhiculé par un conducteur, je peux reformuler comme suit « Lorsque les lignes d'inductions magnétiques et un conducteur électrique sont perpendiculaires, une force dite électromagnétique prend naissance et déplace le conducteur en lui faisant couper les lignes d'induction ». La force qui prend naissance sur le conducteur vaut  $F = \beta \times l \times I$ . Le dessin suivant illustre ce principe.

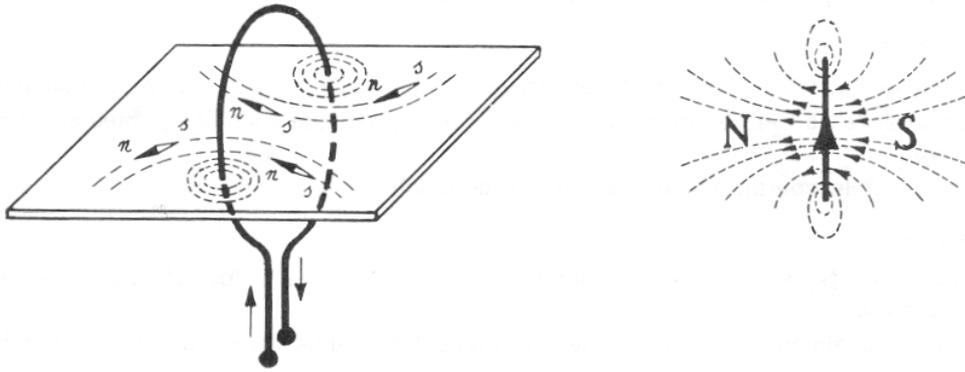


Vous pouvez, connaissant le sens du courant dans le conducteur et le sens du champ (du nord vers le sud à l'extérieur de l'aimant), trouver le sens de déplacement du conducteur. La méthode des trois doigts de la main droite vous permet aisément de déterminer cette inconnue. Vous devez vous souvenir que le pouce représente le champ et qu'il doit être placé dans le sens de ce dernier. L'index représente le sens de la force ou encore le sens du déplacement. Enfin le majeur représente le courant et il doit être placé dans le sens de ce dernier. Précisons encore que les trois doigts doivent former entre eux des angles de 90°. Nous obtenons ainsi les trois arrêtes d'un cube.

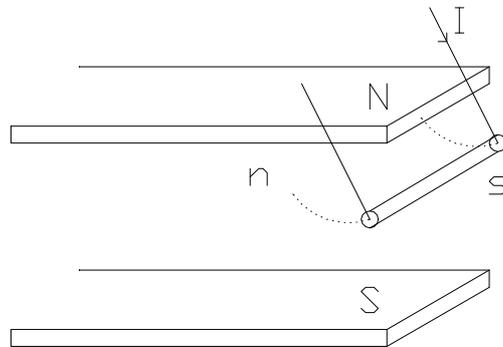
Si l'expérimentation montre bien le déplacement du conducteur, il est toutefois important de bien comprendre les raisons qui poussent le conducteur à se déplacer. Nous savons de part les notions de magnétisme que seul l'influence de deux pôles peut permettre une mise en mouvement. Si nous considérons que l'aimant permanent possède deux pôles, le conducteur est-il capable de se polariser pour créer d'autres pôles? Nous savons que si le conducteur est traversé par un courant, il développe un champ magnétique autour de lui.



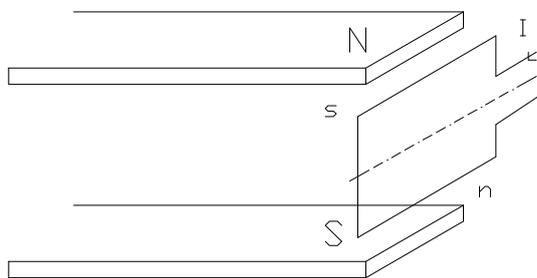
En regardant de plus près, je peux dire que mon conducteur complété par les fils d'alimentation forme en quelque sorte une spire et que dès lors je vais avoir polarisation de cette dernière.



Ayant déterminé ces points, je peux reproduire ces phénomènes sur mon illustration de départ pour obtenir un système ayant deux pôles ayant leur origine sur l'aimant permanent et deux autres pôles ayant leur origine au droit du conducteur.



Il me suffit d'appliquer la loi de l'attraction et de la répulsion des pôles pour déterminer le déplacement du conducteur. Afin de nous permettre une meilleure approche dans l'analyse du principe de fonctionnement du moteur, je vais représenter mon conducteur comme étant réellement une spire placée perpendiculairement aux lignes de champ de l'aimant.

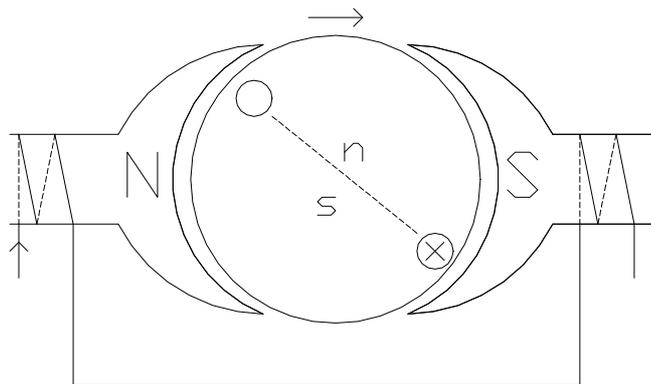


Par le même raisonnement, je peux dire que le s sera attiré par le N et que le n sera attiré par le S. Ma spire va donc réaliser une rotation de 90° dans le sens horlogique.

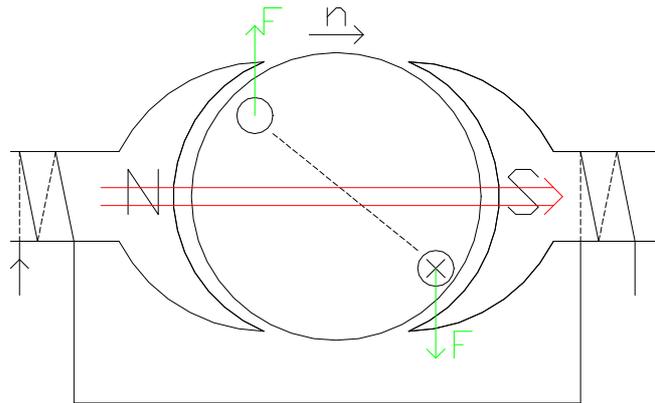
Analysons à présent le principe de fonctionnement d'un moteur courant continu.

Voyons comment nous pourrions réaliser en pratique l'ensemble des pôles nécessaires à la mise en mouvement.

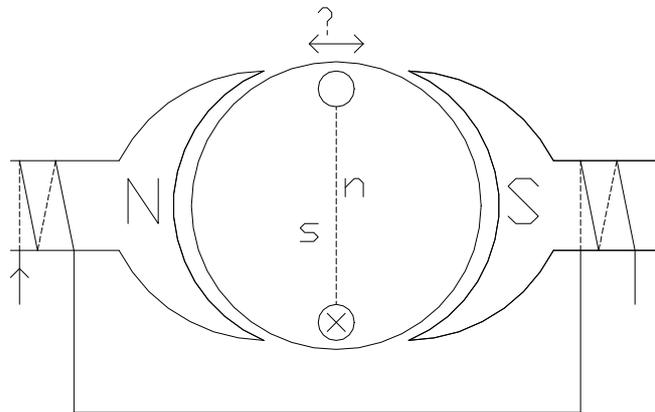
- Pour créer le champ principal et les deux pôles qui lui sont associés, nous avons deux possibilités, soit nous utilisons des aimants permanents soit nous utilisons une bobine placée sur un circuit magnétique. (électro aimant)  
Afin de nous permettre d'une part l'exploitation une valeur conséquente, et d'autre part nous permettre de réguler ce flux nous allons retenir l'utilisation d'une bobine. (les petits moteurs utilisés dans les jeux d'enfant utilisent des aimants permanents).  
Soit donc une bobine placée sur un circuit magnétique. Cette bobine dans notre cas sera partagée en deux parties égales afin de permettre une mise en œuvre plus aisée et permettre une symétrie de notre machine. 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 au droit des conducteurs qui amèneront des lignes d'induction dans la bobine et ainsi l'apparition d'un flux qui créera la polarisation de notre circuit magnétique que nous nommerons « N » et « S ».
- Afin de réaliser le champ secondaire, nous placerons une spire sur l'induit et nous injecterons un courant dans cette dernière. Ce dernier en circulant dans les conducteurs de l'induit créera la génération d'un champ d'induit qui formera fictivement la polarisation de ma spire que nous nommerons « s » et « n ». Précisons encore que comme l'induit est une partie mobile, nous réaliserons le transfert du courant à cette partie via des bagues.



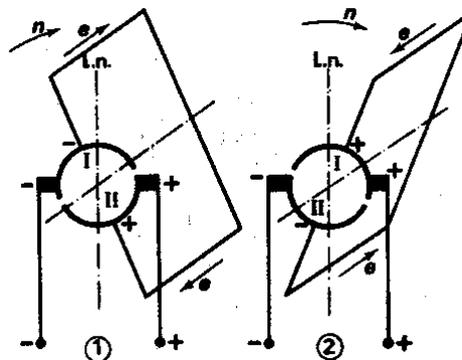
Que se passe-t-il si je réalise la mise sous tension de l'inducteur et de l'induit. Selon notre raisonnement ci-dessus, j'ai deux polarisations, un inducteur (N-S) et l'autre induit (n-s). Nous savons que les lois du magnétisme nous disent que deux pôles différents s'attirent mais que deux pôles identiques se repoussent. Je peux donc dire que mon rotor dans la position du dessin ci-dessus va se mettre en rotation dans le sens horaire car le « s » va être attiré par le « N » et le « n » par le « S ». Remarque qu'il y a une génération d'une force électromagnétique sur chaque conducteur actif formant la spire. (Rappel : il y a deux conducteurs actifs dans une spire). L'ensemble de ces deux forces complété par le bras de levier me donne un couple qui réalisera la mise en mouvement de la spire.



Une fois que ma spire va se trouver sur l'axe de la ligne neutre (la spire sera alors parfaitement verticale), elle va s'immobilisée.

