

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOULOD MAMMERI DE TIZI OUZOU  
FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE  
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE



## *Mémoire de fin d'études*

**En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique  
En Entraînements Electriques**

### *Thème*

Contribution par le calcul des cycles et  
paramètres au fonctionnement d'un ascenseur

***Proposé et dirigé par :***

**M<sup>r</sup> : R. CHAIBI**

***Réalisé par :***

**M<sup>r</sup> : BENREJDAL Sofiane**

**M<sup>r</sup> : BOUCEBCI Samir**

***Promotion 2012***

# Remerciements

# Remerciements

*Nous remercions tout d'abord le bon dieu de nous avoir  
donné la force, la volonté et le courage pour  
l'élaboration de ce modeste travail.*

*Nous remercions notre promoteur Mr R. CHAIBI pour  
avoir bien voulu nous encadrer et pour ses précieux  
conseils et orientations.*

*Nos remerciements vont également à tous nos  
enseignants, particulièrement les enseignants de la  
spécialité **Entraînements Electriques**, ainsi que tous les  
responsables et le personnel de la faculté de Génie  
Electrique et d'Informatique.*

*Nous adressons nos plus vifs remerciements à tous  
ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation  
de ce modeste travail.*



# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes très chers parents que dieu les protège s*

*A mes frères Karim et Toufik*

*A mes sœurs Djedjiga, Rabiha*

*A toute ma grande famille*

*A tous mes amis*

*Samir*



*Je dédie ce modeste travail*

*A mes très chers parents*

*A mon frère Yacine*

*A mes sœurs Linda et Meriem*

*A la mémoire de mon grand père*

*A la mémoire de ma grande mère*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis*

*Sofiane*



# Sommaire

# Sommaire

	Pages
Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I. Généralités sur les entraînements électriques et les ascenseurs</b>	
I. Généralités sur les entraînements électriques .....	3
I.1. Structure d'un entraînement électrique .....	3
I.2. Moteurs des entraînements électriques.....	4
II. Généralités sur les ascenseurs .....	5
II.1. Historique .....	5
II.2. Types d'ascenseurs .....	7
II.2.1. Les ascenseurs hydrauliques .....	7
II.2.2. Les ascenseurs à traction à câbles .....	9
II.3. Différentes parties d'un ascenseur à traction .....	10
III. Les critères de choix du type d'ascenseur.....	21
IV. Systèmes de motorisation.....	21
IV.1. Moteurs-treuil ou moteurs à traction.....	22
IV.1.1. Les moteurs-treuil à vis sans fin à une ou deux vitesses .....	22
IV.1.2. Les moteurs-treuil planétaires.....	23
IV.1.3. Les moteurs à attaque directe ("Gearless" ou sans treuil) .....	25
IV.1.4. Les motopompes hydrauliques.....	26
V. Critères de choix de la motorisation .....	26
V.1. Rendement global de la motorisation .....	26
V.2. Performances énergétiques .....	27
V.3. Encombrement .....	28
V.4. Critères secondaires .....	28

## **Chapitre II. Choix du moteur d'entraînement**

I. Diagramme de fonctionnement d'un ascenseur .....	30
II. Calcul et dimensionnement des différentes parties mécaniques .....	31
II.1. Calcul des câbles de levage .....	31
II.2. Dimensionnement de la poulie d'entraînement.....	32
III. Choix du moteur et de sa puissance .....	32
III.1. Type de moteur .....	32
III.2. Détermination de la puissance du moteur de l'ascenseur. ....	33
IV. Calcul des performances de l'ascenseur .....	36
V. Calcul du diagramme de charge.....	37
VI. Schéma d'amorçage du moteur .....	42
VII. Caractéristiques mécaniques .....	43
VII.1. Caractéristique mécanique pour la grande vitesse .....	43
VII.2. Caractéristique mécanique pour la vitesse réduite .....	44

## **Chapitre III. Etude des propriétés dynamiques de l'entraînement d'ascenseur**

I. Calcul du schéma cinématique de la partie mécanique de l'entraînement électrique.	47
II. Schéma mécanique de calcul à trois masses .....	49
III. Calcul dynamique de la partie mécanique de l'entraînement électrique .....	50

## **Chapitre IV. Simulation et interprétation des résultats**

I. Diagramme fonctionnel de la partie mécanique de l'entraînement électrique sous logiciel Matlab/Simulink. ....	59
II. Résultats .....	60
II.1. Analyse des courbes de vitesses.....	60
II.2. Diagramme de Bode .....	62
Conclusion générale.....	64

# Introduction Générale

## **Introduction générale**

La tendance de la civilisation moderne s'oriente vers l'équipement de l'habitat par chauffage, distribution d'eau chaude, conditionnement d'air et ascenseur.

L'ascenseur est devenu de nos jours l'un des équipements les plus indispensables à la vie moderne.

Le développement des connaissances, et des outils mathématiques, ont conduit à un formidable essor des systèmes automatisés, et des systèmes asservis, dans la deuxième moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. Certains se hasardent à rapprocher *l'Automatique* et la *philosophie*, observant d'étranges similitudes entre les processus propres à l'homme et l'approche technologique. [1]

Avec l'avènement de la technologie, les entraînements électriques connaissent un essor à la fois quantitatif et qualitatif, l'ascenseur étant l'un des plus complexes de ces derniers a subi à son tour cet essor où la sécurité et le confort des passagers est primordiale lors de la réalisation.

La simulation à nos jours est devenue un passage obligatoire pour la conception, la commande... d'un processus. Durant les années 1970, la simulation a connu un essor important et elle s'est propagée à plusieurs domaines tel que la mécanique, l'hydraulique, l'électromécanique... et a vu l'apparition de plusieurs méthodes de simulation à savoir les méthodes de fréquences, schéma-bloc, fonction de transfert...[2]

L'objectif de notre étude est de déterminer les paramètres mécaniques, électriques et le comportement du système lors de son fonctionnement dans des différents cycles ainsi que son étude dynamique afin de mieux l'adapter au différents besoins d'utilisation.

Pour ce faire, ce travail est réparti en quatre chapitres :

Le premier chapitre porte sur quelques généralités relatives aux entraînements électriques ainsi que sur différentes définitions, classifications, types et constitution des ascenseurs et leurs domaines d'utilisation.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des contraintes mécaniques de la charge, qui conduit à la détermination de la puissance du moteur d'entraînement ainsi que les temps de fonctionnement pour les différents régimes (démarrage, régime permanent et freinage), permettant l'élaboration du diagramme de charge du schéma d'amorçage et des caractéristiques mécaniques du moteur pour ces deux vitesses.

Le troisième chapitre est dédié à l'étude dynamique du système à deux masses (moteur et charge mécanique) à partir du schéma cinématique du système à trois masses simplifié à deux puis à une masse on ramenant l'ensemble des paramètres de la partie mécanique à l'arbre du moteur.

Le quatrième est dernier chapitre est consacré aux interprétations des résultats de la simulation du comportement du système, pendant le régime transitoire.

Chapitre I  
généralités sur  
les entraînements électriques et les ascenseurs

Les entraînements à vitesse variable, qui permettent d'optimiser les processus industriels tout en réduisant l'énergie et la matière consommées, connaissent un essor constant. Cet essor est à la fois quantitatif, par le nombre et la puissance unitaire des équipements, et qualitatif, par la précision, la souplesse et la fiabilité de ces équipements.

L'évolution dans le domaine des entraînements électriques à vitesse variable est particulièrement rapide. Elle est rendue possible par les progrès en matière de composants semi-conducteurs et par la généralisation des emplois de l'informatique industrielle. [3]

## I. Généralités sur les entraînements électriques

### I.1. Structure d'un entraînement électrique

Un entraînement électrique, comme montré dans la **figure I-1** peut être défini en termes de ses capacités pour convertir efficacement l'énergie électrique en énergie mécanique (ou l'énergie mécanique en énergie électrique). Le but principal des entraînements électriques est de commander une charge ou un processus mécanique.

Les entraînements électriques modernes utilisent les dispositifs électroniques pour commander ce processus de conversion d'énergie.

L'écoulement de puissance peut dans certains cas être renversé, dans ce cas la commande est souvent bidirectionnelle configurée pour permettre également cet écoulement de la charge mécanique à la source d'énergie. Les commandes électriques modernes utilisent des appareils électroniques pour commander ce processus de conversion de puissance, un dispositif qui est accentué dans **figure I.1** par la présence du modulateur et du boîtier de commande. Noter que dans certains cas le modulateur est simplement enlevé, les appareils électroniques de puissance et le convertisseur sont commandés directement par l'intermédiaire du contrôleur. [4]

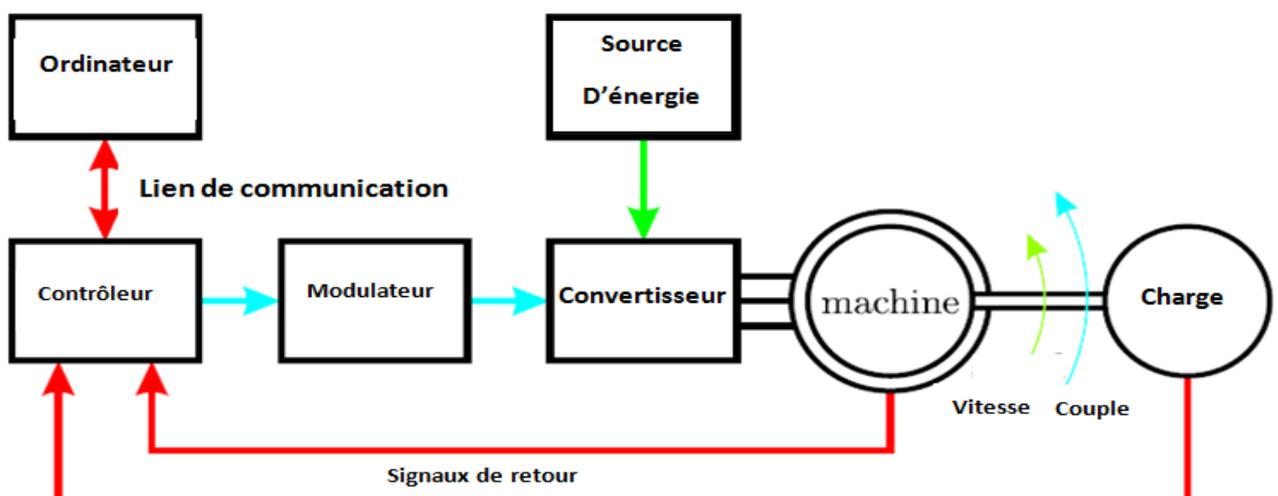


Figure I- 1: Schéma d'un entraînement électrique.

## I.2. Moteurs des entraînements électriques

Les entraînements électriques utilisent des moteurs à courant continu et à champs tournant. Il existe plusieurs critères de classification des moteurs. Selon la nature de la source d'alimentation, on distingue :

- ❖ Entraînements par moteur à courant continu.
- ❖ Entraînements par moteur à courant alternatif.

Dans les entraînements des ascenseurs on retrouve beaucoup plus les entraînements par moteur à courant alternatif, et parmi ces moteurs utilisées on a :

### **a- Moteur asynchrone à cage**

Le moteur asynchrone triphasé à cage est le plus connu. Il s'est imposé grâce à sa robustesse, sa simplicité de construction et sa facilité d'entretien. Il est destiné en premier lieu aux entraînements à vitesse unique. Ces moteurs possèdent une inductance de fuite relativement élevée pour la limitation du courant d'appel à l'enclenchement.

### **b- Moteur asynchrone à bagues**

Dans ce cas la variation de la vitesse est obtenue soit par une cascade hypo-synchrone dans le circuit rotorique, soit par un gradateur triphasé dans l'alimentation du moteur. Pour le montage avec cascade hypo-synchrone, l'onduleur oppose une contre-tension qui impose une vitesse de rotation telle que la tension induite dans le rotor qui s'équilibre avec cette dernière. La variation de la vitesse s'obtient en faisant varier la contre-tension et donc l'angle de conduction des thyristors de l'onduleur. La puissance de glissement est récupérée et restituée au réseau par la cascade.

### **c- Moteur synchrone triphasé à aimants permanents**

Ces moteurs sont conçus spécialement pour être alimentés par des convertisseurs indirects et sont dimensionnés en conséquence. De point de vue construction, on distingue les moteurs à rotor inférieur présentent le même aspect que les moteurs triphasés à cage. L'enroulement d'excitation usuel sur les machines synchrones est remplacé par des aimants permanents. L'absence de pertes d'excitation et de pertes de glissement alliées à l'utilisation des tôles de haute qualité donne un bilan de pertes extrêmement avantageux, ce qui permet à ces moteurs à cage de mêmes dimensions.

