

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université A.MIRA – BEJAIA

Faculté de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master
En électrotechnique
Option électromécanique

Thème

*Substitution d'une variation de vitesse
mécanique par une variation de vitesse
électrique*

Réalisé par :

- TABTA JUGURTA
- MANSOURI AZZE-DDINE

Encadré par :

Mr. ADLIM
Mr. CHALAL.H

Promotion 2012 / 2013

Remerciement

Nous remercions DIEU le tout puissant de nous avoir donné la force, la patience et la volonté pour achever ce modeste travail.

La concrétisation de ce projet n'aura jamais été possible sans la précieuse collaboration d'un certain nombre de personnes,

et je tiens absolument à remercier :

Je remercie d'abord notre promoteur Mr. ADLI qu'a accepté de parrainer ce travail, ainsi que sa disponibilité tout au long de l'élaboration de ce modeste travail.

Je tiens à témoigner mon éternelle gratitude et remercier les trois enseignants

Mr. AMRI, Mr. OUZELLAGUE et Mr. YOUSFI.

Par la même occasion, je remercie aussi mon encadreur Mr. CHALAL HAFID, et notre ami Mr. BEN BALOUT SALEM, pour m'avoir si bien accueillie au sein de Général Emballage et les moyens qu'il mit à notre disposition

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble des membres du jury de bien vouloir accepter d'examiner notre modeste travail.

Nous tenons à remercier également les enseignants de l'Université de BEJAJA.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici notre sincère reconnaissance.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

*A ma très chère **Mère** et à mon cher **Père**, en témoignage et en gratitude de leurs dévouements, de leurs soutiens permanents durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'efforts pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affections sans limites.*

A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance :

A ma grande sœur Dalila qui a été toujours là pour moi,

A mes chères sœurs (Tounsia, Ratiba, Kahina, Chahrazed), mes chers frères (Mouhand seghir, Rabah, Hicham)

*A ma fiancée **TABTA RADIA***

A toute ma famille

A mes amis (es)

*A la petite poupée **BELKIS***

*A mon ami et collègue **AZZE-DDINE***

A tous les étudiants et ceux qui aiment le savoir.



T.JUGURTA

Dédicaces

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

*A ma très chère **Mère** et à mon cher **Père**- que Dieu les protège-
pour leurs soutien moral permanent durant toutes mes années
d'études, leurs sacrifices illimités et les efforts pour mon éducation,
et pour me voir atteindre ce but.*

A mes cousins : (Sliman, Saou, Saleh, Mouloud et Mustapha).

*A mes oncles, mon frère, mes sœurs et tous mes copains de chambre
B107.*

A mon ami et collègue T. Jugurta.

A tous mes camarades de la promotion 2013.



M. AZZE-DINE.

Sommaire

Introduction générale	1
Préambule.....	3
i) Présentation de l'entreprise (général emballage).....	3
ii) Organisation de l'entreprise.....	4
iii) Organisation de la direction technique.....	4
iv) Organisation du département maintenance.....	5

Chapitre I: Etude du fonctionnement du système actuel

I.1) Introduction.....	8
I.2) Fonctionnement générale de la machine la VEGA.....	8
I.3) Description de fonctionnement.....	9
I.3.1) Station d'introduction.....	9
I.3.2) Station de collage	9
I.3.3) Station de pliage.....	9
I.3.4) Station de réception.....	10
I.4) Système d'entraînement de la Plieuse colleuse.....	10
I.5) Les plaques signalétiques des différents moteurs utilisés dans l'ancien système.....	11
I.5.1) Moteur principal.....	11
I.5.2) Moteur secondaire.....	11
I.6) Mise en marche et réglage de la vitesse.....	12
I.7) Le principe du fonctionnement de l'ancien moteur.....	12
I.8) Le principe de fonctionnement du variateur de vitesse.....	14
I.9) Le réglage de la vitesse.....	14
I.10) La problématique et élaboration des solutions.....	15
I.11) Conclusion.....	16

Chapitre II : Etude de la charge mécanique et ses exigences

II.1) Introduction.....	18
II.2) Station d'introduction.....	19
II.2.1) Constitution.....	19
II.2.2) Calcul de l'inertie de la station d'introduction.....	19
II.2.3) Calcul des forces résistances.....	20

II.2.3.1) Force résistante au niveau des paliers (roulement à bille).....	20
II.2.3.2) Force résistante au déplacement du carton.....	21
II.2.4) Calcul du couple résistant.....	21
II.2.5) Calcul de la vitesse du rouleau.....	21
II.2.6) Calcul de la puissance demandée par la station d'introduction.....	22
II.3) Station de collage.....	22
II.3.1) Constitution.....	22
II.3.2) Calcul de l'inertie de la station de collage.....	23
II.3.3) Calcul des forces résistantes.....	26
II.3.3.1) Force résistante au déplacement du carton.....	26
II.3.3.2) Force résistante au niveau des paliers.....	27
II.3.4) Calcul du couple résistant.....	28
II.3.5) Calcul de la vitesse angulaire.....	29
II.3.6) Calcul de la puissance demandée.....	29
II.4) Station de pliage.....	30
II.4.1) Constitution.....	30
II.4.2) Calcul de l'inertie de la station de pliage.....	30
II.4.3) Calcul des forces résistances au déplacement du carton.....	33
II.4.4) Calcul du couple résistant.....	34
II.4.5) Calcul de la vitesse rotation.....	34
II.4.6) Calcul de la puissance demandée par la station.....	34
II.5) Station de réception.....	35
II.5.1) Constitution.....	35
II.5.2) Calcul de l'inertie de la station de réception.....	35
II.5.3) Calcul des forces résistances.....	36
II.5.4) Calcul du couple résistant.....	36
II.5.5) Calcul de la vitesse angulaire de la station.....	37
II.5.6) Calcul de la puissance demandée par la station.....	37
II.6) Calcul l'inertie de l'arbre principal.....	37
II.7) Calcul de la puissance ramenée à l'arbre principal.....	38
II.7.1) Puissance de la station d'introduction et station de collage ramenée à l'arbre principal.....	38
II.7.2) La puissance de la station de pliage et transport ramenée à l'arbre principal.....	38
II.7.3) La puissance de la station réception ramenée à l'arbre principal.....	39

II.8) Calcul de la vitesse ramenée à l'arbre principal.....	39
II.9) Calcul de puissance et la vitesse ramenée à l'arbre moteur.....	40
II.10) Calcul du couple résistant sur l'arbre moteur.....	40
II.11) Calcul de l'inertie ramenée à l'arbre moteur.....	41
II.12) Conclusion.....	42

Chapitre III : Choix et dimensionnement du moteur d'entraînement

III.1) Introduction	44
III.2) Généralités sur les machines électriques	44
III.2.1) Intérêt des moteurs électriques.....	44
III.3) Étude comparative entre un moteur DC et moteur AC	44
III.3.1) Étude du moteur DC.....	44
III.3.2) Étude du moteur AC	46
III.3.3) Comparaison entre un moteur AC et un moteur DC.....	47
III.4) Description du moteur asynchrone.....	48
III.5) Les conséquences d'un choix du moteur	50
III.6) Méthode et guide de la sélection d'un moteur asynchrone	50
III.6.1) Critère électrique.....	51
III.6.2) Critère mécanique.....	51
III.6.3) Le service de fonctionnement	51
III.6.4) Critère géométrique.....	52
III.6.5) Critères dynamiques.....	53
III.6.6) Autres critères imposés par CEI.....	54
III.7) calcul de la puissance corrigée	56
III.8) Conclusion sur le moteur choisi.....	56
III.9) Calcul du glissement	58
III.10) Calcul de la fréquence rotorique	58
III.11) Vérification du choix du moteur	58
III.11.1) Vérification de la première condition (suivant le couple)	58
III.11.2) Vérification de la deuxième condition (suivant la puissance).....	60
III.12) Conclusion.....	60

Chapitre IV : Choix et dimensionnement du variateur de vitesse

IV.1) Introduction.....	62
IV.2) Critères du choix d'un variateur de vitesse	62
IV.3) Les différentes techniques de variation de la vitesse	63
IV.4) Procédés de réglage de la vitesse	63
IV.4.1) La fréquence statorique fixe et la tension statorique variable	64
IV.4.2) La fréquence statorique variable et la tension statorique fixe	66
IV.4.3) Tension et fréquence statorique variable	68
IV.5) La commande v/f (scalaire).....	68
IV.5.1) Avantages et inconvénients de la commande scalaire	69
IV.6) Variateur de vitesse	69
IV.7) Principe de fonctionnement du variateur de vitesse	70
IV.7.1) Le pont redresseur	70
IV.7.2) Le circuit intermédiaire (filtre)	71
IV.7.3) Onduleur	72
IV.7.3.1) La commande de l'onduleur.....	73
IV.7.4) Circuit de commande	74
IV.8) Choix du variateur de la vitesse.....	74
IV.9) Étude du variateur choisi	75
IV.9.1) Généralités sur ALTIVAR31HU55N4.....	75
IV.9.2) Les principales fonctions d'ALTIVAR31	75
IV.9.3) Le schéma d'un variateur de la vitesse ALTIVAR31	76
IV.9.4) Le schéma de branchement ALTIVAR31	77
IV.9.5) Constitution du variateur ALTIVAR31	77
IV.9.6) Choix du type de loi de commande	78
IV.9.7) Encombrement	80
IV.9.8) Principales protections et sécurités du variateur	82
IV.10) Conclusion.....	83
Conclusion générale.....	85

Liste des figures

Figure 1 : Organisation générale de Général Emballage.....	6
Figure 2 : Organisation Service maintenance.....	6
Figure I.1: Machine Plieuse colleuse.....	9
Figure I.2 : Les différentes stations de la plieuse colleuse.....	10
Figure I.3: Moteur Schrage-Richter.....	11
Figure I.4: Tableau de commande.....	12
Figure I.5: Schéma de principe d'un moteur Schrage-Richter.....	13
Figure I.6: Dispositif à balais d'un moteur Schrage-Richter.....	14
Figure I.7: Régulation de la vitesse et de $\cos \varphi$ d'un moteur Schrage-Richter.....	15
Figure II.1 : Schéma simplifié de la plieuse-colleuse.....	18
Figure II.2 : La chaîne cinématique de la station d'introduction.....	19
Figure II.3 : Bilan des forces dans un seul palier	20
Figure II.4 : Bilan des forces appliquées sur le carton.....	21
Figure II.5 : La chaîne cinématique de la station de collage	23
Figure II.6 : L'arbre d'entraînement en haut.....	23
Figure II.7: L'arbre d'entraînement en bas	24
Figure II.8: Bilan des forces dans deux paliers	28
Figure II.9: La chaîne cinématique de la station de pliage	30
Figure II.10 : L'arbre d'entraînement 1.....	31
Figure II.11 : L'arbre d'entraînement	32
Figure II.12 : La chaîne cinématique de la station de réception.....	35
Figure II.13 : Schéma représentatif de système de transmission	41
Figure II.14 : Schéma de principe de la transmission de la puissance	42
Figure III.1 : Le schéma équivalent d'une machine asynchrone pour une phase.....	49
Figure III.2 : Le bilan de puissance.....	50
Figure III.3 : Caractéristique mécanique d'une MAS.....	51
Figure III.4 : Service continu S1.....	53
Figure III.5 : Mode de fixation.....	53
Figure III.6 : Le point de fonctionnement.....	54
Figure III.7: Le quadrant de fonctionnement.....	55
Figure III.8: Moteur asynchrone à cage.....	58
Figure IV.1 : Schéma bloc général du système complet.....	62
Figure IV.2 : Caractéristiques couple-vitesse quand V_s varie.....	64
Figure IV.3 : Gradateur triphasé.....	65
Figure IV.4 : Caractéristiques couple-vitesse lorsque la fréquence seule varie.....	67
Figure IV.5 : Caractéristiques couple-vitesse lors d'une variation de la vitesse à flux constant.....	68
Figure IV.6 : Schéma de principe du variateur de vitesse	69
Figure IV.7 : Redresseur non commandé.....	70
Figure IV.8 : Simulation de redresseur non commandé.....	70

Figure IV.9 : Redresseur commandé.....	71
Figure IV.10 : Simulation de redresseur commandé.....	71
Figure IV.11 : Représentation d'un onduleur à transistors IGBT.....	72
Figure IV.12 : Simulation de la commande 120°	73
Figure IV.13 : Simulation de la commande 180°	73
Figure IV.14 : Simulation de la commande MLI.....	74
Figure IV.15 : Vue de face de l'ALTIVAR 31.....	76
Figure IV.16 : Les composantes principales du variateur de fréquence.....	77
Figure IV.17 : Type de loi de commande.....	79
Figure IV.18 : Dimensions réelles de l'Altivar.....	80
Figure IV.19 : Visualisation d'encombrement de l'ancien système et de nouveau.....	82

Liste des tableaux

Tableau III.1: Classe d'isolement.....	55
Tableau III.2: Coefficients de correction.....	55
Tableau III.3: Tableau de déséquilibre de tension.....	56
Tableau IV.1: Comparaison entre l'action sur la tension et l'action sur la fréquence.....	67
Tableau IV.2 : différents types d'ALTIVAR 31.....	75
Tableau IV.3 : Lois de commande.....	78
Tableau IV.4 : Spécification de toutes les bornes de puissance et de contrôle.....	80
Tableau IV.5 : Dimension de l'ALTIVAR.....	81

Liste des abréviations

Chapitre I

P, K : Enroulement primaire (rotorique).
 S : Enroulement secondaire (statorique).
 $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$: Des balais de connexion des trois enroulements statorique.
 A, B, C : Les points de commencement des enroulements statorique.
 X, Y, Z : Les points de fin des enroulements statorique.
 A_1, B_1, C_1 : Les bornes du réseau.
 $\Phi_{[n]}$: Le flux crée par le rotor.
 n : Vitesse rotorique.
 U_1 : Tension du réseau.
 f : Fréquence du réseau.
 2γ : Angle entre deux balais de même enroulement secondaire.

Chapitre II

Station d'introduction

ρ : La masse volumique de l'acier.
 $r_{roul.S1}$: Le rayon du rouleau de la station d'introduction.
 $V_{roul.S1}$: Le volume du rouleau de la station d'introduction.
 J_{roul} : L'inertie du rouleau de la station d'introduction.
 J_{S1} : L'inertie totale de la station d'introduction.
 m_c : La masse du carton.
 m_b : La masse de la bande (négligeable).
 g : La force gravitationnelle.
 P : Le poids total par palier.
 $F_{frot.tot.pal}$: Force de frottement total dans les quatre paliers.
 C_f : Coefficient de frottement du roulement à bille.
 R : La force résultante appliquée sur un seul palier.
 F_n : La force normale appliquée sur le carton.
 $F_{t.S1}$: La force tangentielle de la station d'introduction.
 C'_f : Le coefficient d'adhérence entre le carton et la courroie.
 r_r : Le rayon de roulement.
 $C_{r.S1}$: Le couple résistant de la station d'introduction.
 $d_{roul.S1}$: Diamètre du rouleau.
 d_{gen} : Diamètre de la génératrice.
 $N_{ge.S1}$: La vitesse de rotation de la génératrice tachy-métrique.
 $r_{ge.S1}$: Le rapport de multiplication de la génératrice.
 $N_{roul.S1}$: La vitesse de rotation du rouleau de la station d'introduction.
 $\omega_{roul.S1}$: La vitesse angulaire du rouleau de la station d'introduction.
 P_{S1} : La puissance demandée par l'introducteur.

Station de collage

$\omega_{roul.S1}$: La vitesse angulaire du rouleau de la station d'introduction.
 P_{S1} : La puissance demandée par l'introducteur.
 $e_{tam.h}$: Epaisseur de tambour en haut.
 $m_{tam.h}$: La masse de tambour en haut.
 $r_{tam.h}$: Rayon de tambour en haut.
 $V_{tam.h}$: Volume de tambour en haut.
 $J_{tam.h}$: L'inertie de tambour de l'arbre haut.
 $m_{tam.h}$: La masse de tambour en haut.
 $r_{arb.h}$: Rayon de l'arbre en haut.

$V_{arb,h}$: Volume de l'arbre en haut.
 l : La longueur réelle de l'arbre.
 $m_{arb,h}$: La masse de l'arbre haut.
 $J_{arb,h}$: L'inertie de l'arbre en haut.
 $J_{tot,arb,h}$: L'inertie totale de l'arbre d'entraînement en haut.
 r_{ext} : Rayon extérieur de tambour A.
 r_{int} : Rayon intérieur de tambour A.
 $V_{tam,b,A}$: Volume de tambours A.
 $m_{tam,b,A}$: La masse de tambours A.
 $J_{tam,b,A}$: L'inertie de tambour A.
 $V_{tam,b,B}$: Volume de tambours B.
 $m_{tam,b,B}$: Masse de tambours B.
 $J_{tam,b,B}$: L'inertie de tambour B en bas.
 $r_{arb,b}$: Le rayon de l'arbre en bas.
 $l_{arb,b}$: La longueur réelle de l'arbre en bas.
 $V_{arb,b}$: Volume de l'arbre en bas.
 $J_{arb,b}$: L'inertie de l'arbre en bas.
 $J_{tot,ar,b}$: L'inertie totale de l'arbre d'entraînement en bas.
 $J_{tot,S2}$: L'inertie totale de la station de collage.
 $F_{N,tot}$: La force normale totale.
 $F_{N,ress}$: La force normale d'un seul ressort.
 x : L'allongement de ressort.
 k : Constante de raideur du ressort.
 D : Diamètre du ressort.
 d : Diamètre du file de ressort.
 $F_{N,tot,S2}$: La force normale totale de la station de collage.
 G : Module d'élasticité transversal du métal.
 $F_{N,ress}$: La force normale exerce par un seul ressort.
 i : Nombre des spires.
 $F_{tan,S2}$: La force tangentielle qui permet le déplacement du carton.
 T : La tension de la courroie tendue.
 t : La tension de la courroie mou.
 β : Angle d'enroulement.
 C_f : Coefficient de frottement entre la courroie et la poulie.
 P_1 : Le poids appliqué sur deux paliers.
 R_1 : La force résultante appliquée sur les deux paliers de l'arbre haut.
 $F_{frot,arb,haut}$: Force de frottement au niveau des roulements de l'arbre haut.
 $F_{frot,arb,bas}$: Force de frottement au niveau des roulements de l'arbre bas.
 $C_{ris,roul}$: Couple résistant au niveau des roulements.
 $C_{ris,car}$: Couple résistant au niveau du carton.
 $n_{c,S2}$: Nombre des cartons qui passe dans la station de collage.
 $C_{r,S2}$: Le couple résistant de la station de collage.
 d_{gen} : Diamètre de l'arbre de la génératrice.
 $d_{tam,h}$: Diamètre de tambour de l'arbre en haut.
 $r_{ge,S2}$: Le rapport de la multiplication de la génératrice tache-métrique.
 $N_{ge,S2}$: La vitesse de rotation de la génératrice tache-métrique.
 $N_{tam,S2}$: La vitesse angulaire de tambour de la station de collage.
 $\omega_{tam,S2}$: La vitesse de rotation du tambour de la station de collage.
 P_{S2} : La puissance demandée par la station de collage.

Station de pliage

e_c : Epaisseur de tambour C.
 v_c : Volume de tambours C.
 m_c : Masse de tambours C

- J_c : L'inertie de tambour C.
 v_D : Volume de tambours D.
 r_D : Rayon de tambour D.
 e_D : Epaisseur de tambour D.
 m_D : La masse de tambour D.
 J_D : L'inertie de tambour D.
 $r_{arb.1}$: Le rayon de l'arbre 1.
 $v_{arb.1}$: Le volume l'arbre 1.
 $J_{arb.1}$: L'inertie de l'arbre d'entraînement 1.
 m_{arb} : La masse de l'arbre 1.
 $J_{tot.S3}$: L'inertie totale de la station de pliage.
 $F_{N.ext}$: La force appliquée sur le carton à l'extrémité de la station.
 $F_{N.res.pri}$: La force normale exercée par le ressort principal.
 $F_{N.mil}$: La force normale au milieu de la station.
 $F_{tan.S3}$: La force tangentielle de la station de pliage.
 $F_{N.tot.S3}$: La force normale totale de la station.
 $C_{r.c}$: Le couple résistant pour un seul carton.
 $C_{r.S3}$: Le couple résistant total dans la station de pliage.
 $n_{c.S3}$: Le nombre des cartons qui peuvent passe dans cette station.
 $N_{ge.S3}$: La vitesse de rotation de la génératrice tachy-métrique.
 $r_{ge.S3}$: Le rapport de la multiplication de la génératrice tachy-métrique.
 $d_{tam.C}$: Le diamètre de tambour.
 d_{gen} : Le diamètre de la génératrice tachy-métrique.
 $\omega_{tam.S3}$: La vitesse angulaire à l'entrée de la station de pliage.
 $N_{tam.S3}$: La vitesse de rotation tambour de la station de pliage.
 $N_{ge.S3}$: La vitesse de rotation de la génératrice tachy-métrique.
 P_{S3} : La puissance demandée par la station de pliage.
- Station de réception**
- $r_{roul.S4}$: Rayon de rouleau de la station de réception.
 $l_{roul.S4}$: La longueur de rouleau de la station de réception.
 $v_{roul.S4}$: Volume de rouleau de la station de réception.
 $m_{roul.S4}$: La masse du rouleau.
 $J_{roul.S4}$: L'inertie du rouleau de la station de réception
 $F_{N.C}$: La force normale résultante appliquée sur le carton.
 $F_{tan.C}$: La force tangentielle qui permet le déplacement des cartons.
 C_f : Coefficient de frottement entre le tapis et le rouleau.
 m_{tapis} : Masse du tapis.
 $F_{t.tapis}$: La force appliquée par le rouleau sur le tapis.
 $F_{tan.S4}$: La force tangentielle totale de la station de réception.
 $C_{r.S4}$: Le couple résistant total dans la station de réception.
 $N_{ge.S4}$: La vitesse de rotation de la génératrice tachy-métrique.
 $r_{ge.S4}$: Le rapport de la multiplication de la génératrice tachy-métrique.
 $d_{roul.S4}$: Le diamètre du rouleau.
 d_{gen} : Le diamètre de la génératrice.
 $N_{roul.S4}$: La vitesse de rotation du rouleau.
 $\omega_{roul.S4}$: La vitesse angulaire du rouleau de la station de réception.
 P_{S4} : La puissance demandée par la station de réception.
- Calcul l'inertie de l'arbre principal**
- $r_{arb.pri}$: Le rayon de l'arbre principal.
 $l_{arb.pri}$: La longueur de l'arbre principal.
 $m_{arb.pri}$: La masse de l'arbre principal.
 $v_{arb.b}$: Volume de l'arbre principal.
 $J_{arb.pri}$: L'inertie de l'arbre principal.

η_{ch} : Rendement de la chaîne.
 $P_{S1.S2}$: La puissance totale des deux stations.
 η_{eng} : Rendement de réducteur conique à denture hélicoïdale.
 η : Le rendement du réducteur.
 $P_{1.arb.pri}$: La puissance de la station d'introduction et la station de collage ramenée à l'arbre principal.
 $P_{3.arb.pri}$: La puissance de la station pliage et collage ramenée à l'arbre principal.
 $P_{4.arb.pri}$: La puissance de la station pliage et collage ramenée à l'arbre principal.
 $P_{arb.pri}$: La puissance de la charge ramenée à l'arbre principal.
 r_{S1} : Le rapport de réduction de la station de collage.
 r_{ch} : Le rapport de multiplication de la chaîne dans la station d'introduction.
 $N_{arb.pri}$: La vitesse de l'arbre principal.
 r_{S2} : Le rapport de réduction de réducteur de la station de collage.
 $N_{arb.pri}$: La vitesse de l'arbre principal.
 r_{S3} : Le rapport de réduction de réducteur de pliage et transport.
 $N_{arb.pri}$: La vitesse de l'arbre principal.
 r_{S4} : Le rapport de réduction de réducteur de la station de réception.
 $N_{arb.pri}$: La vitesse de l'arbre principal.
 $P_{exi.ram}$: La puissance exigée par la charge ramenée à l'arbre moteur.
 $\omega_{arb.mot} = \omega_{mot}$: La vitesse angulaire désirée par la charge.
 $C_{r.arb.mot}$: Couple résistant de la charge sur l'arbre moteur.
 J_{ram} : L'inertie ramenée à l'entrée du réducteur.
 r : Rapport de réduction du réducteur.
 η : Rendement du réducteur.
 J_r : L'inertie du réducteur.
 J_{ch} : L'inertie de la charge.
 E_1 : L'énergie à l'entrée du réducteur.
 E_2 : L'énergie à la sortie du réducteur.

Chapitre III

V_s : La tension d'alimentation.
 E_r : La tension rotorique ramenée au stator.
 I_s : Le courant d'alimentation.
 R_s : La résistance statorique.
 N_s : Vitesse de synchronisme.
 ω_s : Vitesse angulaire de synchronisme.
 $L's$: Inductance de la branche magnétisante.
 I_d : Le courant statorique
 I_q : Courant rotorique ramené au stator
 R/g : Résistance rotorique ramenée au stator
 P_a : Puissance absorbée.
 P_{js} : Les pertes par effet Joule au stator.
 P_{tr} : La puissance transmise dans l'entrefer.
 P_{jr} : Pertes Joule au rotor.
 P_{em} : La puissance électromagnétique.
 P_{corr} : La puissance corrigée.
 N_S : Vitesse de synchronisme.
 N_n : Vitesse nominale.
 f_r : La fréquence rotorique.
 $C_{acc.mot}$: Calcul du couple d'accélération du moteur.
 $C_{d\acute{e}c}$: Le couple de décrochage ou maximal.
 C_{acro} : Le couple d'accrochage.

$C_{acc.ch}$: Calcul du couple d'accélération de la charge.

t_d : Temps de démarrage.

J_{tot} : L'inertie totale de la charge.

F_{dm} : Facteur de marche.

n : Nombre de démarrages équivalent par heurs (dans les conditions les plus défavorables).

Chapitre IV

n_s : Vitesse de rotation du champ en tours/s.

n_r : Vitesse de rotation du rotor.

g : Glissement.

p : Nombre de paires de pôles par phase.

f : Fréquence du réseau d'alimentation en Hz.

R : La résistance du rotor.

P : Nombre de paire de pole par phase.

ω : Pulsation statorique.

g_m : Glissement maximal.

N : L'inductance de fuite globalisée.

K_s : constante statorique.

N_s : nombres des spires statorique.

V_s : la tension statorique.

Φ_s : le flux statorique.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Après, les difficultés d'un de ses principaux concurrents, Général Emballage est devenu leader national dans la fabrication et la transformation du carton ondulé.

Avec la forte demande des consommateurs d'une part et la qualité de son produit d'autre part, l'entreprise a été obligée d'augmenter sa capacité de production, en améliorant ses obsolètes équipements afin d'obtenir un meilleur rendement. Parmi les machines qui ont été améliorées, on trouve l'Autoplatine (BOBST) qui sert à découper le carton afin d'obtenir un produit semi fini.

Pour avoir un produit fini, il faut qu'il passe par la machine plieuse-colleuse(VEGA). Cette machine conçue en Italie sert à plier et coller l'emballage semi fini dont le but d'avoir un emballage prêt à être utilisé (produit fini). Le problème de la plieuse-colleuse est dans le système d'entraînement, qui est très ancien et possède trop d'inconvénients.

Notre étude sur cette machine consiste exactement en un nouveau système d'entraînement qui sera plus économique sur le plan énergétique et fonctionnant avec un meilleur système de variation de vitesse et présentant un meilleur rendement.

Notre travail se basera donc sur l'étude de la charge mécanique qui va nous permettre de sélectionner le moteur adéquat au système d'entraînement en vérifiant les différents critères de dimensionnement, et à partir de là, l'analyse va continuer afin de déterminer quel est le type de variateur de vitesse à utiliser en se basant sur la valeur de la puissance nominale du moteur choisi et le réseau d'alimentation.

Notre travail se répartit en quatre chapitres présentés ci-dessous :

- Le premier chapitre est consacré à étudier le fonctionnement des quatre stations de la plieuse-couleuse et son système d'entraînement actuel.
- Le deuxième chapitre consiste à étudier les caractéristiques mécaniques de la charge et ses exigences (vitesse désirée, le couple résistant et la puissance exigée).
- Le troisième chapitre est consacré aux choix et dimensionnements du nouveau moteur en se basant sur l'exigence de la charge et les différents critères de sélection imposés par la Communauté International Electrotechnique (température, altitude, déséquilibre de tension... etc.)

- Le quatrième chapitre comprend le dimensionnement du nouveau dispositif de variation de vitesse et son principe de fonctionnement et sa protection.