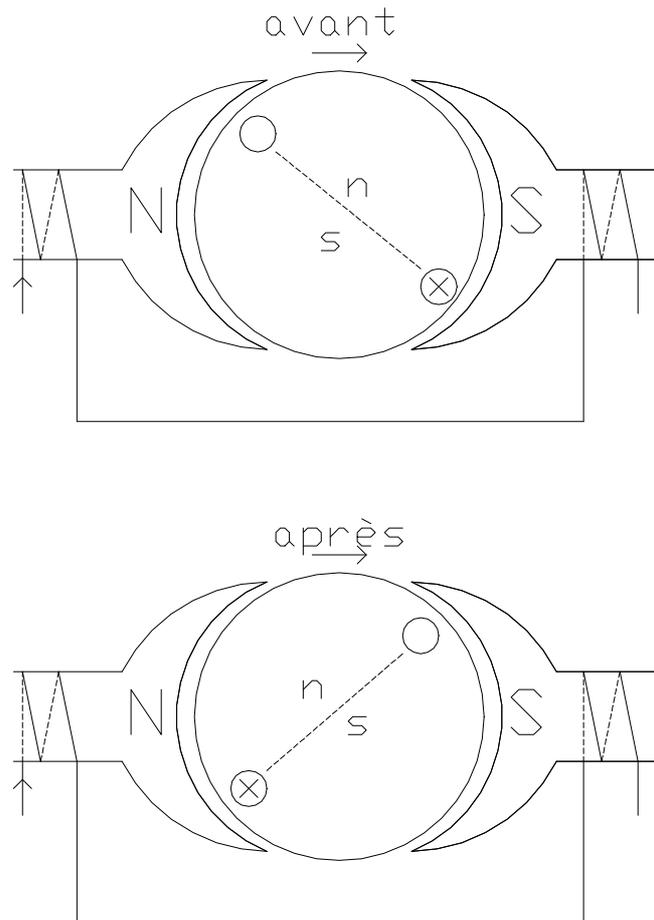


En effet, les attractions seront maximums dans cette position. Pour que ma spire poursuive sa rotation, il faudrait que l'une des deux polarisations s'inverse. Pour réaliser cette modification, nous pourrions envisager de modifier le sens de circulation du courant dans l'induit afin de modifier la polarisation « n-s ». Ce phénomène devra se faire uniquement au passage de la ligne neutre. 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. Nous savons que lorsque notre spire va changer de lame de collecteur, soit sur la ligne neutre, le sens du courant dans la spire va être inversé, donc nous allons obtenir une nouvelle polarisation de notre spire à l'induit. Soit notre spire qui se met en rotation, lors du passage sur la ligne neutre nous changeons la polarité de la spire, cela veut dire que une fois la ligne neutre passée, la loi du magnétisme n'est plus respectée puisque le « s » est en face du « S » et le « n » en face du « N ». Nous allons donc avoir répulsion des pôles identiques et donc mise en rotation de ma spire (de mon induit ou de mon rotor). Notons que le sens de rotation sera toujours le même car on peut

supposer que l'inertie du rotor va permettre la continuation du mouvement lors du passage de la ligne neutre et cela dans le même sens. Nous venons donc de résoudre le problème de l'arrêt du rotor.



Si notre rotor est en rotation, nous devons constater que ce dernier évolue par à coups. En effet, selon la position de la spire, nous avons une attraction ou une répulsion plus ou moins forte (phénomène du à l'évolution de la densité de flux au droit des épanouissements polaires). Cela entraîne donc une variation des forces d'attraction et par conséquent une variation du couple et de la vitesse.

## 1.2. Pour N spires à l'induit

Nous ne pouvons pas accepter un couple fluctuant. Il faut donc que nous apportions quelques modifications à l'induit. Une chose que nous pourrions modifier tout de suite, c'est la valeur de ce couple. En effet, nous savons que le couple est fonction de la force d'attraction ou de répulsion des pôles principaux (champ inducteur) avec les pôles secondaires (champ d'induit), donc si nous arrivons à augmenter le champ d'une spire nous allons forcément augmenter le couple puisque les forces électromagnétiques de « n » et « s » vont augmenter. L'idée serait d'augmenter le nombre de spires car le flux global est caractérisé par la somme des flux partiels. 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 des encoches réalisées sur le périmètre de notre induit. De cette façon, nous respecterons toujours le positionnement des conducteurs dans le flux (ils doivent être perpendiculaires). Comme nous devons veiller à ce que chaque spire au passage de la ligne neutre voit le sens de sa polarité changer (afin de ne pas bloquer la rotation de l'induit), nous devons prévoir sur notre collecteur autant de lame que nous aurons d'encoche. Rappelons que chaque encoche recevra une section et que cette dernière est constituée de spires.

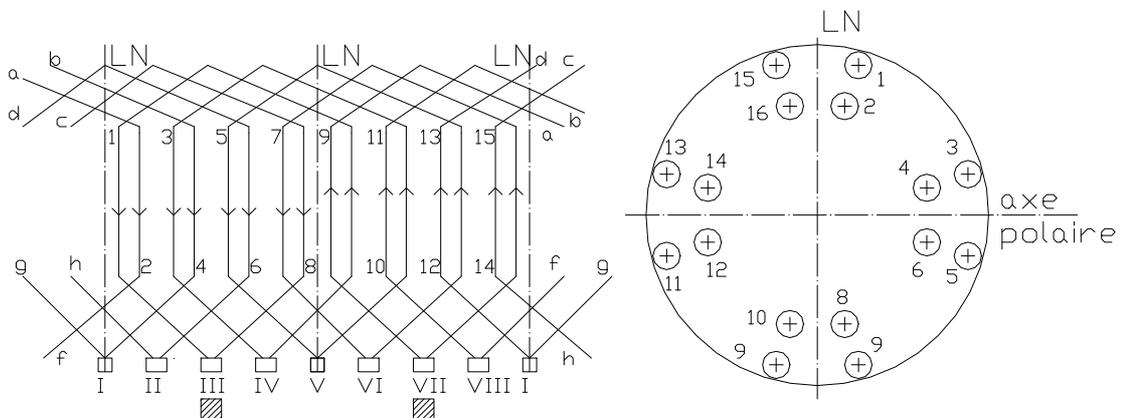
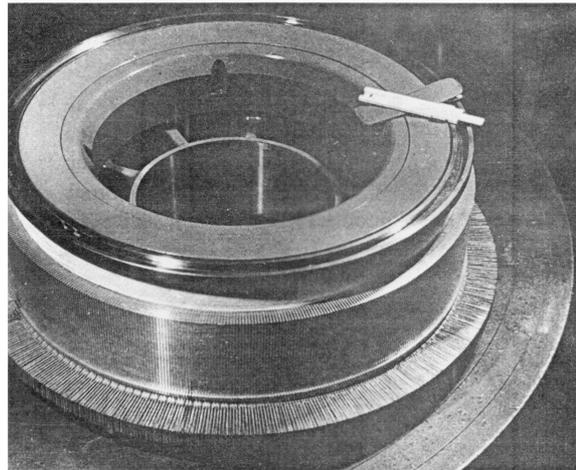
Cette mise en œuvre va également nous permettre de ne pas avoir un seul couple, mais un nombre égal au nombre de section divisé par deux. Comme le couple maximum est du la somme de l'ensemble de ces couples partiels, je peux considérer que j'aurai toujours un couple constant.

### 1.3. 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.

Un point dont nous n'avons pas encore parlé est la génération de la FCEM (Force Contre Electro Motrice) au droit des enroulements de l'induit. Tout comme pour la génératrice, n'oublions pas que les enroulements de l'induit de par leur mise en rotation balaie le flux inducteur et que par conséquent ces derniers sont le siège d'une FCEM. Il s'agit purement de l'application de la loi de Lenz.

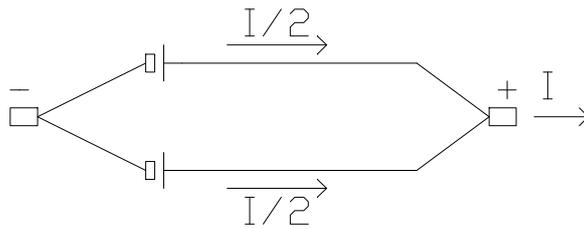
Nous pouvons donc conclure que dans une encoche nous avons N spires générant chacune une FCEM et que les spires pouvant être considérées comme câblées en série, nous avons une sommation de FCEM. Nous avons dit plus haut que chaque section était raccordée sur le collecteur. Je précise encore que le raccordement est tel que par l'intermédiaire du collecteur toutes mes sections soient aussi câblées en série.



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. J'aurai donc transfert d'un courant entre mes balais (fixe) et mon collecteur (mobile) sans création d'arc.  
( Voir partie I : la description - la commutation )

### 1.4. Encore plus de couple

Lorsque nous voulons augmenter le couple d'un moteur, nous savons que le courant absorbé va lui aussi augmenter. Notre machine elle va offrir une limite à ce courant et donc au couple. La seule chose qui va limiter notre courant dans la machine, c'est justement les conducteurs qui forment l'induit. La solution est simple, si on veut augmenter le couple, il faut soit augmenter la section des conducteurs d'induit soit placer tout comme dans la génératrice un second bobinage en parallèle sur le premier de telle sorte que les deux bobinages reprennent chacun un courant  $I$  mais que les deux permettent l'absorption d'un courant  $2xI$ . Il nous suffit donc de doubler dans chaque encoche le nombre de petites bobines ou de section. Nous pourrions dire que notre machine possède deux voies d'enroulement.



Je précise encore que la machine peut posséder plus de deux voies d'enroulement.

Comme l'augmentation du nombre de voies d'enroulement permet une augmentation du courant absorbé et par conséquent du couple moteur, je peux dire que plus mon moteur devra être puissant et plus il y aura de voies d'enroulement. Si cette augmentation est intéressante, il ne faut pas perdre de vue que l'augmentation des voies d'enroulements sous entend un nombre plus important de spires et par conséquent une machine plus volumineuse, plus lourde et plus coûteuse.

## 1.1 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 permet la génération de champs magnétiques au droit 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 ma 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  $\Phi_i$ .

D'autre part, nous appliquons une tension continue «  $U$  » sur l'enroulement de l'induit via les balais et le collecteur. L'ensemble de ces éléments offre une résistance et en application à la loi d'ohm, il y aura circulation d'un courant «  $I$  ». Les enroulements de l'induit ainsi traversés par un courant vont être le siège de la génération d'une polarisation fictive.

La combinaison du flux inducteur  $\Phi_i$  et du flux fictif va générer des forces électromagnétiques qui elles-mêmes vont donner naissance à un couple et permettre ainsi la mise en rotation du rotor.

Si le rotor est 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 FCEM «  $e'$  ». Comme nous possédons un nombre donné de conducteurs actifs formant les spires, cela sous-entend que nous obtenons une FCEM «  $E'$  » qui après passage dans les balais viens s'opposer à la tension d'alimentation «  $U$  ». Noter que cette FCEM est nécessaire, car elle permet de réduire la valeur du courant «  $I$  » absorbé par l'induit.

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 est en charge, nous savons que sa vitesse va diminuer et que dès lors la valeur de la FCEM va elle aussi diminuer permettant une augmentation du courant d'induit et donc du couple afin de maintenir la vitesse constante. Cette augmentation de courant va ainsi faire croître les chutes de tension ohmique qui va avoir pour conséquence de diminuer le courant d'induit. Ce phénomène vous permet de justifier pourquoi pour une charge croissante, un moteur courant continu va se stabiliser à une vitesse un rien inférieure à chaque ajout de charge.

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 inducteur. 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.

N'oublions pas le problème de la saturation du circuit magnétique.

## 2. La force contre électromotrice

### 2.1. La F.C.E.M. à vide

$$E' = n \times \Phi_i \times N$$

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

Lors du fonctionnement à vide, nous pouvons dire que le tension du réseau est égale à la FCEM totale.  $U = E'$ .

### 1.1. La F.C.E.M. en charge

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

Avec :  $R_{AB}$  = la résistance total de l'induit comprenant la résistance de l'enroulement d'induit (rotor) et la résistance balais-collecteur en ohm  
 $I$  = le courant absorbé par l'induit en ampère  
 $U$  = la tension d'alimentation de l'induit de la machine en volt  
 $E'$  = la FCEM totale en volt

## 3. Le couple

### 3.1. Le couple à vide

Nous appelons à vide, un moteur qui n'entraîne aucune charge, c'est à dire que le couple à vide est un rien supérieur au couple résistant de la machine.

#### 1.1.1. Pour un conducteur

Nous savons que tout conducteur actif parcouru par un courant  $I/2$  (dans le cas de la machine à deux voies d'enroulement) coupent deux fois le flux maximum.