### **d- Moteur à reluctance variable**

Le moteur à reluctance est un moteur synchrone avec une structure saillante de rotor, mais qui n'a pas d'enroulement d'excitation, ni d'aimant permanent. Les enroulements statorique produisent le flux d'entrefer qui induit le champ rotorique. Ce dernier tend à s'aligner sur le champ statorique. [5]

## II. Généralités sur les ascenseurs

Un ascenseur est un dispositif mobile ou semi-mobile assurant le déplacement des personnes et des objets en hauteur (verticalement) sur des niveaux définis d'une construction.

Les dimensions, la construction et le contrôle en temps réel pendant l'usage des ascenseurs permettent l'accès sécurisé des personnes.

L'ascenseur est installé, la plupart du temps dans une cage d'ascenseur, une trémie verticale fermée (sorte de puits de la bâtisse) en général à l'intérieur de l'édifice. Il peut aussi être construit sans cage fermée et être accessible en rebord de la dalle de chaque niveau pour des édifices ayant un noyau évidé de circulation centrale, sans séparation dans la vision des modes de déplacement verticaux, ou se situer en périphérie et même en façade sur l'extérieur avec une cage discernable. Le mouvement des cabines dans des cages en périphérie peut être vu parfois dans des cages transparentes.

Les ascenseurs visibles sont alors des éléments architecturaux identiques à ce que sont les escaliers architecturaux à volées visibles.

Des ascenseurs spéciaux pour personnes à mobilité réduite (en fauteuil roulant), dispositif à course verticale sans véritable cage permettent de parcourir les couloirs comportant des volées de marches sans rampes d'accès, voire d'accéder à un inter-niveau ou un autre niveau desservi par un escalier sans qu'il y ait d'autres ascenseurs disponibles. Un dispositif qui suit une rampe garde-corps d'escalier est un monte-escalier.

Un ascenseur de charge est un appareil principalement destiné au transport de charges lourdes et de personnes en milieu commercial, culturel ou industriel. La cabine est fabriquée pour convenir à l'usage, l'aspect est cohérent avec le public qui l'utilise (appareil différent du monte-charge). [6]

### II.1. Historique

Depuis la plus haute antiquité, les hommes ont cherché un moyen mécanique leur permettant de réduire considérablement les efforts nécessaires au déplacement de charges dans le sens vertical.

La construction des pyramides d'Egypte, si elle garde encore bien des mystères, laisse supposer que le treuil existait déjà. D'après l'architecte romain Vitruve, la découverte du treuil serait l'œuvre d'Archimède en l'an 236 avant JC.

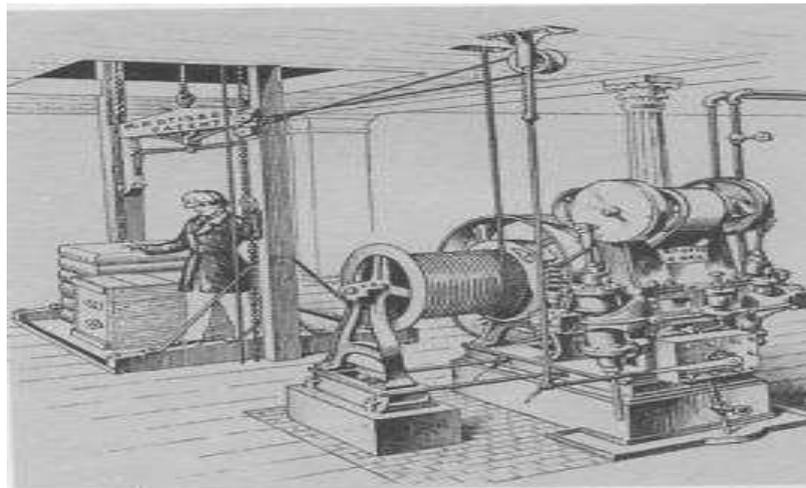
Les XVIIe et XVIIIe siècles voient apparaître de nouvelles idées et surtout un nouveau besoin: le transport des personnes. La "chaise volante" fait son apparition au château de Versailles et au Palais Mazarin vers 1743. Equilibrée au moyen d'un contrepoids, son déplacement est assuré par la traction à bras.

C'est seulement au XIXe siècle que le transport vertical des personnes et des charges prend toute son importance, en raison notamment de l'industrialisation.

C'est en 1853 que naît véritablement le concept d'ascenseur moderne, grâce à l'invention de l'américain Elisha Graves Otis. Ce maître mécanicien met au point le parachute, système de sécurité destiné à retenir les monte-charge en cas de rupture de câble. Il en démontre la pertinence lors d'une exposition dans le hall du Crystal Palace à New-York.

Système révolutionnaire, l'invention du parachute rend possible le transport vertical des personnes. En mars 1857, Otis installe le premier ascenseur à usage public dans le magasin de porcelaine: le Haughwout Building, haut de cinq étages. D'une capacité de 450 kg, ce premier appareil atteint la vitesse de 0,2 m/s.

En 1867, le français Léon Edoux présente, lors de l'Exposition Universelle de Paris au Grand Palais, deux élévateurs hydrauliques destinés au transport de matériaux sur les chantiers. Il les baptise du nom d' "ascenseur". C'est la première fois que ce vocable est utilisé dans le langage technique pour désigner le transport vertical.



**Figure I- 2:** L'élévateur Otis avec un moteur à vapeur sortit en 1862.

Pour l'Exposition Universelle de 1878, Léon Edoux installe un ascenseur hydraulique sur une des tours du Palais du Trocadéro, permettant de transporter 80 passagers à 60 mètres de hauteur à la vitesse de 1,10 m/s.

Deux ans plus tard, en 1880, Werner Siemens et Hulstie présentent le premier ascenseur électrique lors de l'Exposition Industrielle de Mannheim. Cet appareil a une ascension de 22 mètres en 11 secondes. Mais l'événement marquant est incontestablement l'Exposition Universelle de 1889 à Paris.

Cinq ascenseurs hydrauliques sont installés à la Tour Eiffel : deux Roux-Combaluzier, deux Otis (de type funiculaire) pour les piliers inclinés, un ascenseur hydraulique Edoux à double cabine pour la partie verticale.

En 1903, Otis met au point l'ascenseur électrique sans réducteur avec moteur à courant continu, dont la vitesse de déplacement favorise la construction d'immeubles plus élevés.

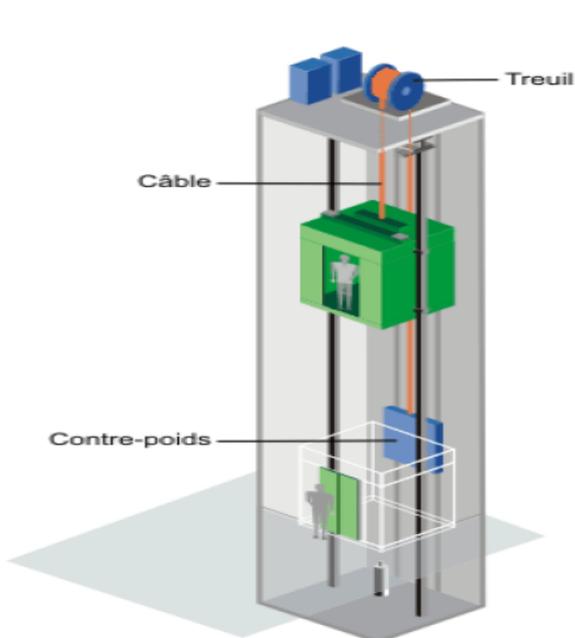
En 1924 un ascenseur sans liftier (le machiniste) fera son apparition, exigeant la mise au point d'automatismes et de dispositifs de sécurité. Les commandes deviennent électriques puis électroniques et se dotent de mémoire. Les grilles fixes ou articulées des portes disparaissent, les portes pleines métalliques se verrouillent automatiquement, etc. [6] [7]

## II.2. Types d'ascenseurs

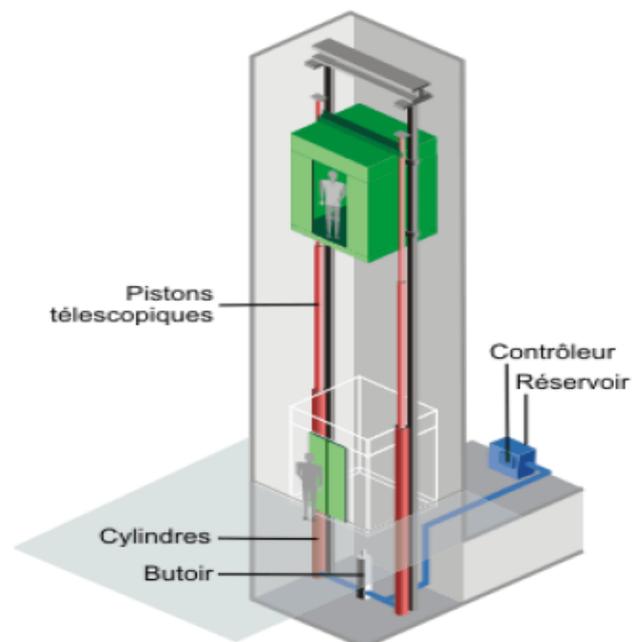
On distingue essentiellement deux types de familles d'ascenseur:

- les ascenseurs à traction à câble (**figure I-3**).
- les ascenseurs hydrauliques (**figure I-4**).

En règle générale, ces deux types utilisent l'énergie électrique pour déplacer les cabines verticalement (moteur électrique continu ou alternatif). [8]



**Figure I- 3:** Ascenseur à câbles.



**Figure I- 4:** Ascenseur hydraulique.

### II.2.1. Les ascenseurs hydrauliques

#### a) Principe

Comme toute machine hydraulique, la pompe met sous pression l'huile qui pousse le piston hors du cylindre vers le haut. Lorsque la commande de descente est programmée, la vanne de la pompe permet de laisser sortir l'huile du cylindre vers le réservoir (**figure I- 3**). [8]

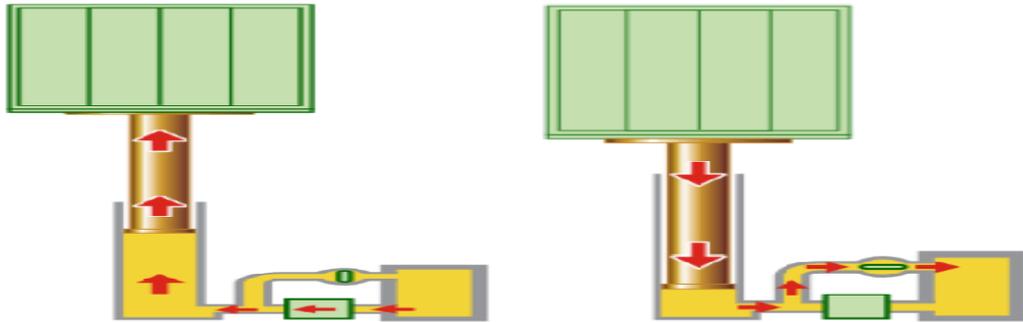


Figure I- 4: Schéma illustratif du principe des pompes hydrauliques.

b) Description

Les ascenseurs hydrauliques sont utilisés en général pour satisfaire des déplacements relativement courts de l'ordre de 15 à 18 m maximums.

Plusieurs modèles existent. On citera les ascenseurs hydrauliques:

- à cylindre de surface (**figure I- 5**).
- à cylindre enterré (**figure I- 6**).
- télescopiques à cylindre de surface (**figure I- 8**).

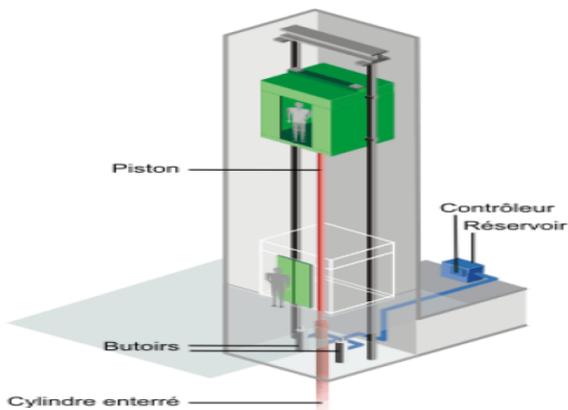


Figure I- 7: à cylindre enterré.

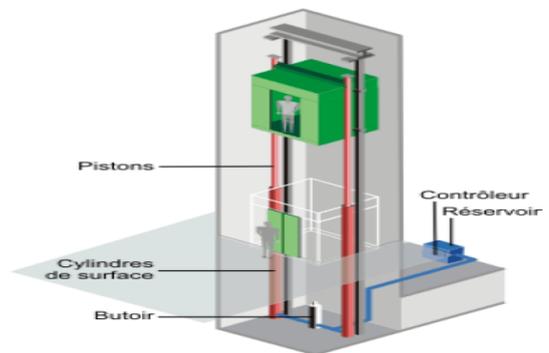


Figure I- 8: à cylindre de surface.

