

## 1. Introduction :

La machine à courant continu est caractérisée par plusieurs enroulements dont le nombre varie suivant la puissance. Dans les machines de faible puissance, on trouve l'enroulement induit et l'enroulement inducteur ou enroulement d'excitation. Dans les machines de moyenne et de grandes puissances, à part les enroulements d'induit et d'excitation on trouve aussi l'enroulement auxiliaire, l'enroulement stabilisateur pour les moyennes puissances, et l'enroulement de compensation pour les grandes puissances. Dans l'enroulement d'excitation les bobines placées sur les noyaux des pôles principaux forment l'enroulement d'excitation. Le nombre de bobines est égale au nombre de pôles. La connexion des bobines doit se faire de façon à créer un pôle nord et un pôle sud.

Étant donné que l'enroulement principal dans une machine à courant continu est l'enroulement d'induit, les questions concernant ce type de bobinages seront examinées dans ce chapitre.

## 2. Définitions :

- **Brins actifs** : conducteurs insérés dans une encoche.
- **Faisceau** : ensemble de brins actifs dans une encoche.
- **Spire** : deux brins actifs reliés d'une encoche à l'autre
- **Section de bobinage (bobine)** : c'est une partie de l'enroulement d'induit qui comprend une ou plusieurs spires en série. Les deux extrémités de cet ensemble de spires sont connectées à deux lames différentes du collecteur. pour que l'enroulement forme un système fermé, on connecte le commencement de chaque section à la fin de la section précédente.

La figure 1 montre une section avec une seule spire qui est liée à deux lames du collecteur et une section (bobine) à trois spires.

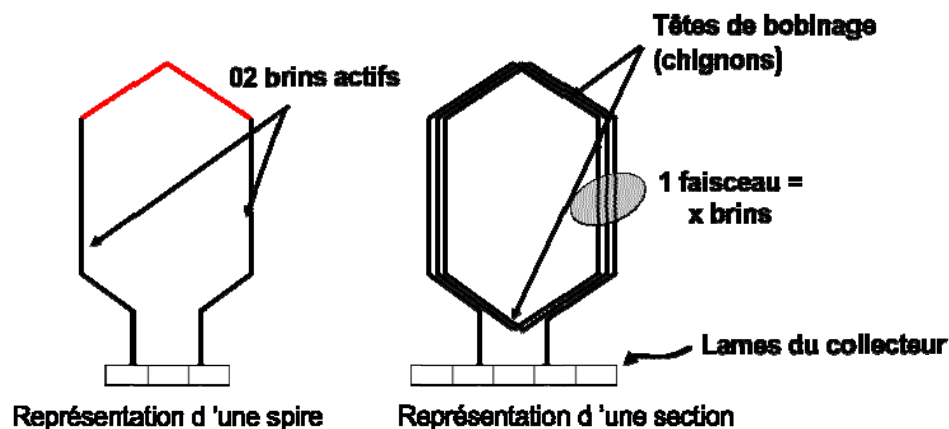


Figure 1 : Représentation d'une spire et d'une section

Dans la section on distingue **les côtés de section** (faisceau d'entrée et faisceau de sortie), c'est la partie qui va dans les encoches **et les têtes de section (tête de bobines)**, partie située hors des encoches.

- **Enroulement** :

Ensemble de bobines ou de sections, généralement en cuivre, connectées en série ou en série-parallèle figure 2. On distingue :

**Enroulement Simple** : signifie que l'induit de la machine à courant continu est constitué d'un seul circuit.

**Enroulement multiple (double, triple..)** : signifie que l'induit de la machine à courant continu est constitué de plusieurs circuits séparés.

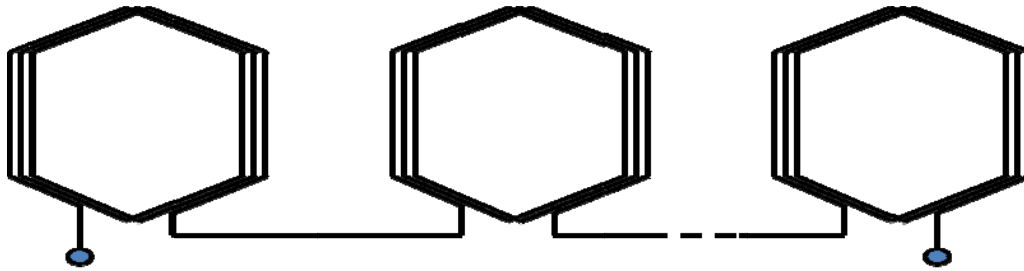


Figure. 2 Représentation d'un enroulement.

- **Voie d'enroulement :**

Le courant total engendré dans un enroulement peut se subdiviser entre plusieurs groupes de conducteurs suivant la combinaison imposée par l'enroulement. On est ainsi conduit à envisager le nombre de passages offert au courant. Si le courant total passe à travers tous les conducteurs de l'enroulement, la circulation du courant se fait en quelque sorte pour une seule voie d'enroulement, on dit alors que l'enroulement comporte une seule voie. Si les conducteurs d'un même enroulement sont associés de façon que le courant s'y subdivise suivant plusieurs parcours distincts, l'enroulement est dit à voie multiple ou simplement à plusieurs voies.

Nous définissons donc la voie d'enroulement comme l'ensemble des conducteurs associés en série et parcourus par un même courant. Tout enroulement fermé comporte au moins 02 voies d'enroulement. Nous désignons par  $(2a)$  le nombre de voies d'enroulement d'un induit à courant continu. Suivant la combinaison adoptée, le nombre de voies d'enroulement peut être égal, ou inférieur, ou supérieur au nombre de pôles. Il est toujours pair pour les machines à courant continu.

### 3. Enroulement à une couche et enroulement à deux couches :

3.1 **Enroulement à une couche :** chaque encoche comporte un seul faisceau, figure 03.

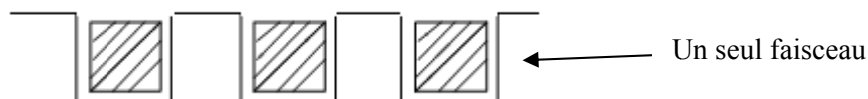


Figure. 3 : Encoches à une couche

3.2 **Enroulement à deux couches :** également appelés à deux étages, chaque encoche comporte deux faisceaux identiques (de même section et en même nombre) qui sont disposés l'un au-dessus de l'autre (haut/bas), figure 4.