Le travail électromagnétique vaut  $W = \frac{I}{2} \times 2 \times \Phi_i$

Donc le couple devient  $C = \frac{\Phi_i \times I}{2 \times \pi}$

Le  $2 \times \pi$  provient du fait que le couple est le travail effectué par radian et comme dans un tour j'ai  $2 \times \pi$  radian.

#### 1.1.2. Pour N conducteur

Le couple devient dès lors

$$C = \frac{N \times \Phi_i \times I}{2 \times \pi}$$

Avec :  $I$  = le courant absorbé par l'induit en ampère  
 $N$  = nombre de spire à l'induit  
 $\Phi_i$  = le flux d'induit en wéber  
 $C$  = couple moteur en Nm

#### **4. Etude du comportement de la machine en charge**

En charge, nous pouvons analyser les variations de trois composantes qui sont toutes plus ou moins directement liées.

##### **4.1. Evolution du courant**

Si vous chargez la machine, autrement dit si le couple de la charge ou couple résistant augmente vous allez avoir une diminution de la vitesse ce qui va avoir pour conséquence une diminution des variations de flux au niveau du rotor et par conséquent une diminution de la FCEM. Or vous savez que le courant induit absorbé par la machine est fonction de la différence de potentiel aux bornes des bobinages de ce rotor et que de plus celle-ci est égale à la tension d'alimentation moins la chute de tension ohmique. Si la tension d'alimentation ne bouge pas et que la FCEM diminue, cela veut dire que la d.d.p. va augmenter ce qui ne peut s'expliquer que par une augmentation du courant. La valeur du nouveau courant se stabilisera lorsque le couple moteur sera devenu un rien supérieur au couple résistant. A ce moment l'équation suivante se sera aussi équilibrée.  $E' = U - (R_{AB} \times I)$

##### **4.2. Evolution du couple**

Nous avons vu ci-dessus les conséquences sur la valeur du courant induit. Nous savons que la valeur du couple est fonction de la valeur du courant d'induit puisque ce dernier est à l'origine du flux d'induit.

Cette augmentation du courant d'induit va engendrer un flux d'induit plus important et entraîner automatiquement une augmentation des forces électromagnétiques et donc du couple moteur cela afin de répondre à la demande de la charge. Nous aurons stabilisation du phénomène lorsque le moteur aura développé un couple moteur un rien supérieur au couple résistant.

##### **4.3. Evolution de la vitesse**

Nous savons que toute augmentation de charge entraîne dans un premier temps une diminution de vitesse. Cette diminution entraîne une augmentation du courant d'induit et du couple moteur. Cette dernière aura pour conséquence de contrecarrer la perte de vitesse du moteur.

L'ensemble ira se stabiliser à un nouveau point de fonctionnement. Noter que la vitesse à ce nouveau point de stabilité sera inférieure à la vitesse de départ car certains phénomènes comme les chutes de tension ohmiques et la réaction d'induit vont interférer sur la FCEM et donc sur le courant d'induit mais aussi sur le flux inducteur, l'ensemble de ces phénomènes aura donc une répercussion sur le couple.

Pour maintenir notre vitesse de départ, nous devons augmenter le courant d'excitation en diminuant le rhéostat de champ.

## 5. Formules de base

$$E' = n \times N \times \Phi_i$$

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

je peux tirer que

$$n = \frac{U - (R_{AB} \times I)}{N \times \Phi_i}$$

$$C = K \cdot \Phi_i \cdot I$$

## 6. Généralisation des formules de base

### 1.2. La F.C.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 d'autres types de machines, en outre 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 :

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

Avec : P = nombre de paire de pôle  
a = nombre de paire de voie d'enroulement  
E' = la Force Contre Electro Motrice (FCEM) en volt  
n = vitesse de rotation en tour/seconde  
N = nombre de conducteur actif  
 $\Phi_i$  = le flux d'induit en wéber

### 1.3. La vitesse

$$n = \frac{a}{P} \times \frac{U - (R_{AB} \times I)}{N \times \Phi_i}$$

Avec : P = nombre de paire de pôle  
a = nombre de paire de voie d'enroulement  
 $R_{AB}$  = la résistance total de l'induit comprenant la résistance de l'enroulement d'induit (rotor) et la résistance balais-collecteur en ohm  
I = le courant absorbé par l'induit en ampère  
U = la tension d'alimentation de l'induit de la machine en volt  
n = vitesse de rotation en tour/seconde  
N = nombre de conducteur actif  
 $\Phi_i$  = le flux d'induit en wéber

### 1.4. Le couple

$$C = \frac{P \times N \times \Phi_i \times I}{a \times 2 \times \pi}$$

P = nombre de paire de pôle  
a = nombre de paire de voie d'enroulement  
I = le courant absorbé par l'induit en ampère  
N = nombre de conducteur actif  
 $\Phi_i$  = le flux d'induit en wéber  
C = couple moteur en Nm

### 7. Quelques données numériques

Moteur de traction pour locomotive CC-72000

Tension : 1500V  
Vitesse : 770 t/min  
Couple : 1825 DaNm

Courant : 1030A  
Puissance : 1470 Kw  
Rendement : 0.95

Induit :

D. extérieur : 950mm  
Nb. Encoches : 129  
Nb. De balais : 6\*4=24

L. noyau : 282mm  
largeur de lame + mica : 4.2mm  
section d'un balais : 5.7cm<sup>2</sup>

Stator :

Entrefer progressif par excentration : 5mm au milieu et 9.5mm aux extrémités  
Nb. De spires par pôle : 15  
Conducteur : 3.15\*63mm  
Résistance à 110°C : 0.0169 ohm  
Champ minimal : 55%

Masse de cuivre : 204Kg  
champ maximal : 100%

Pôle auxiliaires feuilletés :

Entrefer 7.4mm  
Conducteur : 2 en parallèle de 4\*25mm  
Masse de cuivre : 75Kg

Nb. de spires par pôle : 10  
Résistance à 110°C : 0.00474

Compensation :

Nb. D'encoches par pôle : 16  
Résistance à 110°C : 0.0144 ohm

Masse de cuivre : 84 Kg

Masse totale :

Stator : 3410 Kg

Rotor : 2040 Kg

## 8. Comparaison avec la génératrice (réversibilité)

Alimentons sous tension continue l'induit d'une machine à courant continu ainsi que l'inducteur. La machine se met à tourner. On remarque que si le sens du courant d'excitation est le même que pour un fonctionnement en génératrice, le sens du flux inducteur est par conséquent inchangé. Il n'en est pas de même du courant d'induit. Cette constatation vérifie bien le principe de circulation d'un courant qui pour un moteur considéré comme un récepteur il est absorbé alors que pour une génératrice considérée comme un générateur il est produit.

Je peux donc conclure que lors d'un passage d'un fonctionnement génératrice à un fonctionnement moteur, seul le courant dans l'induit change de sens. Cette constatation nous montre bien que l'on peut passer en marche d'un fonctionnement moteur vers un fonctionnement génératrice et vis versa sans passer par l'arrêt de la machine.

Noter toutefois qu'il faut tenir compte du mode de câblage de la machine et que si ce raisonnement est vrai en fonctionnement indépendant et shunt il est faux en fonctionnement série et compound.

Comment pourrions-nous passer d'un fonctionnement générateur à un fonctionnement moteur sans modifier le sens du courant induit ?

La première solution serait de changer le sens de rotation de la machine ce qui sous entend un arrêt de cette dernière.

Une autre solution est de réaliser une inversion du sens du courant dans l'inducteur afin de changer le sens du flux inducteur.

Notons encore que si le courant dans l'enroulement induit change lors d'un changement de fonctionnement, le courant dans l'enroulement de compensation est lui aussi inversé, il ne faut donc pas inverser l'enroulement de compensation. Nous pouvons donc câbler une fois pour toute l'enroulement de compensation sur l'enroulement d'induit.

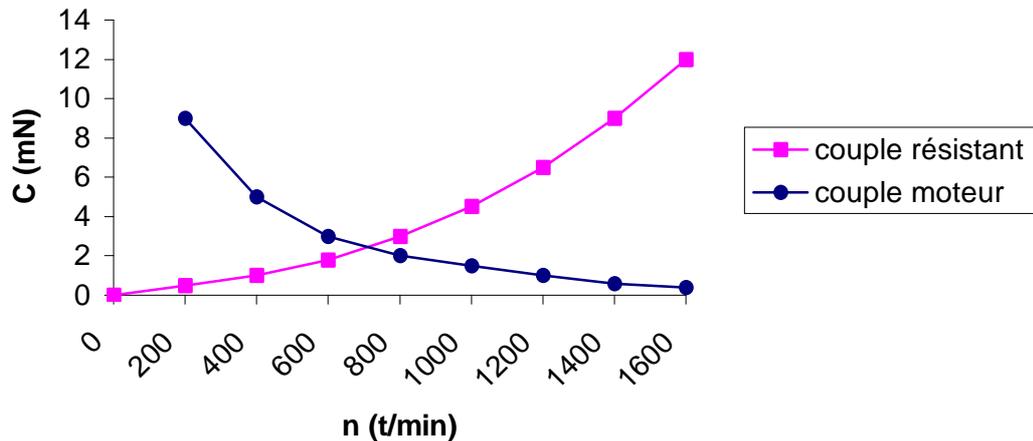
Une dernière remarque, est que si le courant dans l'induit est inversé, cela sous-entend que le flux de réaction d'induit est aussi inversé et que par conséquent la déformation des lignes de flux se fera dans le sens inverse. Nous aurons donc déformation de la ligne neutre dans le sens opposé à la déformation en fonctionnement génératrice.

Ce principe est utilisé dans les machines de traction ferroviaire ou lors de la traction, la machine travail en moteur et lors du freinage, elle travail en générateur et renvois de la tension sur les caténaires via les pantographes ou dans des blocs de résistances.

## 9. Stabilité des moteurs

### 9.1. Courbes

#### Caractéristique mécanique (analyse de la stabilité)



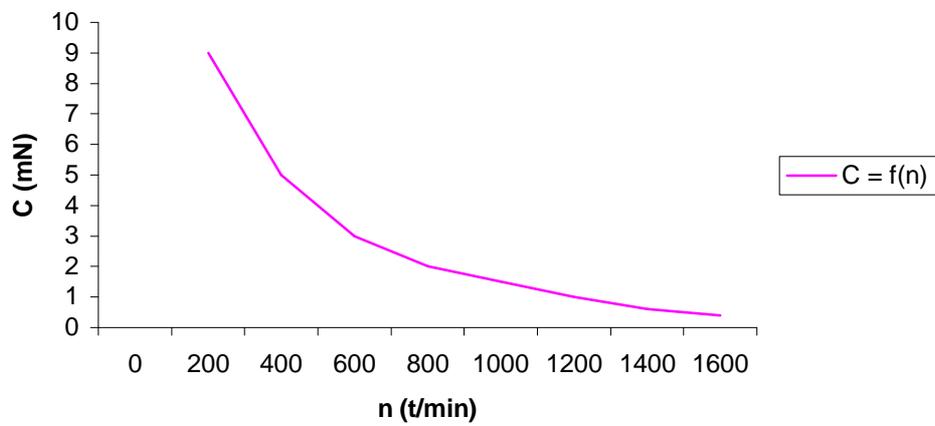
### 9.2. Explication physique

Le point de rencontre entre les deux courbes est le point dit de stabilité. On trouvera toujours pour autant que la machine sache reprendre la charge, un point de stabilité. Analysons ce qui se passerait si pour une raison ou une autre, j'avais une augmentation de vitesse. Je remarque que dans ce cas, je pars sur la droite du point de stabilité, et que de ce côté le couple résistant est plus grand que le couple moteur, ce qui veut dire que ma charge va ralentir mon moteur et venir se restabiliser au point de stabilité car là, le moteur développe suffisamment de couple que pour reprendre le couple résistant. Si par contre nous avons une diminution de vitesse, nous partons vers la gauche du point de stabilité. De ce côté là le couple moteur est plus important que le couple résistant donc le moteur accélère et remonte en vitesse jusqu'au point de stabilité.