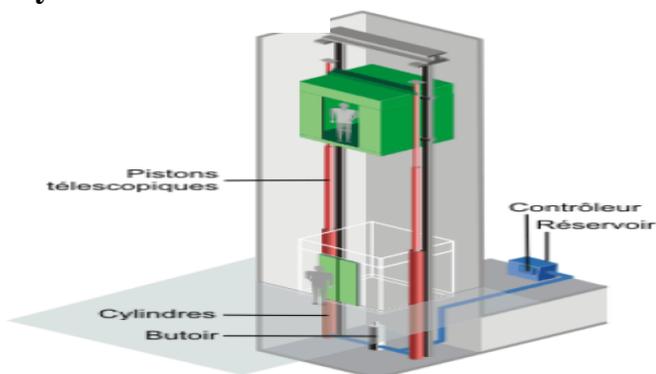


Figure I- 9: à cylindre de surface télescopique.

Les ascenseurs hydrauliques se composent principalement:

- d'une cabine
- de guides
- d'un ensemble pistons-cylindres hydrauliques placé sous la cabine de l'ascenseur
- d'un réservoir d'huile
- d'un moteur électrique accouplé à une pompe hydraulique
- d'un contrôleur, ...

Les différents modèles permettent de tenir compte de critères :

- de place
- de hauteur d'immeuble à desservir
- de stabilité de sol et de sous-sol
- de risque de pollution par rapport au sol et plus spécifiquement aux nappes phréatiques
- d'esthétique,...

### Avantages et inconvénients

Ci-dessous, on trouvera les principaux avantages et inconvénients des ascenseurs hydrauliques :

#### Avantages

- Précision au niveau du déplacement (mise à niveau).
- réglage facile de la vitesse de déplacement.
- ne nécessite pas de cabanon de machinerie.
- implantation facile dans un immeuble existant...

#### Inconvénients

- course verticale limitée à une hauteur entre 15 et 18 m.
- risque de pollution des sous-sols.
- consommation énergétique importante (il n'y a pas de contrepoids qui équilibre la cabine).
- nécessiter de renforcer la dalle de sol... [8]

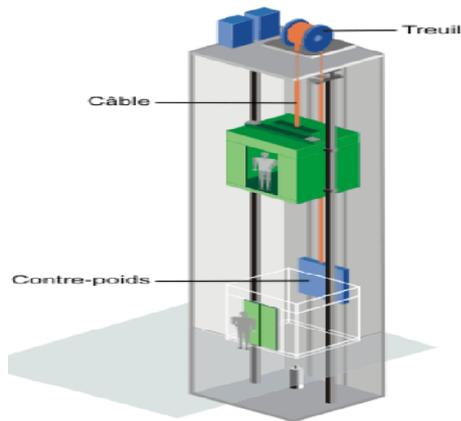
## II.2.2. Les ascenseurs à traction à câbles

### a) Description

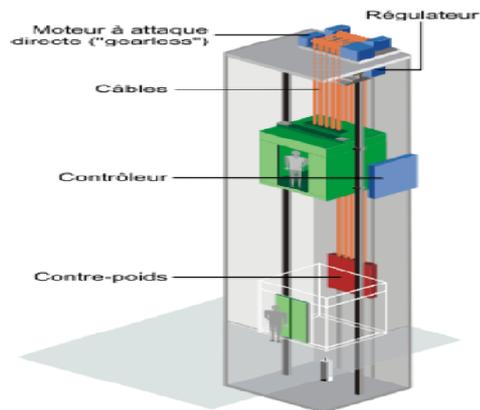
Les ascenseurs à traction à câbles sont les types d'ascenseurs que l'on rencontre le plus, notamment dans les bâtiments tertiaires.

Ils se différencient entre eux selon le type de motorisation :

- à moteur-treuil à vis sans fin (**figure I-9**),
- à moteur-treuil planétaire,
- à moteur à attaque directe (couramment appelé "Gearless" ou sans treuil) (**figure I-10**).



**Figure I- 9:** Ascenseur à moteur-treuil.



**Figure I- 10:** Ascenseur à moteur à attaque directe.

Quel que soit le type, les ascenseurs à traction à câbles comprennent généralement :

- une cabine
- un contre-poids
- des câbles reliant la cabine au contre-poids
- des guides
- un système de traction au-dessus de la cage de l'ascenseur

### b) Avantages et inconvénients

Ci-dessous, on trouvera les principaux avantages et inconvénients des ascenseurs à traction à câbles :

#### Avantages

- course verticale pas vraiment limitée
- suivant le type de motorisation précision au niveau de la vitesse et du déplacement
- rapidité de déplacement
- efficacité énergétique importante (le contre-poids réduit fortement la charge)
- pas de souci de pollution

#### Inconvénients

- en version standard, nécessite un cabanon technique en toiture
- exigence très importante sur l'entretien. [8]

### II.3. Différentes parties d'un ascenseur à traction

On se limite aux composants d'un ascenseur à treuil car il représente la majorité des ascenseurs qui existent sur le marché. [5][9]

• **Cabine d'ascenseur:** Elément composé d'un plancher, de parois et d'un toit destiné à accueillir les personnes et les marchandises. Cet élément est inséré et fixé dans un cadre appelé suspension cabine.

• **Porte de cabine:** Porte à fermeture généralement automatique destinée à confiner l'utilisateur dans la cabine pendant le déplacement de celle-ci, lui interdisant tous contact avec les parties extérieures à la cabine.

• **Porte palières:** C'est la porte externe de l'ascenseur. Chaque ascenseur est équipé d'autant de porte palière que de nombre d'étage. Elles doivent être équipées d'un dispositif empêchant leurs ouvertures si la cabine n'est pas sur le niveau et bloquant le départ pendant leur ouverture.

• **Boutons d'appels:** On nomme boutons d'appels les boutons installés aux paliers.

• **Boutons d'envois:** Les boutons d'envois sont installés dans la cabine.

• **Charge utile:** Capacité maximum en Kilogramme qu'une cabine d'ascenseur peut contenir. Au-delà de cette capacité, le système de traction n'est plus en mesure de contrôler le déplacement et l'arrêt correct de la cabine. La charge utile est une indication qui doit obligatoirement figurer dans la cabine.

• **Contrepoids:** Elément destiné à contre balancer le poids de la suspension cabine, augmenté de la moitié de la charge utile. Celui-ci est constitué d'une suspension métallique contenant des gueuzes en fonte destinées à l'alourdir. Lorsque la cabine d'ascenseur monte, le contrepoids descend.

• **Suspension cabine(ou étrier):** Cadre rigide composé de poutrelles en acier et destiné à accueillir la cabine. Ce cadre est suspendu dans la gaine par les câbles de traction. Des coulisseaux épousant la forme des guides de cabine et fixés à la suspension assurent le déplacement parfait de la cabine (**figure I-11**).

• **Gaine d'ascenseur:** Gaine verticale dans laquelle se déplacent l'ascenseur et son contrepoids. Celle-ci est équipée de guides en acier destinés à guider la suspension de cabine et le contrepoids.

• **Guides:** Profilés en acier, généralement en forme de T, destinés à guider la cabine et le contrepoids dans la gaine.

• **Ancrage de guide:** Pièce métallique servant à fixer les guides aux murs de la gaine.

• **Coulisseaux:** Eléments fixés à la suspension, garnis d'une fourrure épousant la forme des guides et destinés à guider celle-ci dans la gaine.

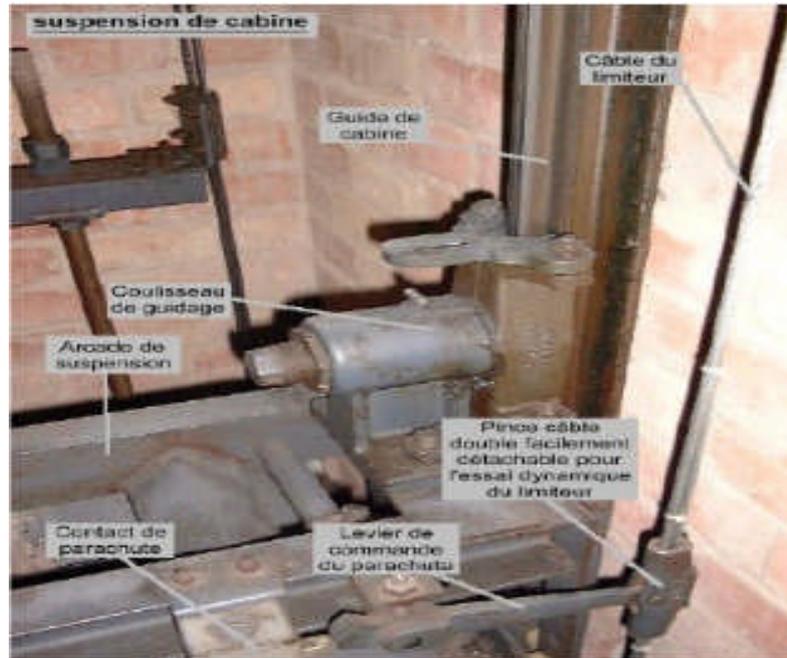


Figure I- 10: Suspension de cabine.

• **Cuvette:** Partie la plus basse de la gaine de l'ascenseur contenant les poulies de renvoi et les amortisseurs(**figure I-12**).

• **Amortisseurs:** Ressorts puissants placés en cuvette et destinés a ralentir la suspension cabine ou le contrepoids en cas de dépassement des fin de course de sécurité. Dans le cas d'un ascenseur à grande vitesse, on utilise des amortisseurs à huile.

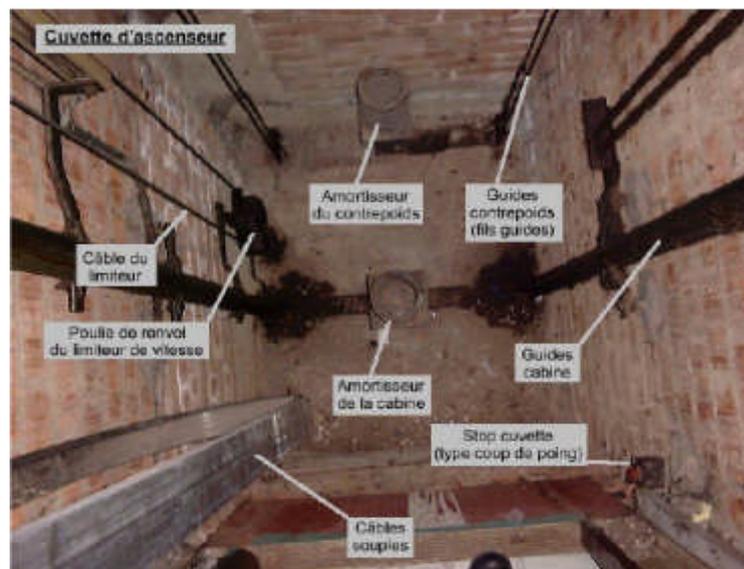
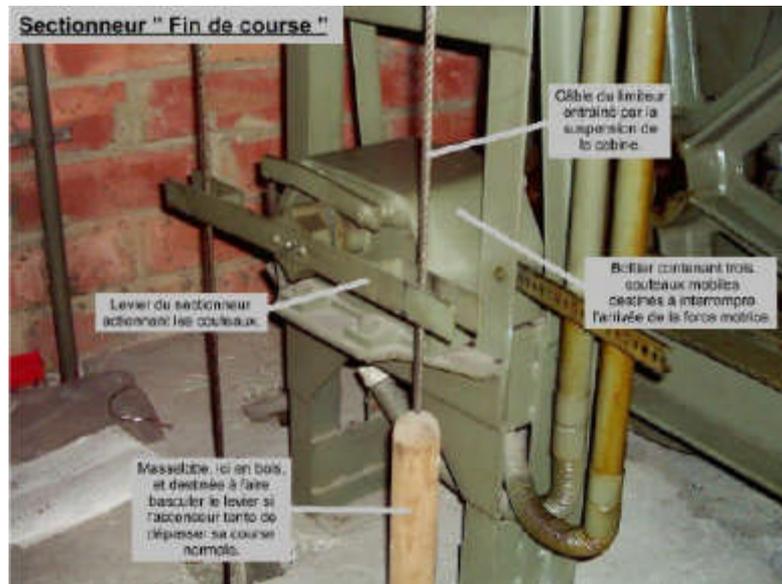


Figure I- 11: Cuvette d'ascenseur.

• **Fin de course:** Contact de sécurité placé généralement en gaine et destiné à stopper l'ascenseur en cas de dépassement de sa course normale. La fin de course peut aussi se trouver en machinerie. Dans ce cas, il est actionné soit par le tambour de traction soit par le câble du limiteur (**figure I-13**).