Préambule

i) Présentation de l'entreprise (général emballage)

i.1) Présentation de l'unité de production

Suite à la nouvelle politique économique adoptée par l'Algérie et qui encourage l'investissement dans l'industrie ; plusieurs entreprises privées sont apparues, dont (général emballage). Cette jeune société de nature juridique (SARL) a été enregistrée à l'APSI en 1998. En aout 2000, les travaux de construction du bâtiment débutent. Ces travaux sont réalisés par des entreprises algériennes. En 2002 les équipements de fabrication, importés d'Espagne et d'Italie, furent installés. En juin de la même année, la société commence à produire ces premiers produits en 2002.

i.2) Nature d'activité

C'est la fabrication du carton ondulé, et sa transformation en carton d'emballage pour l'industrie agroalimentaire, électroménagère, etc.

i.3) Nature des produits fabriqués

Parmi les produits fabriqués, on trouve :

- ✓ Plaque du carton ondulé.
- ✓ Caisse à fond automatique.
- ✓ Caisse télescopique.
- ✓ Barquettes à découpe spéciale.

i.4) Estimation et objectifs

Les moyens utilisés permettent de faire face à la demande nationale pour ce produit.

Afin d'augmenter ses capacités de production, des négociations sont en cours pour l'acquisition d'une nouvelle ligne de transformation, et pour l'extension de l'espace de stockage des matières et des produits finis.

i.5) Implantation géographique

SARL général emballage est située dans la zone d'activités industrielle Taharacht : D'AKBOU, W.BEJAIA, elle est limitée :

- ✓ Au nord : oued Tifrit.
- ✓ Au sud : champ agricole.
- ✓ A l'est : SARL Batouche.
- ✓ A l'ouest : RN n26.

La société est d'une superficie de 10 446 m², elle est composée de deux unités distantes d'environ 2 km. L'unité de production est d'une superficie de 8963 m².

ii) Organisation de l'entreprise

Elle est structurée de façon suivante :

ii.1) La direction générale :

- ✓ Service ordonnancement.
- ✓ Service réalisation.
- ✓ Service utilité.

ii.2) La direction technique :

- ✓ Le département maintenance.
- ✓ Le département production.
- ✓ Le département d'approvisionnement.

ii.3) La direction administration générale :

- ✓ Service ressource humaine.
- ✓ Service moyen général.
- ✓ Service informatique.

ii.4) La direction comptabilité et finance :

- ✓ Service des finances.
- ✓ Service comptabilité général.

iii) Organisation de la direction technique

Elle est structurée comme suit :

iii.1) Département de production :

- ✓ Ligne onduleuse.
- ✓ Ligne transformation.
- ✓ Département de colle.

iii.2) Département d’approvisionnement :

- ✓ Achat.
- ✓ Gestion des stocks.

iii.3) Département de maintenance :

- ✓ Service ordonnancement.
- ✓ Service réalisation des travaux.
- ✓ Service utilité.

iv) Organisation du département maintenance :

iv.1) Service ordonnancement :

- ✓ Établir les plannings d’intervention.
- ✓ Répartir le personnel en fonction des travaux et du délai.
- ✓ Calcul du temps d’intervention.
- ✓ Suis l’avancement des travaux.

iv.2) Le service réalisation des travaux il assure :

- ✓ L’installation des machines et du matériels et forme le personnel sur l’utilisation de l’équipement.
- ✓ La remise en marche après chaque intervention.
- ✓ Établir un diagnostic de défaillance.

iv.3) Le service utilité :

Il s’occupe de la gestion des énergies telle que : L’électricité, le gaz, la vapeur, l’air comprimé, fuel.

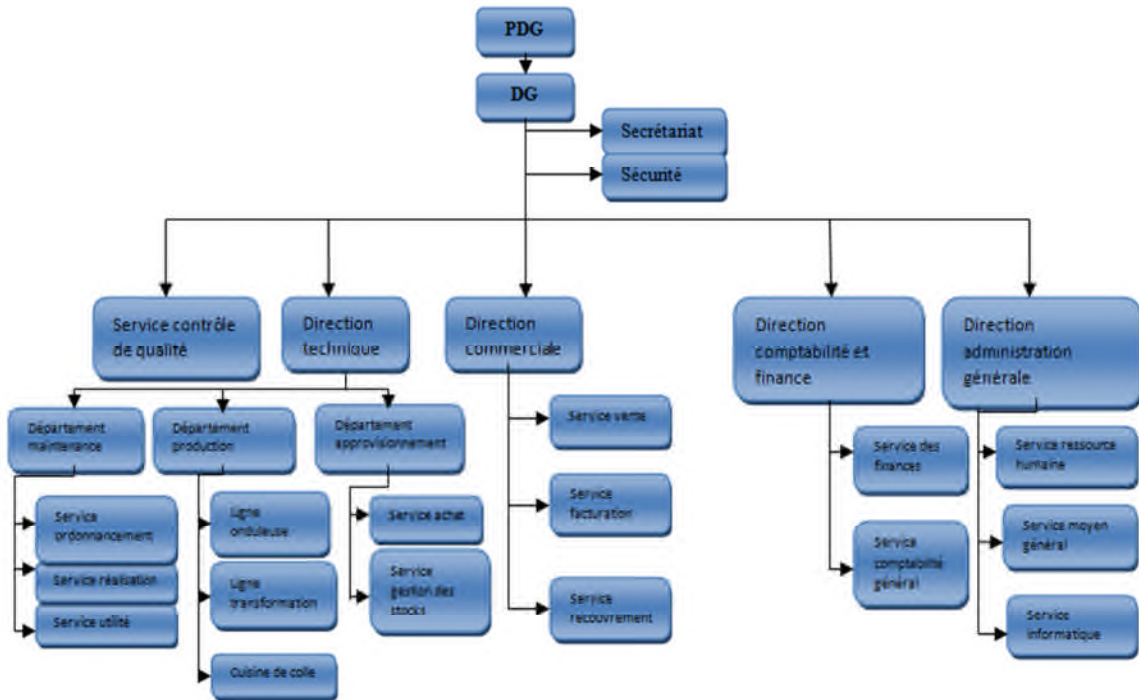


Figure 1 : Organisation générale de Général Emballage

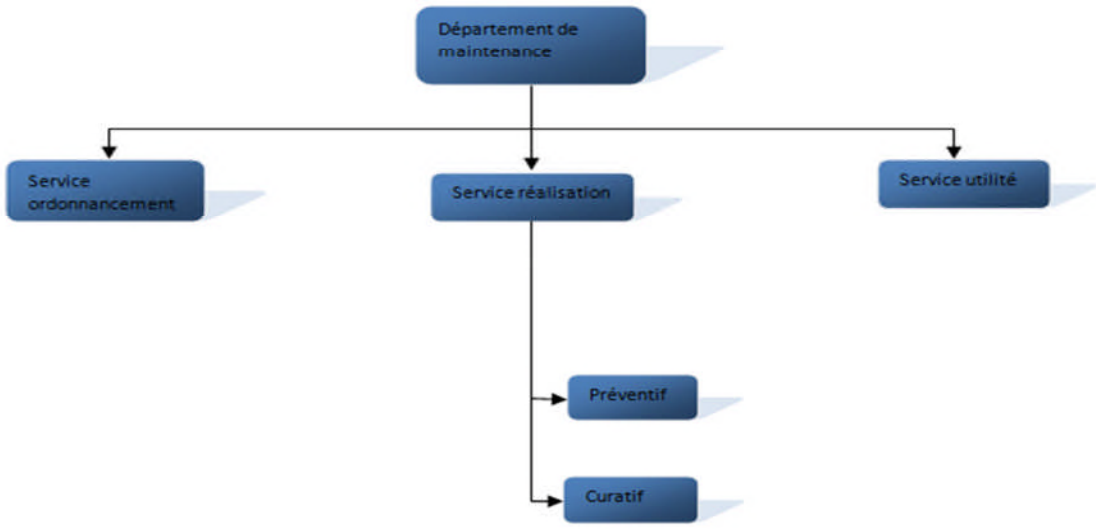


Figure 2 : Organisation Service maintenance

CHAPITRE I

ETUDE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME ACTUEL

I.1) Introduction

Nous avons, au préambule présenté l'entreprise Générale Emballage (historique, organisation des directions et départements... etc.). L'entreprise Générale Emballage est spécialisée dans la fabrication et transformation du carton ondulé. Parmi les machines qui assurent la transformation du carton, on trouve les plieuses-colleuses (**VEGA**).

Le processus de transformation du carton repose sur un ensemble des tâches réparties sur une variété de composantes et de mécanismes bien spécifiques à une fonction complémentaire au processus de transformation.

L'exigence de client sur la qualité de l'emballage oblige l'entreprise à utiliser des machines de haute technologie et les meilleures conditions de travail. Dans ce chapitre, on expliquera le rôle et le fonctionnement détaillé de la plieuse-colleuse (**VEGA**) le système d'entraînement existant, la méthode actuelle de variation de vitesse et la problématique posée par le système.

I.2) Fonctionnement général de la machine plieuse-colleuse

La machine **VEGA** est une plieuse-colleuse de carton ondulé semi-automatique à vitesse variable. Le rôle principal de cette machine est le pliage et le collage des plaques du carton après avoir été imprimé et découpé par une autre machine de transformation, pour avoir un produit fini. Cette opération comprend les phases suivantes :

- ✓ Alimentation continue de la machine en plaques du carton ondulé découpées (produit semi-fini).
- ✓ Injection de colle dans les zones de collage.
- ✓ Pliage et équerrage des zones de collage.
- ✓ Recueil des emballages par paquets.

La plieuse-colleuse est entourée par une grille qui assure la protection des personnes à l'aide d'une porte relié à un interrupteur qui coupe le réseau d'alimentation du système d'entraînement lors de son ouverture.



Figure I.1 : La machine plieuse-colleuse

I.3) Description de fonctionnement

Le carton ondulé est placé manuellement par un opérateur sur l'introducteur. Les bandes transporteuses permet de transporter les feuilles l'une après l'autre, avec un mouvement de translation qui permet de coller et de plier le carton sur la zone de pliage et de collage. Le carton sort sur le tapis de réception qui permet de faire la compression afin d'éliminer les bulles d'air et assure le collage.

La feuille de carton introduite dans la machine subit plusieurs opérations dans les différentes stations suivantes :

I.3.1) Station d'introduction

C'est la station où on introduit des feuilles de carton découpé (produit semi-fini), cette station assure le repérage mécanique et dynamique du carton.

I.3.2) Station de collage

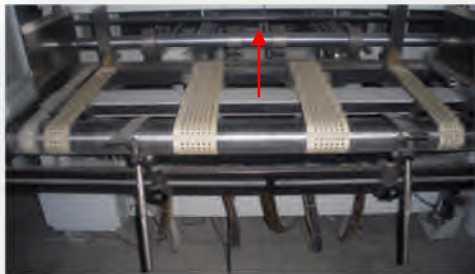
Cette station sert à mettre la colle à l'extrémité du carton grâce au système d'injection de colle par des bras spéciaux. Dans cette station, la vitesse du carton sur le tapis roulant est constante.

I.3.3) Station de pliage

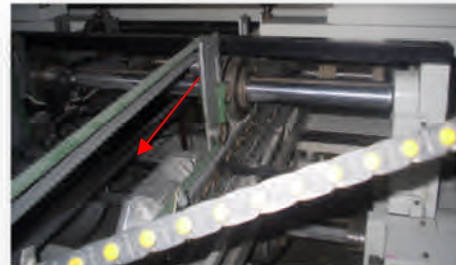
Cette station à un rôle de pliage du carton ondulé à l'extrémité sur deux coupes et cette fonction se déroule avec deux bras.

I.3.4) Station de réception

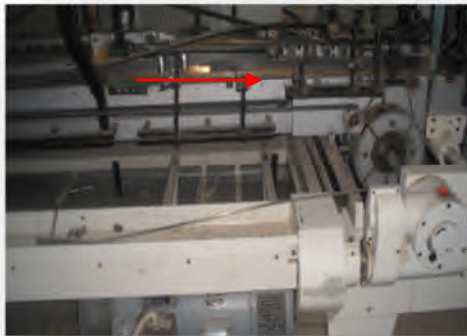
Sur la machine qui ne possède pas de section de séparation de pause, la réception forme une pile des feuilles. Cette station assure la pression du carton ondulé avec deux courroies en haut et un tapis roulant en bas.



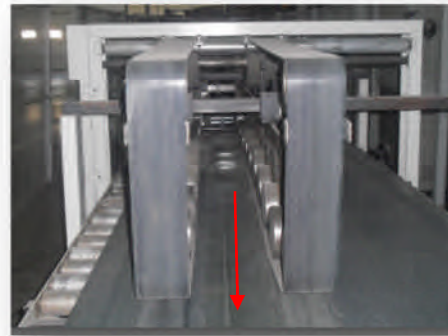
1-Zone d'introduction



2-Zone de collage



3-Zone de pliage



4-Zone de réception

Figure I.2 : Les différentes stations de la plieuse-colleuse

I.4) Système d'entraînement de la plieuse-colleuse

La plieuse-colleuse est entraînée par un moteur SCHRAGE RICHTER de type ANTON PILLER de puissance nominale 12 kW et de vitesse nominale 2400 tr/min. Le principe de variation de vitesse est de type mécanique très ancien (utilisée pour la première fois en Russie dans les années 20) se fait à l'aide d'un autre petit moteur secondaire de même type (ANTON PILLER) et de vitesse constante 900 tr/min.

Le rôle du moteur secondaire est de faire tourner deux disques situés dans le rotor du moteur principal dans le sens opposé afin de varier la vitesse.

La liaison entre le système d'entraînement et l'arbre principal de la charge est assurée par cinq courroies trapézoïdales montées en parallèle. Les réducteurs sur l'arbre principal assurant la transmission de puissance aux différentes stations de la machine. ANNEX :(1)

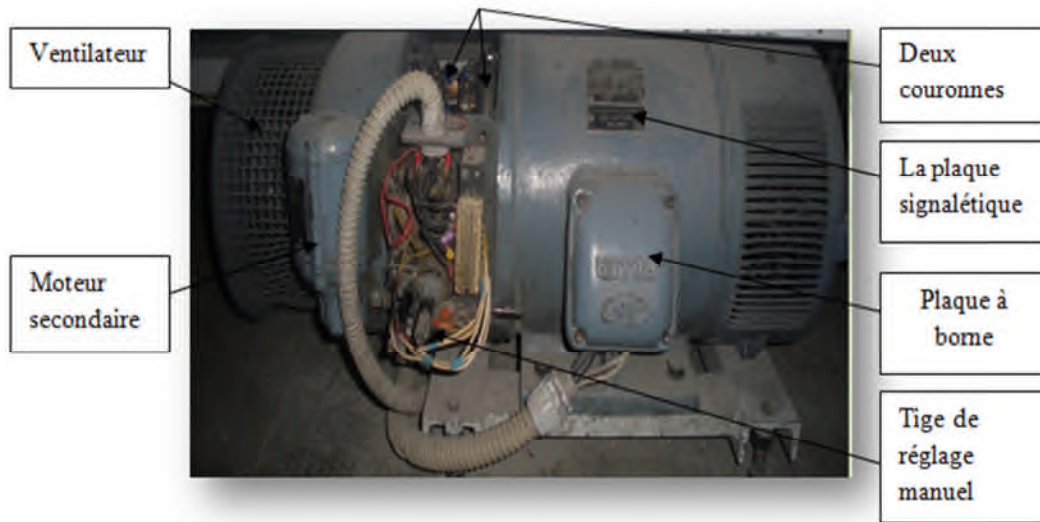


Figure I.3 : Moteur Schrage-Richter.

I.5) Les plaques signalétiques des différents moteurs utilisés dans l'ancien système

Les plaques signalétiques utilisées dans ce système sont les suivantes :

I.5.1) Moteur principal

- ✓ Référence : KLA.534-4
- ✓ Tension d'alimentation : 220/380 (V)
- ✓ Courant d'alimentation : 41-22,5/23,5-13 (A)
- ✓ Puissance : 12-0,6 (kW)
- ✓ Vitesse de rotation : 120-2400 (tr/min)
- ✓ Facteur de puissance : 0,36-0,98

I.5.2) Moteur secondaire

- ✓ Référence: MD6-004
- ✓ Tension d'alimentation : 220/380 (V)
- ✓ Courant d'alimentation : 0,5-0,3 (A)
- ✓ Puissance : 0,02 (kW)
- ✓ Vitesse de rotation : 900 (tr/min)

I.6) Mise en marche et réglage de la vitesse

La mise en marche est assurée à partir d'un tableau de commande qui est constitué d'un afficheur pour visualiser la vitesse de rotation du moteur et des différents boutons de commande.

Le réglage de la vitesse est effectué par trois boutons poussoir selon le besoin, le premier bouton pour augmentation de la vitesse, le deuxième pour diminution de la vitesse et le troisième pour passer directement à la vitesse maximale de façon continue.

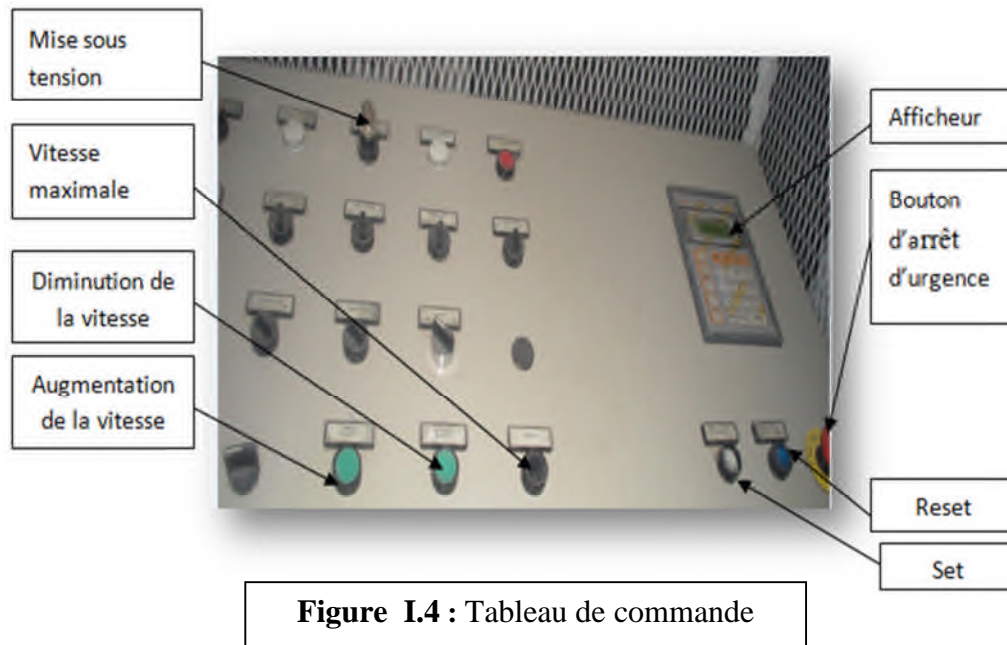


Figure I.4 : Tableau de commande

I.7) Le principe du fonctionnement de l'ancien moteur [1]

Le moteur utilisé dans l'ancienne installation est une machine en dérivation à double jeu de balais (moteur Schrage-Richter). Ce moteur est basé sur le principe d'injection de force électromotrice au secondaire du moteur afin de régulation de la vitesse et le facteur de la puissance. Le schéma de principe de ce moteur est illustré dans la figure (**Figure I-5**) :

- P, K : enroulement primaire (rotorique).
- S : enroulement secondaire (statorique).
- $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$: des balais de connexion des trois enroulements statorique.
- A, B, C : les points de commencement des enroulements statorique.
- X, Y, Z : les points de fin des enroulements statorique.
- A_1, B_1, C_1 : les bornes du réseau.
- $\Phi_{[n]}$: Le flux crée par le rotor.
- n : Vitesse rotorique.
- U_1 : Tension du réseau.

- f : Fréquence du réseau.
- 2γ : Angle entre deux balais de même enroulement secondaire.

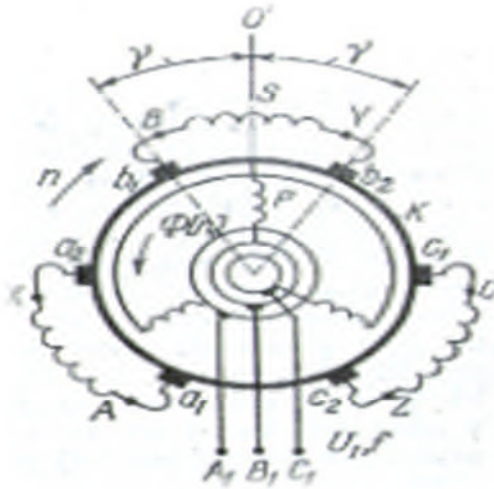


Figure I.5 : Schéma de principe d'un moteur Schrage-Richter.

L'enroulement rotorique (P) est un enroulement ordinaire triphasé branché à trèverre des bagues sur les bornes A_1 , B_1 , C_1 du réseau, l'enroulement K est un enroulement à courant continu à collecteur placé dans les mêmes encoches que l'enroulement P, sert à créer une f.é.m. complémentaire E_c , et relié électriquement à l'enroulement statorique S à l'aide de deux jeux de balais. Les balais a_1 , b_1 , c_1 et a_2 , b_2 , c_2 sont fixés à deux couronnes qui peuvent se déplacer en sens opposés de sorte que l'angle 2γ entre les balais a_1 - a_2 , b_1 - b_2 et c_1 - c_2 peut diminuer jusqu'à zéro ou augmenter jusqu'à une certaine valeur maximale $\pm 90^\circ$.

On utilise deux dispositifs de liaison mécanique des couronnes 4-4' portant des balais 5-5' et dans ce dispositif les couronnes se déplacent au sens opposé et de même angle par rapport à leur position initiale. La rotation du volant 1 est transmise aux couronnes par un système d'engrenage 2 et des galets menant avec des câbles 3-3'.

Les balais du moteur et le dispositif pour leur déplacement sont indiqués sur la figure (**Figure I-8**) :

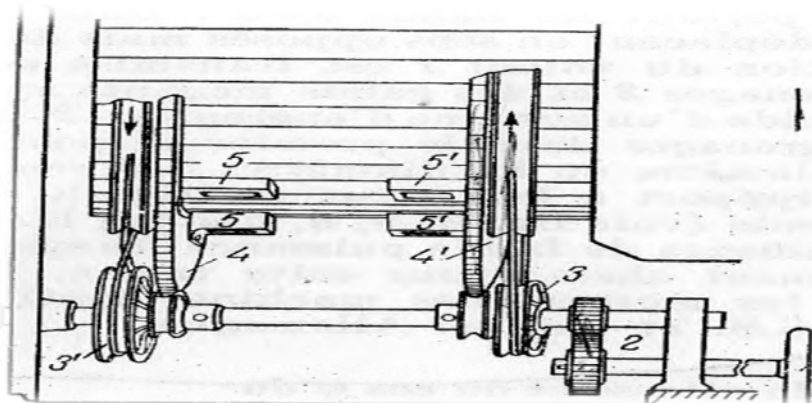


Figure I.6 : Dispositif à balais d'un moteur Schrage-Richter

- 1 : volant.
- 2 : système d'engrenages.
- 3 : galets menant.
- 4-4' : des couronnes.
- 5-5' : des balais.

I.8) Le principe de fonctionnement de variateur de vitesse [1]

Le variateur de vitesse utilisé de type mécanique, il fonctionne comme suit :

On agit sur le moteur secondaire qui fait tourner une Switch (interrupteur) qui tourne de l'angle entre 0° et 90° , et il sert à tourner une vis sans fin qui est reliée à un galet avec un système d'engrenages et ce dernier relié à deux couronnes de sens inverse avec un câble, et des balais sont reliés à ces deux couronnes.

I.9) Le réglage de la vitesse [1]

La position initiale des balais sur les collecteurs c'est la position pour laquelle chaque paire des balais est située sur la ligne qui coïncide avec l'axe des enroulements statorique. Dans ce cas l'angle d'ouverture des balais $2\gamma=0^\circ$ et la f.é.m. complémentaire est nulle et le moteur fonctionne comme un moteur asynchrone renversé son collecteur qui tourne dans la direction opposée au sens de rotation du flux Φ_m crée par le rotor.

La variation de la vitesse est obtenue en faisant varier par rapport à la ligne neutre (OO') la position de deux balais de même enroulement (exp : b1-b2), donc il se forme un circuit b1 B Y b2 b1 dans ce cas la f.é.m. E_c crée par l'enroulement rotorique (K) et amenée aux balais b1-b2 à la même fréquence de stator donc la f.é.m. E_c agit sur la f.é.m. principale dont la direction opposée et la vitesse change ce qui correspond au passage du moteur à une vitesse inférieure à celle de synchronisme (**Figure I.9.a**).

Si on tourne les couronnes de façon à ce que les balais changent d'angle (**Figure I.9.b**). La f.é.m. E_{2g} et E_c sont dirigés de même sens et le moteur fonctionne à une vitesse supérieure à celle de synchronisme, tel qu'elle est représentée sur la figure suivante (**Figure I.9.c**).

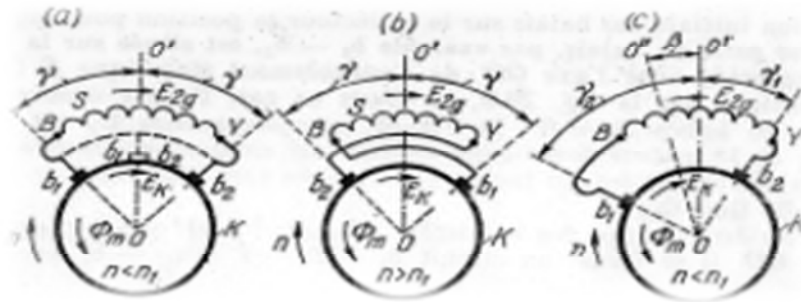


Figure I.7: Régulation de la vitesse et de $\cos\varphi$ d'un moteur Schrage-Richter

I.10) La problématique et élaboration des solutions

Le moteur utilisé est très ancien, sa variation de vitesse est d'ordre mécanique (la méthode la plus performante dans les années 20), avec le développement de la technologie des machines et l'électronique de puissance et les différents systèmes de commande poussent à l'ancienne technique à l'abandon. Cet abandon est dû aux problèmes de plusieurs origines, les principaux sont :

La surconsommation d'énergie réactive : le fonctionnement du moteur à vitesse réduite consomme de l'énergie réactive (provoque une pénalisation par SONELENERGIE) due à la chute de la valeur de glissement ce qui réduit le $\cos(\varphi)$ qui est largement inférieur à la valeur limite imposée par SONELENERGIE ($\cos(\varphi) = 0,9$)

Variation de la vitesse : La technique utilisée pour la variation de la vitesse est très ancienne est basée sur le principe de création d'une force électromotrice au niveau du rotor et l'injection au niveau de stator et cela à l'aide de deux disques qui sont munis des balais qui provoquent une variation non linéaire de la vitesse.

Les balais : nécessite une vérification périodique.

Le système de refroidissement du moteur : il suffit qu'une panne se produise dans le circuit de refroidissement de l'ancien moteur pour l'arrêt de l'unité complète.

La commutation : se caractérise par des étincelles qui influent sur l'état de collecteur et qui augmentent le risque d'incendie.

La rareté des pièces de rechange : ce qui va induire des modifications sur les pièces qui n'existent pas actuellement sur le marché. Donc augmentation de risque des pannes fréquentes.

Le coût : le coût de l'entretien des disques et les collecteurs et les balais sont très élevés.

L'encombrement : les dimensions de moteur qui sont très grandes. (Longueur 1.2m, hauteur 0.6m)

I.11) Conclusion

Dans ce chapitre nous avons déterminé les quatre stations de la machine plieuse-colleuse, leur système d'entraînement, son principe de fonctionnement ainsi que son mode de variation de vitesse et son réglage. Cette machine possède des inconvénients importants ce que nous motive de substituer le système d'entraînement actuel, par un autre qui convienne, et pour sa on va déterminer l'exigence de la charge dans le prochain chapitre.

CHAPITRE II

ÉTUDE DE LA CHARGE MECANIQUE ET SES EXIGENCES

II.1) Introduction

Dans ce chapitre on détermine l'exigence mécanique de la charge, et on commence par détermination de l'inertie des pièces tournantes, forces résistantes, le couple résistant, la vitesse de rotation et la puissance de chaque station afin de déterminer la puissance et la vitesse ramenées au niveau de l'arbre moteur.