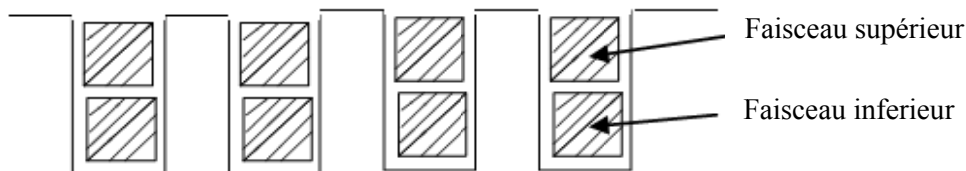


Figure. 4 : Encoches à deux couches

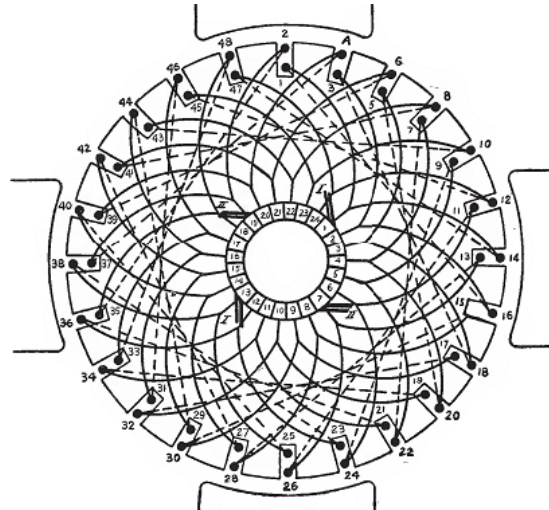
#### Remarque :

Dans les enroulements à deux couches, l'entrée de chaque bobine est un faisceau supérieur et la sortie un faisceau inférieur.

**4. Représentation des enroulements**

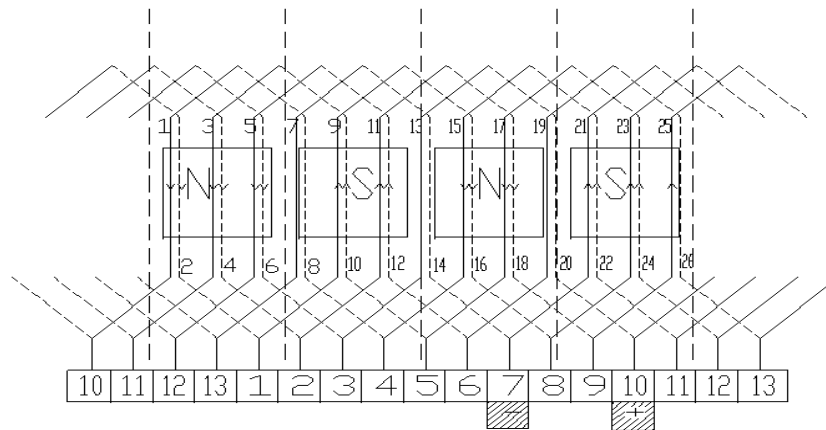
**4.1 Représentation graphique**

Quelque soit le type d'enroulement si l'on considère les conducteur et leurs liaisons, leur ensemble se présente sous l'aspect d'un tracé polygonal (Figure 5). Les conducteurs sont figurés par leur tracé sur la circonférence représentant l'armature, et les liaisons par simple corde. Il est d'usage de marquer d'un point les conducteurs dirigés d'arrière en avant et d'une croix ceux dirigés d'avant en arrière lorsque qu'on suit le tracé d'une façon continu.



**Figure. 5 : représentation en polygone**

On peut encore supposer l'armature divisée par un plan radial et développée sur le plan du tableau avec les conducteurs et liaisons. On obtient ainsi une représentation panoramique ou par développement. (Figure 6)



**Figure. 6 : Représentation panoramique ou par développement.**

**4.2 Représentation numérique ou tableau d'enroulement**

Le tracé étant quelquefois difficile à suivre, on a recours dans les études aux tableaux d'enroulement dans lesquels on inscrit à la suite les uns des autres les numéros des conducteurs consécutifs d'après le pas d'enroulement. On fait ainsi pour chaque voie d'enroulement.

### 5. Les différents pas de bobinage:

#### 5.1 Le pas polaire :

C'est la distance, en mètre, mesurée à la périphérie de l'entrefer, séparant les axes de deux pôles magnétiques successifs de polarité différente (figure 7).

$$\tau_p = \frac{\pi.D}{p} \quad (1)$$

Il peut être défini par le nombre d'encoches  $S$  (ou conducteurs  $Z$ ) sous un pôle ou par l'angle entre 02 pôles successifs de polarité différente :

$$\tau_p = \frac{S}{p} \quad (2)$$

$$\tau_p = \frac{2\pi}{p} \quad (3)$$

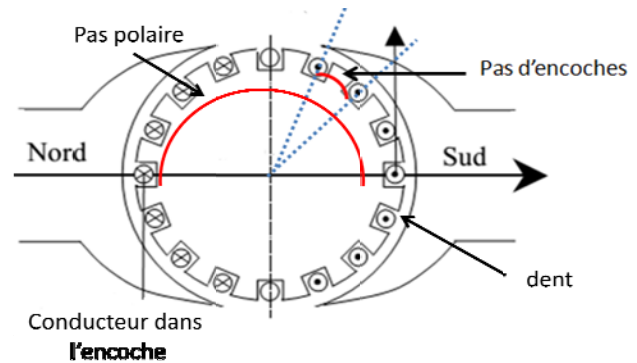


Figure 7 : Pas polaire et pas d'encoche d'une MCC

#### 5.2 Le pas d'encoches :

C'est la distance, en mètre, mesurée à la périphérie de l'entrefer, séparant les axes de deux encoches successives (figure 7) :

$$\tau_d = \frac{\pi.D}{S} \quad (4)$$

Il peut être défini par : l'angle entre 2 pôles successifs de polarité différente :

$$\tau_d = \frac{2\pi}{S} \quad (5)$$

#### 5.3 Le pas d'enroulement $Y$ :

C'est la distance entre le faisceau « d'entrée » et le faisceau de « sortie » d'une même bobine. Il peut être défini comme étant le nombre d'encoches contenues entre les deux faisceaux de la bobine, ou tout simplement la largeur de la bobine figure 8..

L'enroulement peut être:

A pas diamétral si  $Y = \tau_p$

A pas raccourci si  $Y < \tau_p$

A pas allongé si  $Y > \tau_p$

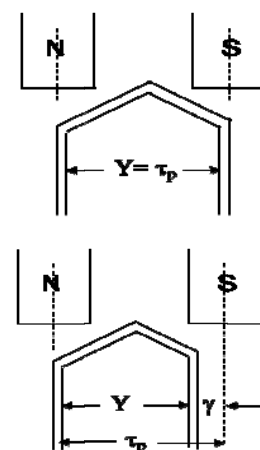


Figure 8 : Pas diamétral et pas raccourci

On dit qu'une bobine B1 est consécutive à la bobine B2 si la sortie de B1 est connectée à l'entrée de B2. On est amené à introduire les pas suivants :

**5.4 Le pas avant  $Y_f$  :**

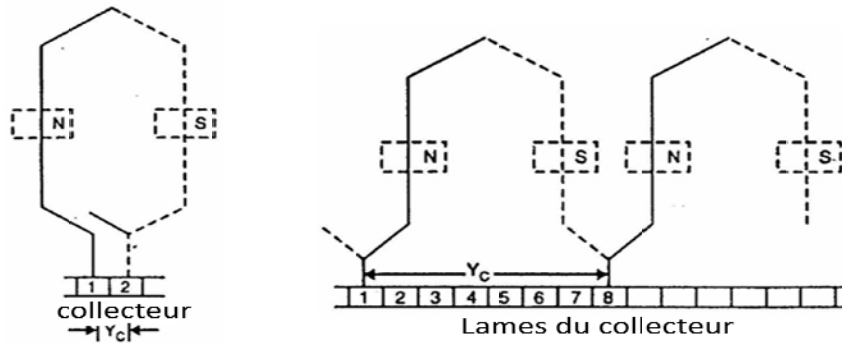
C'est la distance entre le faisceau de « sortie » d'une bobine et le faisceau « d'entrée » de la bobine consécutive. (Le nombre d'encoches pour aller du faisceau « sortie » d'une bobine vers le faisceau « d'entrée » de la bobine suivante)