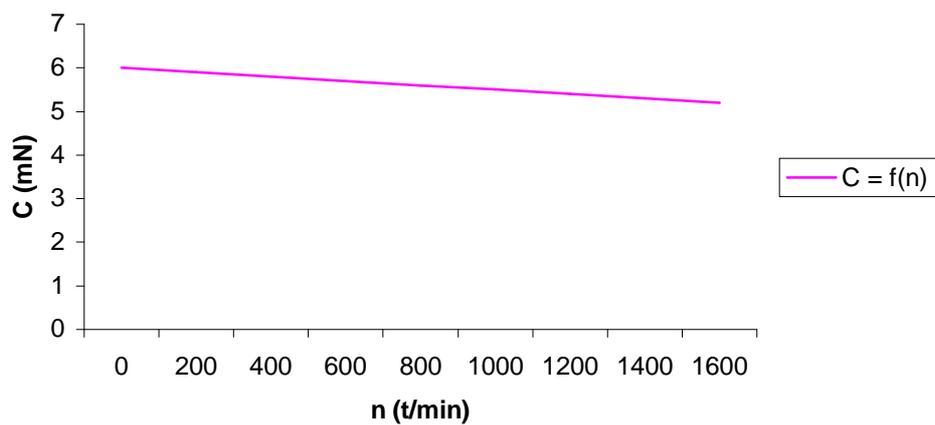
Il ne faut jamais perdre de vue dans le choix d'un moteur ou en tous les cas dans le choix du couplage de ce dernier l'allure du couple résistant offert par le récepteur.

Vous trouverez sur la page annexe une série de courbes représentant les caractéristiques mécaniques pour des applications bien précises.

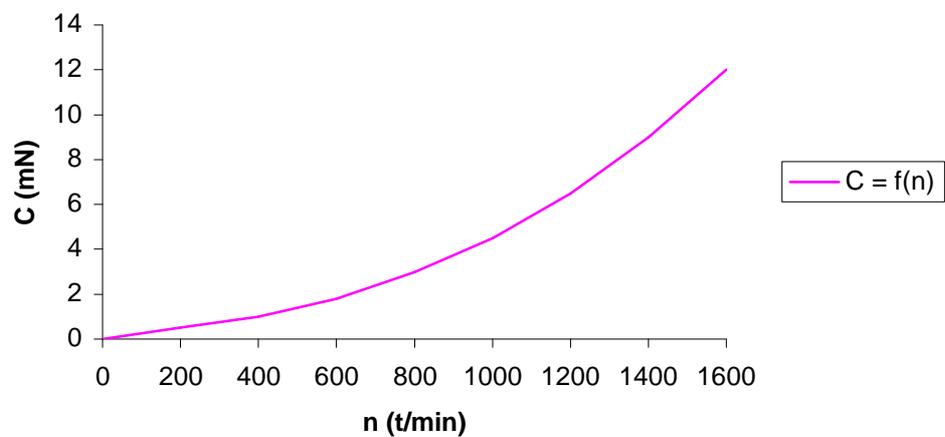
### Caratéristique mécanique (tournage)



### Caratéristique mécanique (ascenseur)



### Caratéristique mécanique (ventilateur)



## 10. L'emballement

On parle très souvent pour les moteurs courant continu de l'emballement, conséquence d'une disparition totale ou partielle du flux inducteur.

Hypothèse : On peut considérer que le moteur a la faculté de s'emballer à la condition que notre machine possède un flux inducteur rémanent dû à la capacité du circuit magnétique de rester polarisé même en absence de courant d'excitation. Notre raisonnement considère donc que si aucun flux rémanent n'est présent, notre machine ne pourra pas s'emballer.

Analysons, nous sommes donc dans la situation où le courant d'excitation est nul. Donc pas de flux inducteur si ce n'est le flux rémanent. Ce dernier possède une valeur non nulle qui pourrait participer à la génération du couple au sein du rotor. N'oublions pas que notre induit est soumis à la tension d'alimentation et que en absence de FCEM les enroulements sont soumis à cette pleine tension et que dès lors le courant induit est très important. Il y a donc création d'un flux d'induit très important. La combinaison de ces deux flux permet la création d'un couple et donc la mise en rotation du moteur. Mais pourquoi l'emballement ? Rappelons nous que le courant dans l'induit est fonction de la d.d.p. aux bornes de l'induit et que cette dernière est fonction de la FCEM. Hors cette dernière est liée au flux inducteur et dans notre cas au seul flux rémanent. Nous n'aurons donc pas génération d'une FCEM importante et dès lors nous allons conserver un courant important dans l'induit. Nous ne trouverons donc pas de point de stabilité puisque le couple reste très élevé. Ce dernier en fonctionnement normale était obtenu par un équilibre entre la FCEM et le courant induit.  $E' = U - (R_{AB} \times I)$

Noter encore que le maintien d'un couple important entraîne une augmentation continue de la vitesse donc l'emballement.

## 11. Le freinage

Lorsqu'il est utile de réduire le temps naturel d'arrêt d'un moteur, il faut effectuer un freinage (exemple : quand l'induit risque d'être entraîné par la charge, comme dans le cas des véhicules de traction ferroviaire).

### 11.1. **Freinage sans récupération (débite sur des résistances)**

Lorsque l'on met l'induit d'un moteur hors tension, et que le circuit de l'excitation est toujours alimenté, la FCEM se transforme en FEM et, le moteur est alors entraîné par sa propre inertie et celle de la charge qui lui est accouplée, il fonctionne en génératrice.

Si le moteur est à excitation shunt ou à excitation indépendante, il n'y a pas trop de problèmes étant donné que l'on inverse le courant dans l'induit (le sens du courant d'induit lorsque le moteur fonctionne en générateur est inverse de celui en moteur) et que l'on garde le même sens de rotation et le même sens du courant d'excitation.

Par contre, pour une machine série, étant donné que l'on inverse simultanément le courant dans l'induit et dans l'inducteur, si l'on veut que la polarité aux bornes de la machine restent la même, sans changer le sens de rotation, il faudra croiser les connexions de l'inducteur (ou de l'induit).

Un moteur série ne peut donc passer spontanément du fonctionnement en moteur à celui en générateur, il faut inverser, manuellement la polarité de l'enroulement d'excitation. Il faut une intervention de l'opérateur.

### 1.5. **Freinage avec récupération (débite sur le réseau)**

Dans ce cas, le moteur fonctionnant en génératrice, il ne débite plus sur des résistances mais bien sur le réseau.

Cela ne sera possible que si la FEM de la génératrice est supérieure à la tension du réseau. Il faut donc surexciter la machine en augmentant son courant d'excitation.

Le sens de rotation restant inchangé, le sens de polarité de la FEM n'étant pas modifié et le courant d'excitation gardant le même sens lors du passage en génératrice, seul le sens du courant d'induit est inversé.

Pour le moteur série, ces conditions ne sont pas vérifiées, il faut croiser les connexions de l'inducteur.

## 12. Les différentes caractéristiques d'un moteur

### 12.1. La caractéristique à vide

Paramètres constants	Paramètres variables
Tension d'alimentation	Courant d'excitation (via le rhéostat de champ)
Courant d'induit (essai à vide)	La vitesse de la machine

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

### 12.2. La caractéristique de vitesse

Paramètres constants	Paramètres variables
Tension d'alimentation	Courant d'induit
Courant inducteur ou d'excitation	La vitesse de la machine

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

### 12.3. La caractéristique de couple

Paramètres constants	Paramètres variables
Tension d'alimentation	Courant d'induit
Courant inducteur ou d'excitation	Le couple

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

### 12.4. La caractéristique mécanique

Paramètres constants	Paramètres variables
Tension d'alimentation	Vitesse de la machine
Courant inducteur ou d'excitation	Le couple

Cette courbe nous donnera un graphe montrant l'évolution de la vitesse en fonction du couple ( $n=f(C)$ ).

### 13. Etude de la machine C.C. indépendante et shunt

Les allures des courbes étant identiques, l'analyse des caractéristiques se fera pour la machine indépendante et la machine shunt. Les explications sont applicables à chaque machine.

#### 13.1. Les équations mathématiques

$$\begin{array}{ll}
 u \rightarrow i & u = r \cdot i \quad r = R_h + R_{JK} \\
 i \rightarrow \Phi_e & \Phi_e = \frac{N \times \mu \times S}{l} \times i \\
 \Phi_e \rightarrow \Phi_i & \text{via circuit magnétique} \\
 \Phi_i \rightarrow E' & E' = N \times n \times \Phi_i \\
 & n = \frac{U - (R \times I)}{N \times \Phi} \\
 I = 0 & n = \frac{U}{N \times \Phi}
 \end{array}$$

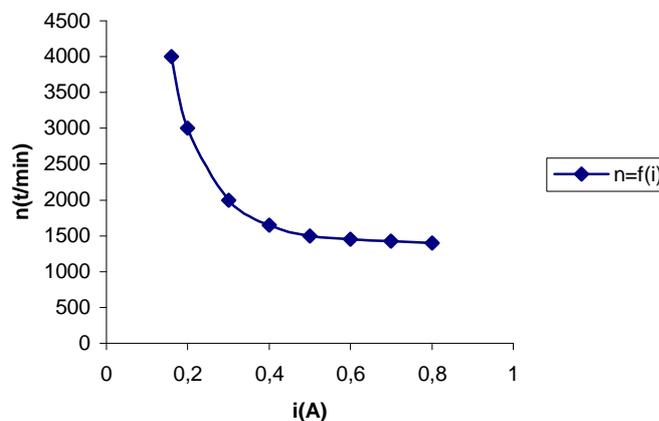
#### 13.2. Caractéristique à vide [ $n=f(i)$ ] (machine indépendante ou shunt)

##### 13.2.1. Mode opératoire

- Câbler la machine en fonction du schéma de câblage et placer les appareils de mesure de façon judicieuse en choisissant les bons calibres en fonction des mesures à relever.
- Vérifier que le rhéostat de champ est bien placé en série avec l'inducteur et que la valeur de la résistance est minimum afin d'avoir le courant d'excitation maximum.
- Alimenter la machine (inducteur et induit simultanément).
- Régler à l'aide du rhéostat de champs la valeur de la vitesse à sa valeur nominale.
- A l'aide du rhéostat de champs, par pallier constant relever la valeur du courant d'excitation et de la vitesse. Nous diminuons la valeur de  $R_h$  pour augmenter  $i_{ex}$ . Cet essai se poursuit jusqu'au court-circuit du rhéostat.
- Faites les mêmes relevés de mesure en augmentant la valeur de  $R_h$  pour diminuer  $i_{ex}$ . Attention que vous devez vous arrêter lorsque vous aurez atteint à nouveau la vitesse nominale. Si vous continuez l'essai, vous allez approcher la valeur nulle du courant d'excitation ce qui caractérise la perte du flux inducteur ce qui va entraîner l'emballement de la machine.

##### 13.2.2. Courbe

caractéristique à vide



### 13.2.3. Explication physique

Nous pouvons aisément visualiser deux parties distinctes sur cette caractéristique.