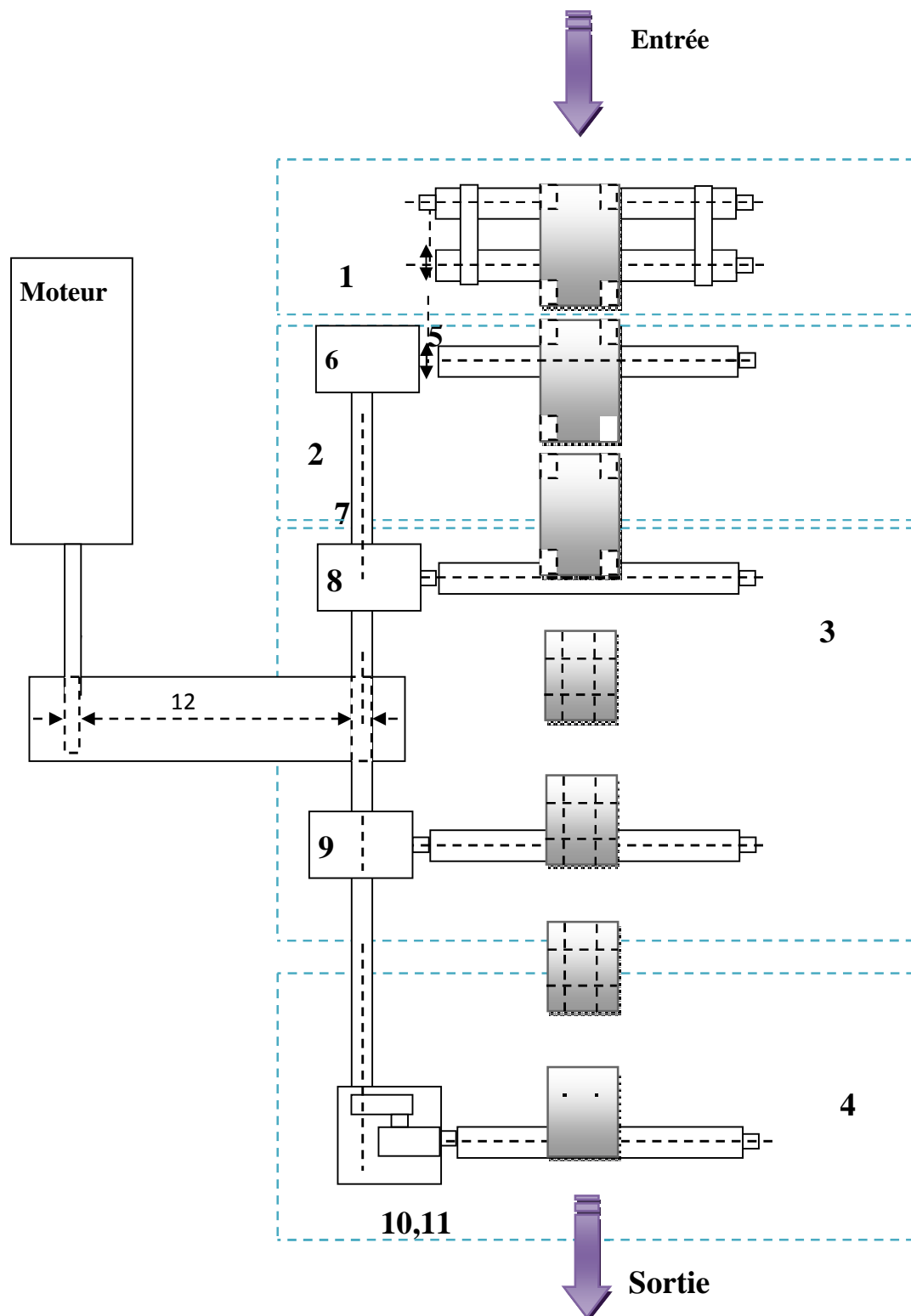


Figure II.1 : Schéma simplifié de la plieuse-colleuse.

- 1 : Station d'introduction.
- 2 : Station de collage
- 3 : Station de pliage
- 4 : Station de réception
- 5 : Chaîne ($\eta_{ch}=0,98$, $r_{ch}=1,8155$)
- 6 : Réducteur de la station de collage. ($\eta=0,9506$, $r_c=0,2578$)
- 7 : Arbre principal
- 8, 9 : Réducteurs de la station de pliage. ($\eta=0,9506$, $r_{p,i}=0,1447$)
- 10 : Premier réducteurs de la station de réception. ($\eta=0,9506$, $r_1=0,146$)
- 11 : Deuxième réducteurs de la station de réception. ($\eta=0,9506$, $r_2=0,17$)
- 12 : Courroies trapézoïdales ($\eta_{cou}= 0,96$, $r_{cou} = 0,52$)

II.2) Station d'introduction

II.2.1) Constitution

Cette station est constituée de deux rouleaux, l'un est entraîné par le moteur et l'autre entraîné par le premier rouleau à travers des bandes en plastique, et à l'aide d'un système d'aspiration de l'air (pompe d'aspiration) le carton est attaché sur des bandes qui permettent d'assurer un mouvement de translation afin de le transmettre à la zone de collage.

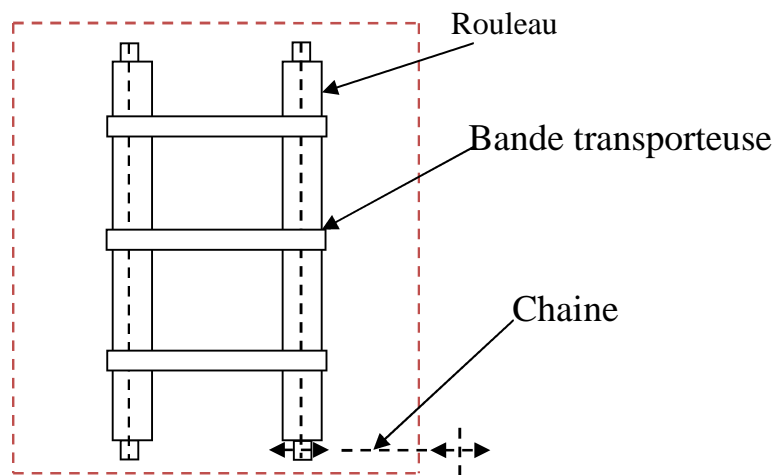


Figure II.2 : La chaîne cinématique de la station d'introduction

II.2.2) Calcul de l'inertie de la station d'introduction

Calcul la masse du rouleau

Le rouleau est plein, en acier, à une longueur $l= 1,55$ m, rayon $r_{roul.S1} = 0,0493$ m, et une masse volumique $\rho = 7850$ kg m⁻³.

Calcul du volume du rouleau

$$V_{roul.S1} = \pi * r_{roul.S1}^2 * l \quad \text{II.1}$$

AN : $v_{roul.S1} = \pi * 0,0493^2 * 1,55$

$V_{roul.S1} = 0,0118 \text{ m}^3$

Volume du rouleau.

$$\rho = \frac{m_{roul.S1}}{V_{roul.S1}} \Rightarrow m_{roul.S1} = \rho * V_{roul.S1} \quad \text{II.2}$$

AN : $m_{roul.S1} = 7850 * 0,0118$

$m_{roul.S1} = 92,63 \text{ kg}$

La masse du rouleau.

L'inertie du rouleau de la station d'introduction .

$$J_{roul} = \frac{1}{2} * m_{roul.S1} * r_{roul.S1}^2 \quad \text{II.3}$$

AN : $J_{roul} = \frac{1}{2} * 92,63 * 0,0493^2$

$J_{roul} = 0,1125 \text{ kg. m}^2$

L'inertie du rouleau de la station d'introduction.

Dans la station d'introduction il existe deux rouleau identiques qui tourne à la meme vitesse donc :

$$J_{S1} = 2 * J_{roul}$$

AN : $J_{S1} = 2 * 0,1125$

$J_{S1} = 0,2250 \text{ kg. m}^2$

L'inertie totale de la station d'introduction.

II.2.3) Calcul des forces résistances

II.2.3.1) Force résistante au niveau des paliers (roulement à bille)

$$P = \left[\frac{m_c}{4} + \frac{m_{rol.s1}}{2} + \frac{3 * m_b}{4} \right] * g \quad \text{II.4}$$

Avec:

m_c : La masse du carton. $m_c = 0,49 \text{ Kg}$

m_b : La masse de la bande (négligeable).

g : La force gravitationnelle, $g = 9,81 \text{ m. s}^{-2}$

P : Le poids total par palier

AN: $P = \left[\frac{0,49}{4} + \frac{92,63}{2} \right] * 9,81$

$P = 455,5501 \text{ N}$

Le poids total par palier.

$T_e = (T+t) = 27,77 \text{ N}$ (expérimentalement).

$$R = \left(\left(\frac{3}{2} T_e \right)^2 + P^2 \right)^{1/2} \quad \text{II.5}$$

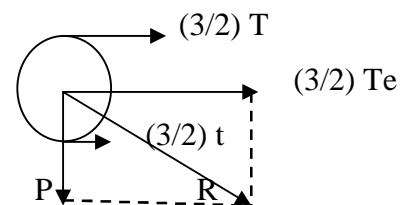


Figure II.3 : Bilan des forces dans un seul palier

$$\text{AN : } R = (((3/2) 27.77)^2 + 455, 55^2)^{1/2}$$

$R = 457, 45\text{N}$ La force résultante appliquée sur un seul palier.

Force de frottement total des quatre paliers est calculer comme suit :

$$F_{\text{frot.tot.pal}} = 4 * (R * C_f) \quad \text{II.6}$$

C_f : coefficient de frottement du roulement à bille. $C_f = 10^{-4}$

$$\text{AN: } F_{\text{frot.tot.pal}} = 4 * (457,45 * 10^{-4})$$

$F_{\text{frot.tot.pal}} = 0, 1829\text{ N}$ Force de frottement total dans les quatre paliers.

II.2.3.2) Force résistante au déplacement du carton

L'application du principe fondamental met en évidence une force tangentielle $F_{t.S1}$ telle que :

$$\text{tag}(\alpha) = F_{t.S1} / F_n \Rightarrow F_{t.S1} = \text{tag}(\alpha) * F_n$$

$$F_{t.S1} = C'_f * F_n = C'_f * m_c * g \quad \text{II.7}$$

Avec :

F_n : la force normale appliquée sur le carton

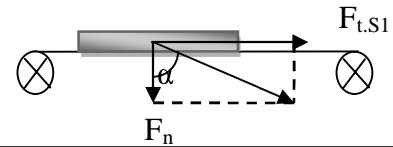


Figure II.4 : Bilan des forces appliquées sur le carton.

$C'_f = \text{tag}(\alpha)$: le coefficient d'adhérence entre le carton et la courroie, $C'_f = 0,3$

$$\text{AN : } F_{t.S1} = 0,3 * 0,49 * 9,81$$

$F_{t.S1} = 1, 442\text{N}$ La force tangentielle de la station d'introduction.

II.2.4) Calcul du couple résistant

Le couple résistant de cette station est donné par :

$$C_{r.S1} = (F_{t.S1} * r_{\text{roul.S1}}) + (F_{\text{frot.tot.pal}} * r_r) \quad \text{II.8}$$

Avec :

r_r : le rayon de roulement. $r_r \approx r_{\text{roul.S1}} = 0,0493\text{m}$.

$$C_{r.S1} = (F_{t.S1} + F_{\text{frot.tot.pal}}) * r_{\text{roul.S1}} \quad \text{II.9}$$

$$\text{AN: } C_{r.S1} = (1, 442 + 0, 1829) * 0,0493$$

$C_{r.S1} = 0,08\text{ N.m}$ Le couple résistant de la station d'introduction.

II.2.5) Calcul de la vitesse du rouleau

La vitesse de rotation du rouleau est calculée à partir de la vitesse de rotation de la génératrice tachy-métrique qu'un rapport de multiplication $r_{ge.S1}$ telle que :

$$r_{ge.S1} = d_{roul.S1} / d_{gen} = N_{ge.S1} / N_{roul.S1} \Rightarrow N_{roul.S1} = N_{ge.S1} / r_{ge.S1} \quad \text{II.10}$$

Avec:

$d_{roul.S1}$: diamètre du rouleau, $d_{roul.S1} = 0,0986$ m.

d_{gen} : diamètre de la génératrice, $d_{gen} = 0,03$ m.

$N_{ge.S1}$: la vitesse de rotation de la génératrice tachy-métrique. $N_{ge.S1} = 670$ tr/min

AN : $r_{ge.S1} = 0,0986 / 0,03$

$r_{ge.S1} = 3,2866$: le rapport de multiplication de la génératrice.

AN: $N_{roul.S1} = 670 / 3,2866$

$N_{roul.S1} = 203,858$ tr/min	La vitesse de rotation du rouleau.
--------------------------------	------------------------------------

D'où,

$$\omega_{roul.S1} = (2 * \pi * N_{roul.S1}) / 60 \quad \text{II.11}$$

AN: $\omega_{roul.S1} = (2 * \pi * 203,858) / 60$

$\omega_{roul.S1} = 21,3479$ rad. s^{-1}	La vitesse angulaire du rouleau de la station d'introduction.
--	---

II.2.6) Calcul de la puissance demandée par la station d'introduction

$$P_{S1} = C_{r.S1} * \omega_{roul.S1} \quad \text{II.12}$$

P_{S1} : La puissance demandée par l'introducteur.

AN: $P_{S1} = 0,08 * 21,3479$

$P_{S1} = 1,7078$ W : La puissance demandée par l'introducteur.

II.3) Station de collage

II.3.1) Constitution

Cette station est constituée de deux arbres d'entraînement pleins fabrique en acier, l'un en haut à deux tambours identiques et l'autre en bas à trois tambours de deux identiques et le troisième différent, qui sert à entraîné les courroies afin de transmettre le carton au système d'injection de la colle.

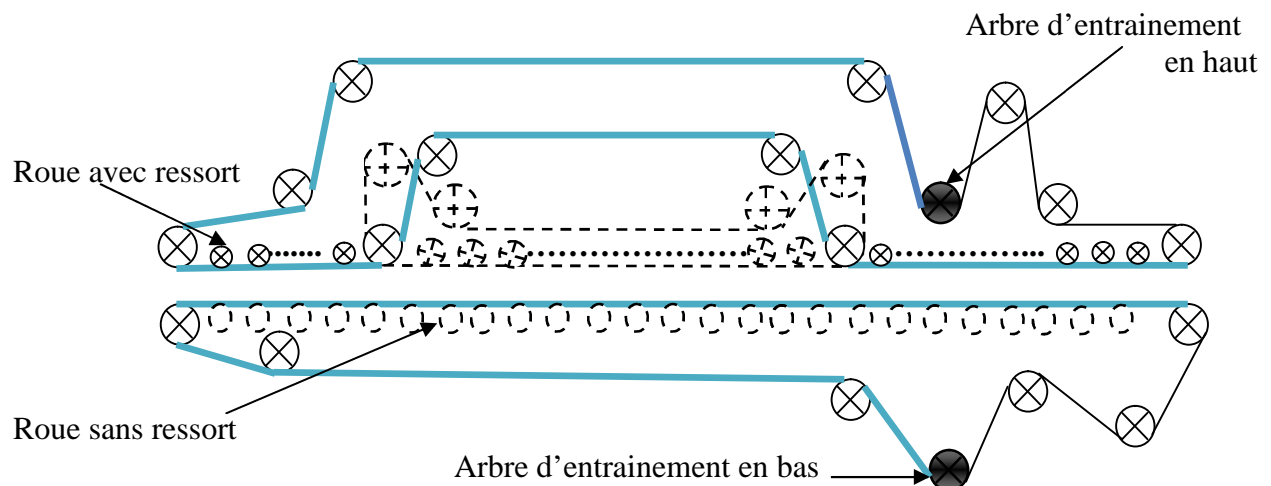


Figure II.5: La chaîne cinématique de la station de collage

II.3.2) Calcul de l'inertie de la station de collage

Calcul de l'arbre d'entraînement en haut



Figure II.6 : L'arbre d'entraînement en haut

Calcul de l'inertie de tambour

Calcul du volume de tambour

$$V_{\text{tam.h}} = \pi * r_{\text{tam.h}}^2 * e_{\text{tam.h}}$$

Avec : $e_{\text{tam.h}}$: épaisseur de tambour en haut, $e_{\text{tam.h}} = 0,06$ m

$r_{\text{tam.h}}$: rayon de tambour en haut, $r_{\text{tam.h}} = 0,0875$ m

$$\text{AN : } V_{\text{tam.h}} = \pi * 0,0875^2 * 0,06$$

$V_{\text{tam.h}} = 1,4431 * 10^{-3} \text{ m}^3$: volume de tambour en haut.

Calcul de la masse de tambour

$$m_{\text{tam.h}} = \rho * V_{\text{tam.h}}$$

$$\text{AN : } m_{\text{tam.h}} = 7850 * 1,4431 * 10^{-3}$$

$m_{\text{tam.h}} = 11,3283$ kg : la masse de tambour en haut.

L'inertie du tambour est calculée avec la relation suivante :

$$J_{\text{tam.h}} = \frac{1}{2} * m_{\text{tam.h}} * r_{\text{tam.h}}^2$$

$$\text{AN : } J_{\text{tam.h}} = \frac{1}{2} * 11,3283 * 0,0875^2$$

$$J_{\text{tam.h}} = 0,0434 \text{ kg m}^2 \quad \text{L'inertie de tambour de l'arbre haut}$$

Calcul de l'inertie de l'arbre haut

Calcul du volume de l'arbre haut

$$V_{\text{arb.h}} = \pi * r_{\text{arb.h}}^2 * l'$$

Avec : $r_{\text{arb.h}}$: rayon de l'arbre en haut, $r_{\text{arb.h}} = 0,0318$ m

l' : la longueur réel de l'arbre, $l' = l - 2 * e_{\text{tam.h}}$

II.13

$$l' = 1,68 \text{ m}$$

$$\text{AN : } V_{\text{arb.h}} = 0,0318^2 * \pi * 1,68$$

$V_{\text{arb.h}} = 5,3371 * 10^{-3} \text{ m}^3$: volume de l'arbre en haut.

Calcul de la masse de l'arbre

$$m_{\text{arb.h}} = \rho * V_{\text{arb.h}}$$

$$\text{AN: } m_{\text{arb.h}} = 7850 \cdot 5 \cdot 3371 \cdot 10^{-3}$$

$m_{\text{arb.h}} = 41,8962 \text{ kg}$: la masse de l'arbre haut.

L'inertie de l'arbre est calculée avec la relation suivante :

$$J_{\text{arb.h}} = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{arb.h}} \cdot r_{\text{arb.h}}^2$$

$$\text{AN : } J_{\text{arb.h}} = \frac{1}{2} \cdot 41,8962 \cdot 0,0318^2$$

$$J_{\text{arb.h}} = 0,0212 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad \text{L'inertie de l'arbre en haut.}$$

Calcul de l'inertie totale de l'arbre d'entraînement en haut

L'inertie totale de l'arbre d'entraînement en haut est donnée par la relation suivante ;

$$J_{\text{tot.arb.h}} = J_{\text{arb.h}} + 2 \cdot J_{\text{tam.h}}$$

$$J_{\text{tot.arb.h}} = 0,0212 + 2 \cdot 0,0434$$

$$J_{\text{tot.arb.h}} = 0,108 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad \text{L'inertie totale de l'arbre d'entraînement en haut.}$$

Calcul de l'arbre d'entraînement en bas

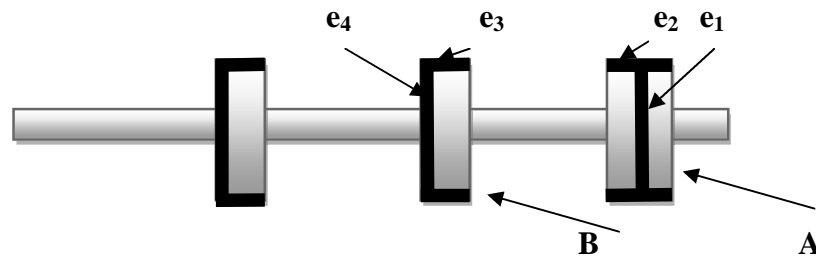


Figure II.7 : L'arbre d'entraînement en bas

Calcul de l'inertie de tambour A

Calcul du volume de tambours A

$$r' = r_{\text{ext}} - r_{\text{int}}$$

r_{ext} : rayon extérieur de tambour A, $r_{\text{ext}} = 0,1671 \text{ m}$

r_{int} : rayon intérieur de tambour A, $r_{\text{int}} = 0,1571 \text{ m}$

$$r' = 0,1671 - 0,1571 = 0,01 \text{ m}$$

$$V_{\text{tam.b.A}} = \pi \cdot r'^2 \cdot e_1 + \pi \cdot r_{\text{int}}^2 \cdot e_2$$

$$\text{AN: } V_{\text{tam.b.A}} = \pi \cdot 10^{-4} \cdot 0,12 + \pi \cdot 0,1571^2 \cdot 0,02$$

$V_{\text{tam.b.A}} = 1,5884 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$: volume de tambours A.

Calcul de la masse de tambours A

$$m_{\text{tam.b.A}} = \rho \cdot V_{\text{tam.b.A}}$$

$$m_{\text{tam.b.A}} = \rho * (v_1 + v_2)$$

$$m_{\text{tam.b.A}} = m_1 + m_2$$

$$\text{AN: } m_{\text{tam.b.A}} = 0,2959 + 12,1729$$

$$m_{\text{tam.b.A}} = 12,4688 \text{ kg : la masse de tambours A.}$$

L'inertie de tambour A est calculée avec comme suivante :

$$J_{\text{tam.b.A}} = \frac{1}{2} * m_1 * (r_{\text{int}}^2 + r_{\text{ext}}^2) + \frac{1}{2} * m_2 * r_{\text{int}}^2 \quad \text{II.14}$$

$$\text{AN : } J_{\text{tam.b.A}} = \frac{1}{2} * 0,2959 * (0,1571^2 + 0,1671^2) + \frac{1}{2} * 12,1729 * (0,1571)^2$$

$$J_{\text{tam.b.A}} = 0,158 \text{ kg m}^2$$

Calcul de l'inertie de tambour B

Calcul du volume de tambours B

$$V_{\text{tam.b.B}} = V_3 + V_4$$

$$V_{\text{tam.b.B}} = (\pi * r^2 * e_3) + (\pi * r_{\text{int}}^2 * e_4) \quad \text{II.15}$$

$$\text{AN: } V_{\text{tam.b.B}} = \pi * 10^{-4} * 0,07 + \pi * 0,1571^2 * 0,01$$

$$V_{\text{tam.b.B}} = 2,1991 * 10^{-5} + 7,7535 * 10^{-4}$$

$$V_{\text{tam.b.B}} = 0,7973 * 10^{-3} \text{ m}^3 : \text{volume de tambours B.}$$

Calcul de la masse de tambours B

$$m_{\text{tam.b.B}} = \rho * V_{\text{tam.b.B}}$$

$$m_{\text{tam.b.B}} = \rho * (V_3 + V_4)$$

$$\text{AN: } m_{\text{tam.b.B}} = 7850 * (2,1991 * 10^{-5} + 7,7535 * 10^{-4})$$

$$m_{\text{tam.b.B}} = m_3 + m_4 = 0,1726 + 6,0864$$

$$m_{\text{tam.b.B}} = 6,259 \text{ kg : masse de tambours B.}$$

L'inertie de tambour B est calculée avec la relation suivante :

$$J_{\text{tam.b.B}} = \frac{1}{2} * m_3 * (r_{\text{int}}^2 + r_{\text{ext}}^2) + \frac{1}{2} * m_4 * r_{\text{int}}^2$$

$$\text{AN : } J_{\text{tam.b.B}} = \frac{1}{2} * 0,1726 * (0,1571^2 + 0,1671^2) + \frac{1}{2} * 6,0864 * 0,1571^2$$

$$J_{\text{tam.b.B}} = 0,08 \text{ kg m}^3 \quad \text{L'inertie de tambour B en bas.}$$

Calcul l'inertie de l'arbre

Calcul du volume de l'arbre

$$V_{\text{arb.b}} = \pi * r_{\text{arb.b}}^2 * l_{\text{arb.b}}$$

Avec :

$$r_{\text{arb.b}} : \text{le rayon de l'arbre en bas, } r_{\text{arb.b}} = 0,0238 \text{ m}$$

$$l_{\text{arb.b}} : \text{la longueur reel de l'arbre en bas, } l_{\text{arb.b}} = l - 2 * e_4 - e_1$$

$$l_{\text{arb.b}} = 1,82 * 0,01 - 0,12$$

$$l_{\text{arb.b}} = 1,66 \text{ m}$$

$$\text{AN : } v_{\text{arb.b}} = \pi * 0,0238^2 * 1,66$$

$$v_{\text{arb.b}} = 2,954 * 10^{-3} \text{ m}^3 : \text{volume de l'arbre en bas.}$$

Calcul la masse de l'arbre en bas

$$m_{\text{arb.b}} = \rho * v_{\text{arb.b}}$$

$$\text{AN: } m_{\text{arb.b}} = 7850 * 2,954 * 10^{-3}$$

$$m_{\text{arb.b}} = 23,1889 \text{ kg}$$

L'inertie de la tige est calculée avec la relation suivante :

$$J_{\text{arb.b}} = \frac{1}{2} * m_{\text{arb}} * r_{\text{arb}}^2$$

$$\text{AN: } J_{\text{arb.b}} = \frac{1}{2} * 23,1889 * 0,0238^2$$

$$J_{\text{arb.b}} = 6,567 * 10^{-3} \text{ kg m}^2 \quad \text{L'inertie de l'arbre en bas.}$$

Calcul de l'inertie totale de l'arbre d'entraînement en bas

L'inertie totale de l'arbre d'entraînement en bas est donnée par la relation suivante :

$$J_{\text{tot.ar.b}} = J_{\text{arb.b}} + 2 * J_{\text{tam.b.B}} + J_{\text{tam.b.A}} \quad \text{II.16}$$

$$\text{AN : } J_{\text{tot.ar.b}} = 6,567 * 10^{-3} + 2 * 0,08 + 0,158$$

$$J_{\text{tot.ar.b}} = 0,325 \text{ kg m}^2 \quad \text{L'inertie totale de l'arbre d'entraînement en bas.}$$

Calcul de l'inertie totale de la station de collage

$$J_{\text{tot.S2}} = J_{\text{tot.ar.h}} + J_{\text{tot.ar.b}}$$

$$\text{AN : } J_{\text{tot.S2}} = 0,108 + 0,325$$

$$J_{\text{tot.S2}} = 0,433 \text{ kg m}^2 \quad \text{L'inertie totale de la station de collage.}$$

II.3.3) Calcul des forces résistantes

II.3.3.1) Force résistante au déplacement du carton

Calcul de la force normale exercée sur le carton

Les forces normales dans cette station sont les forces exercées par des roulements avec ressorts ($n_{\text{ress}}=34$) et celle du carton

$$F_{\text{N.tot.S2}} = n_{\text{ress}} * F_{\text{N.ress}} + m_c * g = n_{\text{ress}} * k * x + m_c * g \quad \text{II.17}$$

Avec:

$F_{\text{N.tot.S2}}$: la force normale totale.

$F_{\text{N.ress}}$: la force normale d'un seul ressort.

x : l'allongement de ressort, $x = 0,01 \text{ m}$

$$k : \text{constante de raideur du ressort, } k = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot i} \quad \text{II.18}$$

D : diamètre de ressort, D = 0,01 m

d : diamètre de file de ressort, d = 0,001 m

i : nombre des spires, i = 9

G : module d'élasticité transversal du métal, G = $8 \cdot 10^{10}$ N. m⁻²

$$F_{N,\text{ress}} = k \cdot x \quad \text{II.19}$$

$$\text{AN: } F_{N,\text{ress}} = \frac{8 \cdot 10^{10} \cdot 0,001^4}{8 \cdot 0,01^3 \cdot 9} \cdot 0,01$$

$F_{N,\text{ress}} = 11,1111$ N : la force normale exerce par un seul ressort.

$$\text{AN : } F_{N,\text{tot.S2}} = 34 \cdot 11,1111 + 0,49 \cdot 9,81$$

$$F_{N,\text{tot.S2}} = 382,5843 \text{ N} \quad \text{La force normale totale de la station de collage.}$$

Calcul de la force tangentielle qui permet le déplacement du carton

D'après la loi fondamentale de la dynamique, on trouve la force tangentielle est proportionnelle au coefficient de frottement d'adhérence C_a ;

$$F_{\text{tan.S2}} = C'_f \cdot F_{N,\text{tot.S2}} ; \quad \text{II.20}$$

C'_f : le coefficient de frottement adhérent, $C'_f = 0,3$

$$\text{AN: } F_{\text{tan.S2}} = 0,3 \cdot 382,5843$$

$$F_{\text{tan.S2}} = 114,7753 \text{ N} \quad \text{La force tangentielle qui permet le déplacement du carton.}$$

II.3.3.2) Force résistante au niveau des paliers

Calcul de la tension de la courroie tendue et mou

La tension de la courroie tendue, il faut qu'elle soit supérieure à la force tangentielle qui permet le déplacement du carton.

$$\text{Donc : } T > F_{\text{tan.S2}} \quad \text{II.21}$$

$$T = 115 \text{ N} \quad \text{La tension de la courroie tendue.}$$

$$(T/t) = e^{\beta \cdot C_f'} \Rightarrow t = (T/e^{\beta \cdot C_f'}) \quad \text{(relation d'Euler)} \quad \text{II.22}$$

Avec :

β : angle d'enroulement. $B = 60^\circ = \pi/3$ rad

C_f' : coefficient de frottement entre la courroie et la poulie. $C_f' = 0,02$.

$$\text{AN : } t = 115 / e^{0,02 \cdot 1,0472}$$

$$t = 112,6164 \text{ N} \quad \text{La tension de la courroie mou.}$$

A) Roulement des paliers (arbre d'entraînement haut)

$$P_1 = (2 * m_{tam.h} + m_{arb.h}) * g$$

P_1 : Le poids appliqué sur deux paliers

$$AN : P_1 = (2 * 11,3377 + 41,8962) * 9,81$$

$$P_1 = 633,4474 \text{ N}$$

Décomposition des forces :

$$\text{Suivant } xx' : (T-t) \sin(\alpha) = R_x \Rightarrow R_x = 2,0642 \text{ N}$$

II.23

$$\text{Suivant } yy' : (T+t) \cos(\alpha) - P_1 = R_y \Rightarrow R_y = -519,6395$$

II.24

$$\alpha = 60^\circ$$

$$R_1 = (R_x^2 + R_y^2)^{1/2}$$

$R_1 = 519,6436 \text{ N}$. la force résultante appliquée sur les deux paliers de l'arbre haut.

$$F_{\text{frot.arb.haut}} = R_1 * Cf$$

$$AN: F_{\text{frot.arb.haut}} = 519,6436 * 10^{-4}$$

$$F_{\text{frot.arb.haut}} = 0,052 \text{ N}$$

Force de frottement au niveau des roulements de l'arbre haut.