**Figure I- 12:** Fin de course ou sectionneur.

• **Câble de sélecteur d'étage:** Généralement, les sélecteurs d'étage mécaniques sont entraînés par le treuil ou le limiteur de vitesse. Cependant, certains sélecteurs d'étage ont leur propre câble d'entraînement. Celui-ci, relié entre la cabine d'ascenseur et le contrepois entraîne un petit tambour qui actionne le sélecteur d'étage.

• **Machinerie (ou salle des machines):** Local généralement placé au-dessus de la gaine et destiné à contenir l'appareillage et le système de traction.

• **Appareillage:** Armoire placée en machinerie et contenant les relais, et autres équipements destinés à commander l'ascenseur.

• **Treuil:** Machine composée d'un dispositif de freinage et d'un moteur, il est destinée à actionner les câbles de traction de l'ascenseur. On distingue trois types de treuil: les anciennes machines à tambour de traction. Les machines, équipées d'un réducteur, appelées Geared (avec boîte de vitesse) et les machines à traction directe (sans boîte de vitesse) appelées Gearless. Ces dernières sont les plus modernes et les plus performantes (**figure I-14**).

• **Machine geared:** Treuil d'ascenseur équipé d'un réducteur. Machine actuellement la plus répandue.

• **Moteur de traction:** Moteur équipant le treuil de l'ascenseur et placé dans la machinerie.

• **Réducteur:** C'est une boîte de vitesse composée soit d'une vis et d'une couronne soit d'un réducteur planétaire contenus dans un carter rempli d'huile. Son rôle consiste à démultiplier la vitesse du moteur électrique pour la rendre compatible avec les conditions d'utilisation de l'ascenseur. Pour assurer la lubrification de l'ensemble, la couronne baigne généralement dans l'huile du carter et par sa rotation ramène de l'huile vers les autres organes.

• **Tambour de traction:** C'est une pièce cylindrique creuse équipée de deux gorges en forme de pas de vis. Deux câbles de traction sont fixés au tambour et à la suspension cabine, deux autres au tambour et au contrepoids. Lorsque le tambour commandé par le treuil tourne, les câbles du côté de la cabine s'enroulent et font monter celle-ci pendant que les câbles, du côté du contrepoids se déroulent et le font descendre. Le tambour a été remplacé depuis par une poulie de traction.

• **Poulie de traction:** Poulie équipée généralement de gorges taillées en forme de V de manière à agripper les câbles de traction. Cette poulie, solidaire du treuil, fait lors de sa rotation se déplacer l'ensemble cabine- contrepoids.

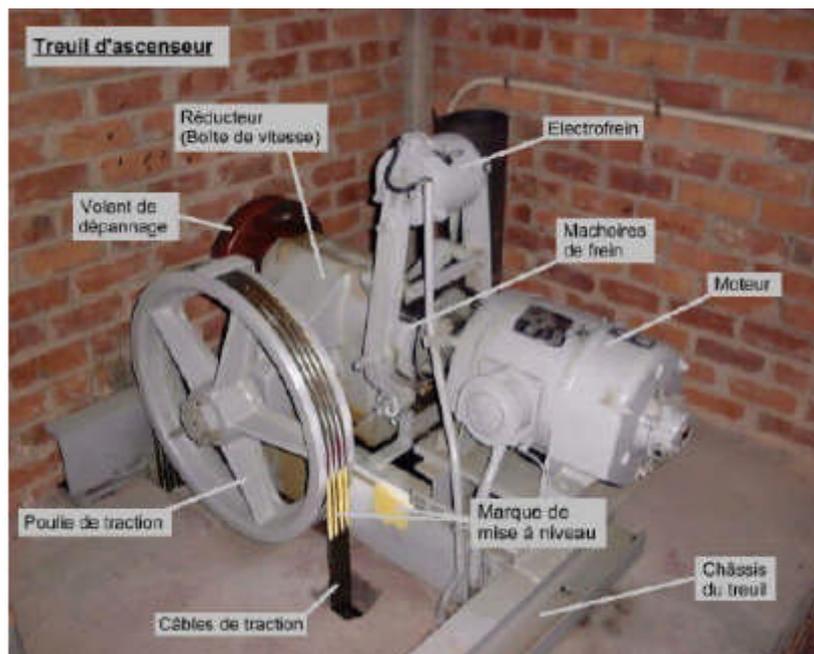


Figure I- 13 : Treuil d'ascenseur.

• **Volant de dépannage:** Dans le but d'assurer le déplacement manuel de l'ascenseur, un volant de dépannage est généralement fixé soit sur l'arbre du moteur de traction soit sur l'axe du treuil. Certaines anciennes installations sont encore équipées d'un volant amovible. Celui-ci doit impérativement être remplacé sur son support (s'il existe) qui est en principe équipé d'un contact de sécurité empêchant la remise en service intempestive de l'ascenseur.

• **Marquage des câbles:** Tous les ascenseurs équipés de treuil devraient être équipés d'un marquage sur les câbles de traction matérialisant la mise à niveau de la cabine. Celui-ci est à niveau lorsque la marque des câbles est en face d'une marque de même couleur peinte sur le châssis du treuil. Certains ascenseurs possèdent quant à eux un voyant installé sur l'appareillage qui lorsqu'il est allumé, informe de la mise à niveau de la cabine.

• **Câbles de compensation:** Dans les immeubles de grande hauteur, le poids des câbles de traction devient trop important par rapport à la charge utile de la cabine d'ascenseur. Il existe donc une forte différence selon que la cabine se trouve en haut ou en bas de la gaine. On résout ce problème par l'adjonction de câbles ou de chaîne de compensation. Ceux-ci, d'un poids identique aux câbles de traction sont pendus entre la cabine et le contrepoids et permettent de maintenir l'ensemble en équilibre quelle que soit la position de la cabine.

• **Chaîne :** Sur quelques ascenseurs spéciaux, certains câbles sont remplacés par des chaînes remplissant les mêmes fonctions.

• **Machine gearless:** La poulie de traction est directement montée sur l'axe du moteur de traction. Ce principe permet d'atteindre de très grande vitesse de déplacement (Jusqu'à 12 m/s) (**figure I-15**).

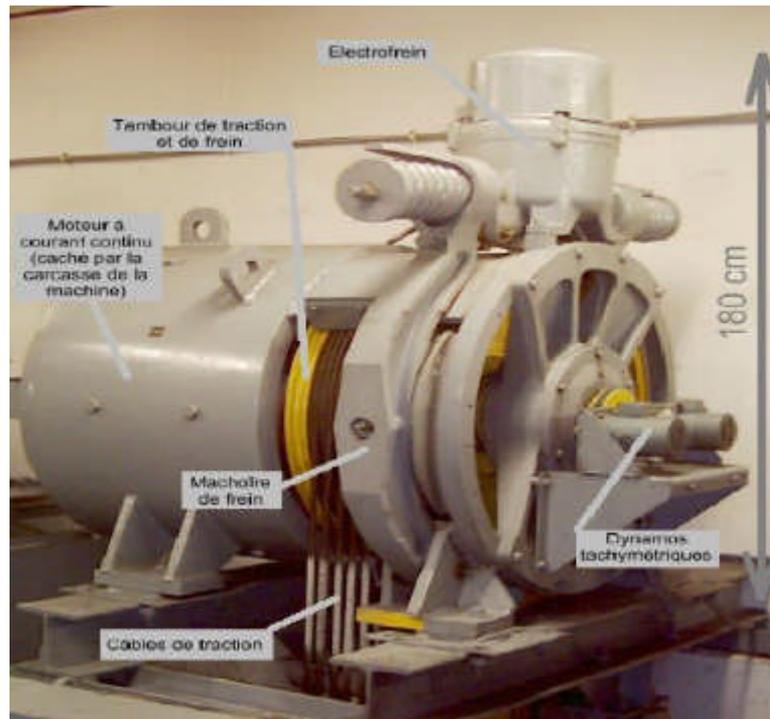


Figure I- 14: Machine de traction sans boîte de vitesse (Gearless).

• **Servofrein:** Mécanisme composé de pignons et d'un secteur de roue dentée. Celui-ci, commandé par un moteur est destiné à actionner le mécanisme de freinage des mâchoires de frein. Le servofrein a depuis été remplacé par l'électrofrein.

• **Electrofrein:** Electroaimant puissant destiné à assurer le freinage des mâchoires de frein. Dans le but de permettre un freinage manuel, l'électrofrein est généralement équipé d'un levier fixé à demeure. Si celui-ci est amovible, il doit être laissé à disposition dans la machinerie (figure I-16).

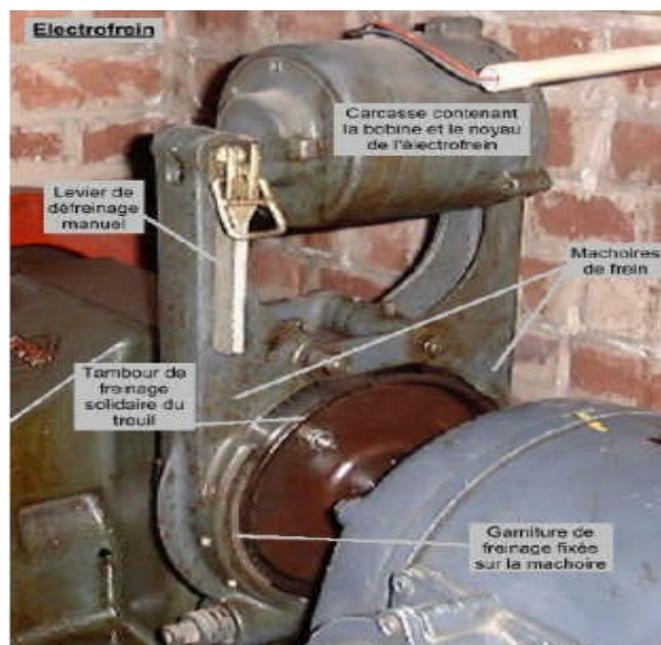


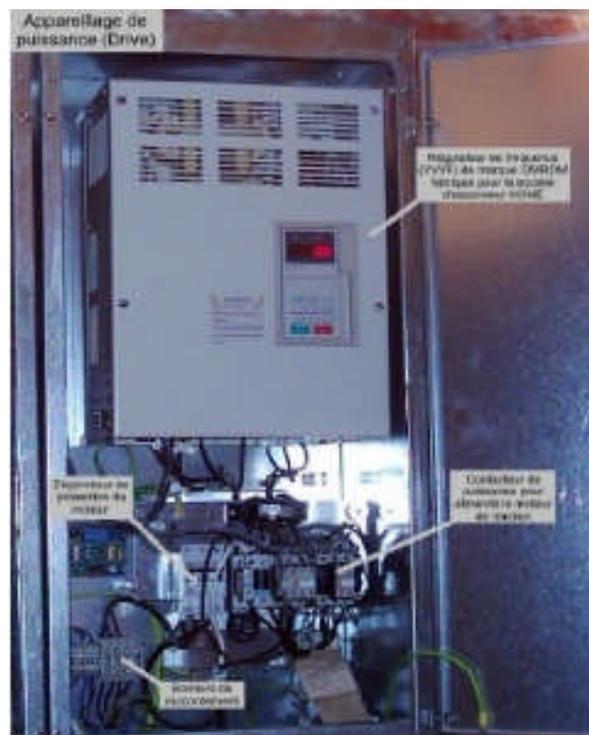
Figure I- 15:Electrofrein.

• **Tambour de frein:** Pièce cylindrique fixée solidement sur l'axe de la vis du treuil. Lors de l'arrêt de l'ascenseur, les mâchoires de frein sont appliquées fermement sur celui-ci pour immobiliser l'ascenseur.

• **Garnitures de frein:** Patins de friction en matière spéciale collés ou rivés sur les mâchoires de frein et destinés à bloquer efficacement le tambour de frein. Autrefois, l'amiante entraînait dans la composition de ces garnitures, mais actuellement les nouveaux patins en sont dépourvus.

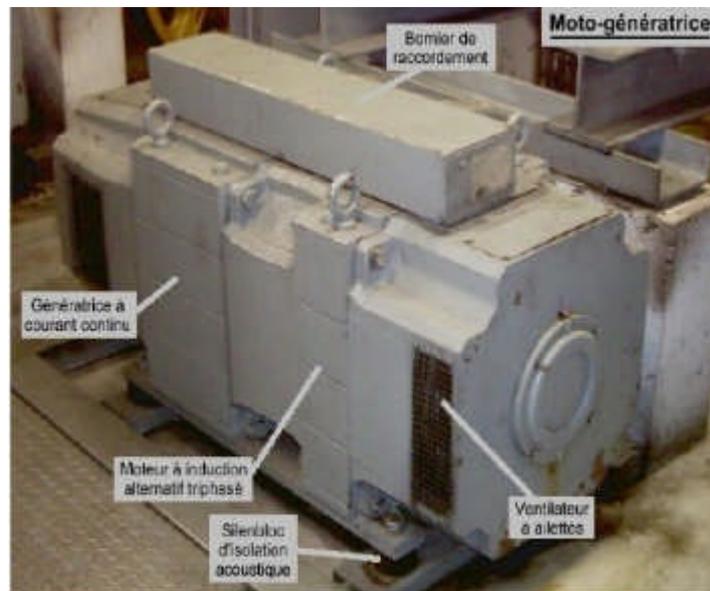
• **Mâchoires de frein:** Pièces métalliques équipées de garnitures de friction et épousant la forme du tambour de frein. Les mâchoires, destinées à immobiliser l'ascenseur sont appliquées fermement contre le tambour par des ressorts. L'ouverture du frein est assurée par un mécanisme de freinage. Celui-ci est actionné par un électroaimant puissant qu'on appelle électrofrein.