Premièrement nous avons sur la gauche une courbe nous montrant que pour toute diminution du courant d'excitation, nous avons une augmentation de plus en plus importante de la vitesse. Nous savons que la vitesse d'un moteur est fonction du couple moteur et que ce dernier est fonction des deux polarisations inducteur et induit. En modifiant le courant d'excitation, nous modifions le flux inducteur, nous diminuons ce dernier. Hors nous savons également que ce même flux joue un rôle dans la génération de la FCEM. Cette dernière va dès lors elle aussi diminuée. Si la FCEM diminue, cela entraîne une augmentation du courant d'induit et donc du flux d'induit. Nous avons donc augmentation des forces électromagnétiques et donc du couple moteur d'où augmentation de la vitesse. La courbe ne s'explique toutefois pas, nous venons de démontrer un ensemble de phénomènes évoluant de façon proportionnel. Nous devons nous rappeler que toute augmentation du courant d'induit entraîne également une augmentation de la réaction d'induit. Si cette dernière est relativement bien maintenue par les enroulements de compensation ou auxiliaire, lorsque le courant d'induit augmente ces derniers vont aussi produire un flux de compensation plus important véhiculé par les épanouissements polaires de notre machine. Je vais donc avoir une saturation de ces derniers qui aura pour conséquence une déformation de plus en plus importante du flux inducteur par la réaction d'induit devenant de plus en plus néfaste. Toute diminution du flux inducteur par ce phénomène ne fera qu'augmenter le courant d'induit donc le couple moteur et la vitesse puisque la FCEM va diminuée.

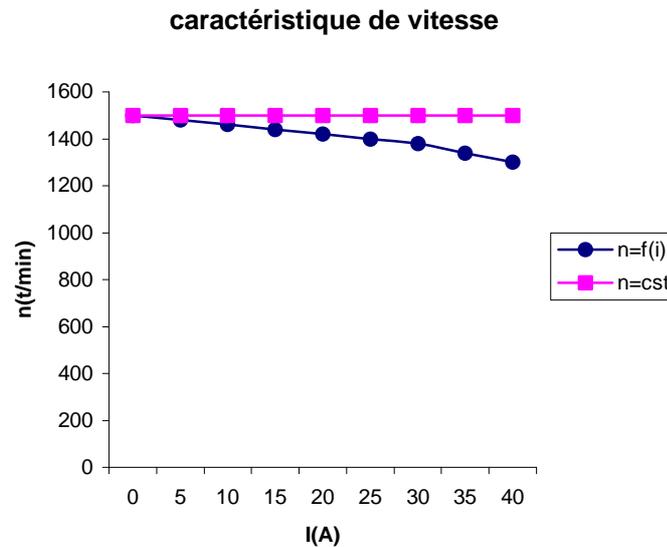
Dans la seconde partie de la courbe, nous remarquons un effet de saturation comme si toute augmentation du courant d'excitation n'avait plus aucune conséquence sur l'évolution du couple moteur et de la vitesse. Ici aussi il faut mettre en évidence que l'augmentation du flux inducteur va entraîner une saturation du circuit magnétique. Cette saturation entraînera une constante du flux inducteur et bien entendu une constante du couple et de la vitesse.

## 13.3. Caractéristique de vitesse [ $n=f(I)$ ] (machine indépendante ou shunt)

### 13.3.1. Mode opératoire

- Câbler la machine en fonction du schéma de câblage et placer les appareils de mesure de façon judicieuse en choisissant les bons calibres en fonction des mesures à relever.
- Vérifier que le rhéostat de champ est bien placé en série avec l'inducteur et que la valeur de la résistance est minimum afin d'avoir le courant d'excitation maximum.
- Alimenter la machine (inducteur et induit simultanément).
- Régler à l'aide du rhéostat de champ la valeur de la vitesse à sa valeur nominale.
- A l'aide d'un système quelconque, vous charger le moteur par palier constant. Relever la valeur du courant d'induit et de la vitesse. Cet essai se poursuit jusqu'à épuisement des charges disponibles.
- Faire les mêmes relevés de mesure en retirant les charges.

### 13.3.2. Courbe



### 13.3.3. Explication physique

Une nouvelle fois, on peut décomposer la caractéristique en deux parties.

Dans un premier temps, nous voyons une droite montrant une diminution de la vitesse avec l'augmentation du courant d'induit, ce dernier illustrant la charge du moteur. Nous savons que toute augmentation du courant induit entraîne une augmentation de couple afin de maintenir la vitesse du moteur la plus constante possible. Ce courant va aussi entraîner une augmentation des pertes ohmiques suite à l'augmentation du courant d'induit. Je sais que le moteur ira pour chaque ajout de charge trouver un point de stabilité lorsqu'il aura trouvé un équilibre que l'on peut visualiser avec l'équation des tensions.  $E' = U - (R_{AB} \times I)$ . Si le courant induit augmente, les chutes ohmiques augmentent et pour vérifier l'équation la FCEM devra être plus faible. La machine trouvera donc la stabilité à une vitesse inférieure qui correspond bien à une FCEM plus faible. La réaction d'induit fonction également du courant d'induit est compensée correctement par les enroulements auxiliaires. Nous avons donc une évolution proportionnelle de la courbe.

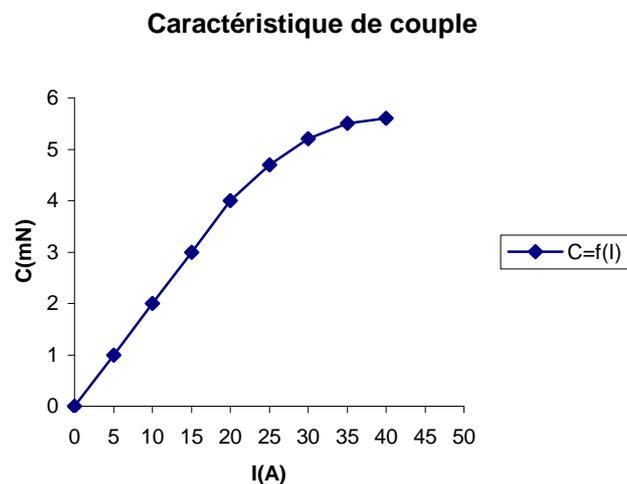
Dans la seconde partie de la courbe, le raisonnement donné ci-dessus est toujours applicable mais nous ne pouvons plus négliger la réaction d'induit. En effet, toute augmentation du courant d'induit engendre une augmentation de la réaction d'induit et du flux de compensation développé par les enroulements auxiliaires. Ce dernier véhiculé par les épanouissements polaires de la machine va entraîner saturation de ces derniers. La réaction d'induit va donc jouer un rôle de plus en plus néfaste avec des répercussions directes sur le flux inducteur qui va être déformé et donc diminué. Une nouvelle fois, ce phénomène va avoir un lien sur le couple moteur et la vitesse qui vont diminuer. Nous avons donc ici un double phénomène qui explique l'amplification de la diminution de la vitesse que l'on retrouve bien sur la courbe.

### 13.4. Caractéristique de couple [ $C=f(I)$ ] (machine indépendante ou shunt)

#### 13.4.1. Mode opératoire

- Câbler la machine en fonction du schéma de câblage et placer les appareils de mesure de façon judicieuse en choisissant les bons calibres en fonction des mesures à relever.
- Vérifier que le rhéostat de champ est bien placé en série avec l'inducteur et que la valeur de la résistance est minimum afin d'avoir le courant d'excitation maximum.
- Alimenter la machine (inducteur et induit simultanément).
- Régler à l'aide du rhéostat de champs la valeur de la vitesse à sa valeur nominale.
- A l'aide d'un système quelconque, vous chargez le moteur par palier constant. Relever la valeur du courant d'induit et du couple. Cet essai se poursuit jusqu'à épuisement des charges disponibles. On veillera à garantir une vitesse constante durant tout l'essai en jouant sur le rhéostat de champ
- Faites les mêmes relevés de mesure en retirant les charges.

#### 13.4.2. Courbe



#### 13.4.3. Explication physique

Ici aussi la caractéristique montre deux parties distinctes.

La première est une droite qui nous montre bien le lien entre le couple moteur et le courant d'induit. En effet, nous savons que le couple est fonction des forces électromagnétiques qui prennent naissance sur les conducteurs de l'induit. Ces dernières sont liées d'une part au flux inducteur (fixe dans notre cas) et d'autre part au flux d'induit. Ce dernier étant lié au courant d'induit. Toute augmentation du courant d'induit aura donc une répercussion proportionnelle sur le couple moteur.

La seconde partie nous montre une saturation du couple moteur, sur base de ce que l'on vient d'énoncer pour expliquer la première partie, je dois trouver la cause au niveau des forces électromagnétiques. Ces dernières sont fonctions du flux inducteur et du flux d'induit. Le flux d'induit est lié au courant d'induit et comme ce dernier augmente le flux ne peut que croître. La saturation du flux ne peut donc provenir que de la diminution du flux inducteur. En effet, nous retrouvons ici aussi la saturation des épanouissements polaires de par l'augmentation du flux de compensation dans ceux-ci avec comme conséquence une amplification du phénomène de réaction d'induit et une déformation du flux inducteur.

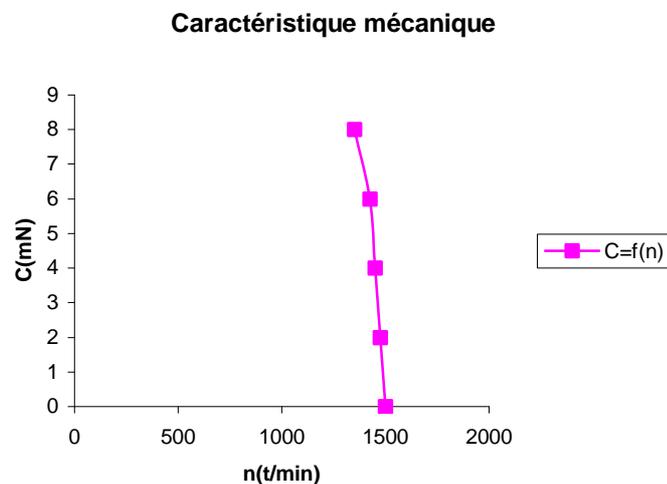
Si l'essai était poursuivi et pour autant que la machine le supporte, la caractéristique retomberait vers l'axe des abscisses illustrant ainsi la diminution du couple moteur.

### 13.5. Caractéristique mécanique [C=f(n)] (machine indépendante ou shunt)

#### 13.5.1. Mode opératoire

- Câbler la machine en fonction du schéma de câblage et placer les appareils de mesure de façon judicieuse en choisissant les bons calibres en fonction des mesures à relever.
- Vérifier que le rhéostat de champ est bien placé en série avec l'inducteur et que la valeur de la résistance est minimum afin d'avoir le courant d'excitation maximum.
- Alimenter la machine (inducteur et induit simultanément).
- Régler à l'aide du rhéostat de champs la valeur de la vitesse à sa valeur nominale.
- A l'aide d'un système quelconque, vous chargez le moteur par palier constant. Relever la valeur du couple et de la vitesse. Cet essai se poursuit jusqu'à épuisement des charges disponibles.
- Faites les mêmes relevés de mesure en retirant les charges.

#### 13.5.2. Courbe



#### 13.5.3. Explication physique

Deux zones distinctes sur cette caractéristique que nous trouverons leur explication de la même façon que précédemment.