**5.5 Le pas résultant  $Y_r$  :**

La distance entre les premiers cotés (les deux faisceaux d'entrée) de deux bobines consécutives. (Le nombre d'encoches pour aller du faisceau « d'entrée » d'une bobine vers le faisceau « d'entrée » de la bobine suivante)

**5.6 Le pas au collecteur  $Y_c$  :**

La distance entre les lames du collecteur auxquelles est connectée une bobine. Ce pas est mesuré en nombre d'intervalles entre lames du collecteur. La figure 9.a montre une bobine liée entre la lame 1 et la lame 2. On peut compter un seul intervalle au collecteur  $Y_c = 1$ . La figure 9.b montre une bobine liée entre la lame 1 et la lame 8. On peut compter sept intervalles au collecteur  $Y_c = 7$ .



**Figure 9. Pas au collecteur**

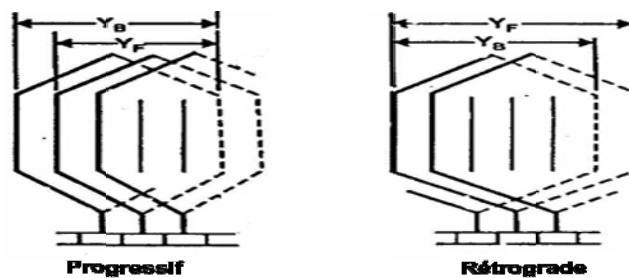
**Remarque :**

Il est classique, en courant continu d'utiliser l'appellation (pas arrière  $Y_b$ ) au lieu de (pas de d'enroulement  $Y$ ), pour caractériser la largeur de la bobine. C'est cette appellation qu'on va adopter dans la suite de cette étude

**6. Enroulements progressifs et enroulements rétrogrades :**

Si  $Y_b > Y_f$  , l'enroulement est progressif (figure -10)

Si  $Y_b < Y_f$  l'enroulement est rétrograde (figure 10)



**Figure.10 : Enroulement progressif et rétrograde**

## 7. Angle électrique et angle mécanique

L'angle électrique est définie par l'équation suivante :

$$\theta_{\text{électrique}} = \frac{p}{2} \times \theta_{\text{mécanique}} \quad (6)$$

Pour une machine bipolaire :  $\theta_{\text{électrique}} = \theta_{\text{mécanique}}$ , figure 11.

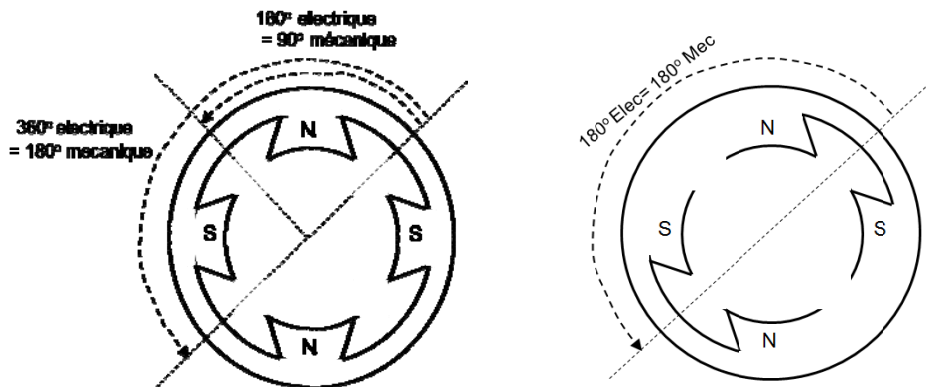


Figure.11 Angles électrique et mécanique. a) machine ayant 04 pôles. B) machine bipolaire

## 8. Types de bobinages

On retrouve deux familles de bobinage, distribué (figure 12.a) et concentrique (figure.12.b), mais il est possible de concevoir de nombreuses variantes, seulement limitées par les problèmes de fabrication.

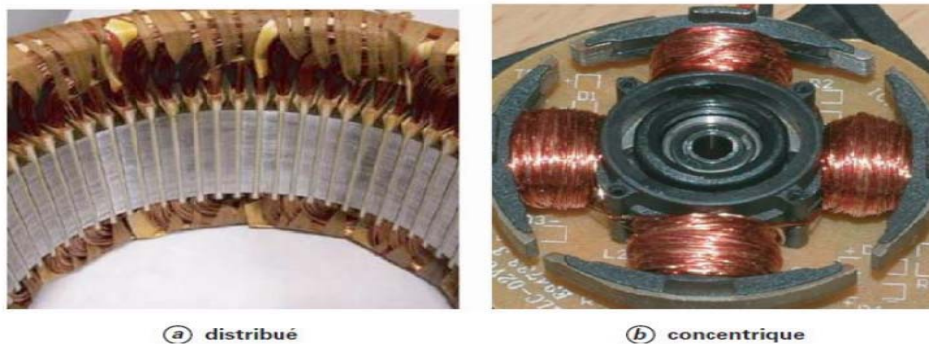


Figure. 12 Types de bobinages

### 8.1 Bobinage concentrique

Dans le cas d'un bobinage concentré, le pas d'enroulement est égal à une encoche et le pas au collecteur peut être supérieur ou égal à 1. Toutes les sections sont connectées en série. Le faisceau d'entrée d'une bobine est voisin du faisceau de « sortie » de la bobine précédente. Le principal avantage de ce type de bobinage est son faible coût de réalisation et la réduction du volume de cuivre. Généralement la puissance de ces moteurs à bobinage concentré est limitée en raison des inductances du bobinage est des paramètres de commutation. Le bobinage concentré, à l'avantage de minimiser les têtes de bobines (quantité de cuivre plus faible que dans le cas du bobinage reparti ou distribué).

Dans le cas d'un bobinage concentré, le nombre d'encoches est du même ordre de grandeur que le nombre de pôles du moteur. Généralement, le bobinage est très simple à réaliser. Il convient parfaitement pour des applications à faible coût.

## 8.2 Bobinage distribué

Le bobinage distribué est utilisé pour les applications à grande vitesse, où un nombre réduit de paires de pôles est nécessaire, ce type de bobinage contient plusieurs et divers formes :

### 8.2.1 Bobinage imbriqué :

Ce type de bobinage se rencontre pour les génératrices, lorsqu'on veut privilégier la fourniture d'un maximum d'intensité. La section des fils sera importante. Chaque petite bobine est raccordée au collecteur par soudure sur deux lames différentes.

Dans les enroulements imbriqués, les raccords, se font en revenant en arrière du sens de lecture du schéma, lorsqu'après avoir bobiné une section, on revient en arrière chercher l'entrée de la section suivante dans le bobinage, (figure13). Son exécution nécessite l'emploi de deux pas,  $Y_b$  et  $Y_f$ . Le bobinage se fait en tournant toujours dans le même sens.