• **Drive:** Le drive est la partie de l'appareillage qui commande le système de traction de l'ascenseur (**figure I-17**).



**Figure I- 16:** Appareillage de puissance (Drive).

• **Moto génératrice:** Machine destinée à créer une alimentation en courant continu de forte puissance. Cette machine est composée, d'une part, d'un moteur à induction alternatif triphasé et, d'autre part, d'une génératrice à courant continu (**figure I-18**).



**Figure I- 17:** Moto-génératrice.

- **Moteur à courant continu:** Les moteurs à courant continu sont composés d'une carcasse portant des inducteurs et d'un rotor portant un induit bobiné. La vitesse du moteur à courant continu est directement proportionnelle à la tension appliquée aux bornes de son enroulement induit. Le couple fourni par le moteur dépend de l'intensité traversant ses inducteurs.

- **Moteur à induction alternatif:** Les moteurs à courant alternatif sont généralement triphasés et utilisent le principe de l'induction électromagnétique. La vitesse de ceux-ci est directement proportionnelle à la fréquence du réseau électrique qui est immuable et inversement proportionnelle au nombre de bobines contenues dans le stator qui est fixé par le constructeur. Le rotor du moteur est actuellement constitué d'une cage composée de barreaux en aluminium soudés entre eux. (Les premiers moteurs d'ascenseur étaient composés d'un rotor bobiné) Les moteurs à deux vitesses sont composés de deux séries de bobines distinctes. Chaque série de bobines se nomme enroulement.

- **Poulie de renvoi:** Poulie tournant librement et destinée à guider les câbles entre la cabine et le contrepoids (**Figure I-12**)

- **Poulie de mouflage:** Certains ascenseurs à grande capacité sont mouflés. C'est à dire qu'une démultiplication est installée à l'aide de poulies de mouflage. Lorsque la cabine parcourt 1 mètre, les câbles au niveau du treuil en parcourent 2 ou 3. Cette méthode permet d'installer des treuils moins puissants mais augmente la longueur des câbles et le coût de leur remplacement.

• **Coffret de force motrice:** Coffret principal d'alimentation se trouvant en machinerie. Avant toute intervention en machinerie, il va de la sécurité de l'utilisateur de déclencher le levier de ce coffret pour couper l'alimentation de l'appareil.



Figure I- 18: Coffret de force motrice.

• **Limiteur de vitesse:** Organe mécanique équipé de masselottes et placé généralement en machinerie. Le limiteur, solidaire de l'ascenseur par un câble de limiteur tourne au déplacement de celui-ci. Si la vitesse dépasse anormalement la vitesse maximale autorisée, les masselottes se lèvent et coupent un contact de sécurité. En descente, la levée des masselottes bloque le limiteur. Ceci a pour effet de provoquer la levée du dispositif de parachute de la suspension de la cabine d'ascenseur.

• **Câble de limiteur:** Câble en acier fixé au parachute de l'ascenseur et se déplaçant avec lui. Lorsqu'en descente, le câble est bloqué par le limiteur de vitesse, il provoque la levée du parachute et le blocage de la cabine.

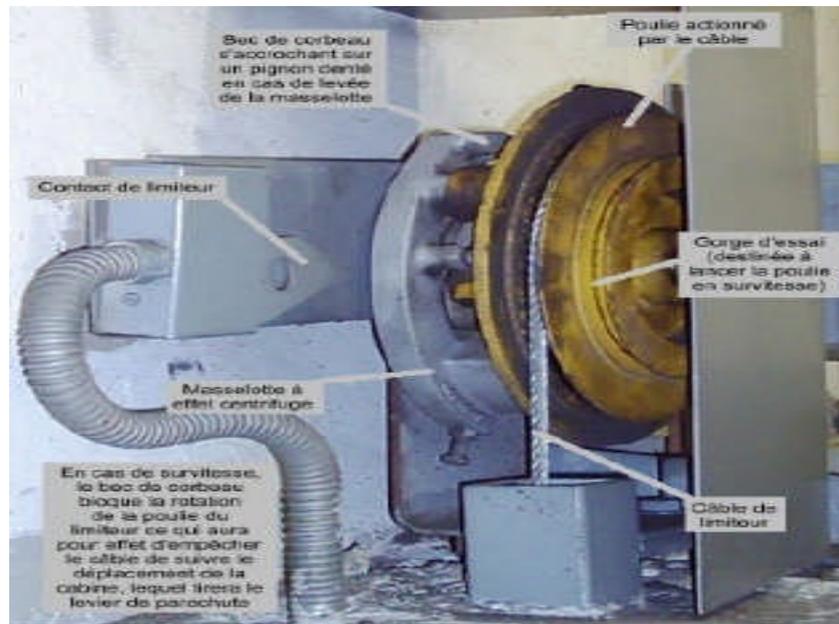


Figure I- 19: Câble de limiteur.

- **Parachute:** Organe mécanique placé sur la suspension de cabine et commandé par un câble de limiteur. En cas de rupture des câbles de traction ou de survitesse exagérée en descente, le mécanisme du parachute assure un blocage mécanique de la suspension dans les guides évitant la chute libre de la cabine.

- **Commande de rappel:** Dans le cas d'une grosse installation, il existe en machinerie un boîtier de manœuvre de rappel destiné à ramener l'ascenseur au niveau d'un palier pour dégager une personne bloquée dans la cabine. Si ce boîtier existe, il faut tenter de déplacer l'ascenseur à l'aide de celui-ci. Si cela ne donne pas de résultat, il faudra couper le courant avant d'effectuer la manœuvre manuellement.

- **Commande de révision:** La commande de révision est composée d'un boîtier placé sur le toit de la cabine de l'ascenseur. Ce boîtier, équipé de bouton de marche montée et descente ainsi que d'un bouton d'arrêt d'urgence, permet au préposé à l'entretien de manœuvrer, en toute sécurité et à faible allure, l'ascenseur pour inspecter et graisser les organes placés en gaine.

- **Inverseur d'étage:** Sur les anciens ascenseurs, contact inverseur qui était placé engaine à chaque étage et servait de sélecteur d'étage.

- **Manœuvre:** Les ascenseurs se définissent en nombre d'appareil dans une batterie d'ascenseurs et par le genre de boutons d'appel utilisé pour les faire venir à l'étage. Ces

paramètres déterminent le type de manœuvre. Il existe trois grandes familles de manœuvre: La manœuvre à blocage, la manœuvre collective et la manœuvre sélective qui n'est plus fabriquée actuellement.

### III. Les critères de choix du type d'ascenseur

En général, les dépenses énergétiques des ascenseurs ne sont pas la priorité des gestionnaires de bâtiments tertiaires. En effet, la préoccupation première reste avant tout: emmener un maximum de monde en toute sécurité et avec un maximum de confort. On retrouve des critères de choix:[9]

- Constructifs: hauteur de bâtiment, espace disponible au niveau des étages, possibilité de placer une salle des machines au sommet de la gaine, stabilité du terrain de sécurité.
- Organisationnels: Comme le type de fonction du bâtiment, son occupation et son type de fonctionnement en garantissant une performance de confort et de trafic (rapport vitesse/charge).
- Energétiques: Basées essentiellement sur la consommation et les appels de puissance de la motorisation.

### IV. Systèmes de motorisation

Les ascenseurs à tractions à câbles sont de loin ceux le plus répandu au niveau du parc machine. De plus, énergétiquement parlant, la motorisation des ascenseurs hydrauliques a des rendements assez faibles (de l'ordre de 20 %) et, de par l'absence entre autres de contre-poids, les moteurs hydrauliques consomment plus et ont des appels de puissance au démarrage beaucoup plus importants. [8]

Le tableau ci-dessous montre un comparatif des rendements de différents types de motorisation :

Type de motorisation	Rendement
Moteur hydraulique	de l'ordre de 20 %
Moteur-treuil à vis sans fin ancienne génération	de l'ordre de 45 %
Moteur-treuil à vis sans fin nouvelle génération	60 à 65 %
Moteur sans treuil ("gearless")	de l'ordre de 78 %
Moteur-treuil planétaire	de l'ordre de 97 %

**Tableau I- 1:** Tableau des rendements des différents types de motorisation.

L'efficacité énergétique des systèmes de motorisation des ascenseurs dépend surtout du type de moteur d'entraînement accouplé :

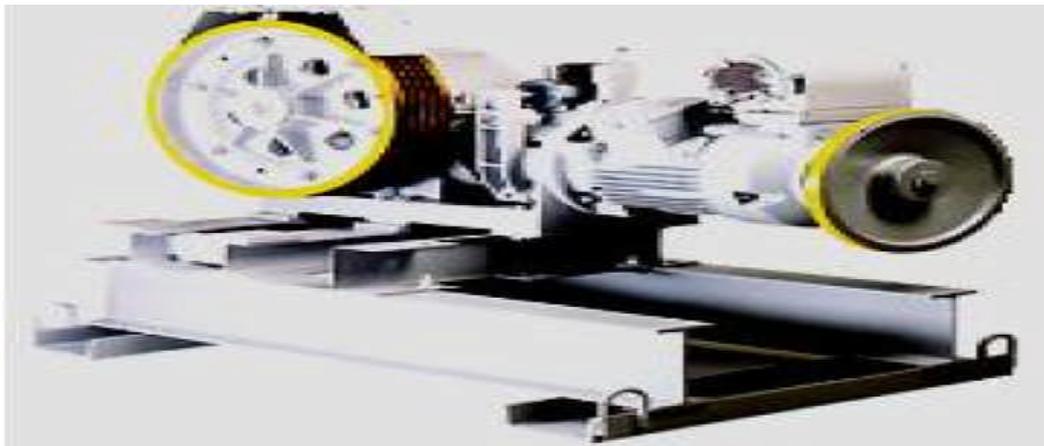
- au treuil pour les ascenseurs à traction,
- à la pompe pour les ascenseurs hydrauliques.
- un réducteur planétaire, par exemple, peut être accouplé à :
  - un moteur à courant continu à excitation indépendante ou shunt,
  - un groupe Ward Léonard,
  - un moteur à courant alternatif asynchrone à démarrage :
    - ◇ étoile-triangle,
    - ◇ commandé par un variateur de fréquence,
  - un moteur à courant alternatif synchrone à démarrage par variateur de fréquence.

Suivant la combinaison du moteur et du réducteur planétaire, les consommations peuvent être sensiblement différentes. Dans un souci de trouver la meilleure adéquation, il sera nécessaire de prendre en compte :

- le rendement mécanique de l'ensemble,
- le rendement électrique du circuit puissance (alimentation et moteur).

#### IV.1. Moteurs-treuil ou moteurs à traction

##### IV.1.1. Les moteurs-treuil à vis sans fin à une ou deux vitesses



**Figure I- 20:** Moteur-treuil à vis sans fin.

A l'heure actuelle, les moteurs-treuil avec vis sans fin sont abandonnés au profit des moteurs à attaque directe (sans réducteur ou "gearless"). Dans ce type de motorisation, la vis sans fin entraîne beaucoup de pertes mécaniques et, par conséquent, des consommations électriques plus importantes.

Au début de l'utilisation des vis sans fin, les rendements énergétiques de l'ensemble moteur-treuil étaient de l'ordre de 20 %. Avec le perfectionnement des outils, des lubrifiants,

les rendements se sont nettement améliorés pour atteindre les 45 % et, même plus récemment, 60 à 65 %.

Les moteurs électriques couplés au treuil à vis sans fin étaient généralement des moteurs à courant continu à excitation indépendante ou shunt avec la faculté bien connue de pouvoir faire varier très facilement la vitesse de rotation.

Les moteurs électriques à courant alternatif utilisés avec ce type de réducteur sont en principe des moteurs à deux vitesses. A l'heure actuelle, on peut encore remarquer ce type de moteur-treuil lorsqu'on se trouve dans la cabine :

- au démarrage, la vitesse est plus lente (petite vitesse).

Pour atteindre la vitesse de déplacement optimale, le moteur passe en seconde vitesse en provoquant un léger choc d'accélération (passage de petite en grande vitesse).