Nous avons tout d'abord une droite illustrant l'augmentation du couple et une diminution de la vitesse. Le couple étant fonction des forces électromagnétiques et ces dernières liées au courant d'induit. La machine trouvant son point de stabilité lorsque l'équation des tensions

$E' = U - (R_{AB} \times I)$  est vérifiée, je peux déduire que si le courant d'induit augmente, les chutes ohmiques augmentent et la FCEM diminue. Ce dernier point ne pourra être vérifié que si la vitesse de rotation est moindre puisque le flux inducteur est constant.

Nous remarquons ensuite un effondrement de la vitesse. En effet, toute augmentation du courant d'induit entraîne une augmentation du couple, de la réaction d'induit et du flux de compensation. Ce dernier va saturer les épanouissements polaires, rendant la réaction d'induit plus néfaste ce qui entraîne une déformation du flux inducteur. Hors ce dernier est nécessaire dans le développement du couple ce qui sous entend que ce dernier va croître moins pour une même augmentation du courant d'induit et que dès lors la vitesse va elle diminuer plus rapidement.

### 13.6. Bilan énergétique

- Puissance absorbée = puissance électrique qui représente la puissance reçue par l'inducteur soit  $p_{ex} = u \cdot i_{ex}$  et reçue par l'induit soit  $P = U \cdot I$ .
- Puissance utile = puissance mécanique fournie à l'extérieur  $P_{ut} = C \cdot \omega$ .
- Pertes
  - pertes dites constantes, elles reprennent les pertes mécaniques et les pertes fer de la machine soit  $p_c$ .
  - pertes joule dans l'induit  $p_{jr} = R_{AB} \cdot I^2$
  - pertes joule dans l'inducteur  $p_{jst} = u \cdot i_{ex}$

Les pertes fer se décomposent en deux types, les pertes dues au courant de Foucault et les pertes par hystérésis.

$$\text{Perte hystérésis} = K_1 \cdot n \cdot B^2 \cdot v$$

$$\text{Perte Foucault} = K_2 \cdot n^2 \cdot B^2 \cdot v$$

Avec  $v$  qui représente le volume de fer de la machine.

### 13.7. Domaine d'application

Machine indépendante : Cette machine à l'avantage d'avoir deux sources de tension. Cela apporte une garantie supplémentaire dans la constante des tensions d'alimentation. Aucun risque d'interférence. Le fait de nécessiter deux alimentations distinctes donne un coût financier important. Cette machine sera pour ce dernier motif utilisé de façon limitée.

Machine shunt : Cette machine offre l'avantage d'avoir un fonctionnement très stable si le réseau peut être considéré comme infini. L'avantage de ce type de moteur pour un fonctionnement similaire à la machine indépendante est le coût moindre.

### 13.8. Quelques comportements

#### 13.8.1. Changement du sens de rotation

Nous pourrions être amené suite à un changement de charge, à changer le sens de rotation du moteur. Sur base du principe de fonctionnement, nous savons que ce sens est fonction de deux choses. La première étant le flux inducteur, nous pourrions modifier celui-ci. Le second étant le courant induit, nous pourrions aussi le modifier. Nous avons donc deux possibilités, soit on inverse l'enroulement inducteur, soit on change la polarité de la tension d'alimentation aux bornes de l'induit en inversant cet enroulement.

## 14. Etude de la machine C.C. série

### 14.1. Les équations mathématiques

$$U=Cst$$

$$I \rightarrow \Phi_e \quad \Phi_e = \frac{N \times \mu \times S}{l} \times I$$

$$\Phi_e \rightarrow \Phi_i \quad \text{via circuit magnétique}$$

$$\Phi_i \rightarrow E' \quad E' = N \times n \times \Phi_i$$

$$U = E' + (R \cdot I) \quad R = R_{AB} + R_{GH} + R_{EF}$$

$$n = \frac{U - (R \times I)}{N \times \Phi}$$

$$I=0 \quad \Phi_i=0 \quad n = \frac{U}{N \times 0} = \text{inf ini}$$

### 14.2. Caractéristique à vide [n=f(i)]

#### 14.2.1. Danger de cet essai

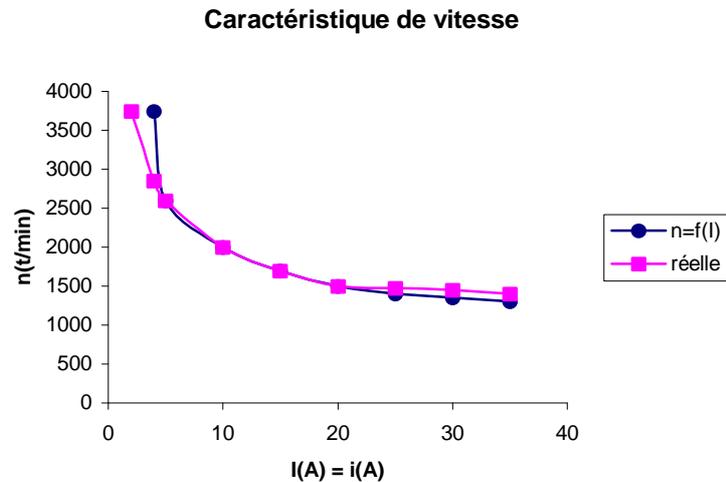
Nous savons que pour garantir un fonctionnement correct, nous devons avoir d'une part un flux inducteur et d'autre part un courant induit. Dans le cas de la machine série, le courant d'induit est le courant inducteur et par conséquent le flux inducteur est lié au courant d'induit. A vide, je peux dire que le courant induit est minimale. J'en tire la conclusion que le champ inducteur est minimale aussi ce qui induit une FCEM faible et donc un courant induit maximum créant un couple maximum qui va entraîner la vitesse de notre moteur vers l'infini. Je ne peux donc réaliser cet essai sans risquer de détériorer la machine.

### 14.3. Caractéristique de vitesse [n=f(I)]

#### 14.3.1. Mode opératoire

- Câbler la machine en fonction du schéma de câblage et placer les appareils de mesure de façon judicieuse en choisissant les bons calibres en fonction des mesures à relever.
- Alimenter la machine.
- A l'aide d'un système quelconque, vous chargez le moteur par palier constant. Relevez la valeur du courant et de la vitesse. Cet essai se poursuit jusqu'à épuisement des charges disponibles.
- Faites les mêmes relevés de mesure en retirant les charges.

### 14.3.2. Courbe



### 14.3.3. Explication physique

Avant toute chose, ne perdons pas de vue que le courant d'induit est également le courant inducteur.

Analysons ce qui se passe lorsque l'on décharge la machine (couple résistant en diminution). Nous savons que dans ce cas la vitesse va augmenter entraînant une augmentation de la FCEM et donc une diminution du courant d'induit. Nous savons aussi que toute diminution du courant d'induit va entraîner une diminution du flux inducteur donc une diminution de la FCEM. Cette diminution va entraîner une augmentation du courant d'induit et une augmentation du couple entraînant une augmentation de la vitesse. La machine trouvera un point de stabilité lorsque l'équation des tensions sera vérifiée  $E = U - (R_{AB} \times I)$ . La courbe nous montre clairement que pour des charges faibles voir nulle, la vitesse de notre moteur tend vers l'infini. Un moteur série devra donc toujours fonctionner en charge.

A l'opposé, si nous chargeons la machine (couple résistant croissant), nous savons que la vitesse va diminuer. Dans notre cas nous remarquons que cette dernière tend vers une valeur montrant une certaine stabilité en pleine charge. Si la vitesse diminue, la FCEM diminue et le courant d'induit augmente. Cette dernière augmentation amplifie la valeur du flux inducteur qui aura une répercussion sur la FCEM. Je remarque donc que j'ai un phénomène en avalanche. La stabilité sera toujours définie par l'équation des tensions. Si le courant d'induit augmente, la réaction d'induit va prendre le dessus (saturation des épanouissements polaires) et déformer le flux inducteur ce qui aura pour conséquence d'encore augmenter le courant d'induit. Je vais donc me retrouver dans une situation où inducteur et induit vont saturer la machine expliquant que pour toute augmentation du courant d'excitation plus rien n'évolue au sein de la machine, ni le couple ni la vitesse.

### 14.3.4. Réglage de la vitesse

On remarque que notre machine ne nous offre pas de possibilité de réglage puisque cette dernière s'auto régule. Nous pourrions toutefois envisager de placer un rhéostat en parallèle sur l'enroulement inducteur afin de détourner une partie du courant et ainsi permettre une légère variation du courant inducteur et donc du flux inducteur. Soyons conscient tout de même que le rhéostat ne pourra supporter qu'une valeur de courant fixée par sa constitution et que donc notre réglage n'aura qu'une zone d'action très limitée.

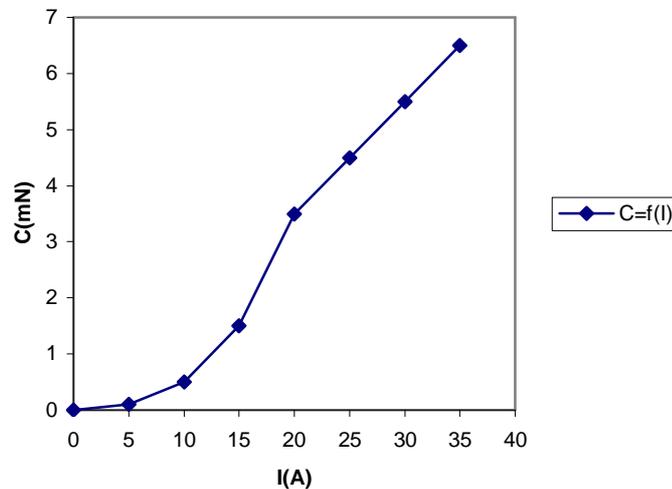
## 14.4. Caractéristique de couple [ $C=f(I)$ ]

### 14.4.1. Mode opératoire

- Câbler la machine en fonction du schéma de câblage et placer les appareils de mesure de façon judicieuse en choisissant les bons calibres en fonction des mesures à relever.
- Alimenter la machine.
- A l'aide d'un système quelconque, vous chargez le moteur par palier constant. Relevez la valeur du couple et du courant induit. Cet essai se poursuit jusqu'à épuisement des charges disponibles.
- Faites les mêmes relevés de mesure en retirant les charges.

### 14.4.2. Courbe

caractéristique de couple



### 1.5.1. Explication physique

La première partie nous montre une allure particulière, le couple augmente d'autant plus vite que le courant d'induit augmente. Nous savons que le couple est fonction des forces électromagnétiques elles-mêmes fonction des polarisations inducteur et induit. Hors ces derniers sont tout deux fonctions du courant d'induit. Nous avons donc une augmentation au carré du couple.

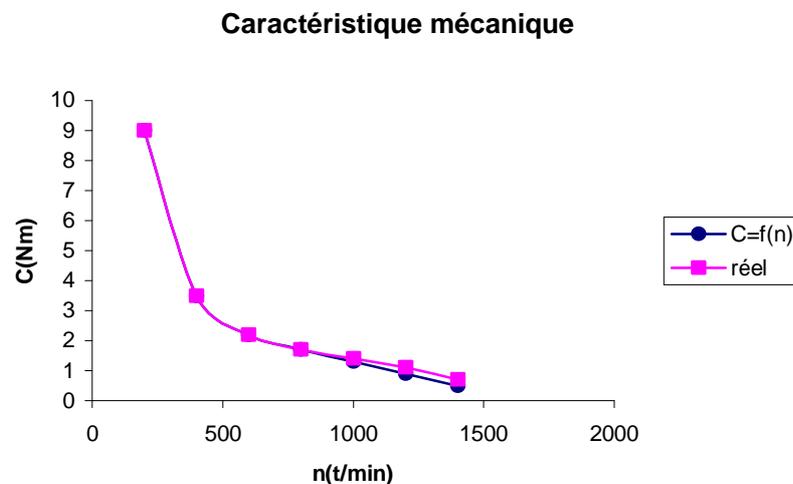
Dans la seconde partie de la courbe, nous devons faire apparaître la saturation du circuit magnétique par le flux inducteur entraînant une constance de ce dernier. Dans cette situation, le seul facteur pouvant encore faire croître le couple moteur est le flux d'induit. Nous avons à ce moment proportionnalité entre le couple et le courant d'induit.