La brasure s'effectue de telle manière que l'entrée d'une section se trouve sur une lame du collecteur et sa sortie sur celle, immédiatement voisine. Le nombre de charbons est égal aux nombres de pôles.

Il y a autant de voies d'enroulement qu'il y a de pôles

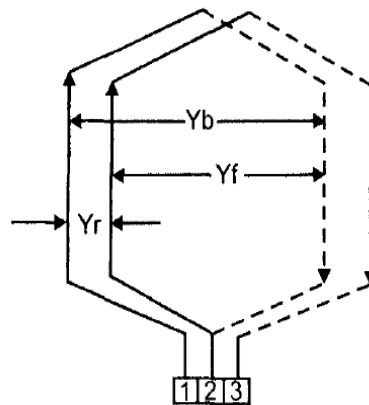


Figure 13 : Enroulement imbriqué

### 8.2.2 Bobinage ondulé :

Ce type de bobinage se rencontre pour les génératrices multipolaires, lorsqu'on veut privilégier la fourniture d'un maximum de tension. La section des fils sera moindre qu'en imbriqué.

Dans les enroulements ondulés, les raccords, se font en allant en avant, en suivant le sens de lecture du schéma. Lorsque après avoir bobiné une section, on continue dans le même sens et avec le même pas pour chercher l'entrée de la section suivante dans le bobinage, (figure 14). Son exécution nécessite l'emploi d'un seul pas avant ( $Y_f$ ). Le bobinage se fait en tournant dans un sens puis dans l'autre, il y a alternance de bobine à droite et de bobine à gauche.

Le nombre de charbons ne sera pas forcément égal aux nombres de pôles.

Il n'y aura pas forcément, autant de voies d'enroulement qu'il y a de pôles

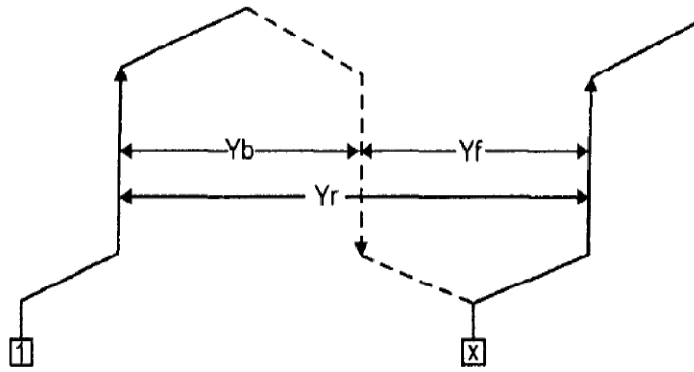


Figure 14 : Enroulement ondulé

## 9. Principes de réalisation des enroulements d'induit des machines à courant continu

Quelque soit le type de bobinage (imbriqué ou ondulé) ces règles doivent être respectées :

- $Y_b$  &  $Y_f$  doivent être voisins du pas polaire.
- $Y_b$  &  $Y_f$  doivent être impairs.
- Le nombre de lames du collecteur doit être égal au nombre de bobines.
- Le bobinage doit former un circuit fermé sur lui-même.
- Il faudra placer les balais à l'endroit précis où, selon le principe du pas polaire, les courants vont se rejoindre (ou se séparer). Le lieu précis correspond à la jonction de deux voies d'enroulement.
- S'il y a plus de deux voies d'enroulement, il faudra raccorder les balais de même polarité, par des câbles conducteurs, afin de placer les électromoteurs en parallèle.

### 9.1 Règles spécifiques aux enroulements imbriqués :

(a) En général :

$$Y_b = Y_f \pm 2m \quad (7)$$

avec :  $m$  est la multiplicité de l'enroulement,  $m=1$  enroulement simple,  $m \neq 1$  enroulement multiple (exemple :  $m=2$  enroulement double).

$$\begin{cases} Y_b = Y_f + 2m & \text{pour un Enroulement progressif} \\ Y_b = Y_f - 2m & \text{pour un Enroulement rétrograde} \end{cases}$$

(b) Le nombre de voies d'enroulement (branches parallèles) est égal à  $(mp)$  :

$$2a = mp \quad (8)$$

(c) Le pas moyen :

$$Y_a = \frac{Y_b + Y_f}{2} = \frac{Z}{p} \quad (9)$$

(d) Le pas au collecteur  $Y_c = \pm m$

$$\begin{cases} +m & \text{pour un enroulement progressif} \\ -m & \text{pour un enroulement rétrograde} \end{cases}$$



(e)  $Y_b = \frac{Z}{p} + m$  &  $Y_f = \frac{Z}{p} - m$  pour un enroulement progressif.

$Y_b = \frac{Z}{p} - m$  &  $Y_f = \frac{Z}{p} + m$  pour un enroulement rétrograde.

(f) Pour les balais (charbons) :

- Il y aura autant de charbons, qu'il y aura de pôles. Les charbons qui possèdent la même polarité électrique seront raccordés par un câble conducteur de façon à les positionner en parallèle.
- Le « charbon » recouvrira un nombre d'encoches égal au nombre d'enroulements parallèles.

### 9.1.1 Enroulements imbriqués à un seul circuit (imbriqué simple)

Ce mode de bobinage est possible quelque soit le nombre d'encoches S. Pour des raisons d'équilibrage entre les balais, on préfère que S soit divisible par le nombre de paires de pôle (2p).

#### Exemple 01 :

Tracer le schéma de bobinage d'induit d'une machine à courant continu ayant les caractéristiques suivantes : 4 pôles, 20 faisceaux, une couche, progressif, imbriqué, simple.

#### Solution :

Pour établir le schéma de bobinage d'un tel enroulement nous procédons comme suit :

#### Etape 1 : calcul de $Y_b$ & $Y_f$

Pôles,  $P = 4$

Multiplicité,  $m = 1$

Pas polaire =  $Z/P = 20/4 = 5$  conducteurs/pôle

Pas arrière,  $Y_b = Z/P + m = 20/4 + 1 = 6$

Pas avant,  $Y_f = Z/P - m = 20/4 - 1 = 4$

$Y_b$  &  $Y_f$  impairs

Donc on peut prendre  $Y_b = 5$  ou 7, et  $Y_f = 3$  ou bien 5

On choisi  $Y_b = 5$  &  $Y_f = 3$

#### Etape 2 : Disposition des bobines (Tableau de bobinage) :

Ce tableau est obtenu de la manière suivante :

- Réunir les deux faisceaux de la première bobine : si le faisceau d'entrée de la première bobine est compté « 1 », le faisceau « sortie » de cette bobine se trouvera à un écart correspondant à  $1 + Y_b = 1 + 5 = 6$ .
- Faire un écart de faisceaux, en revenant en arrière, entre le faisceau de sortie de la première bobine et le faisceau d'entrée de la bobine suivante, c à d, calculer le numéro de faisceau à  $6 - Y_f = 6 - 3 = 3$ .
- Faire la même chose pour les autres bobines.