- Les moteurs-treuil à vis sans fin ont les principaux avantages et inconvénients suivants

**Avantages ;**

- couple élevé.
- grande plage de variation de vitesse.
- précision dans les déplacements et sur la régulation de vitesse.

**Inconvénients ;**

- entretien important.
- efficacité énergétique faible.
- consommation électrique non négligeable.

**IV.1.2. Les moteurs-treuil planétaires**

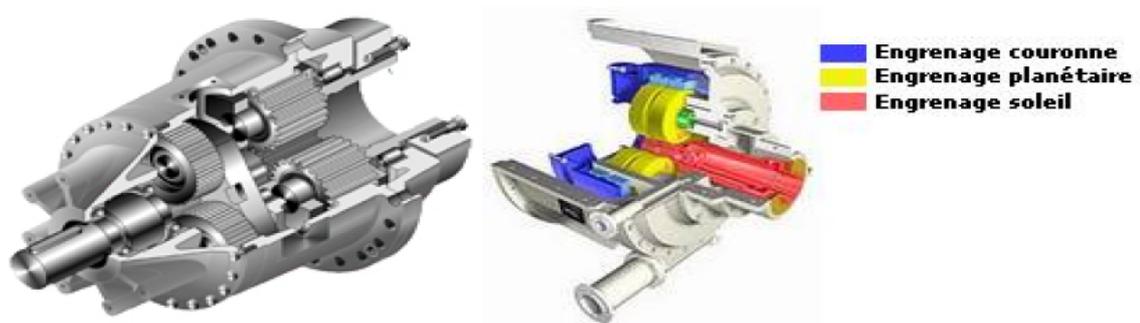
Les appareils à treuil planétaire utilisent le système de réduction de vitesse par engrenages planétaires. Accouplés à un moteur électrique, ils permettent d'avoir un rapport de réduction appréciable pour obtenir une plage de vitesse compatible avec le confort et l'efficacité de déplacement souhaitée.



**Figure I- 21:** Moteur-treuil planétaire.

Sans rentrer dans les détails, le treuil planétaire est composé d'un assemblage mécanique complexe d'engrenages. Il est basé sur le principe de gravitation des planètes autour du soleil où :

Le soleil est l'engrenage calé sur l'arbre de sortie du réducteur et couplé avec la roue à câble de l'ascenseur. Les trois engrenages planétaires tournent sur eux-mêmes et autour de l'engrenage soleil à la manière de notre système solaire. L'engrenage couronne est celui qui, relié au moteur d'entraînement, fournit le couple moteur.



**Figure I- 22:** Réducteur planétaire.

Ce système a un rendement mécanique de l'ordre de 97 à 98 % permettant, pour autant que les moteurs d'entraînement soient performants, d'obtenir des rendements énergétiques globaux intéressants au niveau du moteur-treuil (de l'ordre de 80 %).

Les réducteurs planétaires peuvent être accouplés à des moteurs électriques :

- à courant continu (grande plage de variation de vitesse).
- à courant alternatif asynchrone à deux vitesses.
- à courant alternatif asynchrone commandé par un variateur de fréquence.

Les moteurs-treuil planétaires ont les principaux avantages et inconvénients suivants :

### Avantages

- Couple important.
- en fonction du type de moteur accouplé :
  - ◇ grande plage de variation de vitesse (courant continu ou alternatif à variation de fréquence).
  - ◇ rendement énergétique important entraînant une diminution des coûts à la conception (puissance installée plus faible) et des consommations moindres à l'exploitation.
- précision dans les déplacements et sur la régulation de vitesse.

### Inconvénients

- Entretien nécessitant une main d'œuvre qualifiée.

### IV.1.3. Les moteurs à attaque directe ("Gearless" ou sans treuil)

Les moteurs à attaque directe sans réducteur ont fait leur apparition avec la venue des variateurs de fréquence. Les installations deviennent tellement compactes qu'il est possible à l'heure actuelle de se passer de local des machines sur le toit des immeubles.

Ce système est énergétiquement performant principalement de part la présence d'un variateur de fréquence qui optimise la consommation énergétique; la réduction des pertes mécaniques vu l'absence de réducteur contribuant aussi à l'optimisation de l'efficacité énergétique. Certains constructeurs annoncent des rendements énergétiques de l'ordre de 80 %.

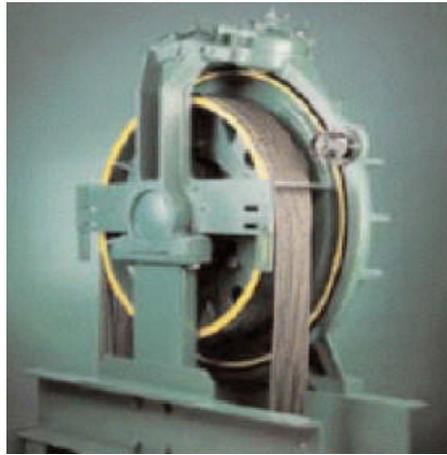


Figure I- 23: Moteur Gearless classique.

Les moteurs à attaque directe ont les principaux avantages et inconvénients suivants :

#### Avantages

- vitesse optimisée par le variateur de fréquence.
- compacité du système.
- pas de cabanon technique nécessaire pour les ascenseurs.
- précision dans les déplacements et sur la régulation de vitesse.
- pertes mécaniques réduites.
- efficacité énergétique intéressante.
- pas de lubrifiant.
- faible niveau de bruit.
- poids réduit.

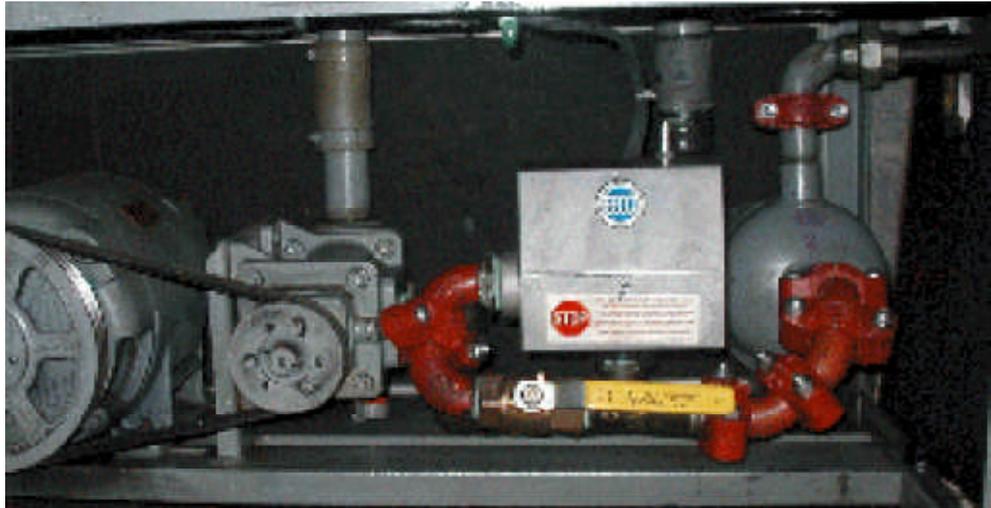
#### Inconvénients

- la compacité peut entraîner des difficultés de maintenance.
- difficulté d'intervention dans la cage d'ascenseur.

#### IV.1.4. Les motopompes hydrauliques

Les groupes motopompes utilisés dans les ascenseurs hydrauliques sont composés essentiellement :

- d'une pompe hydraulique de mise en pression de l'huile dans le cylindre.
- d'un moteur électrique d'entraînement de la pompe.
- d'une vanne de réglage de débit pour la descente de l'ascenseur.
- d'un réservoir à huile.
- d'une régulation.



**Figure I- 24:** Motopompe hydraulique.

La consommation électrique du moteur d'entraînement est due en grande partie au fait que, dans le principe même d'un ascenseur hydraulique, il n'y a pas de contre-poids. De plus, dans une moindre mesure et pour une même charge, les consommations des motopompes centrifuges, par exemple, varient avec le cube de la vitesse, des moteurs-treuil, par exemple, varient proportionnellement à la vitesse.

### V. Critères de choix de la motorisation

On différencie les motorisations à traction en fonction des critères principaux suivants:

- Le rendement global
- La performance énergétique
- L'encombrement des équipements. Aussi, des critères secondaires et néanmoins importants considèrent le poids, la consommation d'huile, le niveau acoustique... [9]

#### V.1. Rendement global de la motorisation

Le rendement global de la motorisation influence le dimensionnement de l'installation et les consommations futures. En effet, à puissance mécanique égale (pour déplacer la charge), meilleur sera le rendement de la motorisation, moins:

- Le surdimensionnement du moteur et de l'installation électrique sera important.
- Les consommations énergétiques durant la vie de l'ascenseur seront grandes.
- Les chutes de tension en ligne perturberont le réseau électrique interne voire externe.

Le rendement global d'une motorisation correspond à:

$$\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{com}} * \eta_{\text{mot}} * \eta_{\text{red}} * \eta_{\text{poulie}} \quad (\text{I-1})$$

$\eta_{\text{global}}$  : Rendement global.

$\eta_{\text{com}}$  : Rendement du système de commande.

$\eta_{\text{mot}}$  : Rendement du moteur électrique.

$\eta_{\text{red}}$  : Rendement du réducteur.

$\eta_{\text{poulie}}$  : Rendement de la poulie.

Le cas des moteurs à traction avec réducteur de vitesse, par rapport à la même motorisation sans réducteur, montre que les intermédiaires occasionnent des pertes et, par conséquent, réduisent la puissance mécanique disponible à la roue de traction pour une même puissance électrique absorbée. [10]

## V.2. Performances énergétiques

• Indépendamment du rendement global de la motorisation, la performance énergétique est liée principalement à la gestion des démarrages et des arrêts par le variateur de vitesse. En effet, le fonctionnement des ascenseurs est plus une succession de démarrages et d'arrêts, où le courant absorbé peut être très important, que de longues courses à courant nominal plus réduit. Ceci est d'autant plus vrai que le trafic est intense. Le variateur de vitesse est un gage de performance énergétique certain de par:

- Le confort renforcé des utilisateurs grâce au démarrage progressif et à la mise à niveau précise.

- Le contrôle permanent du couple et de la puissance en optimisant les courants de démarrage et les consommations.

- La possibilité de renvoyer de l'énergie sur le réseau électrique durant le freinage. L'analyse effectuée par le CADDET (Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies) sur les consommations d'une motorisation classique par rapport à une motorisation innovante, a mis en évidence des différences énergétiques importantes:

Paramètres	Type de motorisation	
	Traction classique	Gearless
Vitesse de déplacement de la cabine [m/s]	1	1
Charge de l'ascenseur [kg]	630	630
Puissance du moteur électrique [kW]	5,5	3,3
Calibre de la protection moteur [A]	35	16
Nombre de courses pour 3 mois	27 444	
Consommation électrique pour 3 mois [kWh/3 mois]	958	447

Tableau I- 2: Récapitulatif des résultats de CADDET.

Il est clair, d'après l'étude, que l'économie est importante (53 %). [11]

### V.3. Encombrement

Une réduction des coûts d'investissement et un gain de place sont liés à la limitation de l'espace nécessaire à la machinerie.

### V.4. Critères secondaires

Les critères secondaires permettent d'affiner le choix de la motorisation:

- Le poids.
- La consommation d'huile.
- Le niveau sonore.

La même analyse effectuée par le CADDET donne des résultats concernant la comparaison des deux motorisations: moteur à deux vitesses à réducteur à vis sans fin par rapport à une motorisation sans réducteur. [9]

Paramètres	Type de motorisation	
	Traction classique	Gearless
Vitesse de déplacement de la cabine [m/s]	1	1
Charge de l'ascenseur [Kg]	630	630
Poids de la motorisation [Kg]	430	230
Niveau acoustique [dB]	65-75	50-55
Quantité d'huile nécessaire [litres]	3.5	-
Nombre de courses pour 3 mois	27444	

**Tableau I- 3:** Suite des résultats de CADDET.

## Conclusion

Ce premier chapitre est dédié à la description des entraînements électriques particulièrement à la présentation des différents types d'ascenseurs ainsi que leur fonctionnement et les motorisations possibles pour ce type d'entraînement électrique.