B) roulement des paliers (arbre d'entraînement bas)

$$P_2 = (m_{tam.b.A} + 2 * m_{tam.b.B} + m_{arb.b}) * g$$

$$AN: P_2 = (12,4688 + 2 * 6,259 + 24,5854) * 9,81$$

$$P_2 = 486,3032 \text{ N} \Rightarrow R_2 = 372,5 \text{ N} \Rightarrow F_{\text{frot.arb.bas}} = R_2 * Cf$$

$$F_{\text{frot.arb.bas}} = 0,037 \text{ N}$$

Force de frottement au niveau des roulements de l'arbre bas.

II.3.4) Calcul du couple résistant**A) Couple résistant au niveau des roulements**

$$C_{\text{ris.roul}} = (F_{\text{frot.arb.bas}} * r_{\text{arb.b}}) + (F_{\text{frot.arb.haut}} * r_{\text{arb.h}})$$

$$AN: C_{\text{ris.roul}} = (0,037 * 0,0238) + (0,052 * 0,0318)$$

$$C_{\text{ris.roul}} = 2,53 * 10^{-3} \text{ N.m}$$

Couple résistant au niveau des roulements.

B) Couple résistant au niveau du carton

$$C_{\text{ris.car}} = F_{\text{tan.S2}} * r_{\text{tam.h}}$$

$$AN: C_{\text{ris.car}} = (114,7753 * 0,0875)$$

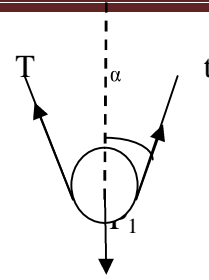


Figure II.8 : Bilan des forces dans deux paliers

$$C_{\text{ris.car}} = 10,0428 \text{ N. m}$$

La station de collage est constituée de deux chaînes cinématiques symétrique et identique, donc le couple résistant de cette station c'est la somme des deux couples résistants des deux chaînes cinématique multiplie fois le nombre des cartons qui passe dans cette station et le couple résistant au niveau des paliers.

Alors ;

$$\text{AN: } C_{r.S2} = 2 * C_{\text{ris.car}} * n_{c.S2} + C_{\text{ris.roul}} \quad \text{II.25}$$

Avec :

$n_{c.S2}$: nombre des cartons qui passe dans la station de collage. $n_{c.S2}=7$

$$C_{r.S2} = 2 * 10,0428 * 7 + 2,54 * 10^{-3}$$

$$C_{r.S2}=140,6 \text{ N.m} \quad \text{Le couple résistant de la station de collage.}$$

II.3.5) Calcul de la vitesse angulaire

La vitesse de rotation de l'arbre en haut égale la vitesse de rotation de l'arbre en bas. La génératrice tachy-métrique à un rapport de multiplication $r_{\text{ge.S2}}$ telle que ;

$$r_{\text{ge.S2}} = d_{\text{tam.h}} / d_{\text{gen}}$$

Avec:

$d_{\text{tam.h}}$: diamètre de tambour de l'arbre en haut, $d_{\text{tam.h}} = 0,175 \text{ m}$.

d_{gen} : diamètre de l'arbre de la génératrice, $d_{\text{gen}}=0,03 \text{ m}$.

$$\text{AN: } r_{\text{ge.S2}}=0,175 / 0,03$$

$r_{\text{ge.S2}} = 5,8333$: le rapport de la multiplication de la génératrice tachy-métrique.

$$N_{\text{tam.S2}} = N_{\text{ge.S2}} / r_{\text{ge.S2}}$$

Avec:

$N_{\text{ge.S2}}$: la vitesse de rotation de la génératrice tachy-métrique. $N_{\text{ge.S2}}=655 \text{ tr/min}$.

$$\text{AN: } N_{\text{tam.S2}} = 655 / 5,8333$$

$$N_{\text{tam.S2}}=112,2863 \text{ tr. min}^{-1} \quad \text{La vitesse de rotation du tambour de la station de collage.}$$

$$\omega_{\text{tam.S2}} = (2 * \pi * N_{\text{tam.S2}}) / 60$$

$$\text{AN: } \omega_{\text{tam.S2}} = (2 * \pi * 112,2863) / 60$$

$$\omega_{\text{tam.S2}} = 11,7585 \text{ rad. s}^{-1} \quad \text{La vitesse angulaire de tambour de la station de collage.}$$

II.3.6) Calcul de la puissance demandée

La puissance qu'il faut fournir à la station de collage est calculée comme suite :

$$P_{S2} = C_{r.S2} * \omega_{\text{tam.S2}}$$

$$\text{AN: } P_{S2} = 140,6 * 11,7585$$

$P_{S2} = 1653,2451 \text{ W}$ La puissance demandée par la station de collage.

Remarques :

- 1- Il faut prendre en considération le coefficient de dilatation des courroies qu'est variable en fonction de la température et la nature de la courroie, car la tension T dépend de ce coefficient.
- 2- La puissance consommée par frottement au niveau des paliers est négligeable ($0,03\text{W}$), par ce que le coefficient de frottement des roulements à bille est très petit (10^{-4}).

Dans notre cas, on néglige le coefficient de dilatation des courroies et aussi la puissance consommée par frottement au niveau des paliers, mais on utilise un coefficient de correction (K_{th}) de la puissance (voire la formule : **II.28**).

II.4) Station de pliage

II.4.1) Constitution

Cette station est composée de deux arbres d'entraînement le premier à trois tambours de deux identiques et le troisième différent, et le deuxième arbre à un seul tambour. Elle permet de plier le carton et le transporter à la zone de réception.

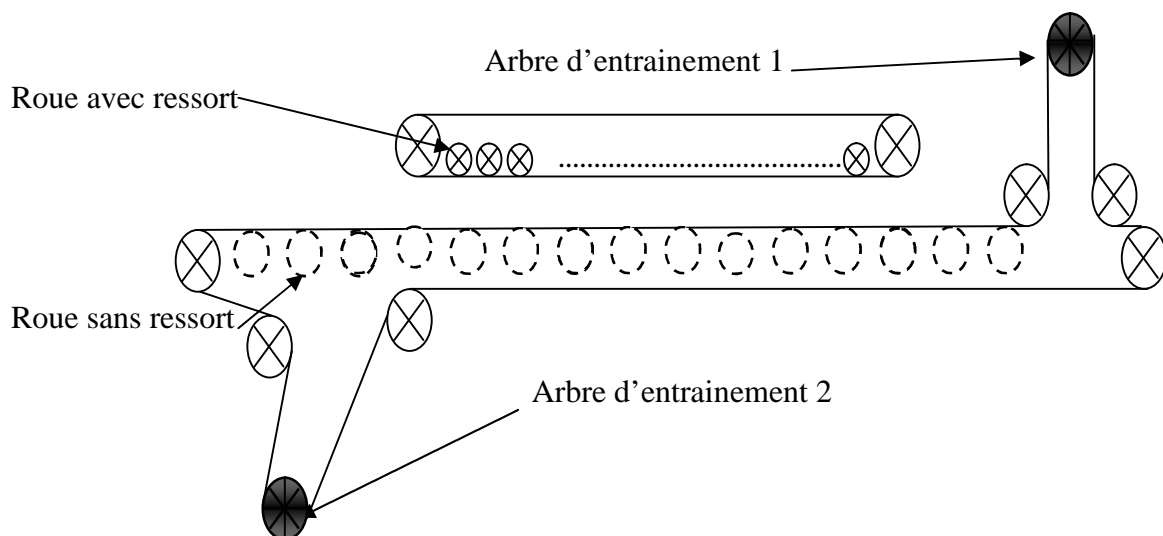


Figure II.9 : La chaîne cinématique de la station de pliage

II.4.2) Calcul de l'inertie de la station de pliage

A) Arbre d'entraînement 1

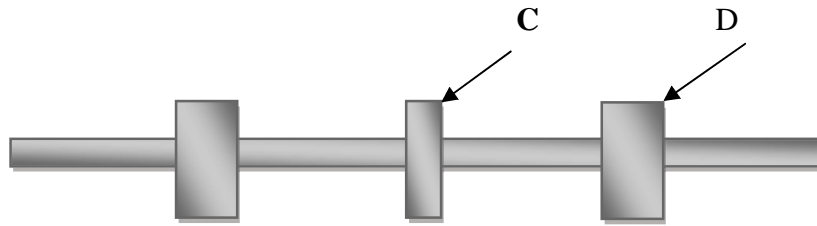


Figure II.10: L'arbre d'entraînement 1

Calcul de l'inertie de tambour C

Calcul du volume de tambours

$$V_C = \pi * r_c^2 * e_c$$

avec :

e_c : épaisseur de tambour C, $e_c = 0,02\text{m}$

r_c : rayon de tambour C, $r_c = 0,1671\text{m}$

$$\text{AN : } v_C = \pi * 0,1671^2 * 0,02$$

$$v_C = 1,75 * 10^{-3} \text{ m}^3 : \text{volume de tambours C.}$$

Calcul de la masse de tambours C

$$m_c = \rho * v_c$$

$$\text{AN: } m_c = 7850 * 0,00175$$

$$m_c = 13,7375 \text{ kg} : \text{masse de tambours C}$$

L'inertie de tambour C est calculée comme suite :

$$J_c = \frac{1}{2} * m_c * r_c^2$$

$$\text{AN : } J_c = \frac{1}{2} * 13,7375 * 0,1671^2$$

$$J_c = 0,1918 \text{ kg m}^2 \quad \text{L'inertie de tambour C.}$$

Calcul de l'inertie de tambour D

Calcul volume de tambours

$$V_D = \pi * r_D^2 * e_D$$

Avec :

e_D : épaisseur de tambour D, $e_D = 0,06\text{m}$

r_D : rayon de tambour D, $r_D = 0,1671 \text{ m}$

$$\text{AN : } v_D = \pi * 0,1671^2 * 0,06$$

$$v_D = 5,2632 * 10^{-3} \text{ m}^3 : \text{volume de tambours D}$$

Calcul de la masse de tambours D

$$m_D = \rho * v_D$$

$$\text{AN : } m_D = 7850 * 5,2632 * 10^{-3}$$

$m_D = 41,316 \text{ kg}$: la masse de tambour D

L'inertie de tambour D c'est :

$$J_D = \frac{1}{2} * m_D * r_D^2$$

$$J_D = \frac{1}{2} * 41,309 * 0,1671^2$$

$$J_D = 0,5768 \text{ kg m}^2 \quad \text{L'inertie de tambour D.}$$

Calcul de l'inertie de l'arbre 1**Calcul du volume de l'arbre 1**

$$V_{\text{arb.1}} = \pi * r_{\text{arb.1}}^2 * l_{\text{arb.1}}$$

Avec :

$r_{\text{arb.1}}$: le rayon de l'arbre 1, $r_{\text{arb.1}} = 0,0238 \text{ m}$

$$l_{\text{arb.1}} = l - 2 * e_D - e_C$$

$$l_{\text{arb.1}} = 1,8 - 2 * 0,06 - 0,02$$

$$l_{\text{arb.1}} = 1,66 \text{ m}$$

$$\text{AN : } v_{\text{arb.1}} = \pi * 0,0238^2 * 1,66$$

$v_{\text{arb.1}} = 2,954 * 10^{-3} \text{ m}^3$: le volume l'arbre 1.

Calcul de la masse de l'arbre 1

$$m_{\text{arb.1}} = \rho * v_{\text{arb.1}}$$

$$\text{AN: } m_{\text{arb.1}} = 7850 * 2,954 * 10^{-3}$$

$m_{\text{arb.1}} = 23,1889 \text{ kg}$: la masse de l'arbre 1.

L'inertie de l'arbre c'est :

$$J_{\text{arb.1}} = \frac{1}{2} * m_{\text{arb.1}} * r_{\text{arb.1}}^2$$

$$\text{AN : } J_{\text{arb.1}} = \frac{1}{2} * 23,1889 * 0,0238^2$$

$$J_{\text{arb.1}} = 6,5675 * 10^{-3} \text{ kg m}^2 \quad \text{L'inertie de l'arbre d'entrainement 1.}$$

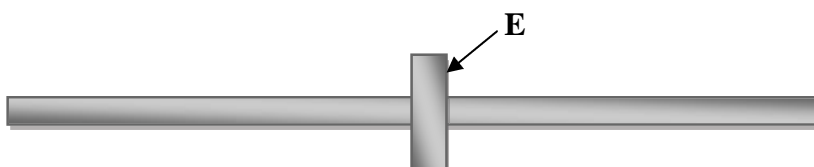
B) Arbre d'entrainement 2

Figure II.11 : L'arbre d'entrainement

$$J_E = J_C = 0,1918 \text{ kg m}^2 \quad \text{L'inertie de tambour E.}$$

$$J_{\text{arb.2}} = 7,0423 * 10^{-3} \text{ kg m}^2 \quad \text{L'inertie de l'arbre d'entraînement 2.}$$

Calcul de l'inertie totale de la station de pliage

$$J_{\text{tot.S3}} = J_{\text{arb.1}} + J_{\text{arb.2}} + J_C + 2 * J_D + J_E$$

$$\text{AN : } J_{\text{tot.S3}} = (6,5675 + 7,0423) * 10^{-3} + 2 * 0,1918 + 2 * 0,5768$$

$$J_{\text{tot.S3}} = 1,55 \text{ kg m}^2 \quad \text{L'inertie totale de la station de pliage.}$$

II.4.3) Calcul des forces résistances au déplacement du carton

Les cartons soumis à des forces exercées par deux chaînes cinématiques identiques à l'extrémité et l'autre au milieu sachant qu'au milieu il existe deux ressorts principaux en série avec 16 ressorts en parallèle, et à l'extrémité il existe 26 ressorts en parallèle.

❖ Calcul de la force normale exercée sur le carton à l'extrémité de la station

$$F_{N,\text{ext}} = 26 * F_{N,\text{ress}}$$

$$\text{AN: } F_{N,\text{ext}} = 26 * 11,1111 \text{ N}$$

$$F_{N,\text{ext}} = 288,8886 \text{ N: la force appliquée sur le carton à l'extrémité de la station.}$$

❖ Calcul de la force normale exercée sur le carton au milieu de la station

$$F_{N,\text{mil}} = 16 * F_{N,\text{ress}} + 2 * F_{N,\text{res.pri}} = 16 * F_{N,\text{ress}} + 2 * k * x$$

$$\text{AN : } F_{N,\text{res.pri}} = \frac{8 * 10^{10} * 0,005^4}{8 * 0,03^3 * 12} * 0,01$$

$$F_{N,\text{res.pri}} = 192,9 \text{ N: la force normale exercée par le ressort principal.}$$

$$\text{AN : } F_{N,\text{mil}} = 16 * 11,1111 + 2 * 192,9$$

$$F_{N,\text{mil}} = 563,5776 \text{ N, la force normale au milieu de la station.}$$

La force totale de cette station c'est la somme de deux forces normales de la chaîne cinématique à l'extrémité et les forces de la chaîne cinématiques au milieu et celle du carton :

$$F_{N,\text{tot.S3}} = 2 * F_{N,\text{ext}} + F_{N,\text{mil}} + m_c * g$$

$$\text{AN: } F_{N,\text{tot.S3}} = (2 * 288,8886) + 563,5776 + (0,49 * 9,81)$$

$$F_{N,\text{tot.S3}} = 1146,1617 \text{ N : la force normale totale de la station.}$$

$$F_{\text{tan.S3}} = C_a * F_{N,\text{tot.S3}}$$

$$\text{AN: } F_{\text{tan.S3}} = 0,3 * 1146,1617$$

$$F_{\text{tan.S3}} = 343,8485 \text{ N} \quad \text{La force tangentielle de la station de pliage.}$$

II.4.4) Calcul du couple résistant

$$C_{r.c} = F_{\text{tan.S3}} * r_c$$

Avec :

$$\text{AN : } C_{r.c} = 343,8485 * 0,1671$$

$$C_{r.c} = 57,457 \text{ N.m} \text{ Le couple résistant pour un seul carton.}$$

Le nombre des cartons qui peuvent passer dans cette station ($n_{c.S3}=6$) ;

Donc :

$$C_{r.S3} = n_{c.S3} * C_{r.c}$$

$$\text{AN: } C_{r.S3} = 6 * 57,457$$

$C_{r.S3} = 344,742 \text{ N. m}$	Le couple résistant total dans la station de pliage.
-----------------------------------	--

II.4.5) Calcul de la vitesse rotation

$$N_{\text{tam.S3}} = N_{\text{ge.S3}} / r_{\text{ge.S3}}$$

Avec :

$N_{\text{ge.S3}}$: la vitesse de rotation de la génératrice tachy-métrique, $N_{\text{ge.S3}} = 702 \text{ tr/min.}$

$r_{\text{ge.S3}}$: le rapport de la multiplication de la génératrice tachy-métrique

$$r_{\text{ge.S3}} = d_{\text{tam.c}} / d_{\text{gen}}$$

Avec:

$d_{\text{tam.C}}$: le diamètre de tambour, $d_{\text{tam.c}} = 0,3342 \text{ m}$

d_{gen} : le diamètre de la génératrice tachy-métrique, $d_{\text{gen}} = 0,03 \text{ m}$

$$\text{AN: } r_{\text{ge.S3}} = 0,3342 / 0,03$$

$r_{\text{ge.S3}} = 11,14 \text{ m}$: le rapport de la multiplication de la génératrice tachy-métrique.

$$\text{AN: } N_{\text{tam.S3}} = 702 / 11,14$$

$N_{\text{tam.S3}} = 63,0161 \text{ tr. min}^{-1}$: La vitesse de rotation tambour de la station de pliage.

$$\omega_{\text{tam.S3}} = (2 * \pi * N_{\text{tam.S3}}) / 60$$

$$\text{AN: } \omega_{\text{tam.S3}} = (2 * \pi * 63,0161) / 60$$

$\omega_{\text{tam.S3}} = 6.599 \text{ rad. s}^{-1}$	La vitesse angulaire à l'entrée de la station de pliage.
--	--

II.4.6) Calcul de la puissance demandée par la station

La puissance demandée par la station de pliage est calculée comme suite:

$$P_{S3} = C_{r.S3} * \omega_{\text{tam.S3}}$$

Avec :

$\omega_{\text{tam.S3}}$: la vitesse angulaire à l'entrée de la station pliage.

$$\text{AN: } P_{S3} = 344,742 * 6.599$$

$$P_{S3} = 2274,9524 \text{ W}$$

La puissance demandée par la station de pliage.

II.5) Station de réception

II.5.1) Constitution

Elle est constituée d'un rouleau qui entraîne un tapis. Il existe dans cette station des roues menantes pour serré les bandes et exercée une force afin de déplacer le carton et le maintenir sur le tapis.

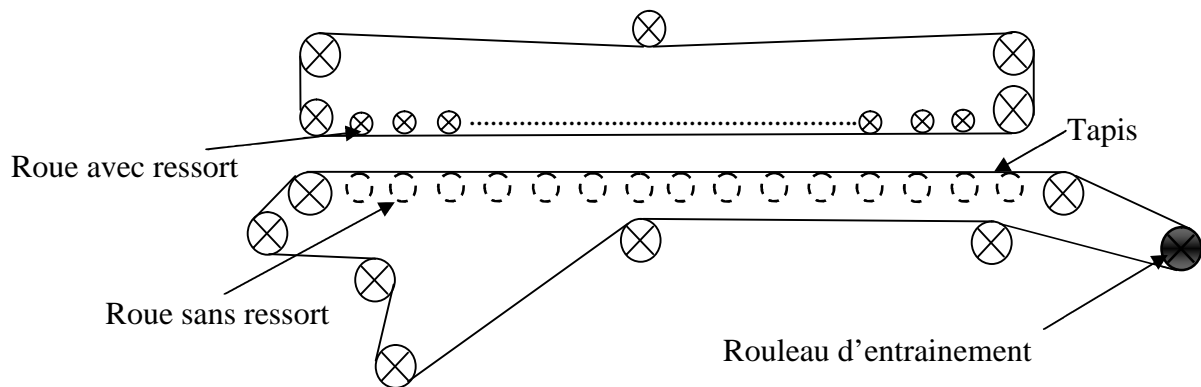


Figure II.12 : La chaîne cinématique de la station de réception

II.5.2) Calcul de l'inertie de la station de réception

Calcul de l'inertie du rouleau

Calcul du volume de rouleau

$$V_{roul.S4} = \pi * r_{roul.S4}^2 * l_{roul.S4}$$

Avec :

$r_{roul.S4}$: rayon de rouleau de la station de réception, $r_{roul.S4} = 0.1034 \text{ m}$

$l_{roul.S4}$: la longueur de rouleau de la station de réception, $l_{roul.S4} = 1,3\text{m}$

$$\text{AN: } V_{roul.S4} = \pi * 0.1034^2 * 1,3$$

$V_{roul.S4} = 0,0436 \text{ m}^3$: volume de rouleau de la station de réception.

Calcul de la masse du rouleau

$$m_{roul.S4} = \rho * V_{roul.S4}$$

$$\text{AN: } m_{roul.S4} = 7850 * 0,0436$$

$m_{roul.S4} = 342,26 \text{ kg}$: la masse du rouleau.

L'inertie de la tige est donnée par la relation suivante :

$$J_{roul.S4} = \frac{1}{2} * m_{roul.S4} * r_{roul.S4}^2$$

$$\text{AN: } J_{\text{roul.S4}} = \frac{1}{2} * 342,26 * 0,1034^2$$

$$J_{\text{roul.S4}} = 1,8296 \text{ kg m}^2$$

L'inertie du rouleau de la station de réception

II.5.3) Calcul des forces résistances

A) Les forces tangentielles au niveau du carton

Les forces normales agissent sur le carton sont les forces des ressorts ($n_{\text{ress}}=18$) et le poids des cartons ($n_c=9$) ;

$$F_{N.C} = n_{\text{ress}} * k * x + n_c * m_c * g$$

$$F_{N.C} = n_{\text{ress}} * \frac{G * d^4}{8 * D^3 * i} * x + n_c * m_c * g$$

$$\text{AN: } F_{N.C} = 18 * \frac{8 * 10^{10} * 0,002^4}{8 * 0,013^3 * 58} * 0,03 + 9 * 0,49 * 9,81$$

$F_{N.C} = 721,3026 \text{ N}$: la force normale résultante appliquée sur le carton.

La force tangentielle est proportionnelle au coefficient de frottement d'adhérence entre le carton et tapis :

$$F_{\text{tan.C}} = C_a * F_{N.C}$$

$$F_{\text{tan.C}} = 0,3 * 721,3026$$

$F_{\text{tan.C}} = 216,3907 \text{ N}$: La force tangentielle qui permet le déplacement des cartons.

B) Calcule la force qui permet le déplacement du tapis

$$F_{\text{t.tapis}} = m_{\text{tapis}} * g * C_f$$

Avec :

m_{tapis} : masse du tapis, $m_{\text{tapis}} = 32 \text{ kg}$

C_f : coefficient de frottement entre le tapis et le rouleau. $C_f = 0,2$

$$\text{AN: } F_{\text{t.tapis}} = 32 * 9,81 * 0,2$$

$F_{\text{t.tapis}} = 62,784 \text{ N}$: la force appliquée par le rouleau sur le tapis.

Calcul la force tangentielle totale

$$F_{\text{tan.S4}} = F_{\text{tan.C}} + F_{\text{t.tapis}}$$

AN :

$$F_{\text{tan.S4}} = 216,3907 + 62,784$$

$$F_{\text{tan.S4}} = 279,1747 \text{ N}$$

La force tangentielle totale de la station de réception.

II.5.4) Calcul du couple résistant

Le couple résistant total dans cette station est donné par la somme de couple résistant au niveau du carton et le couple résistant au niveau du tapis.

$$C_{r.S4} = F_{\tan.S4} * r_{roul.S}$$

$$\text{AN : } C_{r.S4} = 279,1747 * 0,1034$$

$$C_{r.S4} = 28,8666 \text{ N. m} \quad \text{Le couple résistant total dans la station de réception.}$$

II.5.5) Calcul de la vitesse angulaire de la station

Calcul de la vitesse du rouleau de la station de réception

$$N_{roul.S4} = N_{ge.S4} / r_{ge.S4}$$

Avec:

$N_{ge.S4}$: La vitesse de rotation de la génératrice tachy-métrique. $N_{ge.S4} = 74,5 \text{ tr. min}^{-1}$

$r_{ge.S4}$: Le rapport de la multiplication de la génératrice tachy-métrique.

Avec :

$$r_{ge.S4} = d_{roul.S4} / d_{gen}$$

$d_{roul.S4}$: Le diamètre du rouleau, $d_{roul.S4} = 0,2068 \text{ m}$

d_{gen} : Le diamètre de la génératrice, $d_{gen} = 0,03 \text{ m}$

$$\text{AN: } r_{ge.S4} = 0,2068 / 0,03$$

$r_{ge.S4} = 6,8933$: Le rapport de la multiplication de la génératrice tachy-métrique.

$$\text{AN: } N_{roul.S4} = 74,5 / 6,8933$$

$N_{roul.S4} = 10,8076 \text{ tr. min}^{-1}$: La vitesse de rotation du rouleau.

La vitesse de angulaire c'est ω_{S4} , telle que ;

$$\omega_{roul.S4} = (2 * \pi * N_{roul.S4}) / 60$$

$$\text{AN: } \omega_{roul.S4} = (2 * \pi * 10,8076) / 60$$

$$\omega_{roul.S4} = 1,1317 \text{ rad. s}^{-1} \quad \text{La vitesse angulaire du rouleau de la station de réception.}$$

II.5.6) Calcul de la puissance demandé par la station

$$P_{S4} = C_{r.S4} * \omega_{roul.S4}$$

$$\text{AN: } P_{S4} = 28,8666 * 1,1317$$

$$P_{S4} = 32,6683 \text{ W} \quad \text{La puissance demandée par la station de réception.}$$

II.6) Calcul l'inertie de l'arbre principal

Calcul du volume de l'arbre principal

$$V_{arb.pri} = \pi * r_{arb.pri}^2 * l_{arb.pri}$$

Avec :

$r_{arb.pri}$: le rayon de l'arbre principal, $r_{arb.pri} = 0,027 \text{ m}$

$l_{arb.pri}$: la longueur de l'arbre principal, $l_{arb.pri} = 6,15 \text{ m}$

$$\text{AN : } V_{arb.pri} = \pi * 0,027^2 * 6,15$$

$V_{arb.b} = 0,0141 \text{ m}^3$: volume de l'arbre principal.

Calcul la masse de l'arbre principal

$$m_{arb,pri} = \rho * V_{arb,pri}$$

$$\text{AN: } m_{arb,pri} = 7850 * 0,0141$$

$$m_{arb,pri} = 110,685 \text{ kg}$$

L'inertie de l'arbre principal est calculée avec la relation suivante

$$J_{arb,pri} = \frac{1}{2} * m_{arb,pri} * r_{arb,pri}^2$$

$$\text{AN: } J_{arb,pri} = \frac{1}{2} * 110,685 * 0,027^2$$

$J_{arb,pri} = 0,04 \text{ kg m}^2$: l'inertie de l'arbre principal.

II.7) Calcul de la puissance ramenée à l'arbre principal

II.7.1) Puissance de la station d'introduction et station de collage ramenée à l'arbre principal :

La station d'introduction et la station de collage à même réducteur donc on ramène la puissance totale des deux stations (S1, S2) à l'arbre principal,

$$P_{S1.S2} = (P_{S1} / \eta_{ch}) + P_{S2} \quad \text{II.26}$$

η_{ch} : rendement de la chaîne, $\eta_{ch} = 0,98$

$$\text{AN : } p_{S1.S2} = (1,7078 / 0,98) + 1653,2451$$

$P_{S1.S2} = 1654,9877 \text{ W}$: la puissance totale des deux stations.