$Y_b = 5$	$Y_f = -3$
1+5=6	6-3=3
3+5=8	8-3=5
5+5=10	10-3=7
7+5=12	12-3=9
9+5=14	14-3=11
11+5=16	16-3=13
13+5=18	18-3=15
15+5=20	20-3=17
17+5=22 (2)	22-3=19
19+5=24 (4)	24-3=21 (1)

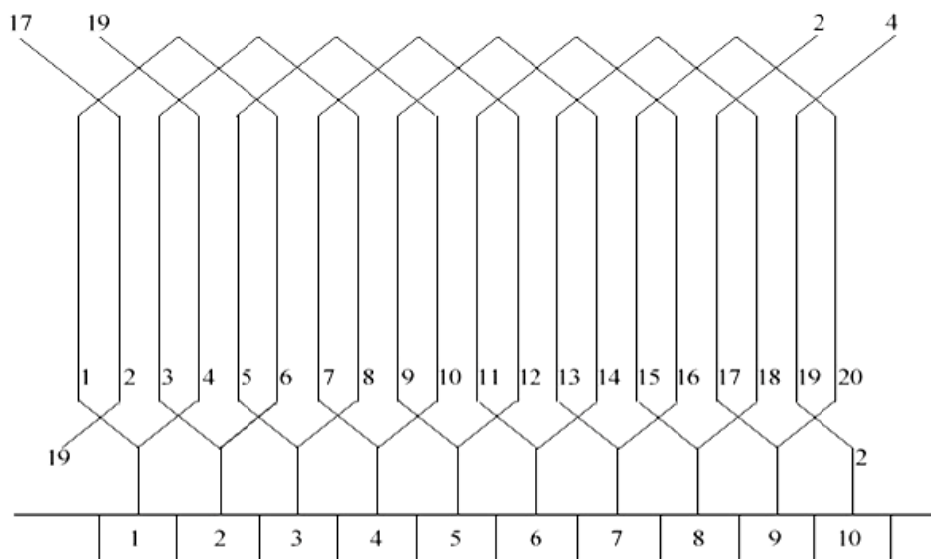
**Remarque :**

Le départ et l'arrivée se font au faisceau « 1 »

Il faudra faire une translation de valeurs à (-20), si le nombre calculé devient supérieur à 20.

**Etape 3 : Etablissement du schéma de bobinage**

- Tracer les faisceaux (numéroté de 1 à 20)
- Relier les faisceaux en respectant le tableau de bobinage.
- Tracer et numéroter les lames du collecteur : il faut se rappeler que le nombre de lames du collecteur est égal au nombre de bobines, donc il y aura  $Z/2 = 20/2 = 10$  lames. (figure 15).



**Figure 15. Schéma de bobinage sans balais**

**Etape 04 : Placement des Balais**

- Déterminer le sens du courant dans les faisceaux :  
Les faisceaux de chaque bobine sont dans une encoche et celle-ci, à un moment donné est sous l'influence d'un pôle magnétique. Cela impose qu'à ce même moment, les faisceaux sont et doivent être traversés par un courant dont le sens dépend du pôle. Le sens du courant dans les faisceaux sera arbitrairement choisi. Comme il y a 20 faisceaux et 4 pôles, il y aura 5

faisceaux sous un pôle, donc 5 flèches dans un sens puis 5 flèches dans l'autre et ainsi de suite.

- Placer les balais selon le sens du courant :
- Les faisceaux (1 et 4) connectés à la lame (1) sont traversés par des courants de même sens (descendants). Donc, on place à la lame 1 un charbon positif.
- De même, les faisceaux (7 et 10) connectés à la lame (4) sont traversés par des courants de même sens (montants), donc on place ici un balai négatif.
- D'une manière similaire, on place un deuxième balai positif à la lame 6 et un deuxième balai négatif à la lame 9. (figure 16)
- Finalement, on raccorde les balais de même polarité, par des câbles conducteurs, afin de placer les électromoteurs en parallèle.

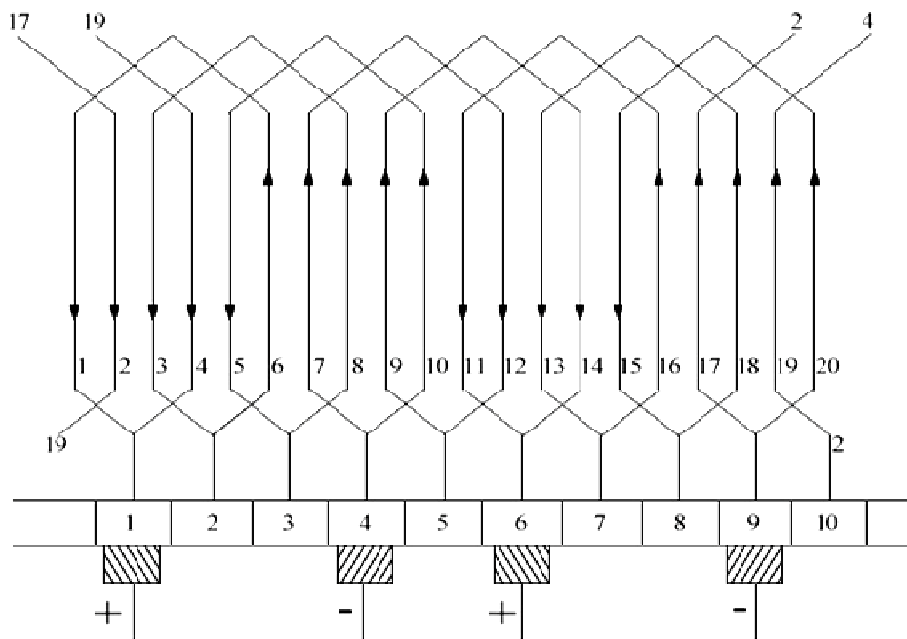


Figure 16. Schéma de bobinage avec balais

#### Remarque : le diagramme de séquence (figure17):

Ce diagramme, établi à partir du tableau de bobinage, est utilisé pour représenter les connexions entre les faisceaux et pour trouver le positionnement des balais notamment dans le cas des enroulements ondulés.

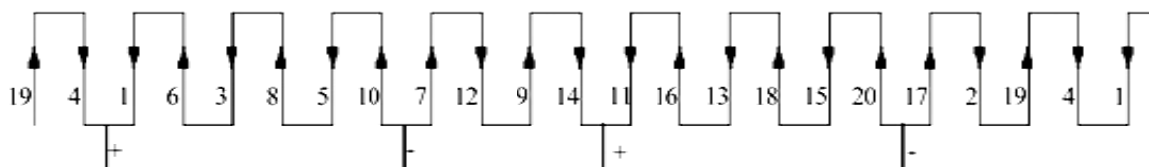


Figure 17. Diagramme de séquence

#### 9.1.2 Enroulement imbriqué multiple (à plusieurs circuits)

Dans l'exemple précédent, nous avons pris comme bobine consécutive de la première bobine celle qui se trouve 1 encoche après. On peut imaginer d'utiliser comme bobine consécutive celle qui se trouve 2 encoches après. Dans ce cas, on parlera de bobinage imbriqué double. Deux cas peuvent se présenter :

- **S est pair :**

Le bobinage se referme sur un tour en utilisant la moitié des encoches, avec les encoches restantes, on réalise un enroulement identique »intercalé« dans le premier. On a affaire à deux enroulements imbriqués simples, qui peuvent être mis en parallèle, occupant chacun ( y compris leur collecteur propre) la moitié de la surface disponible, (moitié des encoches). Les balais doivent couvrir deux lames du collecteur et on obtient  $4p$  voies d'enroulement.