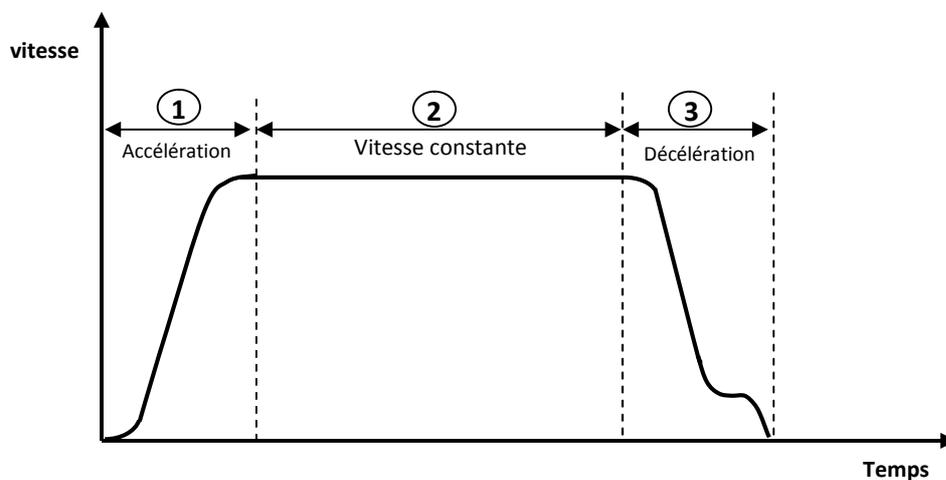
# Chapitre II

## choix du moteur d'entraînement

Dans un système d'ascenseur, le type de moteur et le système de contrôle employé, déterminent la performance de l'entraînement de la cabine. Essentiellement, un ascenseur doit se déplacer entre étages en un peu de temps, s'arrêter avec une erreur la plus petite possible et assurer un bon confort aux passagers. En plus de la simplicité et la facilité qui sont désirables dans la maintenance.

### I. Diagramme de fonctionnement d'un ascenseur

Un trajet rapide de la cabine d'un ascenseur et un confort des passagers sont des objectifs directement reliés à la caractéristique vitesse en fonction du temps. Cette dernière est divisée en trois régions correspondantes à trois modes de fonctionnement.



**Figure II-1** : Caractéristique de la vitesse d'un ascenseur.

Dans le mode (2), le temps de trajet peut être réduit en augmentant le maximum de la vitesse de la cabine, la vitesse constante à peu d'effet sur le confort des passagers.

Dans le mode (1) et (3), le confort des passagers est l'un des facteurs importants dans la limitation du temps de trajet. Des tests ont montrés que les passagers sont sensibles à l'accélération et sa variation brusque.

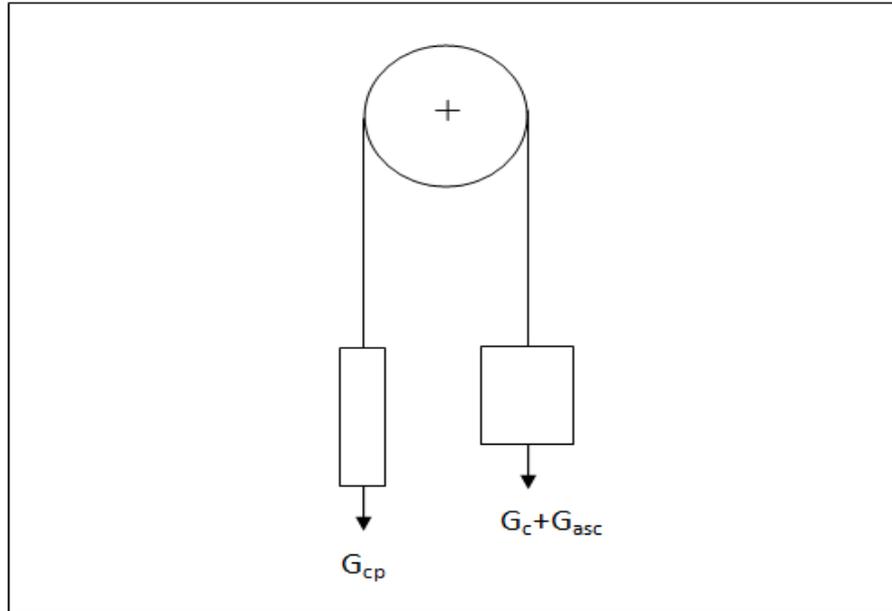
En plus, le temps de changement de l'accélération / décélération au dessous de la limite admissible, peut causer un non confort des passagers et donc la courbe (vitesse-temps) devrait être lisse aux régions de départ et arrêt.

Dans le mode (3), la nécessité d'arrêter avec précision à niveau avec un confort des passagers impose un contrôle sévère, et à cause de la précision désirée, le contrôle en boucle fermée est avéré le mieux adapté pour acquérir des bonnes performances .

## II. Calcul et dimensionnement des différentes parties mécaniques

### II.1. Calcul des câbles de levage

Soit le schéma simplifié de câblage à suspension directe suivant :



**Figure II-2** : Schéma de câblage à suspension directe

La force maximale que les câbles seront soumis est donnée par la formule (II-1) suivante:

$$F_{max} = \frac{G_c + G_{asc}}{m_c} = 4819.6 \text{ N} \quad (\text{II-1})$$

Avec :

$G_c = 6500 \text{ N}$  : Le poids de la cabine.

$G_{asc} = 320 \text{ kg}$  : La capacité de chargement.

$m_c = 2$  : Le nombre de câbles.

La limite (la force) de rupture est :

$$F_r = F_{max} k_s = 43376.4 \text{ N} \quad (\text{II-2})$$

Avec  $k_s = 9$ : coefficient de solidité (facteur de sécurité) du câble.

Pour des raisons sécuritaires la force admissible du câble choisit doit être supérieure à celle de la rupture.

$$F_{adm} \geq F_r \quad (\text{II-3})$$

On choisit le câble de type 10.5-GL-V-N [12] de diamètre  $d=10.5$  mm et  $F_{adm} = 53$  kN.

## II.2. Dimensionnement de la poulie d'entraînement

- Calcul de la largeur de la poulie

$$b = d + 2\delta = 35.7 \text{ mm} \quad (\text{II-4})$$

$$\delta = 1.2d$$

$d = 10.5$  mm : Diamètre du câble.

- Masse de la poulie

$$M_p = \frac{\pi \cdot D_p^2 \cdot b \cdot \gamma}{4} = 139.98 \text{ kg} \quad (\text{II-5})$$

$$\gamma = 7,8 * 10^3 \text{ kg/m}^3 \text{ -poids spécifique (densité)}$$

- Moment d'inertie de la poulie

$$J_p = \frac{M_p \cdot R_p^2}{2} = 11.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{II-6})$$

$R_p$  : Rayon de la poulie.

- Poids du contre poids+

$$G_{cp} = G_c + \alpha G_{asc} = G_c + 0.4 G_{asc} = 7598.7 \text{ N} \quad (\text{II-7})$$

$$\alpha = 0.35 \div 0.4 : \text{Coefficient de déséquilibre.}$$

- Masse du contre poids

$$M_{cp} = \frac{G_{cp}}{g} = 774.6 \text{ kg} \quad (\text{II-8})$$

$g = 9.8 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$  : Force gravitationnelle.

## III. Choix du moteur et de sa puissance

### III.1. Type de moteur

Le moteur principal est du type pour ascenseur, c'est-à-dire à fonctionnement silencieux et sans à-coup au démarrage (doux). Le démarrage est obtenu par l'intermédiaire d'un dispositif limitant les intensités de démarrage. [13]

Le choix du moteur d'ascenseur dépend des facteurs suivants :

- Echauffement du moteur : La température d'échauffement des isolants et des enroulements eux-mêmes doit être inférieure à une certaine limite et l'échauffement des autres organes du moteur ne doit pas dépasser la valeur admissible en conservant leurs qualités diélectriques pendant toute la durée de vie de moteur.

• Régimes de fonctionnement : on définit trois services nominaux principaux pour les moteurs électriques :

1. Les moteurs destinés à assurer un service **continu** comme les pompes et les ventilateurs.
2. Les moteurs destinés à assurer un service **temporaire** comme les ponts.
3. Les moteurs à service **intermittent périodiques** comme les appareils de levage (les grues et les ascenseurs).

Les recherches d'une machine présentant les avantages propres des moteurs asynchrones à rotor bobiné et à rotor en court circuit, en abouti à la création des moteurs asynchrone possédant un rotor court-circuité de type spécial, ces moteur qu'on désigne sous le nom de moteurs asynchrones à encoches profondes.

Les moteurs asynchrones à encoche profondes peuvent être soit en une seule vitesse, soit en deux vitesses.

**Moteur à une vitesse** : Le moteur à une vitesse est monté sur les treuils des ascenseurs dont la vitesse nominale ne dépasse pas 0.8m/s et dont le freinage est entièrement réalisé par le frein électromagnétique. Ce moteur démarre en générale sur sa caractéristique naturelle.

**Moteur à deux vitesses** : Le moteur à deux vitesses est utilisé pour les installations dont la vitesse n'excède pas 1.2 m/s. [14]

#### Remarque :

Le choix s'est fixé sur le moteur à deux vitesses pour un but nettement déterminé, celui d'obtenir, grâce à l'emploi d'une vitesse réduite avant l'arrêt, une grande précision.

### III.2. Détermination de la puissance du moteur de l'ascenseur.

La puissance du moteur doit être en rapport avec la puissance nécessaire, c'est calculée pour un fonctionnement avec un facteur de puissance est un rendement les plus élevés possibles. [13]

- Temps d'une révolution complète (une montée de 1<sup>er</sup> au 9<sup>ème</sup> étage et une descente de 9<sup>ème</sup> au 1<sup>er</sup> étage)
- 

$$T = \frac{2H_{pr} - h(N_{pr}^m + N_{pr}^d + 1)}{v} + k_t [(t_1 + t_2 + t_3) \cdot (N_{pr}^m + N_{pr}^d + 1) + t_4^m + t_5^m + t_4^d + t_5^d] \quad (\text{II-9})$$

$$T = 95.1 \text{ s}$$

D'où :

$$t_1 + t_2 + t_3 = 10 \text{ s}$$

$$H_{max} = 22.5 \text{ m}$$

$k_t = (1.05 \div 1.1)$  : Coefficient considérant des retards supplémentaires. ( $k_t = 1.1$ )

$H_{pr} = k_{pr} \cdot H_{max} = 15.75 \text{ m}$  : Hauteur probable de montée de la cabine.

$k_{pr} = 0.7 \div 0.9$  : Coefficient de probabilité de la hauteur de la montée.

$h = (1.5 \div 2)$  : Parcours réalisé par la cabine lors de l'emballlement jusqu'à la vitesse nominale et lors du freinage.

$v = 0.71 \text{ m/s}$  : Vitesse de déplacement de la cabine.

$N_{pr}^m, N_{pr}^d$  : Nombre probable d'arrêts à la montée et à la descente.

$$N_{pr}^m = N_1 - N_1 \left( \frac{N_1 - 1}{N_1} \right)^{\gamma_m E} = 2 \quad (\text{II-10})$$

$$N_{pr}^d = N_1 - N_1 \left( \frac{N_1 - 1}{N_1} \right)^{\gamma_d E} = 1 \quad (\text{II-11})$$

$N_1 = 9 - \pi_a = 4$  : Nombre possible d'arrêts supérieurs à l'étage.

$$\pi_a = 5$$

$\gamma_m = 0.8, \gamma_d = 0.4$  : Coefficients de remplissage respectivement à la montée et à la descente.

$E = \frac{G_c}{80} = 4$  : Capacité de l'ascenseur, déterminée par la capacité de levage et le poids moyen d'une personne.

$t_4, t_5$  : Temps d'entrée et de sortie des passagers lors de la montée et de la descente.

$$t_4^m + t_5^m = 2 \cdot \Delta t \cdot \gamma_m \cdot E = 9.6 \text{ s} \quad (\text{II-12})$$

$$t_4^d + t_5^d = 2 \cdot \Delta t \cdot \gamma_d \cdot E = 4.8 \text{ s} \quad (\text{II-13})$$

D'où  $\Delta t = (1.5 \div 2)$  : Temps d'entrée et de sortie d'un passager. ( $\Delta t = 2 \text{ s}$ )

- Temps de fonctionnement du moteur

$$t_f = T - k_t (t_4^m + t_5^m + t_4^d + t_5^d) = 80 \text{ s} \quad (\text{II-14})$$

- Facteur d'utilisation du moteur

$$Fu = \frac{100 \cdot t_f}{T} = 84.1 \quad (\text{II-15})$$

Le calcul de la puissance du moteur de l'ascenseur est basé sur le choix préliminaire de la charge statique et la construction du diagramme de charge avec la prise en compte des régimes transitoires et ensuite effectuer le contrôle par la méthode équivalente du courant où du couple.

- Puissance du mécanisme de levage en régime établi

$$P_M = \frac{(1-\alpha)(G_c+G_{asc}).v}{\eta} = 7.309 \text{ kW} \quad (\text{II-16})$$

$\eta = (0.5 \div 0.6)$  : Rendement total des installations de levage.

- Calcul supplémentaire de la puissance pour une approche de valeur standard

$$P_c = P_M \sqrt{\frac{Fu}{FU_{stand}}} = P_M \sqrt{\frac{Fu}{100}} = 7.376 \text{ kW} \quad (\text{II-17})$$

- Puissance du moteur

$$P_m = P_c \cdot k_g = 8.113 \text{ kW} \quad (\text{II-18})$$

$k_g$ : Coefficient prenant en compte les charges dynamiques du moteur.