On applique la loi de conservation de puissance :

$$P_{1,arb,pri} * \eta = P_{S1.S2} \Rightarrow P_{1,arb,pri} = P_{S1.S2} / \eta$$

Avec:

$$\eta = \eta_{ch} * \eta_{eng} \quad \text{II.27}$$

η_{eng} : rendement de réducteur conique à denture hélicoïdale, $\eta_{eng} = 0,97$

$$\text{AN : } \eta = 0,98 * 0,97$$

$\eta = 0,9506$: le rendement du réducteur.

$$\text{AN: } P_{1,arb,pri} = 1654,9877 / 0,9506$$

$P_{1,arb,pri} = 1741 \text{ W}$: La puissance de la station d'introduction et la station de collage ramenée à l'arbre principal.

II.7.2) La puissance de la station de pliage ramenée à l'arbre principal

$$P_{3,arb,pri} = P_{S3} / \eta$$

$$\text{AN: } P_{3,arb,pri} = 2274,9524 / 0,9506$$

$P_{3,arb,pri} = 2393,1752 \text{ W}$: La puissance de la station pliage et collage ramené à l'arbre principal.

II.7.3) La puissance de la station réception raménée à l'arbre principal

$$P_{4,arb,pri} = p_{S4} / (\eta * \eta)$$

$$\text{AN: } P_{4,arb,pri} = 32,6683 / (0,9506 * 0,9506)$$

$P_{4,arb,pri} = 36,1518 \text{ W}$: La puissance de la station pliage et collage ramené à l'arbre principal.

La puissance dans l'arbre principal c'est la somme des puissances ramenées à cet arbre

$$P_{arb,pri} = P_{1,arb,pri} + P_{3,arb,pri} + P_{4,arb,pri}$$

$$\text{AN: } P_{arb,pri} = 1741 + 2393,1752 + 36,1518$$

$P_{arb,pri} = 4170,327 \text{ W}$: la puissance de la charge raménée à l'arbre principal

Pour éviter le sous dimensionnement du moteur, on va introduire un coefficient de sécurité (K_{th}) de 7% de la puissance raménée à l'arbre principal.

$$P_{arb,pri,corr} = P_{arb,pri} * (K_{th}+1) \quad \text{II.28}$$

$$\text{AN : } P_{arb,pri,corr} = 4170,327 * 1,07$$

$$P_{arb,pri,corr} = 4462,249 \text{ w}$$

$P_{arb,pri,corr} = 4,46 \text{ kW}$ Puissance exigée par la charge raménée à l'arbre principal.

II.8) Calcul de la vitesse raménée à l'arbre principal

On peut calculer la vitesse de l'arbre principal à partir de la vitesse de rotation de n'importe quelle station :

❖ La station d'introduction

$$N_{arb,pri} = N_{roul.S1} / (r_{S1} * r_{ch})$$

Avec :

r_{S1} : le rapport de réduction de la station de collage. $r_{S1}=0,2578$

r_{ch} : Le rapport de multiplication de la chaîne dans la station d'introduction. $r_{ch}=1,8155$

$$\text{AN : } N_{arb,pri} = 203,858 / (0,2578 * 1,8155)$$

$N_{arb,pri} = 435,5606 \text{ tr. min}^{-1}$: La vitesse de l'arbre principal.

❖ La station de collage

$$N_{arb,pri} = N_{tamS2} / r_{S2}$$

Avec :

r_{S2} : Le rapport de réduction de réducteur de la station de collage. $r_{S2}=0,2578$

$$\text{AN : } N_{arb,pri} = 112,2863 / 0,2578$$

$N_{arb,pri} = 435,56 \text{ tr. min}^{-1}$: La vitesse de l'arbre principal.

❖ La station de pliage et transport

$$N_{\text{arb.pri}} = N_{\text{tamS3}} / r_{S3}$$

Avec :

r_{S3} : le rapport de réduction de réducteur de pliage et transport. $r_{S3} = 0,1445$

$$\text{AN : } N_{\text{arb.pri}} = 63,0161 / 0,1445$$

$N_{\text{arb.pri}} = 436 \text{ tr. min}^{-1}$: la vitesse de l'arbre principal.

❖ La station de réception

$$N_{\text{arb.pri}} = N_{\text{roul.S4}} / r_{S4}$$

Avec :

r_{S4} : le rapport de réduction de réducteur de la station de réception. $r_{S4} = 0,02482$

$$\text{AN : } N_{\text{arb.pri}} = 10,8076 / 0,02482$$

$N_{\text{arb.pri}} = 435,44 \text{ tr. min}^{-1}$: La vitesse de l'arbre principal.

II.9) Calcul de puissance et la vitesse ramenée à l'arbre moteur

La transmission de puissance de l'arbre moteur vers l'arbre principal se fait à travers cinq courroies trapézoïdales identiques avec un rendement η_{cou} ($\eta_{\text{cou}} = 0,96$) et un rapport de réduction de r_{cou} ($r_{\text{cou}} = 0,52$).

❖ Calcul de la puissance sur l'arbre du moteur

$$P_{\text{exi.ram}} = P_{\text{arb.pri}} / \eta_{\text{cou}}$$

$$\text{AN: } P_{\text{exi}} = 4,46 / 0,96$$

$$P_{\text{exi.ram}} = 4,6458 \text{ kW} \quad \text{La puissance exigée par la charge ramenée à l'arbre moteur.}$$

❖ Calcul de la vitesse sur l'arbre du moteur

$$N_{\text{arb.mot}} = N_{\text{arb.pri}} / r_{\text{cou}}$$

$$\text{AN : } N_{\text{arb.mot}} = 436 / 0,52$$

$$N_{\text{arb.mot}} = 838,4615 \text{ tr. m}^{-1}$$

$$\omega_{\text{arb.mot}} = \omega_{\text{mot}} = 87,8 \text{ rad. s}^{-1} \quad \text{La vitesse angulaire désirée par la charge.}$$

II.10) Calcul du couple résistant sur l'arbre moteur

$$C_{\text{r.arb.mot}} = P_{\text{exi.ram}} / \omega_{\text{mot.mot}}$$

Avec:

ω_{mot} : La vitesse angulaire de l'arbre principal ramenée à l'arbre moteur $\omega_{\text{mot.mot}} = 87,6907 \text{ rad. s}^{-1}$

$$\text{AN: } C_{\text{r.arb.mot}} = 4,6458 / 87,8$$

$$C_{\text{r.arb.mot}} = 52,91 \text{ N. m} \quad \text{Couple résistant de la charge sur l'arbre moteur.}$$

II.11) Calcul de l'inertie ramenée à l'arbre moteur

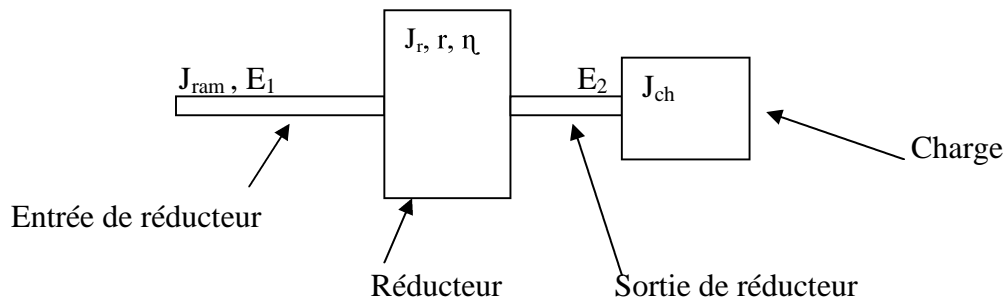


Figure II.13 : Schéma représentatif de système de transmission

J_{ram} : L'inertie ramenée à l'entrée du réducteur

r : Rapport de réduction de réducteur

η : Rendement du réducteur

J_r : Inertie du réducteur,

J_{ch} : Inertie de la charge

E_1 : L'énergie à l'entrée du réducteur

E_2 : L'énergie à la sortie du réducteur

Dans notre cas $J_r = 0.03 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ pour les réducteurs (8, 9, 10 et 11 voire la figure suivante.).

Conservation de l'énergie : $\eta = \frac{E_2}{E_1} \Rightarrow E_2 = \eta * E_1 \Rightarrow \frac{1}{2} * J_{ram} * \Omega_1^2 * \eta = \frac{1}{2} * (J_{ch} + J_r) * \Omega_2^2$

Donc :

$$J_{ram} = (J_{ch} + J_r) * \frac{r^2}{\eta}$$

II.29

On applique la formule (II.29) pour calculer l'inertie de chaque station ramenée à l'arbre principal puis on calcule l'inertie de la charge ramenée à l'arbre moteur on trouve :

$$J_{ch. ramenée} = 0,045 \text{ kg m}^2$$

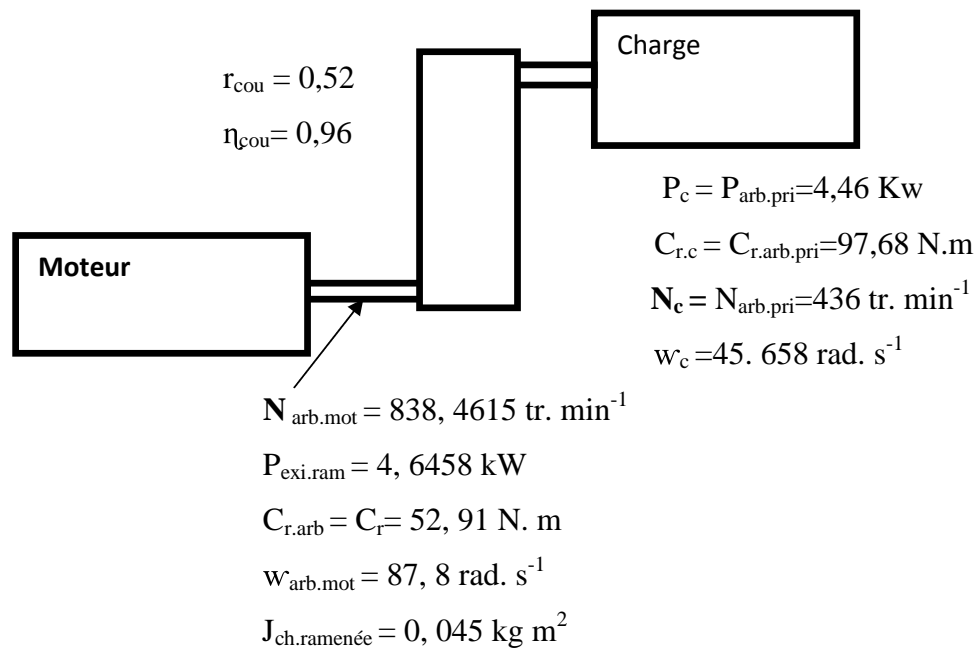


Figure II.14 : Schéma de principe de la transmission de la puissance

II.12) Conclusion

Ce chapitre nous a permis de connaître la vitesse désirée, le couple résistant et la puissance exigée par la charge. A partir de ces paramètres on peut commencer le chapitre suivant qui portera sur les étapes du choix de type du moteur d'entraînement et leur puissance et vitesse nominales.

CHAPITRE III

CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT

III.1) Introduction

Dans ce chapitre nous allons étudier et choisir le moteur d'entraînement qui répond aux exigences de la charge. Pour cela, on va suivre les conditions de sélection d'un moteur imposées par la Communauté électrotechnique International CEI.

III.2) Généralités sur les machines électriques [2]

Le but essentiel des machines électriques est la transformation de l'énergie d'une forme à une autre, l'une au moins de ces formes étant électrique, l'autre pouvant être électrique ou mécanique.

On peut, a priori, classer les machines électriques en trois catégories principales :

1. Les machines génératrices : qui transforment l'énergie mécanique en énergie électrique.

2. Les machines transformatrices : la catégorie la plus importante est le transformateur qui modifie la grandeur des courants et tensions alternatifs.

3. Les moteurs électriques : selon que le courant électrique fourni par la source extérieure est continu (DC) ou alternatif (AC), la machine sera appelée moteur à courant continu ou moteur à courant alternatif (synchrone ou asynchrone).

III.2.1) Intérêt des moteurs électriques

Les moteurs électriques ont sur les moteurs thermiques de nombreux avantages :

- Ils sont moins polluants et moins bruyants.
- Ils démarrent seuls et facilement.
- Ils ont souvent un fort couple moteur à faible vitesse.

Après avoir cité les Intérêts des moteurs électriques, notre choix de type de moteur se porte sur le moteur AC ou DC qu'on va développer par la suite

III.3) Étude comparative entre un moteur DC et moteur AC [2]

III.3.1) Étude de moteur DC :

A) Définition et structure :

Un moteur à collecteur à courant continu est une machine destinée à transformer de l'énergie électrique disponible sous forme de tension et du courant continu, en énergie

mécanique. Il comporte un induit, un collecteur et des pôles magnétiques excités par une source de courant continu ou constitué d'aimant permanent.

B) Avantages :

Le moteur à courant continu a l'avantage d'être facile à appréhender, car les deux bobines qui le composent sont non seulement fixes dans l'espace grâce à l'action du collecteur, mais aussi faiblement couplée.

C'est grâce à ce couplage que les équations caractéristiques de fonctionnements d'un moteur à courant continu se prêtent particulièrement bien à une commande dynamique rapide, précise que celle d'un moteur à courant alternatif. Il offre donc une introduction facile au fonctionnement de ses homologues.

Ces moteurs à courant continu (DC) sont souvent réservés pour les vitesses contrôlées avec précision.

C) Inconvénients :

Ce moteur présente intrinsèquement une faiblesse liée à son collecteur mécanique. En effet, ce collecteur augmente l'encombrement du moteur, ainsi que son cout de fabrication et d'entretien. Ce système d'entraînement présente d'autres inconvénients de différentes origines parmi lesquelles :

- ✓ Le problème de la poussière causé par le vieillissement des filtres d'air, ce qui diminue la fiabilité du système de refroidissement donc augmente les pannes.
- ✓ La forte demande d'une vérification périodique des balais.
- ✓ Le problème de commutation caractérisé par des étincelles au niveau du collecteur

D) Domaine d'utilisation :

- Ascenseurs.
- Robotique.
- Les joues.

III.3.2) Étude de moteur AC

A) Définition et structure :

Le moteur à courant alternatif est un moteur qui sert à transformer l'énergie électrique en énergie mécanique. Ils sont subdivisés en deux catégories : moteur asynchrone et moteur synchrone.

- **Moteur synchrone**

Le moteur synchrone est une machine à courant alternatif pour laquelle la vitesse de rotation de l'arbre est égale à la vitesse de rotation du champ tournant, on trouve deux types de moteur : moteur synchrone à rotor bobiné et à aimants permanents.

- ✓ **moteur synchrone à rotor bobiné**

Le moteur synchrone à rotor bobiné a l'avantage d'avoir un facteur de puissance réglable par le courant d'excitation. Quand ils sont directement branchés à un réseau, leurs principaux inconvénients sont l'impossibilité de démarre sans artifice et le risque de décrochage lorsque le couple résistant est trop important. Il leur faut par ailleurs une deuxième source d'énergie pour alimenter l'inducteur en continu.

- ✓ **moteur synchrone à aimants permanent**

Le moteur synchrone à aimants présente les avantages suivants :

- Fort couple massique.
- Bon rendement (absence des pertes joule au niveau du rotor).
- Champ magnétique important dans l'entrefer.
- Pas de source de tension continue pour l'excitation.

Le principal inconvénient, en dehors du cout assez élever, est l'ondulation du couple, qui peut être néfaste dans certains domaines.

- **Moteur asynchrone**

Le moteur asynchrone est une machine a courant alternatif pour laquelle la vitesse de rotation de l'arbre est différente de la vitesse de rotation du champ tournant, on trouve deux types de moteur : moteur asynchrone à rotor bobiné et à cage d'écureuil.

✓ moteur asynchrone à rotor bobiné

Le moteur asynchrone à rotor bobiné a son intérêt par exemple quand les conditions de démarrage sont particulièrement difficiles. L'action sur les grandeurs rotoriques permet d'améliorer un certain nombre de performances. Néanmoins, le coût plus élevé de la machine et la présence de contact entre balais et bague, qui entraînent une fiabilité moindre et un entretien plus contraignant, font que la solution du rotor bobiné n'est retenue que dans quelques cas particuliers.

✓ moteur asynchrone à cage d'écureuil

Le moteur asynchrone à cage d'écureuil présente de nombreux avantages :

- Fiable coût de construction.
- Robustesse.
- Absence de système balais-collecteur (entretien réduit).
- Large gamme de variation de vitesse.

B) Domaine d'utilisation :

Les moteurs à courant alternatif sont les plus utilisés dans plusieurs domaines :

- Les pompes.
- Les ventilateurs.
- Les grands portails mobiles.
- Le moteur du train électrifié (TGV).
- Parfois utilisée comme génératrice dans les éoliennes.

III.3.3) Comparaison entre un moteur AC et un moteur DC

Les caractéristiques de puissance des moteurs asynchrones sont très supérieures à celles des moteurs à courant continu. Ces derniers peuvent maintenir la puissance maximale pour une seule vitesse seulement, tandis que les moteurs AC maintiennent la pleine puissance, de la vitesse nominale jusqu'à approximativement 150% de cette vitesse.

Les moteurs asynchrones, sont actuellement les moteurs électriques dont l'usage est le plus répandu dans l'industrie du fait de leur facilité, de leur faible encombrement, de leur bon rendement, et de leur excellente fiabilité.

La simplicité de construction des moteurs asynchrones par rapport aux moteurs à courant continu s'accompagne d'une grande complexité physique liée aux interactions électromagnétiques entre le stator et le rotor, ce qui influe sur le contrôle de la vitesse qui

contrairement aux moteurs à courant continu où on agit sur la tension d'alimentation nécessite l'utilisation des courants alternatifs de fréquence variable. Toutefois, la commande en vitesse de la machine asynchrone reste complexe.

Le coût [3]

La machine asynchrone à cage est la moins onéreuse et ne nécessite pratiquement pas d'entretien

MAS à cage coût : X

MAS à bagues coût : 2X

MS coût : 4X

MCC coût : 3 à 4 X (entretiens coûteux).

Après avoir cité les avantages et les inconvénients des différents moteurs AC et DC, notre choix de type du moteur se porte sur le moteur asynchrone à cage.

III.4) Description du moteur asynchrone

A) Schéma équivalent du MAS [4]

Le schéma général de la machine asynchrone est représenté sur la figure suivante:

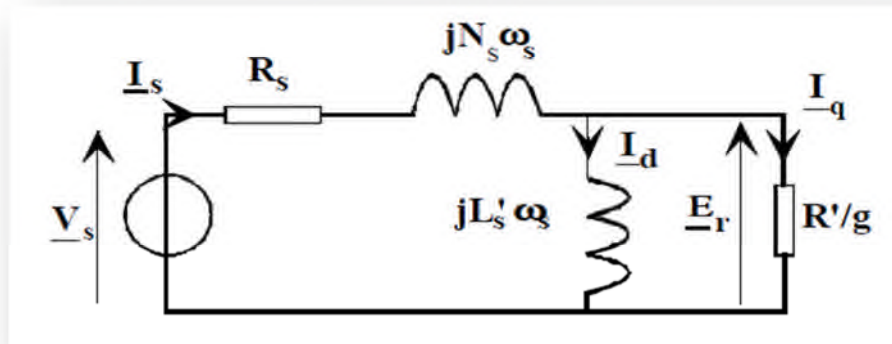


Figure III.1 : Le schéma équivalent d'une machine asynchrone pour une phase

- Vs : la tension d'alimentation
- Er : la tension rotorique ramenée au stator
- Is : le courant d'alimentation
- Rs : la résistance statorique
- Ns (L_s) : inductance de fuite globalisée
- ω_s : vitesse angulaire de synchronisme
- L's : inductance de la branche magnétisante

- I_d : le courant statorique
- I_q : courant rotorique ramené au stator
- R'/g : résistance rotorique ramenée au stator

B) Bilan des puissances d'un MAS [4]

Le bilan des puissances et des pertes dans un moteur asynchrone est reporté sur la Figure III.2

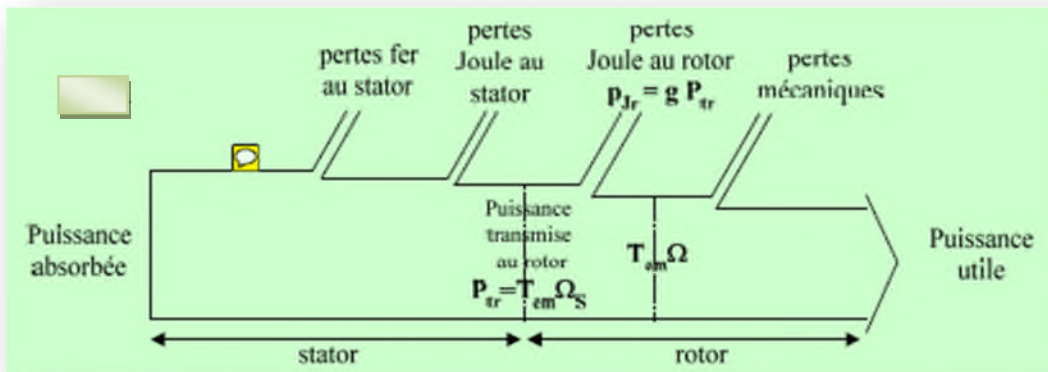


Figure III.2 : Le bilan de puissance

- La puissance absorbée

La puissance absorbée par un moteur asynchrone est une puissance active électrique.

Lorsque le moteur est connecté à un réseau triphasé, P_a vérifie la relation :

$$P_a = \sqrt{3} U I \cos \alpha \quad (U \text{ tension composée})$$

- Les pertes par effet Joule au stator P_{js}

Le stator est câblé en étoile ou en triangle. Puisque le moteur constitue un récepteur triphasé équilibré, alors $P_{js} = (3/2) R I^2$

- Les pertes fer

Les pertes fer sont fonction du flux magnétique. Elles ne dépendent donc que de la tension d'alimentation et de la fréquence de courant statorique

- La puissance transmise dans l'entrefer P_{tr}

La puissance transmise au rotor à travers l'entrefer P_{tr} est la partie de puissance absorbée qui n'est pas perdue dans les enroulements du stator et dans le fer. Aussi :

$$P_{tr} = P_a - (P_{js} + P_f)$$

- Pertes Joule au rotor P_{jr}

Les pertes Joule au rotor sont fonction de la puissance transmise à celui-ci. On peut par ailleurs montrer qu'elles sont aussi fonction du glissement. En effet, les grandeurs P_{jr} et P_{tr} sont liées par la relation :

$$P_{jr} = g * P_{tr}$$

- La puissance électromagnétique P_{em}

La puissance électromagnétique P_{em} transmise au rotor est égale à :

$$P_{em} = P_{tr} - P_{jr} = (1 - g) * P_{tr}$$

C) Caractéristique mécanique d'un MAS [3]

Evolution du couple moteur en fonction de la vitesse

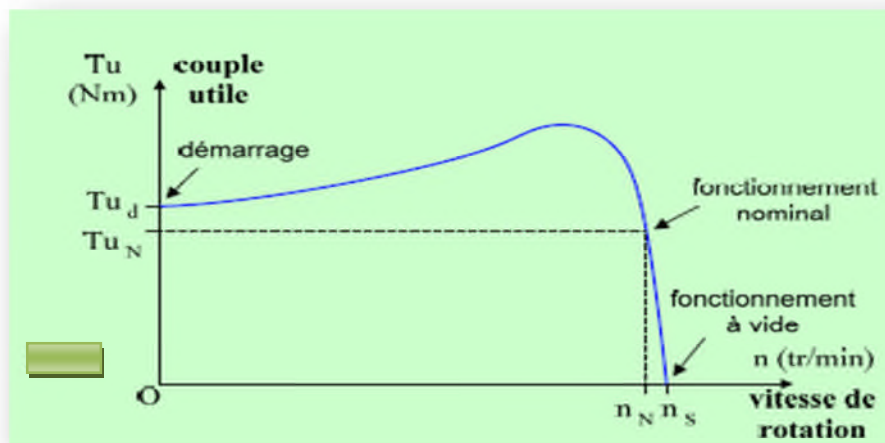


Figure III.3 : Caractéristique mécanique d'une MAS

Le couple maximum n'est pas obtenu au démarrage, mais pour une vitesse de rotation égale à 75 % de la vitesse de synchronisme.

III.5) Les conséquences d'un choix du moteur [5]

Le choix d'un moteur asynchrone seul doit permettre l'entraînement de la machine accouplée avec les performances imposées par le cahier des charges à savoir :

- Le nombre des quadrants de fonctionnement
- caractéristique mécanique de la charge (couple résistant de la charge, la puissance exigée et la vitesse désirée). Donc il faut suivre les normes imposées par CEI pour éviter les conséquences d'un mauvais choix :

❖ **Moteur à puissance insuffisante :**

- Perturbation du régime nominal du travail.
- La diminution de la productivité des machines entraînées.
- La réduction de la durée de vie du moteur.
- Des pannes peuvent être provoquées souvent.

❖ **Moteur à puissance plus grande**

- L'augmentation injustifiée de l'investissement du capital.
- La diminution des indices énergétiques de la commande (rendement et $\cos\varphi$).

III.6) Méthode et guide de la sélection d'un moteur asynchrone [5]

Le moteur électrique doit satisfaire complètement aux exigences du processus technologique et correspondre aux conditions de son environnement. Il est nécessaire que le moteur doive assurer toutes les conditions de travail avec le minimum d'investissement et le minimum de frais d'exploitation. Cela se réalise seulement si le moteur satisfait les critères suivants :

III.6.1) Critère électrique

- Nature de réseau et sa caractéristique

On dispose d'un réseau alternatif 230 /400 V et de fréquence constante de 50 Hz.

III.6.2) Critère mécanique

- **Les caractéristiques de la charge**

Le choix d'un moteur dépend des caractéristiques de la charge suivantes :

$$P_{\text{éxi.mot}} = 4,6458 \text{ kW}$$

$$C_{\text{r.arb.mot}} = 52,91 \text{ N. m}$$

$$N_{\text{arb.mot}} = 838,4615 \text{ tr. m}^{-1}$$

- **Type de couple résistant sur l'arbre du moteur**

La caractéristique du couple résistant en fonction de la vitesse définit les besoins de la machine. Dans notre cas le couple résistant reste invariable en fonction de la vitesse du moteur.

III.6.3) Le service de fonctionnement [6]

Le choix du moteur dépend essentiellement des conditions de fonctionnement. Le moteur d'entraînement de la plieuse-colleuse fonctionne à charge constante nominale d'une durée

suffisante pour que l'équilibre thermique soit atteint. Alors, le type service de fonctionnement est le service continu (S1) dont F_{dm} (facteur de marche) =1 et n (nombre de démarrages équivalent par heure) ≤ 6 . Le choix se fait toujours dans les conditions les plus défavorables. Alors, on prend $n=6$

Service de type S1 : Service continu. ANNEX (3)

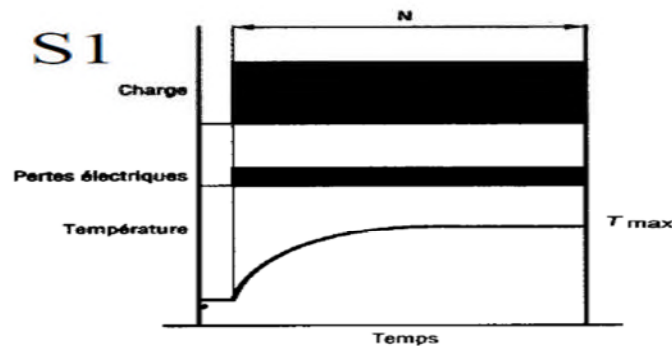


Figure III.4 : Service continu S1

III.6.4) Critère géométrique [5]

Le moteur doit pouvoir être fixé et couplé à la machine à entraîner. Il sera donc nécessaire de préciser le mode de fixation, la position de fonctionnement, l'emplacement de la boîte à bornes et le type d'accouplement avec la charge.