- **S est impair :**

Le bobinage se referme après  $02$  tours, en utilisant toutes les bobines.

Les balais doivent couvrir deux lames du collecteur, et on obtient comme précédemment  $4p$  voie d'enroulement. Dans les deux cas, nous dirons que nous avons un bobinage imbriqué à  $02$  circuits, avec deux fermetures dans le premier cas et une seule fermeture dans le deuxième.

Ces enroulements, généralisable pour des valeurs de  $m$  plus importantes, ne sont en fait utilisés que pour  $m=2$ .

Contrairement, au cas du bobinage imbriqué parallèle simple, le bobinage parallèle double est parfois utilisé avec  $S$  impaire. Son avantage par rapport au premier est le doublement du nombre de voies d'enroulement, ce qui permet de diminuer l'intensité par ligne de balais dans le d'une polarité faible. De plus ce type de bobinage est souvent utilisé avec  $02$  collecteur situés de part et d'autre de l'induit.

### Exemple 02:

Tracer le schéma de bobinage d'induit d'une machine à courant continu ayant les caractéristiques suivantes :  $6$  pôles,  $18$  encoches,  $02$  couches, progressif, imbriqué, double.

#### Etape 1 : calcul de $y_b$ & $y_f$

Nombre de conducteurs,  $Z=2.S=36$

Pas polaire =  $Z/P = 36/6 = 6$  conducteurs/pôle

Pas arrière,  $Y_b = Z/P + m = 36/6 + 2 = 8$

Pas avant,  $Y_f = Z/P - m = 36/6 - 2 = 4$

$Y_b$  &  $Y_f$  doivent être impairs, donc, on choisit  $Y_b = 7$ ,  $Y_f = 3$

#### Etape 2 : Tableau de bobinage.

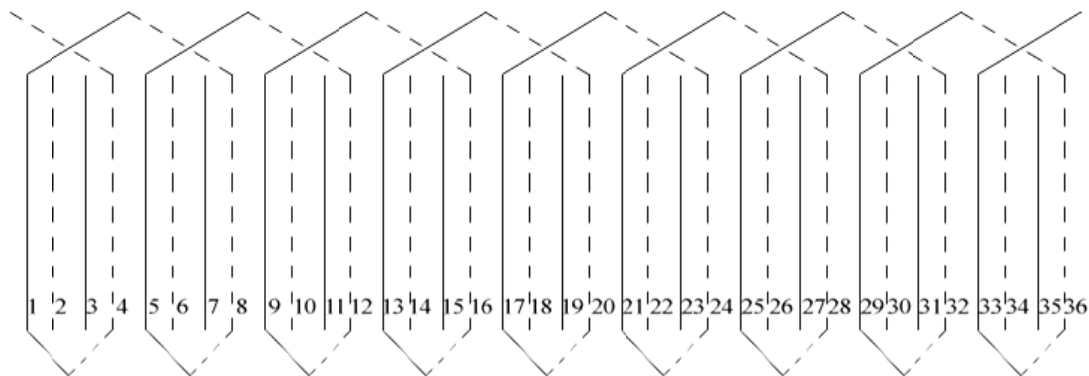
Dans ce cas, nous avons deux tableaux de bobinage, un pour chaque enroulement.

Premier enroulement		second enroulement	
$Y_b = 7$	$Y_f = -3$	$Y_b = 7$	$Y_f = -3$
$1+7=8$	$8-3=5$	$3+7=10$	$10-3=7$
$5+7=12$	$12-3=9$	$7+7=14$	$14-3=11$
$9+7=16$	$16-3=13$	$11+7=18$	$18-3=15$
$13+7=20$	$20-3=17$	$15+7=22$	$22-3=19$
$17+7=24$	$24-3=21$	$19+7=26$	$26-3=23$
$21+7=28$	$28-3=25$	$23+7=30$	$30-3=27$
$25+7=32$	$32-3=29$	$27+7=34$	$34-3=31$
$29+7=36$	$36-3=33$	$31+7=38$ (2)	$38-3=35$
$33+7=40$ (4)	$40-3=37$ (1)	$35+7=42$ (6)	$42-3=39$ (3)

**Etape 3 : Schéma de bobinage :**

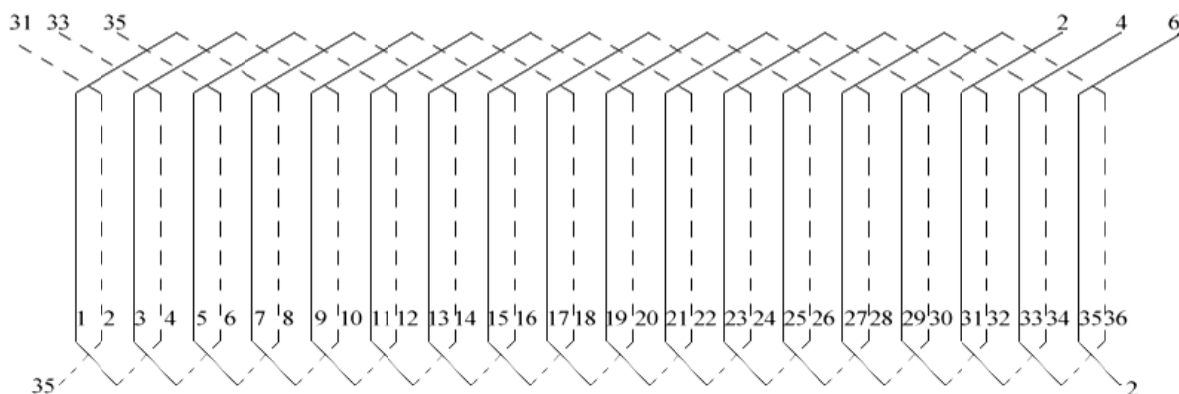
On trace les faisceaux (numéroté de 1 à 36) et on attribue des numéros impaires aux faisceaux supérieurs et des numéros pairs aux faisceaux inférieurs. L'entrée de chaque bobine doit être un faisceau impaire et la sortie un faisceau pair. Les entrées et sorties des bobines se différencient sur le dessin par des traits pleines et pointillés.

A l'aide du tableau de bobinage on réunit les faisceaux du premier entoulement . Cet enroulement commence au conducteur N°1 . (figure 18).



**Figure 18. Schéma de bobinage du premier enroulement**

En suite, on réalise le deuxième entoulement, qui commence au conducteur n°3, (figure 19)



**Figure 19. Schéma de bobinage du deuxième enroulement**

**Etape 04 : placement des balais**

- Tracer et numéroté les lames du collecteur : il faut se rappeler que le nombre de lames du collecteur est égal au nombre de bobines, donc il y aura  $36/2 = 18$  lames.
- Déterminer le sens du courant dans les faisceaux :  
Comme il y a 36 faisceaux et 6 pôles, il y aura 6 faisceaux sous un pôle, donc 6 flèches dans un sens puis 6 flèches dans l'autre et ainsi de suite. Le sens du courant dans les faisceaux sera arbitrairement choisi.
- Placer les balais selon le sens du courant :
- Le « charbon » recouvrira un nombre d'encoches égal au nombre d'enroulements parallèles.