## 14.5. Caractéristique mécanique [C=f(n)]

### 14.5.1. Mode opératoire

- Câbler la machine en fonction du schéma de câblage et placer les appareils de mesure de façon judicieuse en choisissant les bons calibres en fonction des mesures à relever.
- Alimenter la machine.
- A l'aide d'un système quelconque, vous chargez le moteur par palier constant. Relevez la valeur du couple et de la vitesse. Cet essai se poursuit jusqu'à épuisement des charges disponibles.
- Faites les mêmes relevés de mesure en retirant les charges.

### 14.5.2. Courbe



### 14.5.3. Explication physique

Cette courbe nous montre le lien entre le couple et la vitesse, plus la vitesse augmente et plus le couple diminue, nous avons l'emballement du moteur. En effet, ce fonctionnement tend vers un fonctionnement à vide, donc un courant d'induit minimum. Si ce dernier est minimum, les flux inducteur et d'induit le sont aussi limitant les forces électromagnétiques et donc le couple. La vitesse elle est élevée puisque l'équation des tensions doit être respectée  $E' = U - (R_{AB} \times I)$  pour un courant induit faible, la FCEM doit être grande et comme le flux inducteur est faible également la vitesse doit être très grande. Nous avons une augmentation au carré de la vitesse par rapport à l'évolution du courant d'induit.

Lorsque la vitesse diminue, le couple augmente. Pour une vitesse plus faible, nous avons une FCEM plus faible et donc un courant d'induit plus grand donc des flux inducteur et d'induit plus grand, des forces électromagnétiques plus grandes et un couple plus grand. Comme les flux sont liés tous les deux au courant d'induit je peux dire que le couple évolue dans un premier temps au carré. Par la suite, nous avons saturation de la machine et constance du flux inducteur nous montrant une augmentation linéaire du couple en fonction du courant d'induit.

## 14.6. Bilan énergétique

- Puissance absorbée = puissance électrique qui représente la puissance reçue par la machine soit  $P=U.I$ .
- Puissance utile = puissance mécanique fournie à l'extérieure  $P_{ut}=C \cdot \omega$ .
- Pertes
  - pertes dites constantes, elles reprennent les pertes mécaniques et les pertes fer de la machine soit  $p_c$ .
  - pertes joule dans l'induit  $p_{jr}=(R_{AB}+R_{EF}) \cdot I^2$

Les pertes fer se décomposent en deux types, les pertes dues au courant de Foucault et les pertes par hystérésis.

$$\text{Perte hystérésis} = K_1 \cdot n \cdot B^2 \cdot v$$

$$\text{Perte Foucault} = K_2 \cdot n^2 \cdot B^2 \cdot v$$

Avec  $v$  qui représente le volume de fer de la machine.

## 14.7. Domaine d'application

Cette machine est très utilisée dans tout ce qui sert en traction électrique comme les locomotives. En effet, nous ne pouvons utiliser ces machines qu'à la condition qu'elles soient toujours en charge.

## 14.8. Quelques comportements

### 14.8.1. Changement du sens de rotation

Si nous souhaitons inverser le sens de rotation d'un moteur série, nous devons soit inverser l'enroulement inducteur pour inverser le flux inducteur soit inverser l'enroulement induit pour inverser le courant induit. Il ne sert à rien d'inverser la tension d'alimentation aux bornes du moteur car dans ce cas j'inverserais aussi bien le sens du flux inducteur que le sens du flux induit.

### 15. Calcul d'un rhéostat

Soit un moteur courant continu de 3000 volts –  $I_n=100A$  –  $R=0,2ohm$  –  $k=5$ .

Calculer la résistance de démarrage, le nombre de plots de la cascade et les résistances intermédiaires.

SOLUTION :

$$I_d = 5 \cdot 100 = 500A$$

$$R_d = \frac{U}{I_d} - R = \frac{3000}{500} - 0,2 = 5,8ohms$$

$$R_1 = R_d + R = 5,8 + 0,2 = 6 ohms$$

$$k^{n-1} = \frac{R_1}{R}$$

$$(n-1) \cdot \log k = \log \frac{R_1}{R}$$

$$n-1 = \frac{\log \frac{R_1}{R}}{\log k}$$

$$n = \frac{\log \frac{R_1}{R}}{\log k} + 1 = \frac{\log \frac{(5,8+0,2)}{0,2}}{\log 5} + 1 = 3plots$$

calculons la valeur de k (facteur de pointe du courant de démarrage) pour 3 plots

$$\log k = \frac{\log \frac{R_1}{R}}{n-1}$$

$$k = 10^{\left[ \frac{\log \frac{R_1}{R}}{n-1} \right]} = 10^{\left[ \frac{\log \frac{5,8+0,2}{0,2}}{3-1} \right]} = 5,477$$

$$I_d = 5,477 \cdot 100 = 547,7A$$

$$R_d = \frac{3000}{547,7} - 0,2 = 5,277ohms$$

$$R_1 = R_d + R = 5,277 + 0,2 = 5,477 ohms$$

Au moment où l'on va changer de plot

$$I_n = \frac{U - E_n}{R_n}$$

Au moment où l'on a changé de plot

$$I_d = \frac{U - E_n}{R_{n-1}}$$

$U - E_n = Cst$  car la machine n'a pas encore réagi

$$I_n \cdot R_n = I_d \cdot R_{n+1}$$

$$\frac{I_n}{I_d} = \frac{I_n}{I_n \cdot k} = \frac{R_{n+1}}{R_n}$$

$$\frac{R_n}{k} = R_{n+1}$$

$$R_2 = \frac{R_1}{k} = \frac{5,477}{5,477} = 1ohm$$

$$R_3 = \frac{R_2}{k} = \frac{1}{5,477} = 0,2ohm \text{ cette valeur est bien la résistance de la machine.}$$

La résistance entre le plot 1 et 2 sera de  $5,477 - 1 = 4,477 ohms$

La résistance entre le plot 2 et 3 sera de  $1 - 0,2 = 0,8 ohm$

## 16. Exercices

1) Un moteur à excitation indépendante fonctionne sous 115V, il absorbe 25A quand il tourne à 750 t/min. Sa résistance d'induit est 0,6 ohm. Les pertes par effet joule dans l'inducteur sont de 125w. Les pertes constantes 240w. Calculer la FCEM, la puissance absorbée, la puissance utile, la puissance électrique utile et le rendement. Le couple moteur devra également être calculé.

Solution :

$$\begin{aligned}
 E' &= U - R \cdot I = 115 - 0,6 \cdot 25 = 100V \\
 P_{\text{induit}} &= U \cdot I = 115 \cdot 25 = 2875w \\
 P_{\text{abs}} &= P_{\text{induit}} + p_{\text{jinducteur}} = 2875 + 125 = 3000w \\
 P_{\text{électrique}} &= E' \cdot I = 100 \cdot 25 = 2500w \\
 P_{\text{ut}} &= P_{\text{électrique}} - p_{\text{cst}} = 2500 - 240 = 2260w \\
 P_{\text{ut}} &= P_{\text{abs}} - p_{\text{jinducteur}} - p_{\text{cst}} = 2875 - 125 - 240 = 2260w \\
 \eta &= \frac{P_{\text{ut}}}{P_{\text{abs}}} = \frac{2260}{3000} = 0,753 \\
 C &= \frac{P_{\text{électrique}}}{\omega} = \frac{2500}{2 \cdot \pi \cdot \frac{750}{60}} = 31,8Nm
 \end{aligned}$$

2) Un moteur à excitation indépendante fonctionne sous 230V. On donne R=0,4 ohm, pertes dans les inducteurs 220w, pertes constantes 600w.

- A pleine charge I=40A et n=1000t/min, calculer la FCEM et la puissance absorbée
- Calculer la vitesse de rotation lorsqu'il consomme 25A

Solution :

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad E' &= U - R \cdot I = 230 - 0,4 \cdot 40 = 214V \\
 P_{\text{induit}} &= U \cdot I = 230 \cdot 40 = 9200w \\
 P_{\text{abs}} &= P_{\text{induit}} + p_{\text{jinducteur}} = 9200 + 220 = 9420w \\
 \bullet \quad E'_1 &= U - R \cdot I = 230 - 0,4 \cdot 25 = 220V \\
 \frac{n_1}{n} &= \frac{E'_1}{E'} = \frac{220}{214} \\
 n_1 &= n \cdot \frac{E'_1}{E'} = 214 \cdot \frac{220}{214} = 1028t/\text{min} \\
 E' &= N \cdot n \cdot \Phi \rightarrow N \cdot \Phi = \frac{E'}{n} = \frac{214}{\frac{1000}{60}} = 12,84 \\
 n_1 &= \frac{E'_1}{N \cdot \Phi} = \frac{220}{12,84} \cdot 60 = 1028t/\text{min}
 \end{aligned}$$

3) Soit un moteur shunt ayant une résistance inducteurs de 110ohms, résistance induit de 0,2ohm. La tension d'alimentation est de 220V et les pertes constantes de 700w. Calculer sachant que la vitesse de rotation est de 1500t/min quand il absorbe un courant de 75A, la FCEM, la puissance absorbée, la puissance utile, le rendement et le couple utile. On demande encore la valeur de la résistance du rhéostat de démarrage pour que l'intensité au démarrage soit de 160ohms.

$$\begin{aligned}
 E' &= U - R \cdot I = 220 - 0,2 \cdot 75 = 205V \\
 i &= \frac{U}{r} = \frac{220}{110} = 2A \\
 P_{\text{abs}} &= U \cdot (I + i) = 220 \cdot (75 + 2) = 16940w \\
 P_{\text{jinducteur}} &= U \cdot i = 220 \cdot 2 = 440w \\
 P_{\text{jinduit}} &= R \cdot I^2 = 0,2 \cdot 75^2 = 1125w \\
 P_{\text{ut}} &= P_{\text{abs}} - \text{pertes} = 16940 - 440 - 1125 - 700 = 14675w \\
 \eta &= \frac{P_{\text{ut}}}{P_{\text{abs}}} = \frac{14675}{16940} = 0,865
 \end{aligned}$$


---

$$C_{ut} = \frac{P_{ut}}{\omega} = \frac{14675}{2 \cdot \pi \cdot 25} = 94 Nm$$

4) Soit un moteur compound alimenté sous 220V et absorbant 50A. Les pertes constantes sont de 200w et la vitesse de rotation de 1500t/min. Si les valeurs des résistances sont les suivantes,  $r=200\Omega$  et  $R=0,5\Omega$ . Calculer le rendement de cette machine en détaillant tous les calculs. Le couple sera également trouvé en utilisant la FCEM. La machine est câblée en long shunt.