Dans notre cas, le mode de fixation du moteur d'entraînement de la plieuse colleuse est horizontal (ANNEX 2)

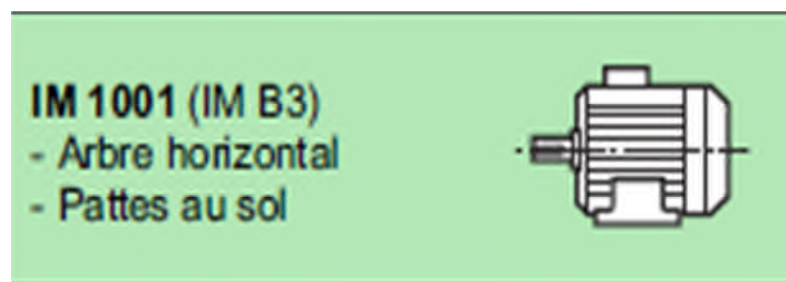


Figure III.5 : Mode de fixation

III.6.5) Critères dynamiques [5]

a) Condition de démarrage

La plieuse-colleuse ne peut démarrer que si le couple de démarrage du moteur d'entraînement est supérieur au couple résistant de la charge. $C_d > C_{r.ch}$

b) Régime établi (point de fonctionnement)

En régime établi la vitesse est constante, donc le couple d'accélération n'existe plus.

$$\text{Si } \Omega_m = \text{constante} \Rightarrow \frac{d\Omega_m}{dt} = 0 \Rightarrow C_m = C_r$$

Le point de fonctionnement stable du moteur d'entraînement de la plieuse-colleuse est le point où le couple moteur égal au couple résistant.

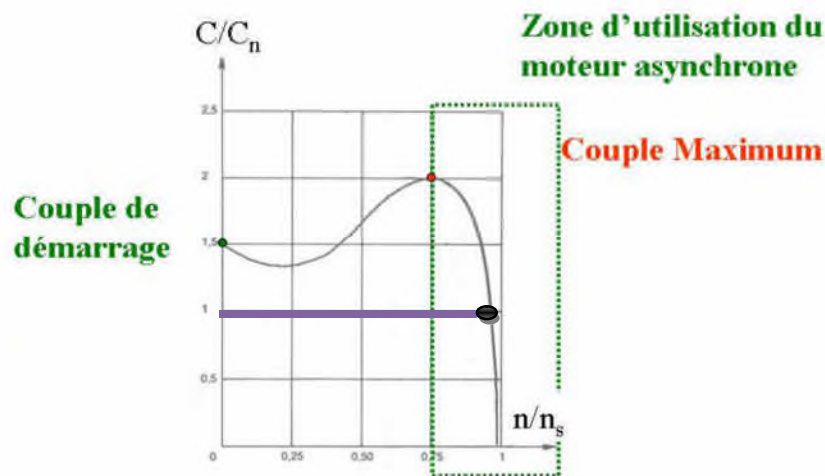


Figure III.6 : Le point de fonctionnement

● : Point de fonctionnement.

— : Couple résistant.

c) Ralentissement naturel de la machine

Le ralentissement naturel du moteur est obtenu par la coupure de l'alimentation l'instant t_0 :

$$\text{à } t=t_0 \Rightarrow C_m = 0 \Rightarrow \frac{d\Omega_m}{dt} = -\frac{C_{rm}}{J}$$

L'accélération est négative donc ralentissement du moteur

d) Freinage du moteur

Pour réaliser un freinage on ajoute à l'instant t_0 un couple de freinage ramené à l'arbre moteur C_f ;

$$\text{à } t = t_0 \Rightarrow C_m = 0 \Rightarrow \frac{d\Omega_m}{dt} = -\frac{C_f + C_{rm}}{J}$$

e) Le quadrant de fonctionnement

Le moteur utilisé fonction à un sens de rotation et il fournit une puissance mécanique à une vitesse et couple positif, donc le quadrant de fonctionnement sera le premier quadrant

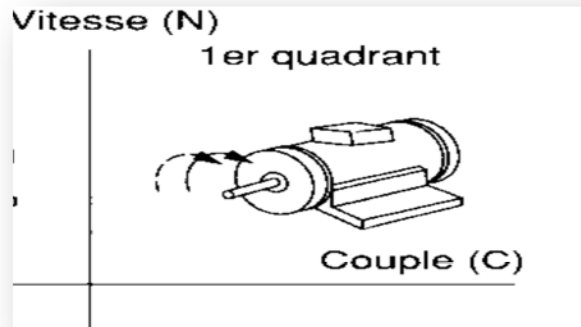


Figure III.7: Le quadrant de fonctionnement

III.6.6) Autres critères imposés par CEI

Choix en fonction de l'environnement

Les conditions normales d'utilisation des machines standard imposées par (norme CEI 34-1) sont :

- Une température ambiante comprise entre +5°C et +40°C.
- L'altitude inférieure à 1000m.
- Tension d'alimentation 230V/400V 50Hz (+/-10%).
- Degrés de protection IP55.
- Déséquilibre de tension < 2%.
- Classe d'isolement F.

Pour des conditions d'emploi différentes, on appliquera le(s) coefficient(s) de correction de la puissance exigée par la charge avant de déterminer notre moteur.

Dans notre cas le moteur d'entraînement de la plieuse-colleuse à des températures environ 45°C, et une altitude de 500m donc ne nécessite pas de correction suivant l'altitude.

A) Classe d'isolement

Classe de l'isolant	Echauffement limite Δt °C	Température limite $t_a + \Delta t$
Classe A	60	100
Classe E	75	115
Classe B	80	120
Classe F	100	140
Classe H	125	165

Tableau III.1 : Classe d'isolement

Échauffement limite 80°C au-delà de la température ambiante 45°C ► Température limite c'est 125 °C ► Classe **F**

B) Protection contre les chocs IK

Selon la norme NF EN 50 102, le moteur doit résister aux chocs mécaniques, le moteur utiliser n'est subir à aucun choc mécanique par l'extérieure, par conséquent l'indice de protection contre les chocs sera : **IK00**

C) Classe de température Kt

Pour une température ambiante supérieure à 40°C, on décline le moteur suivant les coefficients suivants :

Dans notre cas le moteur d'entraînement la plieuse-colleuse fonctionne à une température environ 45°C, donc selon le tableau le coefficient de correction sera :

$$K_t = \frac{100}{140 - t_a} \Rightarrow K_t = 100/95$$

Température ambiante °C (t_a)	Coefficients de correction K_t
45	100/95
50	100/90
55	100/85

Tableau III.2: Coefficients de correction
--

D) compte d'un déséquilibre de tension (amplitudes seules)

L'incidence sur le moteur d'un déséquilibre d'alimentation peut se résumer par le tableau III-3

Le calcul du déséquilibre se fait en considérant l'écart entre la tension la plus élevée et la tension la plus faible ramenée à la valeur moyenne des trois tensions.

$$\text{Déséquilibre (\%)} = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{(v_1 + v_2 + v_3)/3} * 100$$

Mais dans notre cas la valeur de déséquilibre de tension est donnée par l'entreprise et est égale à 2% et dans le tableau on trouve que le coefficient d'échauffement ($K_{\text{éch}}$) est égal à 1,05.

	Valeur du déséquilibre en %			
	0	2	3,5	5
Courant stator	100	101	104	107,5
Accroissement des pertes %	0	4	12,5	24
Echauffement	1	1,05	1,14	1,28

Tableau III.3: Tableau de déséquilibre de tension

III.7) calcul de la puissance corrigée [5]

Avant de faire le choix du moteur, il est nécessaire de calculer la puissance corrigée pour que le moteur choisi s'adapte aux différentes contraintes.

$$P_{\text{corr}} = K_t * K_{\text{éch}} * P_{\text{exi}}$$

$$P_{\text{corr}} = 100/95 * 1,05 * 4,6458$$

$$P_{\text{corr}} = 5,1348 \text{ kW}$$

III.8) Conclusion sur le moteur choisi

À partir de la vitesse désirée, la puissance corrigée et le couple résistant sur l'arbre du moteur, on peut choisir un moteur dans le catalogue du constructeur Leroy-Somer [6].

Le moteur choisi est de type LS132M ayant les caractéristiques suivantes (**ANNEX 4**):

-Type: LS132M

-Puissance nominale $P_n = 5,5 \text{ kW}$

-Vitesse nominale $N_n = 970 \text{ tr. m}^{-1}$

-Couple nominal $C_n = 54,2 \text{ N.m}$

-Courant nominal à 400V $I_n = 12,9 \text{ A}$

-Courant à vide	$I_0=7,5 \text{ A}$
-Facteur de puissance	$\cos \varphi = 0.75$
-Rendement	$\eta = 82\%$
-Courant de démarrage	$I_d = 6,9 I_n$
-Couple de démarrage	$C_d = 3,1 C_n$
-Couple maximal (décrochage)	$C_{\max} = C_{\text{décr}} = 3 C_n$
-Moment d'inertie	$J_m = 0,0595 \text{ Kg. m}^2$
-Masse	$M_m = 59,4 \text{ Kg}$
-Nombre de pôles	$2p = 6 \text{ pôles}$
-Couple d'accrochage	$C_{\text{acro}} = 2,14 C_n$
-Couple de freinage	$C_{f.\text{mot}} = 80 \text{ N.m}$
-Courbe de couple	$N^\circ 6$
-Degré de protection	IP55

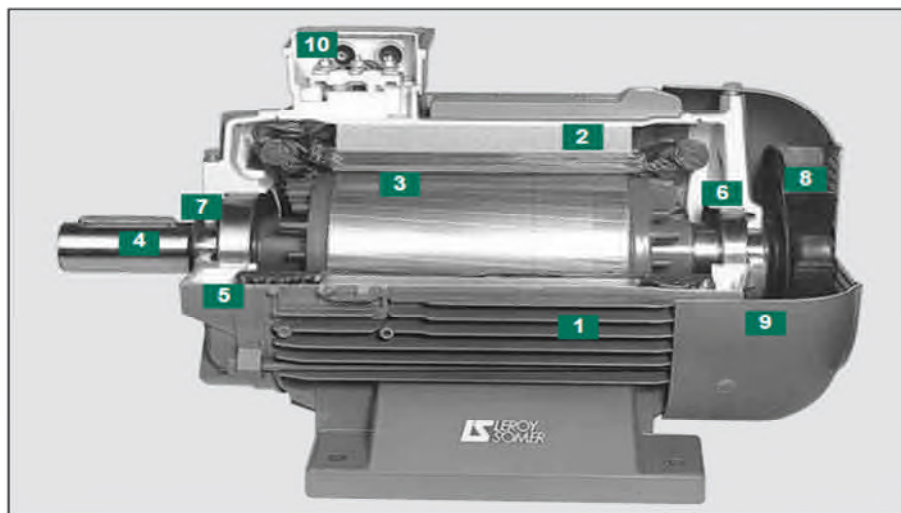


Figure III.8: Moteur asynchrone à cage

1-Carter à ailettes	2-Stator	3-Rotor	4-Arbre
5-Flasque paliers	6-Roulements et graissage	7-Joints d'étanchéité	
8-Ventilateur	9-capot de ventilation	10-Boite à bornes	

➤ **Degré de protection IP**

Il faut assurer que la machine choisie sera protégée contre l'insertion de corps étrangers ainsi que contre les projections d'eau. L'indice de protection du moteur choisi IP55.

III.9) Calcul du glissement :

$$g = \frac{N_S - N_n}{N_S}$$

Avec :

N_S : Vitesse de synchronisme, $N_S = 1000 \text{ tr. m}^{-1}$

N_n : Vitesse nominale, $N_n = 970 \text{ tr. m}^{-1}$

$$\text{AN : } g = \frac{1000 - 970}{1000} = 0.03 \Rightarrow \boxed{g = 3\%}$$

III.10) Calcul de la fréquence rotorique

$$f_r = g * f_s$$

f_s : fréquence du réseau, $f_s = 50 \text{ Hz}$

$$\text{AN: } f_r = 0,03 * 50$$

$$\boxed{f_r = 1,5 \text{ Hz}}$$

III.11) Vérification du choix du moteur [5]

Pour la vérification de choix du moteur, on doit satisfaire deux conditions principales en même temps :

1 : Il faut que le couple du moteur choisi soit supérieur au couple résistant de la charge pendant tout le cycle de fonctionnement.

2 : Il faut que la puissance nominale P_n du moteur choisi soit supérieure à la puissance équivalente exigée par la charge en service S1.

III.11.1) Vérification de la première condition (suivant le couple)

❖ Point de démarrage

Pendant la période de démarrage, il faut que le couple de démarrage du moteur choisi soit supérieur au couple résistant sur l'arbre du moteur. $C_d > C_r$.

Selon la plaque signalétique du moteur choisi on a : $C_d = 3,1 * C_n = 3,1 * 54,2$

$$C_d = 168,02 \text{ N. m}, \quad C_r = 52,91 \text{ N. m} \quad \Rightarrow C_d > C_r$$

Donc : le moteur choisi convient au point de démarrage.

❖ Période d'accélération

Le couple d'accélération du moteur choisi $C_{acc.mot}$ soit supérieur à l'accélération de la charge $C_{acc.ch}$. ($C_{acc.mot} > C_{acc.ch}$).

Calcul du couple d'accélération du moteur $C_{acc.mot}$

$$C_{acc.mot} = \frac{C_n + C_d + 2 * C_{d\acute{e}cr} + 2 * C_{acro}}{6} - C_r$$

Avec :

$C_{d\acute{e}cr}$: Le couple de décrochage ou maximal, $C_{d\acute{e}cr} = 3 C_n = 162,6 \text{ N.m}$

C_{acro} : Le couple d'accrochage, $C_{acro} = 2,14 C_n = 116 \text{ N.m}$

$$\text{AN: } C_{acc.mot} = \frac{54,2 + 168,02 + 2 * 162,6 + 2 * 116}{6} - 52,91$$

$$C_{acc.mot} = 77 \text{ N.m}$$

Calcul du couple d'accélération de la charge $C_{acc.ch}$

$$C_{acc.ch} = J_{tot} * \frac{d\omega}{dt} = J_{tot} * \frac{\Delta\omega}{t_d}$$

t_d : Temps de démarrage, $t_d = 0,1733 \text{ s}$

J_{tot} : inertie total de la charge.

$$J_{tot} = J_{ch.ramen\acute{e}e} + J_{moteur}$$

$$J_{tot} = 0,045 + 0,0595.$$

$$J_{tot} = 0,1045 \text{ kg m}^2$$

$$\text{AN: } C_{acc.ch} = 0,1045 * \frac{87,8-0}{0,1733-0}$$

$$C_{acc.ch} = 52,94 \text{ N. m}$$

Comparaison: $C_{acc.mot} > C_{acc.ch} \Rightarrow$ le moteur choisi convient dans la période d'accélération.

❖ Pendant la période de fonctionnement nominal

Il faut que le couple nominal C_n du moteur choisi soit supérieur au couple résistant C_r sur l'arbre.

Le couple résistant de la charge sur l'arbre du moteur est constant, $C_r = 52,91 \text{ N. m}$

Point de fonctionnement $C_{mot} = C_r = 52,91 \text{ N. m}$

$C_n = 54,2 \text{ N.m} > C_r = 52,91 \text{ N.m} \Rightarrow$ le moteur convient à la période de fonctionnement nominal.

III.11.2) Vérification de la deuxième condition (suivant la puissance)

$P_{\text{éq.éxi}}$: La puissance équivalente exigée par la charge est donnée par la formule suivante :

$$P_{\text{éq.éxi}} = \sqrt{\frac{n * t_d * \left(\frac{I_d}{I_n}\right)^2 * P_n^2 + (3600 - n * t_d) * P_u^2 * F_{dm}}{3600}}$$

Avec

F_{dm} : Facteur de marche, $F_{dm} = 1$ (service continu S1)

n : Nombre de démarrage équivalent par heure (dans les conditions les plus défavorables), $n=6$

AN:

$$P_{\text{éq.éxi}} = \sqrt{\frac{6 * 0,1733 * (6,9)^2 * 5500^2 + (3600 - 6 * 0,1733) * (5,1348 * 10^3)^2 * 1}{3600}}$$

$P_{\text{éq.éxi}} = 5,17 \text{ kW} \Rightarrow P_n = 5,5 \text{ kW} > P_{\text{éq.éxi}} = 5,17 \text{ kW}$

Donc: le moteur choisi vérifie la 2^{ème} condition.

En conclusion, le moteur asynchrone choisi de type LS132M convient pour l'entraînement de la plieuse-couleuse, donc les conséquences d'un choix judicieux du moteur sont les suivantes :

- Permet son adaptation au mécanisme à entraîner.
- Permet la correspondance aux paramètres du réseau électrique.
- Permet l'amélioration de la fiabilité de fonctionnement.

III.12) Conclusion

D'après l'étude que nous avons faite dans ce chapitre, nous concluons que le moteur asynchrone présente plusieurs avantages par rapport au moteur à courant continu, et nous avons pu dimensionner le moteur asynchrone qui répond bien aux exigences d'exploitation, car les deux conditions (selon le couple et la puissance) sont vérifiées.

CHAPITRE IV

CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU VARIATEUR DE VITESSE

IV.1) Introduction

Les progrès récemment réalisés dans le domaine de l'électronique de puissance et de la commande numérique ont permis depuis peu l'essor des variateurs de vitesse pour les machines à courant alternatif. Aujourd'hui les moteurs à courant alternatif peuvent remplacer les moteurs à courant continu dans la plupart des entraînements à vitesse variable. Dans ce chapitre on ne parle pas sur la modification de la vitesse, mais sur la variation de la vitesse. Les variateurs de type convertisseurs de fréquence sont utilisés pour alimenter les moteurs asynchrones, ils permettent essentiellement de faire varier la vitesse de rotation de ces moteurs. Le but du chapitre est de déterminer le variateur adéquat pour le moteur asynchrone à cage et leur protection.

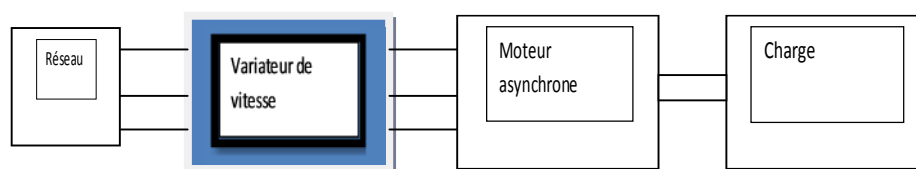


Figure IV.1 : Schéma bloc général du système complet

IV.2) Critères du choix d'un variateur de vitesse [7]

Les critères du choix du variateur de vitesse à installer pour les moteurs asynchrones sont nombreux:

- ✚ La tension du réseau d'alimentation.
- ✚ Type de rotor du moteur (bobiné ou cage).
- ✚ La puissance et la vitesse nominale.
- ✚ Le régime d'utilisation (régime permanent ou intermittent).
- ✚ La plage de variation de la vitesse.
- ✚ Type de variation de la vitesse (progressive ou échelonnée).
- ✚ Le type du couple résistant de la charge entraînée.
- ✚ La précision de contrôle de couple et de la vitesse.
- ✚ Les contraintes d'installation (place disponible, degrés de protection).
- ✚ Le coût total d'investissement (le coût du variateur et son installation).

IV.3) Les différentes techniques de variation de la vitesse [7]

Un moteur asynchrone tourne à vitesse sensiblement constante voisine de la vitesse de synchronisme. La vitesse de rotation d'un moteur asynchrone est:

$$n_s = \frac{f}{p}$$

IV.1

$$g = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad \text{I.V2}$$

$$\text{D'où } n_r = n_s (1-g) \Rightarrow n_r = \frac{f}{p} (1-g) \quad \text{IV.3}$$

Avec :

n_s : vitesse de rotation du champ en tours/s.

n_r : vitesse de rotation du rotor.

g : glissement.

p : nombre de paires de pôles par phase.

f : fréquence du réseau d'alimentation en Hz.

D'après la relation (IV.3), les techniques les plus simples pour varier n_r sont:

- varier la fréquence d'alimentation.
- varier le nombre de paires de pôles.
- varier le glissement (réduire la tension d'alimentation ou variation de la résistance par phase rotorique, si le rotor est à bagues).

IV.4) Procédés de réglage de la vitesse [7]

Dans notre application, le but est d'obtenir une variation de la vitesse de la machine asynchrone sans la déclasser (c'est-à-dire en conservant la possibilité d'obtenir son couple maximum) et aussi d'avoir un couple de démarrage supérieur au couple résistant (pour éviter le décrochage du moteur). Donc le raisonnement doit s'effectuer à partir de la caractéristique couple-vitesse. Il est donc nécessaire d'examiner l'expression du couple.

L'expression du couple développé par une machine asynchrone est la suivante :

$$C = 3 P \frac{V_s^2}{\omega} \frac{1}{\frac{R}{g} + g \frac{(N\omega)^2}{R}} \quad \text{IV.4}$$

$$\text{Le couple est maximal pour } g_m = \frac{R}{N\omega} \text{ et vaut alors : } C_m = \frac{3P}{2N} \left(\frac{V_s}{\omega} \right)^2 \quad \text{IV.5}$$

Avec :

V_s : la tension statorique,

R : la résistance du rotor,

N : l'inductance de fuite globalisée,

ω : pulsation statorique, $\omega = 2\pi f$,

g_m : glissement maximal,

P : nombre de paire du pole par phase.

Une fois que le moteur à cage d'écureuil est construit. Les paramètres R et N ne pouvant plus être modifiés par contre V_s et f : peuvent être modifiés par les composantes de l'électronique de puissance. On peut distinguer trois grandes familles de variation de la vitesse :

- ✚ La fréquence statorique fixe et la tension statorique variable.
- ✚ La fréquence statorique variable et la tension statorique fixe.
- ✚ La fréquence et la tension statorique variables.

IV.4.1) La fréquence statorique fixe et la tension statorique variable [8], [9]

Comme la fréquence est constante, g_m est constant, le couple maximal est donc proportionnel à V_s^2 , $C_m = a V_s^2$ (Selon l'équation IV.5)

Allures des caractéristiques du couple en fonction de la vitesse quand V_s varier est présenter sur la figure suivante :

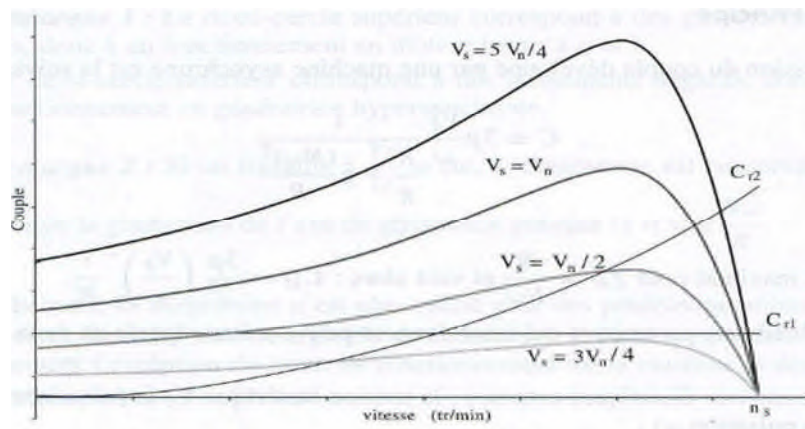


Figure IV.2 : Caractéristiques couple-vitesse quand V_s varier

On peut constater que la plage de réglage est faible et dépend fortement de la caractéristique de la charge entraînée (le couple de démarrage diminue lorsque V_s diminue), dans notre application le couple résistant est constant, c'est-à-dire à faible tension le moteur ne démarre plus en charge (le moteur décroche, car $C_d < C_r$), et sur notre exemple dès que $V_s = (\frac{V_n}{2})$ le moteur décroche. Ce phénomène est d'autant plus marqué que les chutes de tension au stator ne sont plus négligeables devant V_s . Par contre pour les autres applications (pompe ou ventilateur) où le couple résistant est assez faible au décollage, la variation de vitesse est plus grande et le moteur démarre en charge.

A) Méthode de réglage de V_s [10]

A.1) Réglage par gradateur

Un gradateur est un convertisseur statique alternatif-alternatif, il fournit à partir d'un réseau alternatif triphasé, un courant alternatif de fréquence fixe égale à celle du réseau, mais d'une valeur efficace de la tension de sortie variable, il est réalisé par un groupe de thyristors montés en tête-bêche.

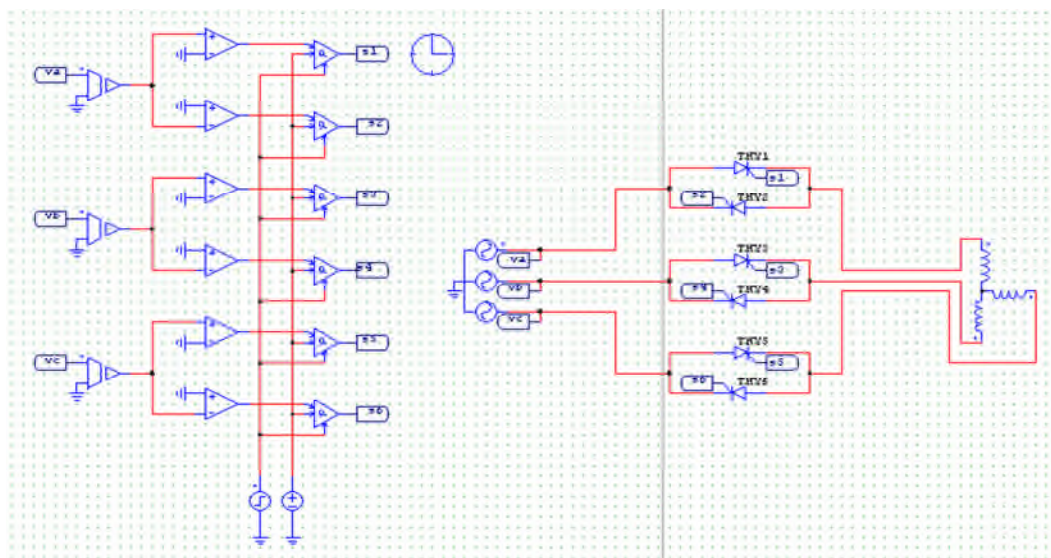


Figure IV.3 : Gradateur triphasé

Le réglage de V_s se fait par l'action sur l'angle d'amorçage des thyristors qui est synchronisé sur les tensions d'alimentation, de manière à maintenir sur les trois phases des signaux identiques, déphasés entre eux de $2\pi/3$.

L'association moteur asynchrone-gradateur est simple et permet d'utiliser le moteur à cage dans les quatre quadrants du plan couple-vitesse. Cependant, la variation de vitesse obtenue est faible et se fait au prix d'une sévère dégradation du rendement.

A.1.1) Avantages et inconvénients

❖ Avantages :

- ✓ Simplicité du montage (gradateur directement monté entre le réseau et le stator du moteur).
- ✓ Fonctionnement dans les quatre cas possibles du plan couple-vitesse.
- ✓ Commande naturelle des composantes.

❖ Inconvénients :

- ✓ La plage de variation limitée.
- ✓ Le couple résistant est constant => (décrochage du moteur).
- ✓ Provoque des harmoniques en courant (à cause de la tension alternative qui n'est pas sinusoïdale) qui font diminuer les performances du moteur et perturbent les réseaux d'alimentation.
- ✓ Le gradateur déforme l'onde de la tension.

A.2) Réglage par autotransformateur

Les autotransformateurs permettent un bon contrôle de la tension alternative sans introduction d'harmoniques.

A.2.1) Avantages et inconvénients

❖ Avantages :

- ✓ Bon rendement.
- ✓ Durée de vie importante, du fait de fonctionnement à faible température (40°C à 50°C).
- ✓ Réglage facile par bouton de contrôle.
- ✓ Seule l'amplitude de la tension est modifiée (garde la même forme de la tension).

❖ Inconvénients :

- ✓ Très couteux (il faut un transformateur spécial).
- ✓ Encombrement.
- ✓ Chute de tension entre le régime à vide et à charge.
- ✓ Facteur de puissance faible.

IV.4.2) La fréquence statorique variable et la tension statorique fixe [7]

En variant la fréquence d'alimentation du moteur, on règle à volonté la vitesse de synchronisme du champ tournant ($\Omega_s = 2 \pi f / p$), ce qui permet d'avoir une grande plage de variation de la vitesse du moteur.

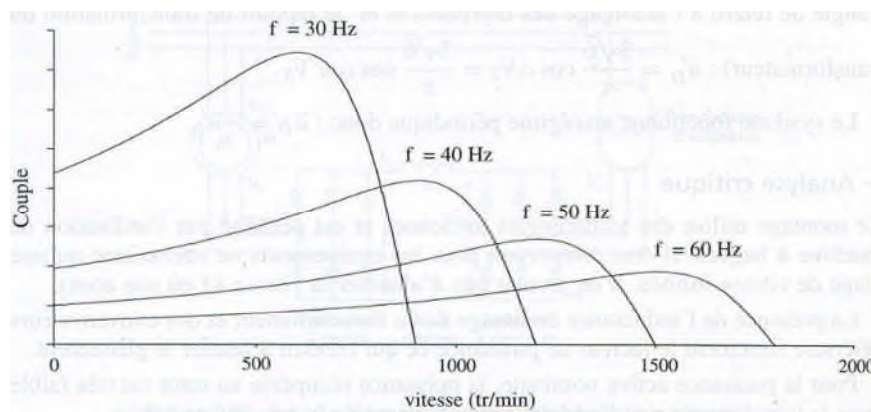


Figure IV.4 : Caractéristiques couple-vitesse lorsque la fréquence seule varier

D'après la figure couple-vitesse à fréquence variable on remarque que :

- ✓ Un risque de décrochage apparait aux fréquences élevées.
- ✓ La machine risque d'être fortement saturée aux faibles fréquences : en effet

$$\Phi_s = \frac{V_s}{4,44 K_s n_s f} \quad \text{IV.6}$$

Φ_s : Le flux statorique

V_s : La tension statorique

n_s : Le nombre des spires statorique

Donc si f diminue, le flux statorique augmente et l'intensité statorique croit très rapidement. On voit donc que cette solution seule n'est pas très satisfaisante, elle est abandonnée au profit d'une action simultanée sur V_s et f . Cependant, lorsque la machine est alimentée à sa tension nominale, il est encore possible d'augmenter sa vitesse en l'alimentant à une fréquence supérieure à celle du réseau quitte à la déclasser en couple.