- Les faisceaux (1 et 4) connectés à la lame (1) sont traversés par des courants de même sens (descendants). Les faisceaux (3 et 6) connectés à la lame (2) sont aussi traversés par des courants descendant. Donc, on place un charbon positif couvrant les deux lames (1 et 2).
- De manière similaire, on place les autres charbons, selon la direction des courants. (figure 20)

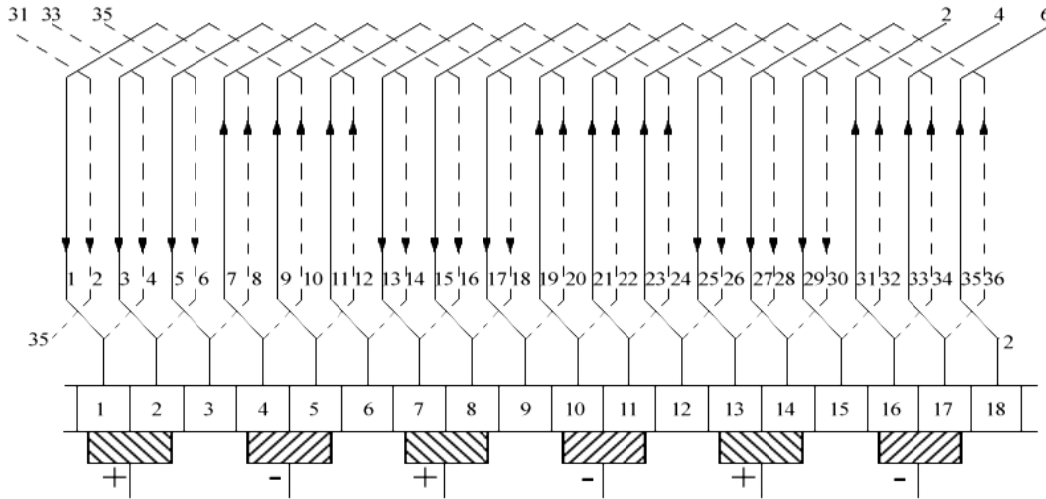


Figure 20. Schéma de bobinage des deux enroulements avec balais.

**Le diagramme de séquence:**

Dans le cas d'un enroulement double, nous avons 02 enroulements séparés. Donc nous devons avoir deux diagrammes.(figure21).

Diagramme de l'enroulement 1

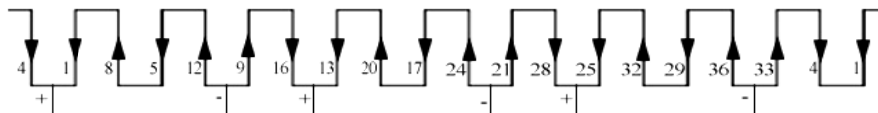


Diagramme de l'enroulement 2

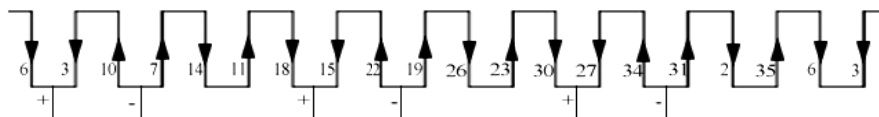


Figure 21. Diagramme de séquence pour les deux enroulements

**9.2 Règles spécifiques aux enroulements ondulés :**

(a) En général :  $Y_b = Y_f \pm 2m$

$$\begin{cases} Y_b = Y_f + 2m & \text{pour un enroulement progressif} \\ Y_b = Y_f - 2m & \text{pour un enroulement rétrograde} \end{cases}$$

(b) Le nombre de voies d'enroulement (branches parallèles) est égal à (2m) :

$$2a = 2m \tag{10}$$

(c) Le pas moyen :

$$Y_a = \frac{\text{nombre de conducteurs} \pm 2m}{\text{nombre de poles}} = \frac{Z \pm 2}{p} \quad (11)$$

$$Y_a = \frac{\text{nombre de lames} \pm m}{\text{nombre de paires de poles}} = \frac{C \pm m}{P/2} \quad (12)$$

(d) Le pas au collecteur :

$$Y_c = Y_a \quad (13)$$

(e) Le pas résultant :

$$Y_r = Y_b + Y_f \quad (14)$$

### Exemples 03:

Tracer le schéma de bobinage d'induit d'une machine à courant continu ayant les caractéristiques suivantes : 4 pôles, 17 encoches, 02 couches, progressif, ondulé, simple.

#### Solution :

#### Etape1 : Calcul de $y_b$ & $y_f$

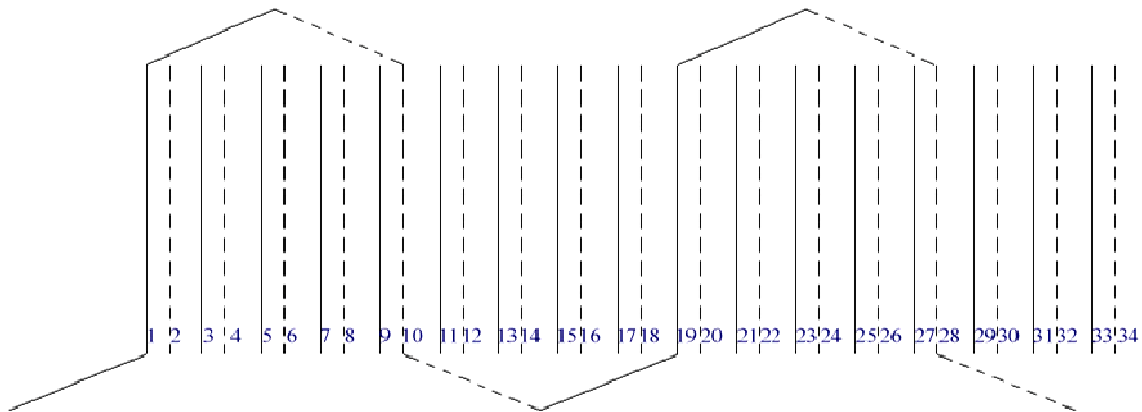
Nombre de conducteurs :  $Z=17 \times 2= 34$   
 $(Y_b+Y_f)/2 = (Z+2)/P=9$  , on choisit  $Y_f = Y_b = 9$ .