Solution :

$$i = \frac{U}{r} = \frac{220}{200} = 1,1A$$

$$P_{j\text{inducteur}} = U \cdot i = 220 \cdot 1,1 = 242w$$

$$I = I' - i = 50 - 1,1 = 48,9A$$

$$P_{j\text{induit}} = R \cdot I^2 = 0,5 \cdot 48,9^2 = 1195,605w$$

$$P_{abs} = U \cdot I' = 220 \cdot 50 = 11000w$$

$$P_{ut} = P_{abs} - \text{pertes} = 11000 - 242 - 1195,605 - 200 = 9362,395w$$

$$\eta = \frac{P_{ut}}{P_{abs}} = \frac{9362,395}{11000} = 0,851$$

$$E' = U - R \cdot I = 220 - 0,5 \cdot 48,9 = 195,55V$$

$$E' = n \cdot N \cdot \Phi \rightarrow N \cdot \Phi = \frac{E'}{n} = \frac{195,55}{\frac{1500}{60}} = 7,822$$

$$C = \frac{N \cdot \Phi \cdot I}{2 \cdot \pi} = \frac{7,822 \cdot 48,9}{2 \cdot \pi} = 60,876 Nm$$

5) Un moteur série alimenté sous 120V absorbe un courant  $I=50A$ . Que vaut  $I_d$  si la résistance de l'inducteur et de l'induit est de  $0,3\Omega$  ? Calculer également  $R_d$  pour que  $I_d=75A$ .

$$I_d = \frac{U}{R} = \frac{120}{0,3} = 400A$$

$$I'd = 75A$$

$$I'd = \frac{U}{R + R_d} \rightarrow R_d = \frac{U}{I'd} - R = \frac{120}{75} - 0,3 = 1,3\Omega$$

6) Pour déterminer le rendement d'une machine shunt, on a utilisé une machine frein fonctionnant en moteur. Les relevés ont donné  $n=1500t/min$ ,  $P=25N$ ,  $l=0,85m$ ,  $I=22A$  et  $U=125V$ . Calculer son rendement.

$$C_{ut} = F \cdot l = 25 \cdot 0,85 = 21,25Nm$$

$$P_{ut} = C_{ut} \cdot \omega = 21,25 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 1500}{60} = 3338w$$

$$P_{ut\text{ moteur}} = P_{abs\text{ génératrice}}$$

$$P_{utG} = U \cdot I = 22 \cdot 125 = 2750w$$

$$\eta = \frac{P_{ut}}{P_{abs}} = \frac{2750}{3338} = 0,8238$$

- 1) Soit un moteur shunt ayant les caractéristiques suivantes :  $r=110\text{ohms}$ ,  $R=0,2\text{ohm}$ ,  $U=220\text{V}$ ,  $p_{\text{cst}}=700\text{w}$ . La machine ne possède pas de rhéostat de champ. Si  $n=1500\text{ t/min}$  et  $I'=75\text{A}$  (induit), calculer la FCEM (**205V**), la puissance absorbée (**16940w**), la puissance utile (**14675w**), le rendement (**86%**) et le couple utile (**93Nm**). Quel rhéostat (valeur totale) (**1,175ohms**) de démarrage est à placer pour que  $I_d=160\text{A}$  ? Que vaut  $C_d$  (**208,8Nm**) si on suppose le circuit magnétique non saturé ? Calculer  $N.\Phi$  (**8,2**) à partir des données et des résultats ci-dessus. Calculer  $n$  (**25,73 t/sec**) pour  $I'=45\text{A}$  et ensuite lorsque le moteur est à vide ( $P_{\text{ut}}=0$  et  $p_{\text{jr}}=0$ ) (**26,78 t/sec**). Le flux restant proportionnel à l'excitation, calculer  $R_h$  (**11ohms**).
- 2) Un moteur shunt entraîne un monte charge ayant un couple résistant constant. Les caractéristiques sont les suivantes ;  $U=500\text{V}$ ,  $n=600\text{t/min}$ ,  $I=32\text{A}$ ,  $R=0,4\text{ohm}$  et  $r=250\text{ohms}$ . On se propose de la faire tourner à  $450\text{ t/min}$  par réglage rhéostatique d'induit ; le flux étant maintenu constant. Calculer la résistance totale du rhéostat (**3,7875ohms**) et la nouvelle intensité absorbée (**32A**) à  $450\text{t/min}$ . Si on désire faire tourner le moteur à  $700\text{ t/min}$  par réglage du rhéostat de champ après suppression du rhéostat d'induit, qu'on néglige  $R$  et que l'on suppose le circuit magnétique non saturé qu'elle doit être la valeur du rhéostat de champ (**41,657ohms**) et l'intensité absorbée (**36,437A**) à cette vitesse de  $700\text{t/min}$ .
- 3) Calculer l'intensité absorbée (**24,53A**) par un moteur de puissance utile de  $5\text{cv}$  qui fonctionne sous une tension de  $200\text{V}$  avec un rendement de  $0,75$ .
- 4) Un moteur de  $15\text{Kw}$  fonctionne aux  $\frac{3}{4}$  de sa charge nominale avec un rendement de  $78\%$ . Calculer les pertes pour cette charge. (**2475w**)
- 5) Un moteur shunt fonctionne sous une tension de  $230\text{V}$ , sa vitesse nominale est de  $2100\text{t/min}$ ,  $R=0,24\text{ohm}$  et  $r=184\text{ohms}$ . Un essai à vide a donné  $U_v=225\text{V}$  et  $I_v=1,8\text{A}$ . Calculer le rendement (**68%**) pour un courant absorbé  $I=40\text{A}$ . La vitesse de rotation et la FCEM variant peu, elles seront considérées comme constantes.
- 6) Un moteur shunt à  $110\text{V}$  dont l'induit a une résistance entre balais de  $0,1\text{ohm}$  est muni d'un rhéostat de démarrage dont la résistance est de  $2,4\text{ohms}$ . Calculer la pointe de courant de démarrage dans l'induit (**44A**).
- 7) Un moteur shunt à  $110\text{V}$ , tourne à  $1200\text{ t/min}$  sous sa charge normale de  $4\text{Kw}$ . La résistance des inducteurs est  $65\text{ohms}$  et le rendement de  $0,8$ . Calculer pour la charge normale le courant total absorbé (**45,45A**), le courant dans l'induit (**43,7622A**) et dans l'inducteur (**1,6923A**) de même que le couple moteur (**31,83Nm**).
- 8) Un tour est commandé par un moteur shunt fonctionnant sous  $115\text{V}$  dont la résistance d'induit est  $0,2\text{ohm}$  et celle des inducteurs  $76\text{ohms}$ . Quand le tour est à vide, la vitesse de broche est  $200\text{ t/min}$  et le courant total absorbé par le moteur  $4\text{A}$ . Quand le tour travail, le moteur absorbe  $16\text{A}$ . En négligeant la réaction magnétique d'induit calculer la vitesse de la broche (**195,797t/min**). Si l'on tenait compte de cette réaction la vitesse serait-elle plus faible ou plus grande. (**plus grande**)
- 9) Un monte charge est commandé par un moteur excité en dérivation qui absorbe  $4\text{Kw}$  dans l'induit alimenté sous  $110\text{V}$  pour lever la charge maximale à une vitesse de  $30\text{m/min}$ . A la descente de cette même charge, on laisse l'inducteur branché sous  $110\text{V}$  et on ferme l'induit sur une résistance  $x$ . Calculer la valeur de cette dernière (**1,6586ohms**) pour la descente à la vitesse de  $25\text{ m/min}$ . La résistance de l'induit est  $0,2\text{ohm}$ . On admettra que le rendement de la machine indépendante et de son réducteur de vitesse est  $0,6$  à la montée comme à la descente et on négligera la réaction d'induit.
- 10) Un moteur excité en dérivation  $10\text{Kw}$ ,  $115\text{V}$  tourne à vide à  $1200\text{t/min}$  lorsque son enroulement d'excitation est branché directement sur le réseau. La résistance des bobines inductrices est de  $50\text{ohms}$ . En négligeant la chute ohmique et en admettant que le flux inducteur est proportionnel au courant d'excitation, déterminer la résistance du rhéostat de champ (**12,5ohms**) à utiliser pour que la vitesse à vide soit de  $1500\text{ t/min}$ .

- 1) Un essai de moteur shunt sous une tension de 120V donne les résultats consignés dans le tableau ci-dessous :

I total (A)	C moteur (Nm)	N (t/min)
5	4	1240
10	10	1230
15	16	1200
24	23	1180
30	29	1200

Tracer les caractéristiques de couple moteur et de vitesse ainsi que la caractéristique mécanique de ce moteur. Si ce moteur entraîne un appareil dont le couple résistant croît linéairement avec la vitesse de 1Nm pour 1000t/min. A 1000t/min le  $C_r=12\text{Nm}$ , déterminer la vitesse de régime du groupe. Le fonctionnement est-il stable ? Calculer également pour le régime de fonctionnement déterminé ci-dessus la puissance électrique absorbée par le moteur et son rendement.

- 2) Un moteur shunt alimenté sous 115V tourne à 1200 t/min et développe un couple moteur de 17,6Nm. Le courant total qu'il absorbe est alors 24,5A. Sachant que les résistances sont respectivement 0,2ohm pour l'induit et 46ohms pour l'inducteur, calculer la puissance mécanique, le rendement du moteur et la puissance électromagnétique (E'.I).
- 3) Un palan est entraîné par un moteur série alimenté sous 115V. La résistance d'induit est 0,6ohm, celle des inducteurs 0,4ohm. Crochet sans charge le moteur absorbe 4A, crochet avec charge il absorbe 9A. En admettant que le flux est proportionnel au courant inducteur, calculer le rapport des vitesses à vide et en charge.
- 4) Un moteur excité en série tourne à 1500 t/min en absorbant 13,6A sous 220V. La résistance de l'induit est 0,77ohm, celle de l'inducteur 1,06ohm. Quelle est la FCEM, quel est le couple électromagnétique fourni par l'induit ? Si le moteur est alimenté sous 110V, Calculer sa vitesse quand il absorbe 13,6A.
- 5) Un moteur série 4Kw, 115V a un rendement de 0,8 à pleine charge sa vitesse est alors de 1000t/min. La résistance de l'induit est 0,08ohm, celle de l'inducteur 0,06ohm. Calculer les résistances d'un rhéostat de démarrage de telle sorte que le courant de démarrage soit égale à deux fois le courant nominale.
- 6) Un moteur de traction absorbe 250A sous 550V, son rendement est 0,89. Il tourne alors à 450 t/min. Le diamètre des roues motrices est 850mm. Ces roues sont commandées par un pignon de 22 dents sur l'arbre de l'essieu engrenant avec une roue dentée de 65 dents calée sur l'essieu moteur. Le rendement du couple d'engrenage est 0,9. Calculer la vitesse de la voiture en Km/h et le couple moteur développé.
- 7) Un moteur à excitation composée est alimenté sous une tension de 120V ; il tourne à 1200t/min en développant un couple utile de 32Nm et en absorbant une puissance de 5160w. Calculer son rendement, les puissances dissipés par effet joule dans ses enroulements et la puissance qui correspond aux pertes mécaniques et magnétiques. On donne les résistances à chaud : 0,26 ohm pour l'induit 0,04ohm pour l'inducteur série et 40ohms pour l'enroulement shunt.
- 8) Un moteur à excitation composée, fonctionnant sous 220V et tournant à la vitesse de 2000t/min a une puissance utile de 6Kw ; son rendement à pleine charge est 0,86. La résistance de l'induit est 0,1ohm, celle de l'enroulement série 0,04ohm et celle de l'enroulement en dérivation, branché aux extrémités de l'induit, de 54ohms. Calculer le courant absorbé par le moteur et les courants dans l'enroulement dérivation et dans l'induit. La FCEM, l'ensemble des pertes magnétiques et mécaniques, le couple développé par le moteur à pleine charge et le rendement.