Paramètres	Action sur la tension	Action sur la fréquence
Vitesse	Peut sensible	sensible
Flux	peut sensible	sensible
Pertes en énergie	importantes	faible
Rendement	mauvais	bon
Organe de commande	gradateur	onduleur
Chute de tension	importante	minimale
Glissement	proportionnel	inversement proportionnel
Cout	peu élevé	élevé

Tableau IV.1: Comparaison entre l'action sur la tension et l'action sur la fréquence

IV.4.3) La tension et la fréquence statorique sont variables [7]

Pour les vitesses inférieures à vitesse nominale on travaille à flux constant, pour cela il faut maintenir $\frac{V_s}{w}$ constant car ($\Phi_s = \frac{V_s}{4,44 K_s N_s f} \Rightarrow \Phi_s = k \frac{V_s}{f}$). Les caractéristiques se traduisent suivant l'axe des vitesses : on a accès à une large gamme de vitesse tout en conservant de faible glissement (assurance d'un rendement correct). Ce mode de fonctionnement est le plus utilisé dans l'industrie, car il fait tourner le moteur asynchrone à une vitesse réglable sans variation du couple moteur, lorsque la fréquence diminue le couple de démarrage augmente, et le couple maximum reste invariable (d'après la relation IV.5). Donc on régle f et V_s de telle sorte que le rapport $\frac{V_s}{f}$ soit constant (flux constant).

La commande à flux constant est appelée aussi commande scalaire, c'est la commande qui convient pour notre application.

Pour atteindre des vitesses supérieures à la vitesse nominale, on travaille à tension V_s constante (pour éviter le claquage des isolants) tout en augmentant la fréquence d'alimentation on retrouve le fonctionnement décrit au IV.4.2.

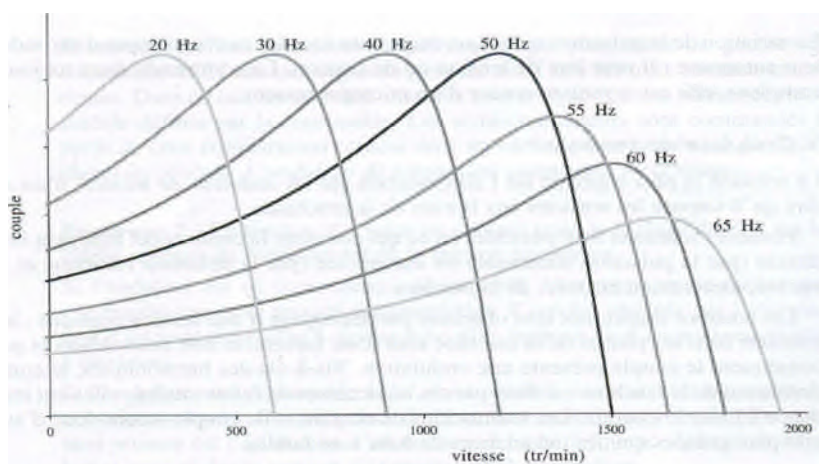


Figure IV.5 : Caractéristiques couple-vitesse lors d'une variation de la vitesse à flux constant.

IV.5) La commande v/f (scalaire) [11]

C'est la commande qui assure une régulation du module du flux. Son principe est de maintenir le rapport entre la tension et la fréquence constant, c'est le système de commande de base des variateurs de fréquence standards. La tension et la fréquence varient proportionnellement jusqu'à la fréquence nominale du moteur, lorsque la tension nominale est atteinte, la tension ne peut plus augmenter (claquage des isolants), il est toujours possible

d'augmenter la fréquence, dans ce cas la variation se fait à puissance constante, le couple diminue avec la vitesse. L'évolution de l'électronique de puissance et les cartes d'acquisition des données (DSPACE) a permis de développer de très bons dispositifs de variation de vitesse des moteurs à courant alternatif, parmi ces dispositifs on trouve l'ALTIVAR.

IV.5.1) Avantages et inconvénients de la commande scalaire :

❖ Avantages

- Facilité l'adaptation du variateur de vitesse au moteur.
- Supporte facilement les variations de charge dans toute la plage de vitesse.

❖ Inconvénients

- La plage de variation de la vitesse est limitée.
- A faible vitesse, pas de compensation par rapport au glissement et la gestion de la charge.

IV.6) Variateur de vitesse [8]

Le variateur de vitesse est un dispositif permettant de réaliser la commande d'un moteur asynchrone, leur fonctionnement est similaire à un convertisseur de fréquence indirect. Il fournit au moteur asynchrone une onde de tension à amplitude et fréquence variable tout en maintenant le rapport (v/f) constant. Ce rapport constant est réalisé par des dispositifs de l'électronique de puissance. Le principe général du variateur de vitesse est de transformer la tension alternative du réseau en une tension continue puis en tension sinusoïdale de la fréquence désirée.

Le variateur de vitesse est constitué de quatre composantes principales:

- Redresseur (diodes et/ou thyristors).
- Circuit intermédiaire (filtre).
- Onduleur.
- Un circuit de commande.

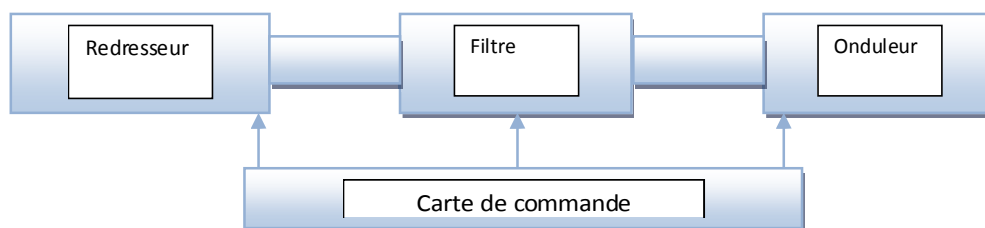


Figure IV.6 : Schéma de principe du variateur de vitesse

IV.7) Principe de fonctionnement du variateur de vitesse [13]

IV.7.1) Le pont redresseur [3]

Il transforme la tension alternative sinusoïdale une tension redressée (unidirectionnelle), peut être non commandé ou commandé ou semi commandé. En pratique, il est difficile d'obtenir une tension de sortie parfaitement continue, ce qui donne en général une tension continue comportant une ondulation.

A : Le redresseur non commandé : constitué de deux groupes de diodes (D1, D3, D5) et (D2, D4, D6) le premier groupe conduit pendant l'alternance positive et le deuxième groupe conduit pendant l'alternance négative. La valeur moyenne de la tension continue à ondulation résiduelle est égale $1,35$ * la tension de réseau.

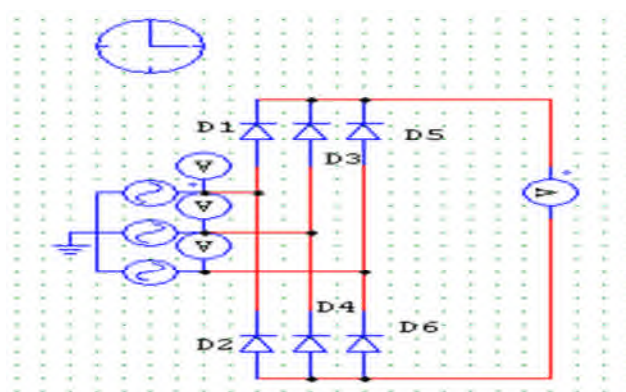


Figure IV.7 : Redresseur non commandé

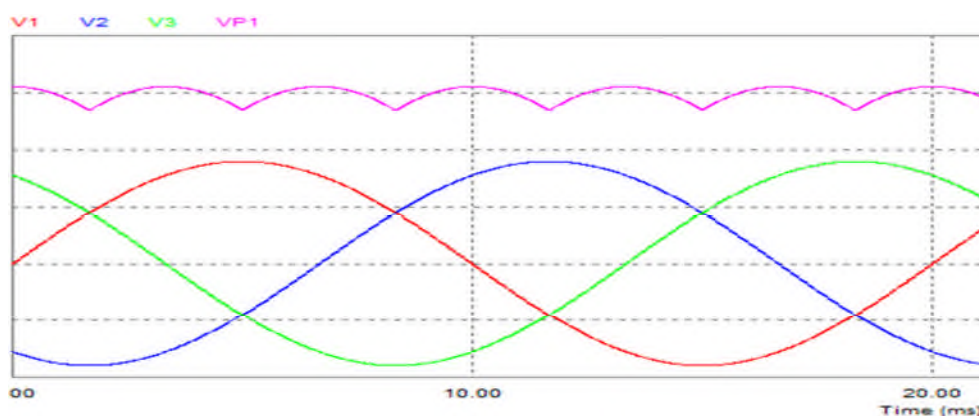


Figure IV.8 : Simulation de redresseur non commandé

B : Le redresseur commandé : C'est un redresseur à thyristors commandés par le retard à l'amorçage (α), la régulation de α permet de faire varier la valeur moyenne de la tension redressée.

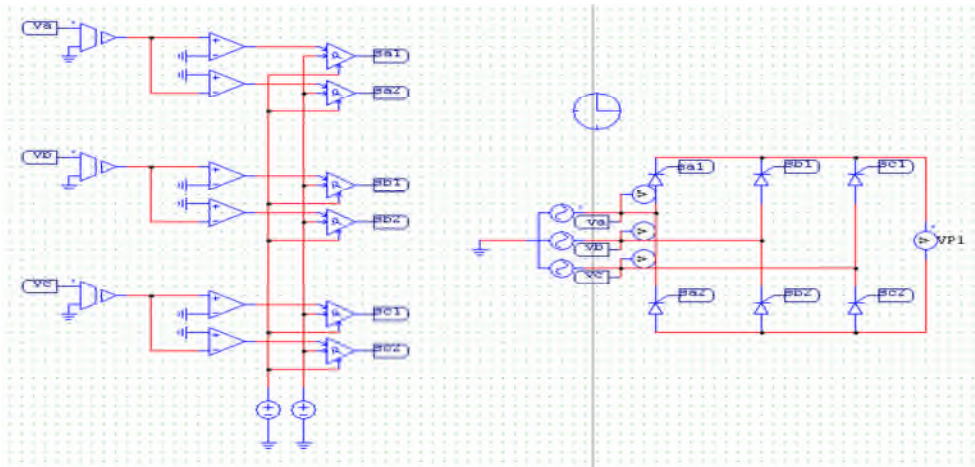


Figure IV.9 : Redresseur commandé

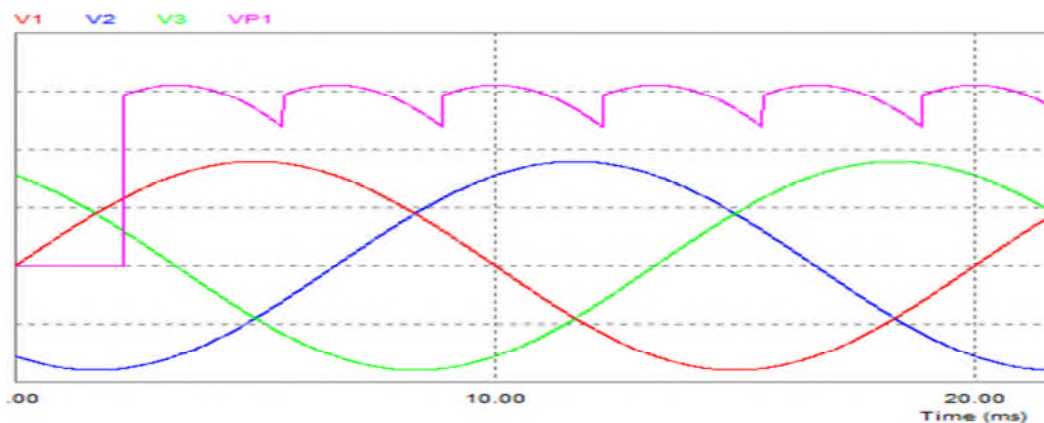


Figure IV.10 : Simulation de redresseur commandé

IV.7.2) Le circuit intermédiaire (filtre) [3]

Le circuit intermédiaire joue le rôle d'un circuit de transition entre le redresseur et l'onduleur, sa fonction est essentiellement de lisser les caractéristiques électriques à la sortie de redresseur. Pour sa conception, trois principes différents sont possibles en fonction du redresseur et de l'onduleur utilisé.

- Circuit intermédiaire à courant continu variable
- Circuit intermédiaire à tension continue variable
- Circuit intermédiaire à tension continue constante

A: Circuit intermédiaire à courant continu variable:

Il est utilisé uniquement avec le redresseur commandé, constitué d'une bobine qui transforme la tension variable en courant continu variable.

B: Circuit intermédiaire à tension continue variable:

Il est utilisé avec les deux types de redresseurs, constitué d'une bobine et un condensateur. Dans un redresseur commandé, la tension constante à une fréquence donnée, alimente l'onduleur en tension continue pure d'amplitude variable.

C: Circuit intermédiaire à tension continue constante:

C'est le même circuit décrit précédemment (B), mais avec un hacheur avant le filtre, le hacheur comprend un transistor ouvrant et fermant en alternance le passage de la tension redressée. La tension continue devient ainsi variable et peut être exprimée comme suit:

$$U_v = U \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$$

Avec :

t_{on} : temps de conduction du transistor

t_{off} : temps de fermeture du transistor

U: tension sortie du redresseur

U_v : tension variable à la sortie du filtre

IV.7.3) Onduleur [3]

L'onduleur de tension est un convertisseur statique assurant la conversion continue alternative constituée de cellules de commutation à transistors IGBT ou à thyristors GTO pour les grandes puissances, il permet d'imposer à la machine une tension à amplitude et fréquence variables à partir de la tension continue filtrée.

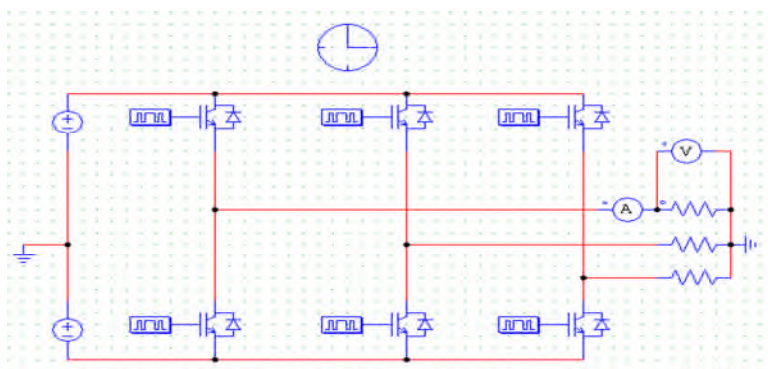


Figure IV.11 : Représentation d'un onduleur à transistors IGBT

IV.7.3.1) La commande de l'onduleur

Pour la commande de l'onduleur, il existe plusieurs commandes : commande 120° , commande 180° et la commande MLI

a) La commande 120°

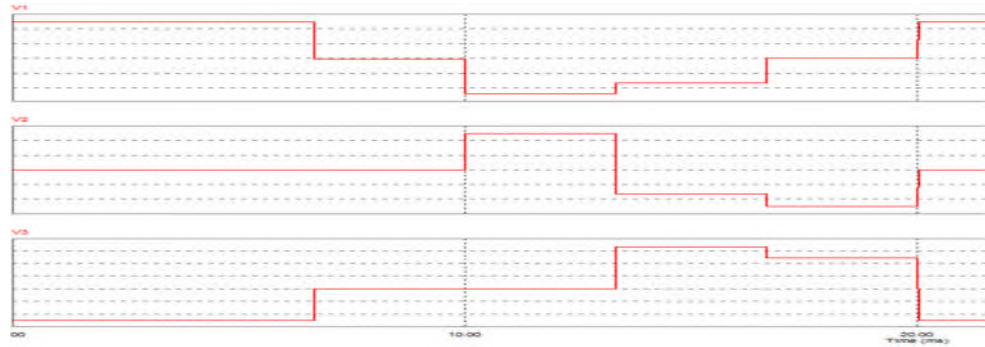


Figure IV.12 : Simulation de la commande 120°

b) La commande 180°

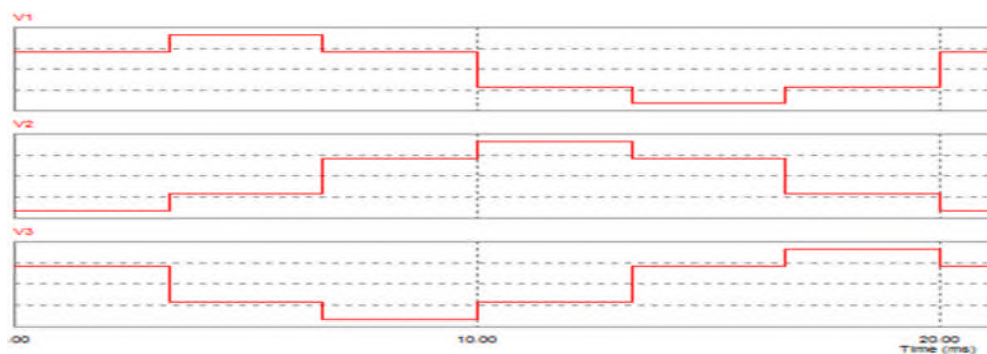
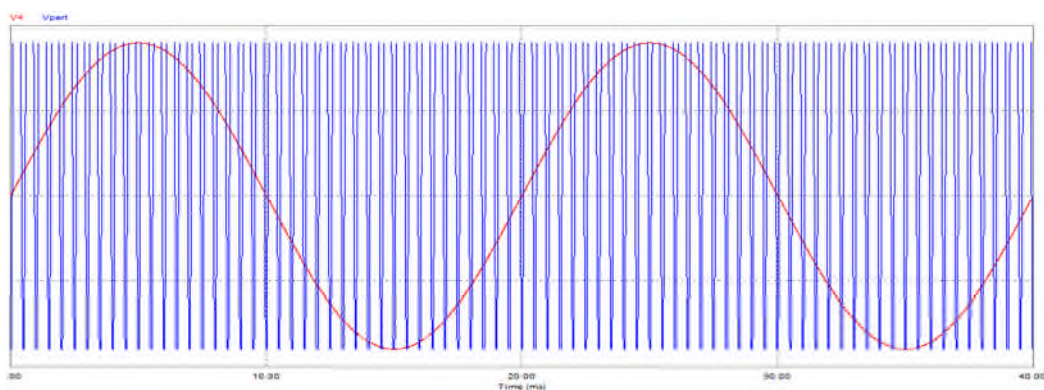


Figure IV.13 : Simulation de la commande 180°

c) La commande MLI



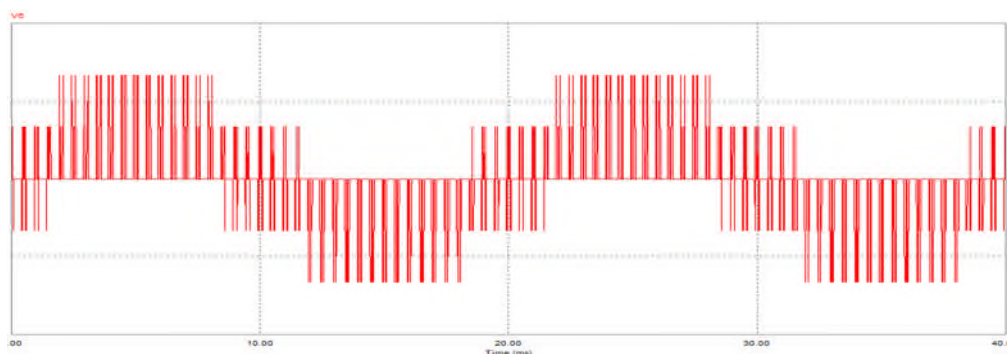


Figure IV.14 : Simulation de la commande MLI

IV.7.4) Circuit de commande

Le circuit de commande est la composante essentielle pour le fonctionnement du variateur de vitesse. Grâce au développement des cartes (DSPACE), carte de commande, ce circuit ne donne pas la commande des semi-conducteurs du variateur seulement, mais aussi les fonctions suivantes :

- Enregistrement des fonctions appliquées.
- Echange de données entre le variateur de vitesse et les périphériques.
- Pilotage du variateur à partir d'un micro-ordinateur.
- Programmation du démarrage et de l'arrêt du moteur.
- Option de réglage des paramètres du variateur en fonction du temps de démarrage du moteur.
- Exécution des fonctions protectrices pour le variateur et le moteur.

IV.8) Choix du variateur de la vitesse [13]

Les paramètres qui nous permettent de choisir un ALTIVAR31 qui convient pour le moteur asynchrone à cage sont : moteur asynchrone triphasé, réseau triphasé, la tension d'alimentation (400V), la puissance nominale du moteur (5,5 kW) et la fréquence d'alimentation ($f=50$ Hz)

Selon le catalogue Schneider Électrotechnique, le variateur qui répond à ces exigences c'est Le ATV31HU55N4. (ANNEX 6)

Tension d'alimentation triphasée : 380...500 V 50/60 Hz, avec filtres CEM intégrés

Moteur triphasé 380...500 V

Moteur Puissance indiquée sur plaque (1)	Réseau (entrée)		Icc ligne présupposé maxi	Puissance apparente	Courant d'appel maxi (3)	Variateur (sortie)		Puissance dissipée à charge nominale	Altivar 31 Référence (5)
	Courant de ligne maxi (2) en 380 V	en 500 V				Courant nominal In (1)	Courant transitoire maxi (1) (4)		
kW / HP	A	A	kA	kVA	A	A	A	W	
0,37 / 0,5	2,2	1,7	5	1,5	10	1,5	2,3	32	ATV31H037N4
0,55 / 0,75	2,8	2,2	5	1,8	10	1,9	2,9	37	ATV31H055N4
0,75 / 1	3,6	2,7	5	2,4	10	2,3	3,5	41	ATV31H075N4
1,1 / 1,5	4,9	3,7	5	3,2	10	3,0	4,5	48	ATV31HU11N4
1,5 / 2	6,4	4,8	5	4,2	10	4,1	6,2	61	ATV31HU15N4
2,2 / 3	8,9	6,7	5	5,9	10	5,5	8,3	79	ATV31HU22N4
3 / 3	10,9	8,3	5	7,1	10	7,1	10,7	125	ATV31HU30N4
4 / 5	13,9	10,6	5	9,2	10	9,5	14,3	150	ATV31HU40N4
5,5 / 7,5	21,9	16,5	22	15,0	30	14,3	21,5	232	ATV31HU55N4
7,5 / 10	27,7	21,0	22	18,0	30	17,0	25,5	269	ATV31HU75N4
11 / 15	37,2	28,4	22	25,0	97	27,7	41,6	397	ATV31HD11N4
15 / 20	48,2	36,8	22	32,0	97	33,0	49,5	492	ATV31HD15N4

Tableau IV.2 : Différents types d'ALTIVAR
--

IV.9) Étude du variateur choisi [15]**IV.9.1) Généralités sur ALTIVAR31HU55N4**

Le variateur ATV31HU55N4 est un convertisseur de fréquence pour moteur asynchrone triphasé à cage, ce variateur est proposé pour la puissance moteur de 5,5 kW. Il est robuste, peu encombrant, facile à mettre en œuvre. Il est conforme aux normes CEI, ses domaines d'utilisation sont:

- Manutention (petits convoyeurs, palans...).
- Machines d'emballage.
- Machines spécialisées (mélangeur, malaxeur, machine textile...).
- Pompe, compresseur, ventilateur.

IV.9.2) Les principales fonctions de l'ALTIVAR31

Le variateur ATV31HU55N4 dispose de six entrées logiques, de trois entrées analogiques, d'une sortie logique/analogique et de deux sorties à relais.

Les principales fonctions intégrées sont les suivantes:

- Protections moteur et variateur.
- Rampes d'accélération et de décélération, linéaires, en S, en U et personnalisées.
- Plus vite/moins vite.
- 16 vitesses présélectionnées.
- Consignes et régulateur PI.

- Commande 2 fils/3 fils.
- Logique de frein.
- Rattrapage automatique avec recherche de vitesse et redémarrage automatique.
- Configuration des défauts et des types d'arrêts.
- Sauvegarde de la configuration dans le variateur.

IV.9.3) Le schéma d'un variateur de la vitesse ALTIVAR31

Les figures ci-dessous montrent la vue de face et les différents boutons de l'interface d'ALTIVAR31



Figure IV.15: Vue de face de l'ALTEVAR 31

L'ALTIVAR31 possède les composantes suivantes :

- 1** L'affichage est fait sous forme de codes ou de valeurs par l'intermédiaire de 4 afficheurs "7 segments".
- 2** Touches de défilement dans les menus ou de modification des valeurs.
- 3** "ENT" : Touche de validation pour entrer dans un menu ou valider la nouvelle valeur choisie.
- 4** "ESC" : Touche de sortie des menus (pas d'action de validation).
- 5** Deux DEL de diagnostic pour le bus CAN open.
- 6** Potentiomètre de consigne vitesse.
- 7** "RUN" : Commande locale de marche du moteur.
- 8** "STOP/RESET" : Commande locale d'arrêt du moteur ainsi que la remise à zéro des défauts.

IV.9.4) Le schéma de branchement ALTIVAR31

Le variateur de vitesse est branché en amont de système de protection et on aval du moteur,

Figure IV.15

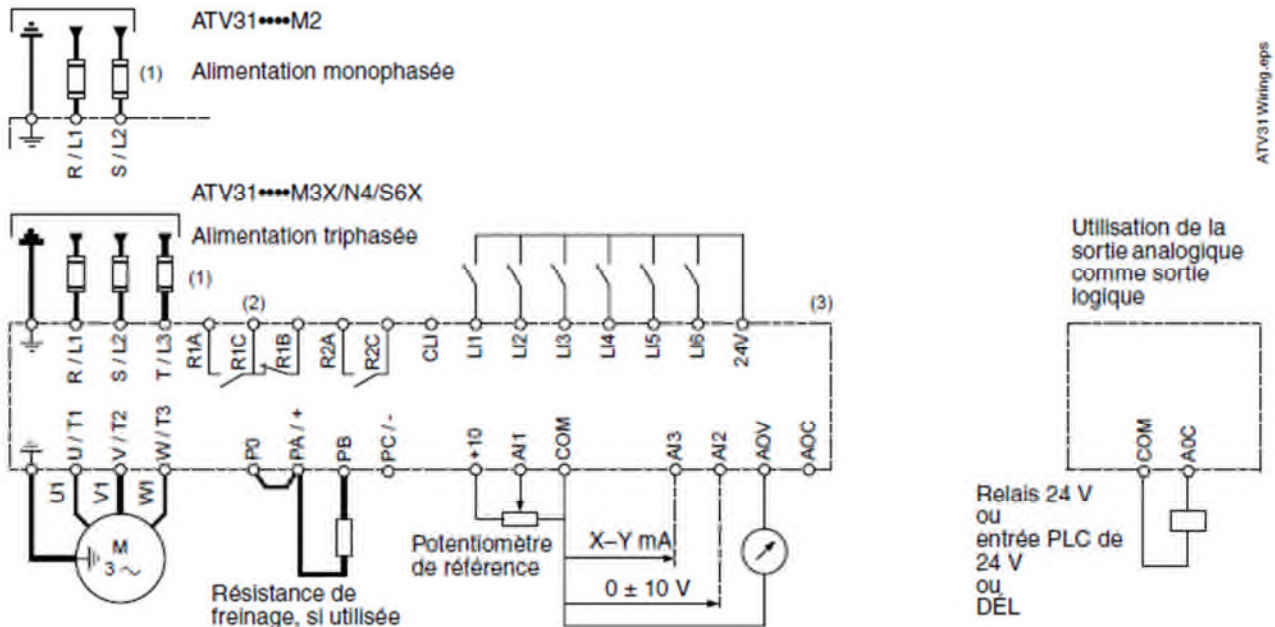


Figure IV.16: Les composants principaux du variateur de fréquence

- (1) Se reporter à la plaque signalétique du variateur de vitesse pour connaître les fusibles recommandés. Des fusibles à action rapide ou à retard de classe J peuvent être utilisés.
- (2) Contacts du relais de défaut pour signaler à distance l'état du variateur de vitesse.
- (3) Interne +24 V. En cas d'utilisation d'une source externe (30 V, max.), relier le 0 V de la source à la borne COM, et ne pas utiliser la borne +24 V du variateur.