#### Etape 2 : Tableau de bobinage

$Y_b = 9.$	$Y_f = 9.$
1+9=10	10+9=19
19+9=28	28+9=37(3)
+3+9=12	12+9=21
21+9=30	30+9=39 (5)
5+9=14	14+9=23
23+9=32	32+9=41 (7)
7+9=16	16+9=25
25+9=34	34+9=43 (9)
9+9=18	18+9=27
27+9=36 (2)	2+9=11
11+9=20	20+9=29
29+9=38 (4)	4+9=13
13+9=22	22+9=31
31+9=40 (6)	6+9=15
15+9=24	24+9=33
33+9=42 (8)	8+9=17
17+9=26	26+9=35 (1)

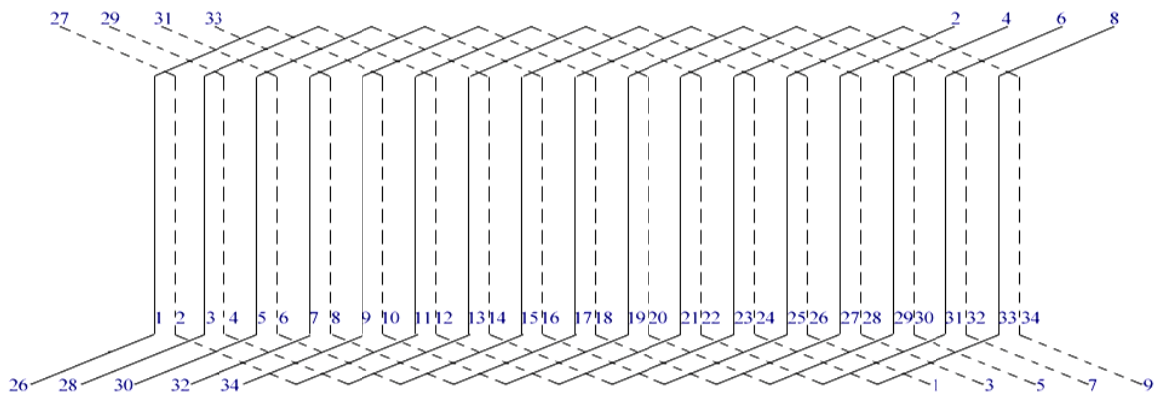
**Etape 3 : Etablissement du schéma de bobinage**

- On trace les faisceaux (numéroté de 1 à 34) et on attribue des numéros impaires au faisceaux superieurs et des numéros pairs au faisceaux inferieurs.
- Etant donnée que le faisceau d'entrée de la premier bobine est compté « 1 », le faisceau de « sortie » de cette bobine se trouvera à un écart correspondant à  $1 + Y_b = 10$ .
- Faire un écart de 9 faisceaux, en allons vers l'avant, entre le faisceau de sortie de la première bobine et le faisceau d'entrée de la bobine suivante, c à d, calculer le numéro de faisceau à  $10 + Y_f = 19$ . De ce fait, le faisceau de sortie de la deuxième bobine se trouvera à  $19 + Y_b = 28$ . (figure 22)



**Figure. 22 Representation des deux premieres bobines de l'enroulement**

- A l'aide du tableau de bobinage on connecte les faisceaux restants (figure 23).



**Figure. 23 Schéma de bobinage sans balais**

**Etape 04 : Placement des Balais**

- Tracer et numéroter les lames du collecteur :  $L = 34/2 = 17$  lames.
- Tracer le diagramme de séquence, en utilisant le tableau de bobinage.(figure 24)



**Figure. 24 diagramme de séquence sans balais.**



Pour un bobinage ondulé 02 balais sont suffisants :

- Un balai positif peut être placé avant le premier faisceau (c à d entre les faisceaux 1 et 26)
- Un balai négatif peut être placé après le dernier faisceau (c à d entre les faisceaux 34 et 9)
- Les courant sort par balai positif, donc on affecte aux faisceaux 1 et 26 des courants descendants.
- Le courant entre par le balai négatif, donc on affecte aux faisceaux 34 et 9 des courants montants.
- Une fois la direction du courant dans ces conducteur est déterminé, on déduit la direction des courants (montants ou descendants) dans les autres faisceaux (figure 25)

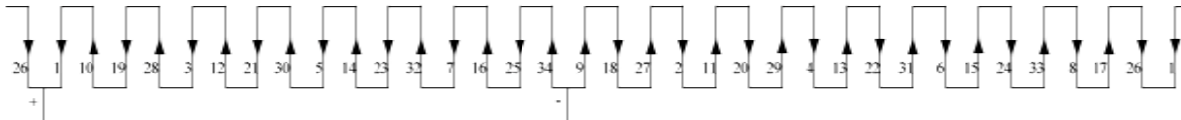


Figure. 25 diagramme de séquence avec balais

Selon la figure 21 on place un balai positif à la lame 13 et un balai négatif à la lame 17, on obtient donc le schéma de la figure 26.

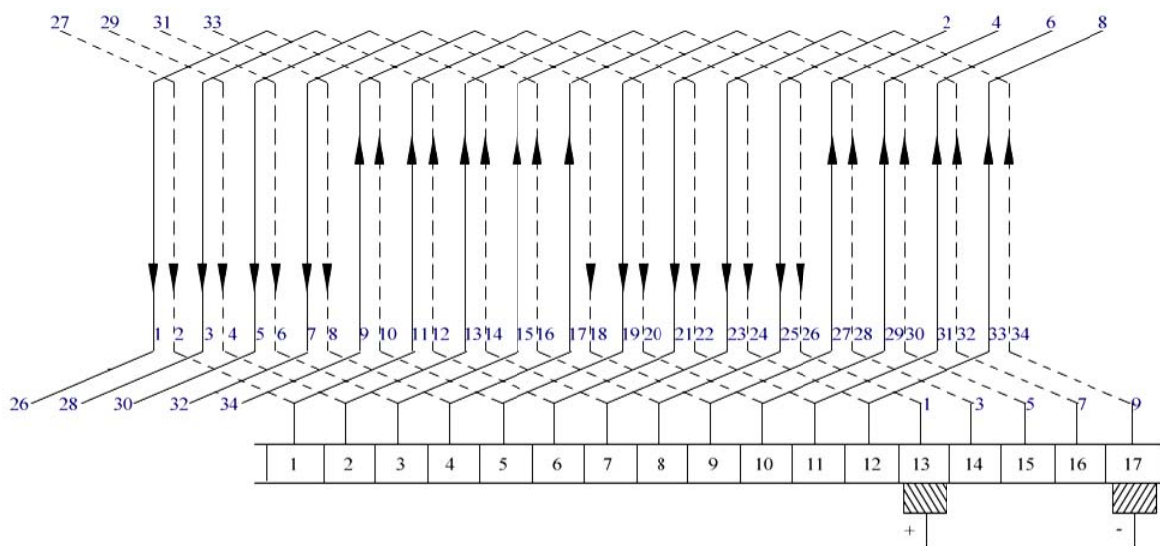


Figure. 26 Schéma de bobinage avec balais.

### 10. Choix des bobinages à courant continu

Le critère principal est le nombre de voies d'enroulement réalisable pour un bobinage donné.

En effet la fém. aux bornes est :

$$E = Z \cdot \frac{p}{2a} \times \frac{N}{60} \phi \tag{15}$$

$E, Z, N$  et  $p$  étant donnés, la formule permet de calculer  $\frac{Z}{a}$ . Or l'utilisation optimale de la place dans les encoches fixe un ordre de grandeur pour  $n$ , donc pour  $a$ .

Rappelons que les bobinages imbriqués permettent d'obtenir  $2a=2mp$  et que les bobinages ondulés permettent  $2a=2m$ ,  $2a$  étant en général un sous-multiple de  $p$

D'autres considérations comme la commutation peuvent également jouer, et son influence sur le choix de bobinage dépendra de la présence de connexions équipotentielles et de pôles de commutation. Pour une machine relativement importante, les connexions équipotentielles sont indispensables en imbriqué. C'est pourquoi on préfère alors l'enroulement ondulé.