IV.9.5) Constitution de variateur ALTIVAR31

ALTIVAR31 est constitué de deux parties, l'une de puissance et l'autre de commande ;

- La partie de puissance se compose de redresseur et un circuit intermédiaire et un onduleur (cité déjà auparavant).
- La partie de commande.

Les parties de commande actuelle se composent de microprocesseur qui permet une augmentation importante de la vitesse de fonctionnement, l'incorporation de nombreuses fonctionnalités utilisées pour les applications ainsi qu'une optimisation de l'alimentation du moteur pour chaque état de son fonctionnement.

IV.9.6) Choix du type de loi de commande

Le tableau (IV.3) ci-dessous résume la différence entre les trois types de contrôle et indique les applications les plus courantes accessibles par chaque type de contrôle.

Loi de commande	Gammes de vitesse	Précision de vitesse	Couple à l'arrêt	Application
Convertisseur de fréquence	1 à 10 1 à 20	$\pm 1 \%$	Non	-Ventilateur -Compresseur-convoyeur -Transporteur à bande
Contrôle vectoriel de flux sans capteur	1 à 100	$\pm 1 \%$	Non	-Pompe doseuse /levage / manutention -Machine d'emballage et de conditionnement
Contrôle vectoriel de flux avec capteur	1 à 100	$\pm 0,01 \%$	Oui	-Levage lourd -aménagement de presse

Tableau IV.3 : Lois de commande

L'ALTIVAR31 contient trois types de commande, et qui sont programmables à partir de la console de contrôle et elles sont schématisées dans la figure IV.17 :

Le choix de type de commande permet l'adaptation de la loi tension/fréquence à l'application de façon à optimiser les performances, pour les applications suivantes :

- ✚ Application à couple constant (machines moyennement chargées à basse vitesse) avec moteurs en parallèle ou moteurs spéciaux : loi L
- ✚ Application à couple variable (pompes, ventilateurs) : loi P
- ✚ Machines fortement chargées à basse vitesse, machines à cycles rapides, avec contrôle vectoriel de flux (sans capteur) : loi n

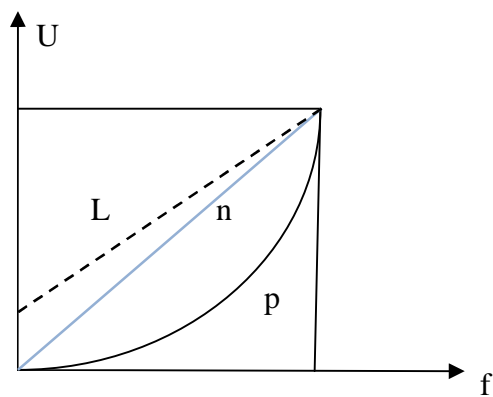


Figure IV.17 : Type de loi de commande

Les caractéristiques des bornes de contrôle et de puissance sont citées dans le tableau suivant :

Borne	Fonction
Masse	Borne de mise à la terre
R/L1, S/L2, T/L3	Alimentation
PO	Bus courant continu, polarité +
PA/+	Sortie vers résistance de freinage (polarité +)
PB	Sortie vers résistance de freinage
PC/-	Bus courant continu, polarité -
U/T1 V/T2 W/T3	Sorties vers le moteur
R1A R1B R1C	R1A est un contact N.O. R1B est un contact N.F. R1C est le commun. R1 est un relais programmable, réglé à l'usine comme relais de défaut. En tant que relais de défaut, R1A est fermé et R1B est ouvert quand le variateur est alimenté sans défaut.
R2A R2C	Contact N.O. du relais programmable R2

COM	Commun E/S analogique
AI1	Entrée analogique de tension
10 V	Alimentation pour potentiomètre de consigne 1 à 10 k Ω
AI2	Entrée analogique de tension
AI3	Entrée analogique de courant
COM	Commun E/S analogique
24 V	Alimentation des entrées logiques
LI1, LI2, LI3, LI4, LI5, LI6	Entrées logiques

Tableau IV.4 : Spécification de toutes les bornes de puissance et de contrôle

IV.9.7) Encombrement

Encombrements et masses: les dimensions d'encombrement sont illustrées sur la figure (IV.18) et dans le tableau (IV.5).

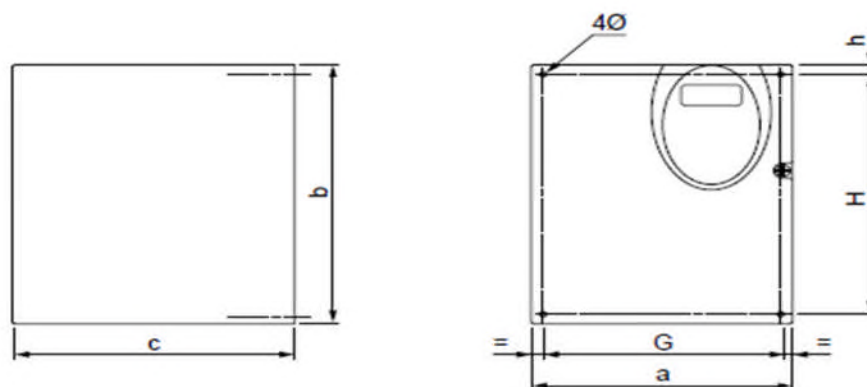


Figure IV.18: Dimensions réelles de l'Altivar

ATV31..... ^[1]	Taille de châssis	a mm (po)	b mm (po)	c ^[2] mm (po)	G ^[3] mm (po)	h mm (po)	H ^[3] mm (po)	Ø mm (po)	Poids kg (lb)
HU22M2, HU30M3X, HU40M3X, HU22N4, HU30N4, HU40N4, HU22S6X, HU40S6X	7	140 (5,51)	184 (7,24)	150 (5,91)	126 (4,96)	6,5 (0,26)	157 (6,18)	4 x 5 (0,20)	2,35 (5,19)
HU55M3X, HU75M3X, HU55N4, HU75N4, HU55S6X, HU75S6X	8	180 (7,09)	232 (9,13)	170 (6,69)	160 (6,30)	5 (0,20)	210 (8,27)	4 x 5 (0,20)	4,70 (10,39)
HD11M3X, HD15M3X, HD11N4, HD15N4, HD11S6X, HD15S6X	9	245 (9,65)	330 (13,0)	190 (7,48)	225 (8,86)	7 (1,93)	295 (11,61)	4 x 6 (0,24)	9,0 (19,89)

Tableau IV.5 : Dimension de l'ALTIVAR

Remarque

On voit clairement que l'utilisation de l'ALTIVAR réduit considérablement l'encombrement de l'installation comparé à l'ancien système de commande de vitesse. Cela est bien représenté sur la figure suivante (IV.19).

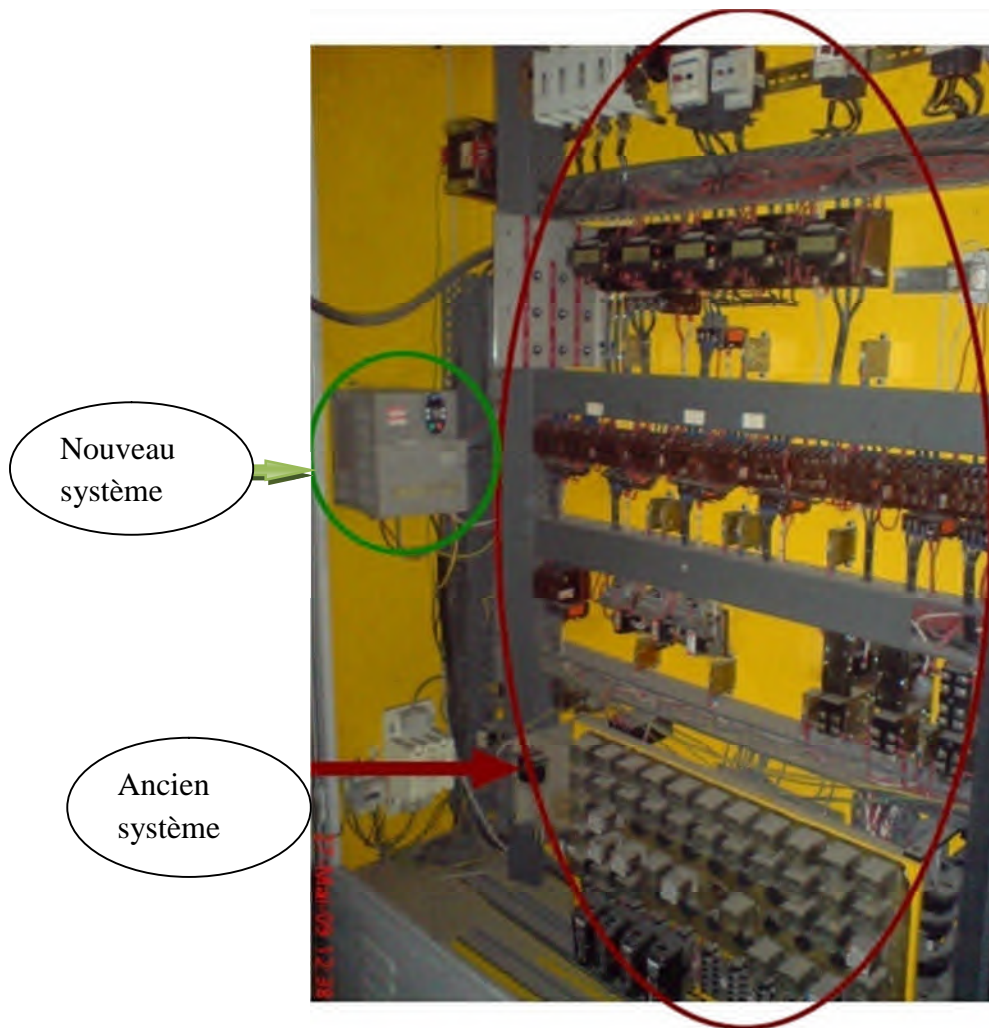


Figure IV.19 : Visualisation d'encombrement de l'ancien système et de nouveau système

IV.9.8) Principales protections et sécurités du variateur

L'ALTIVAR31 est équipé de plusieurs dispositifs qui assurent sa protection et même celle du moteur asynchrone. Ces protections sont les suivantes :

- Protection thermique contre les échauffements excessifs (par sonde CTP fixée sur le radiateur).
- Protection contre les courts-circuits entre les phases du moteur.
- Protection contre les coupures de phases d'entrée.
- Protection contre les coupures de phases du moteur.
- Protection contre les surintensités entre les phases de sortie et la terre.
- Sécurités de surtension et de sous-tension du réseau.
- Sécurité d'absence de phase réseau, en triphasé.
- Mise à la terre.

Les principaux éléments de protection sont ;

- ▶ Sectionneur porte fusible
- ▶ Contacteur
- ▶ Relais
- ▶ Fusible

IV.10) Conclusion

Parmi les convertisseurs de fréquences utilisés pour la variation de la vitesse des moteurs asynchrones, on a choisi le variateur ALTIVAR31, car est une technologie de référence pour l'application industrielle de faible, moyenne et grande puissance et moins encombrant, très précis, et ce qui répond aux notre exigence.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le travail réalisé dans le cadre ce mémoire, consiste à proposer une solution à un problème réel posé dans le système de collage et pliage du carton, au sein de l'entreprise industrielle **GE** "Générale Emballage ". Ce projet de fin d'études nous a permis de bien comprendre la méthode de substitution du moteur d'entraînement; ce qui nous a amené à traduire les connaissances théoriques à une étude réalisable.

Nous avons commencé par déterminer l'exigence de la charge, voire les grandeurs tant relevées sur le site que calculées quand elles ne sont pas disponibles. Cela est présenté dans le chapitre II.

Une fois les inconvénients de l'ancien système mise en évidence, et donc les exigences à remplir par le nouveau moyen d'entraînement déterminées, nous avons dimensionné le moteur qui répond largement aux différents contraintes, et aussi vérifie les deux conditions (suivant le couple et la puissance). Nous avons opté pour le moteur asynchrone à cage de type LS132M.

Une fois le choix du moteur arrêté, les deux choses les plus importantes est d'offrir un entraînement à vitesse variable pour la plieuse-colleuse, et aussi la protection du moteur. Pour cela, et à partir de la plaque signalétique du moteur, nous avons proposé une solution moderne d'entraînement à vitesse variable, plus performante et économique pour la variation de vitesse du moteur asynchrone à cage. Il s'agit d'un convertisseur de fréquence de type **ALTIVAR31HU55N4**.

En perspective, nous souhaitons que l'entreprise Générale Emballage installe le moteur et le variateur proposés, pour en finir avec les inconvénients de l'ancien système et l'optimiser la production. Nous souhaitons aussi de donner un prolongement à ce travail par l'automatisation et élaboration de la documentation technique de la machine plieuse-couleuse.

Références bibliographiques

[1] : **M.KOSTENKO et L.PIOTROVSKI**

Machines électriques. Edition MIR.MOSCOU 1979

[2] : **P. MAYE**

Aide mémoire électrotechnique. Edition DUNOD, Paris 2006

[3] : **P. LE BRUN**

Cours variation de vitesse des machines asynchrones. Lycée Louis ARMAND, Janvier 2000

[4] : **D. SATOR-NAM**

Machines à courant alternatif : Machine asynchrone et synchrone, convertisseurs électromécaniques.

[5] : **LEROY SOMER**

Brochure technique : Moteurs asynchrones triphasés fermés, extraction du fumé.2001

[6] : **LEROY SOMER**

Catalogue : Moteurs asynchrones triphasés fermés 0,4 à 400 kW

[7] : **D. Bareille et J.P. Daunis**

Electrotechnique : Transformateur et machines tournantes. Édition DUNOD, Paris 2006

[8] : **GIMELEC**

La vitesse variable. Éditions TECHNO-NATHAN, Paris 1992.

[9] : **P. YVON**

Variation de vitesse. Éditions DUNOD 1991

[10] : **M. PINARD**

Convertisseurs et électronique de puissance. DUNOD, Paris 2007

[11] : **F. NOTELET ET G. SEGUIER**

Electrotechnique Industrielle. Lavoisier 2^{em} édition 1982

[12] Motorisation d'un transporteur à rouleaux d'une grenailleuse (Unité Grue de Bejaia)

Présenté par : YAHIOUI LEILA. Promotion 2009/2010

[13] : www.schneider-electric.ca

[14] : **T. WILDI ET G. SYBILLE**

Electrotechnique. 4^e Edition, 2005

[15] : **J. L FRANCHON**

Guide des sciences et technologies industrielles, Edition NATHAN, Paris 2001

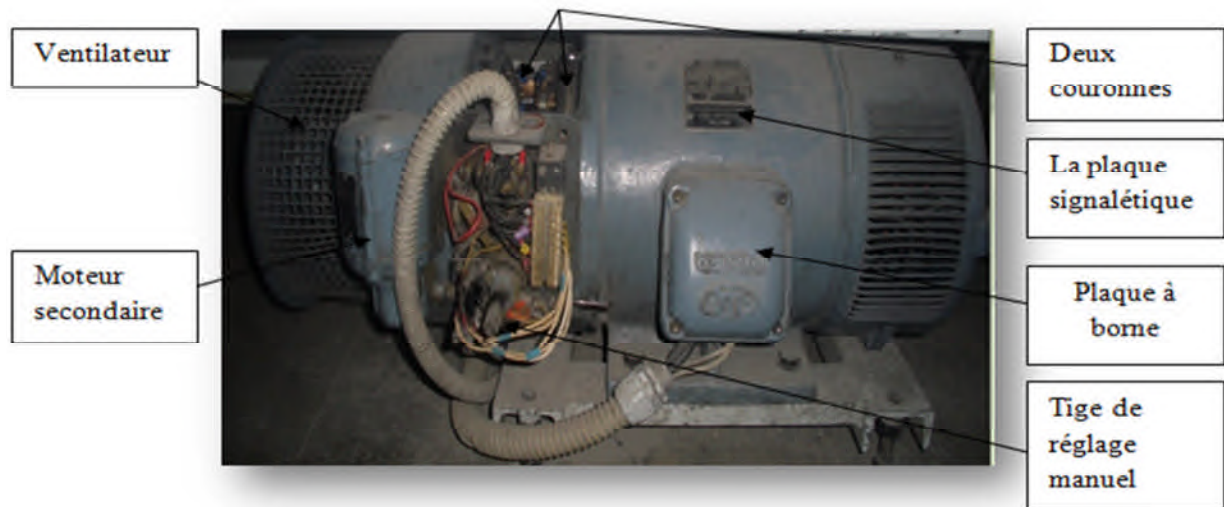
[16] : **J. L FRANCHON**

Génie mécanique. SEJER/Edition NATHAN, Paris 2004

[17] : **F. ESNAULT**

Construction mécanique -Transmission de puissance tome 3. 3^e édition DUNOD

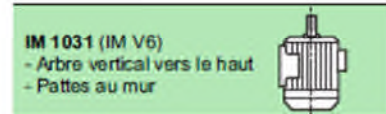
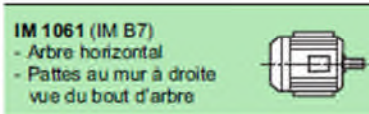
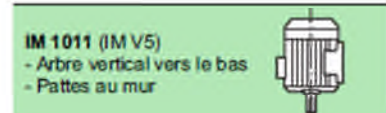
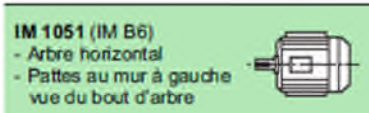
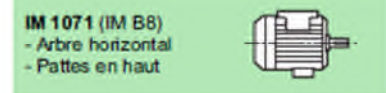
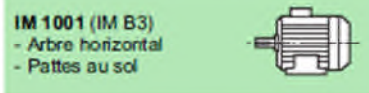
Annexe



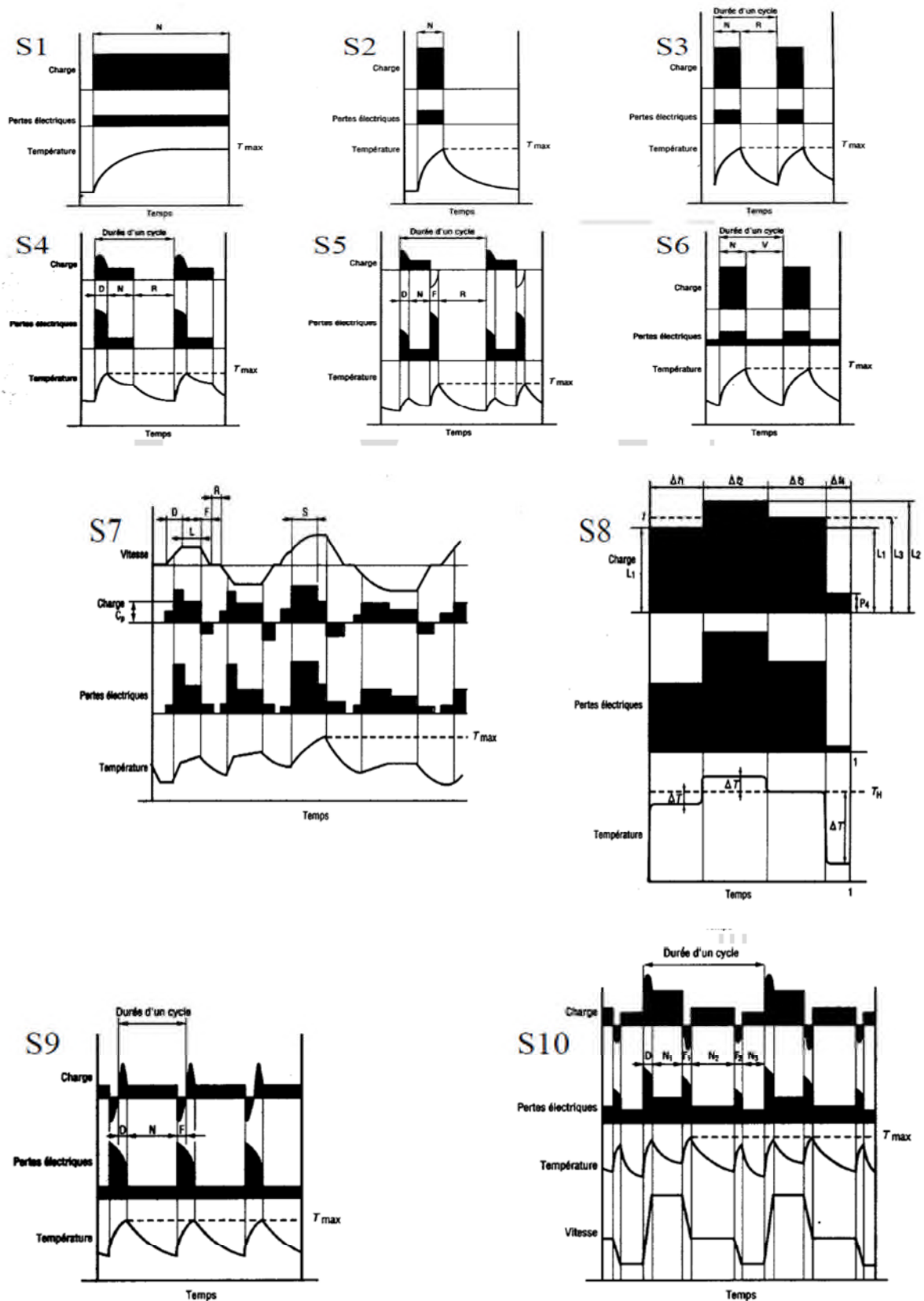
ANNEXE 1 : Moteur Schrage-Richter

Moteurs à pattes de fixation

• toutes hauteurs d'axes



ANNEXE 2 : Mode de fixation des moteurs



ANNEXE 3 : Les différents services type selon CEI 34-1

6
Pôles
1000 min⁻¹

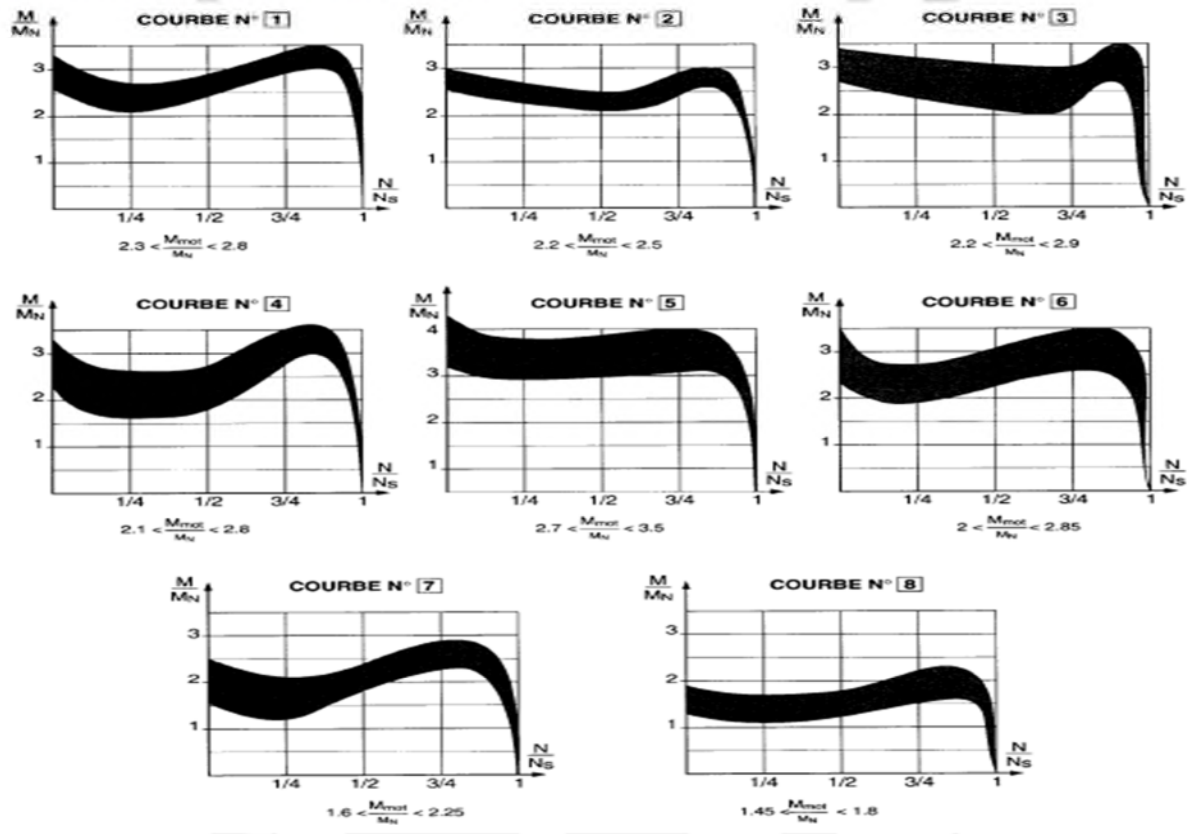
IP 55 - S1
Cl. F - ΔT 80 K
MULTI-TENSION

RESEAU Δ 230 / Y 400 V OU Δ 400 V

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min ⁻¹	Couple nominal C_N Nm	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	* Rendement η %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Couple démarrage / Couple nominal M_D / M_N	Couple maximal / Couple nominal M_M / M_N	Puissance apparente nominale kVA_N	** Courbe de couple N°	Moment d'inertie J kg.m ²	Masse IM B3 kg
LS 63 E	0.09	905	0.9	0.45	0.66	48	2.6	2.3	2.5	0.31	3	0.0006	5.5
LS 71 L	0.12	915	1.3	0.55	0.7	50	2.8	1.65	2.1	0.38	3	0.000675	6.5
LS 71 L	0.18	940	1.8	0.92	0.54	56	3.2	2.3	2.7	0.64	3	0.0011	7.6
LS 71 L	0.25	915	2.6	1.16	0.6	55	2.8	2.2	2.3	0.80	3	0.001275	7.9
LS 80 L	0.25	955	2.5	0.85	0.67	63	3.9	1.6	1.8	0.6	8	0.0024	8.4
LS 80 L	0.37	950	3.7	1.1	0.72	66	4.3	1.7	2.1	0.8	8	0.0032	9.7
LS 80 L	0.55	950	5.5	1.9	0.64	68	4.9	2	2.5	1.3	7	0.0042	11
LS 90 S	0.75	930	7.7	2.1	0.77	68	4.2	2.5	2.7	1.5	7	0.0039	13.5
LS 90 L	1.1	915	11.5	3	0.75	70	4.7	2.4	2.6	2.1	6	0.0048	15.2
LS 100 L	1.5	905	15.8	4.2	0.74	69	4.5	2.6	2.8	2.9	6	0.0058	20
LS 112 M	2.2	905	23.2	5.8	0.76	72	5.6	2.8	2.6	4	6	0.0087	24.2
LS 132 S	3	945	30.3	7.1	0.78	78	5.8	2.4	2.4	4.9	7	0.0177	38.3
LS 132 M	4	965	39.6	9.4	0.75	82	6.7	2.6	2.6	6.5	7	0.0517	53.3
LS 132 M	5.5	970	54.2	12.9	0.75	82	6.9	3.1	3	8.9	6	0.0595	59.4
LS 160 M	7.5	967	74.1	16.1	0.79	85.2	4.7	1.5	2.1	11.1	7	0.084	81
LS 160 L	11	967	108.7	23.3	0.79	86.3	4.6	1.6	2.1	16.1	7	0.126	105
LS 180 L	15	972	147.4	30.1	0.81	88.7	6.8	2.3	2.8	20.9	7	0.191	135
LS 200 LT	18.5	970	182.2	37.0	0.81	89.0	6.4	2.4	2.8	25.7	7	0.237	160
LS 200 L	22	972	216.2	43.6	0.81	89.9	6.0	2.0	2.7	30.2	7	0.287	190
LS 225 MR	30	968	296	59.5	0.81	89.9	6.0	2.2	2.5	41.2	7	0.38	235

ANNEXE 4 : caractéristiques électriques des moteurs 6 pôles

16. Courbes caractéristiques des moteurs



ANNEXE 5 : Courbes caractéristiques des moteurs

Résumer

Notre projet fin d'étude, est fait au sein de l'entreprise Générale Emballage, consiste à remplacer un système d'entraînement et de variation de vitesse mécanique de la machine plieuse-colleuse du carton par un autre système d'entraînement et de variation de vitesse électrique. Pour ce là on commence par l'étude de système actuelle, en suite on détermine le couple, la vitesse et la puissance au bout de l'arbre du moteur, à partir de ces paramètres on a sélectionné le moteur d'entraînement adéquat avec la vérification du choix du moteur on termine par le choix et le dimensionnement du variateur de la vitesse électrique et en fin on a assuré la protection du moteur et variateur de vitesse.