$k_g = 1.1 \div 1.3$  (On a pris  $k_g = 1.3$ )

Sur la base des résultats obtenus, on choisit un moteur asynchrone à deux vitesses d'entraînement électrique de l'ascenseur de type AHP180A6/24. [15]

$P_n$ (kW)	9	-
$n_n$ (trs/mn)	940	205
$\eta_n$ (%)	78	-
$\cos \varphi$	0.65	-
$I_n$ à 380 V (A)	8.9	14.5
$C_n$ (N.m)	30.5	-
$C_d / C_n$	2.3 ÷ 2.8	≥ 1.8
$I_d / I_n$	5	-
$C_{cr} / C_n = C_{max} / C_n$	2.6 ÷ 3.1	≥ 1.8
$C_{fr} / C_n$	-	2.3 ÷ 2.8
Nombre d'amorçage admissible par heure	120	
Moment d'inertie du rotor (kg.m <sup>2</sup> )	0.468	
Coefficient limite de l'inertie du système	7.0	
Masse (kg)	130	

Tableau II- 1 : Caractéristiques du moteur choisit.

#### IV. Calcul des performances de l'ascenseur

Le rendement de l'ascenseur est déterminé par la base du nombre de passagers par heure.

$$P = \frac{3600.E.(Y_m + Y_d)}{T} = 181 \text{ passagers/h} \quad (\text{II-19})$$

Admettant que le moteur chargé fonctionne au point nominal de la caractéristique mécanique à glissement nominal. La vitesse nominale exprimée en (rd/s) est donc:

$$\omega_n = \frac{\pi.n_n}{30} = 98.4 \text{ rd/s} \quad (\text{II-20})$$

- Facteur de transmission du réducteur

$$j = \frac{\omega_n \cdot D_p}{2v} = 55.44 \quad (\text{II-21})$$

On choisit la valeur standardisée du facteur de transmission :  $j_{\text{red.st}} = 56$ , le rendement de réducteur ;  $\eta_{\text{red}} = 55\%$

- Couple résistant du mécanisme à l'arbre du moteur

$$C_r = 0.5(1 - \alpha)G_{\text{asc}}D_p = 816.2 \text{ N.m} \quad (\text{II-22})$$

- Moment d'inertie du mécanisme

$$J_M = J_c + J_{cp} + J_p \quad (\text{II-23})$$

$J_{cp}$  : Moment d'inertie du contre poids, ramené à l'arbre de la poulie.

$$J_{cp} = \frac{G_{cp} \cdot D_p^2}{4g} = 124 \text{ kg.m}^2 \quad (\text{II-23})$$

$J_c$  : Moment d'inertie de la cabine avec charge ramené à l'arbre de la poulie

$$J_c = \frac{(G_c + G_{\text{asc}}) \cdot D_p^2}{4g} = 157.3 \text{ kg.m}^2 \quad (\text{II-24})$$

$$J_M = 157.3 + 124 + 11.2 = 292.5 \text{ Kg.m}^2$$

- Moment d'inertie du mécanisme ramené à l'arbre de moteur

$$J'_M = J_M / j_{\text{red}}^2 = 0.093 \text{ Kg.m}^2$$

$$\Sigma J_i = J_\Sigma = J'_M + J_m = 0.249 \text{ kg.m}^2 \quad (\text{II-25})$$

- Vitesse linéaire réelle de déplacement de la cabine

$$v_r = \frac{\omega_n \cdot D_p}{2 \cdot J_{réd.st}} = 0,70 \text{ m/s} \quad (\text{II-26})$$

- Ecart de vitesse

$$\delta v = \left( \frac{v_r - v}{v} \right) \cdot 100\% = -1,4 \% \quad (\text{II-27})$$

## V. Calcul du diagramme de charge

- Calcul de temps d'arrêt à la montée et à la descente

$$t'_{1m} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4^m + t_5^m = 19.6 \text{ s}$$

$$t'_{2d} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4^d + t_5^d = 14.8 \text{ s}$$

- Temps de démarrage et freinage lors d'une accélération donnée

$$t_d = t_f = \frac{v_r}{a} = 0,568 \text{ s} \quad (\text{II-28})$$

$$a = 1.25 \text{ m/s}^2$$

- Distance parcourue avec vitesse établie

$$H_{et} = H - \frac{2 \cdot v_r \cdot t_d}{2} = 1.096 \text{ m} \quad (\text{II-29})$$

- Temps du mouvement avec vitesse établie

$$t_{et} = \frac{H_{et}}{v_r} = 1,544 \text{ s} \quad (\text{II-30})$$

Au freinage, le moteur est débranché du réseau suivi de l'engagement du frein mécanique.

- Temps de fonctionnement du moteur à la montée et à la descente

$$t_{f1} = t_{f2} = t_{et} + t_d = 2,112 \text{ s} \quad (\text{II-31})$$

- Temps de fonctionnement lors de la montée et de la descente

$$t_m = \frac{T - (t'_{1m} + t'_{2d})}{2} = 30.35 \text{ s} \quad (\text{II-32})$$

- Calcul du couple de charge à la montée et descente de la cabine

A la montée

$$C_r^{\nearrow} = \frac{C_r}{\eta_{réd} \cdot J_{réd.st}} = 26,5 \text{ N.m} \quad (\text{II-33})$$

A la descente

$$C_r^{\searrow} = \frac{C_r \cdot \eta_{réd}}{J_{réd.st}} = 8,016 \text{ N.m} \quad (\text{II-34})$$

- Couple dynamique à la montée et la descente de la cabine

$$C_{dyn} = J_{\Sigma} \cdot \varepsilon = 43,575 \text{ N.m} \quad (\text{II-35})$$

$\varepsilon$  : Accélération angulaire

$$\varepsilon = j_{red.st} \frac{2a}{D_p} = 175 \text{ rad/s}^2 .$$

- Couple sommaire

$$C_{\Sigma} = C_r + C_{dyn} = 859.775 \text{ N.m} \quad (\text{II-36})$$

- La puissance charge de mécanisme à la montée de la cabine

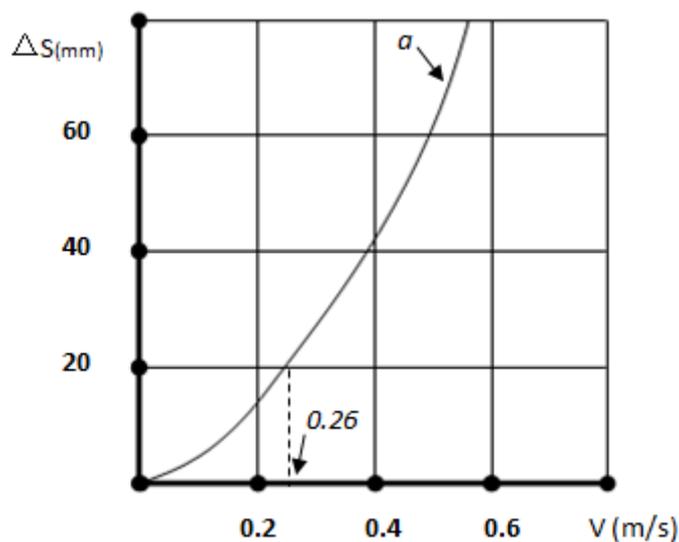
$$P_{cm} = \frac{(1-\alpha)G_{asc} \cdot D_p \cdot \omega_n}{\eta \cdot 2 \cdot j_{red.st}} = 2,607 \text{ kW} \quad (\text{II-37})$$

À la descente

$$P_{cd} = \frac{(1-\alpha)G_{asc} \cdot D_p \cdot \omega_n \cdot \eta}{2 \cdot j_{red.st}} = 788,8 \text{ W} \quad (\text{II-38})$$

- La puissance équivalente

$$P_{\acute{e}q} = \sqrt{\frac{P_{cm}^2 \cdot t_m + P_{cd}^2 \cdot t_d}{T}} = 209 \text{ W} \quad (\text{II-39})$$



**Figure II-3:** Erreur d'arrêt de l'ascenseur en fonction de la valeur de la vitesse  $\Delta S = f(v)$ .

De la **Figure II-3** et l'erreur d'arrêt de l'ascenseur donnée en cahier de charge [A1], on peut relever la valeur de la vitesse réduite  $v_{red} = 0.26 \text{ m/s}$ .

- Temps de mouvement pour chaque étage

$$t = t_{emb} + t_{fr} + t_{ét} = 3,49 \text{ s} \quad (\text{II-40})$$

$$t_{emb}: \text{ Temps d'emballlement} \quad t_{emb} = \frac{v}{a_{max}} = 0,4733 \text{ s}$$

$$t_{fr}: \text{ Temps de freinage} \quad t_{fr} = t_{fr1} + t_{fr2} + t_{fr3} = 1.473 \text{ s}$$

$$v_r = \frac{\omega_n \cdot D_p}{2 \cdot j_{red.st}} = 0.15 \text{ m/s} : \text{ la vitesse réelle.}$$

$$v_{red} = 0.26 \text{ m/s} : \text{ Vitesse réduite.}$$

$$t_{fr1} = \frac{v - v_{red}}{a_{max}} = 0,3 \text{ s} : \text{ Temps de passage de la vitesse nominale à la vitesse réduite.}$$

$$t_{fr2} = 1 \text{ s} : \text{ Temps d'approche de l'étage avec vitesse réduite.}$$

$$t_{fr3} = \frac{v_{red}}{a_{max}} = 0,173 \text{ s} : \text{ Temps de freinage de la vitesse réduite jusqu'à l'arrêt complet.}$$

$$t_{ét} = \frac{(n_2 - n_1) \cdot 2.5 - S}{v} : \text{ Temps du mouvement avec vitesse réduite.}$$

$$n_1 = 5, n_2 = 9 : \text{ Niveaux d'étages.}$$

$$S = S_{emb} + S_{fr1} + S_{fr2} + S_{fr3} = 0.5179 \text{ m} : \text{ Distance parcourue par la cabine à l'emballlement et au freinage.}$$

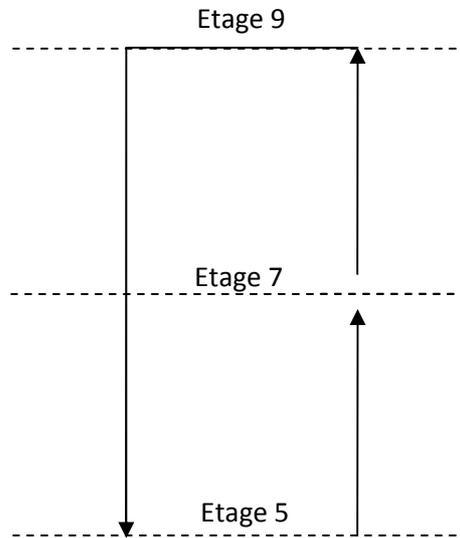
$$S_{emb} = 0.5 a_{max} t_{emb}^2 = 0.168 \text{ m} : \text{ Distance d'emballlement.}$$

$$S_{fr1} = 0.5 a_{max} t_{fr1}^2 = 0.0675 \text{ m} : \text{ Distance au freinage de } v \text{ à } v_{red}.$$

$$S_{fr2} = v_{red} t_{fr2} = 0.26 \text{ m} : \text{ Distance d'approche de l'étage à vitesse réduite.}$$

$$S_{fr3} = 0.5 a_{max} t_{fr3}^2 = 0.0224 \text{ m} : \text{ Distance au freinage de } v_{red} \text{ jusqu'à l'arrêt complet.}$$

On calcule le temps du mouvement pour certaines étapes de cycle de fonctionnement.  $\pi_a = 5$ , à la descente  $N_{pr}^d = 1$ , à la montée  $N_{pr}^m = 2$ . Le cycle de fonctionnement de l'ascenseur est composé d'une montée du 5<sup>ème</sup> au 7<sup>ème</sup> étage ( $t_{57}$ ), une montée du 7<sup>ème</sup> au 9<sup>ème</sup> étage ( $t_{79}$ ) et d'une descente du 9<sup>ème</sup> au 5<sup>ème</sup> étage ( $t_{95}$ ).



**Figure II-4 :** Schéma du cycle de fonctionnement de l'ascenseur.

Ce schéma de fonctionnement est choisi avec les conditions de charge maximale admissible appliquée au moteur lors de l'étage de référence d'arrêt.

$$t_{57et} = \frac{(n_2 - n_1)a - S}{v} = 3.5 \text{ s} \quad (\text{II-41})$$

$$t_{79et} = \frac{(n_2 - n_1)a - S}{v} = 3.5 \text{ s} \quad (\text{II-42})$$

$$t_{95et} = \frac{(n_2 - n_1)a - S}{v} = 7.721 \text{ s} \quad (\text{II-43})$$

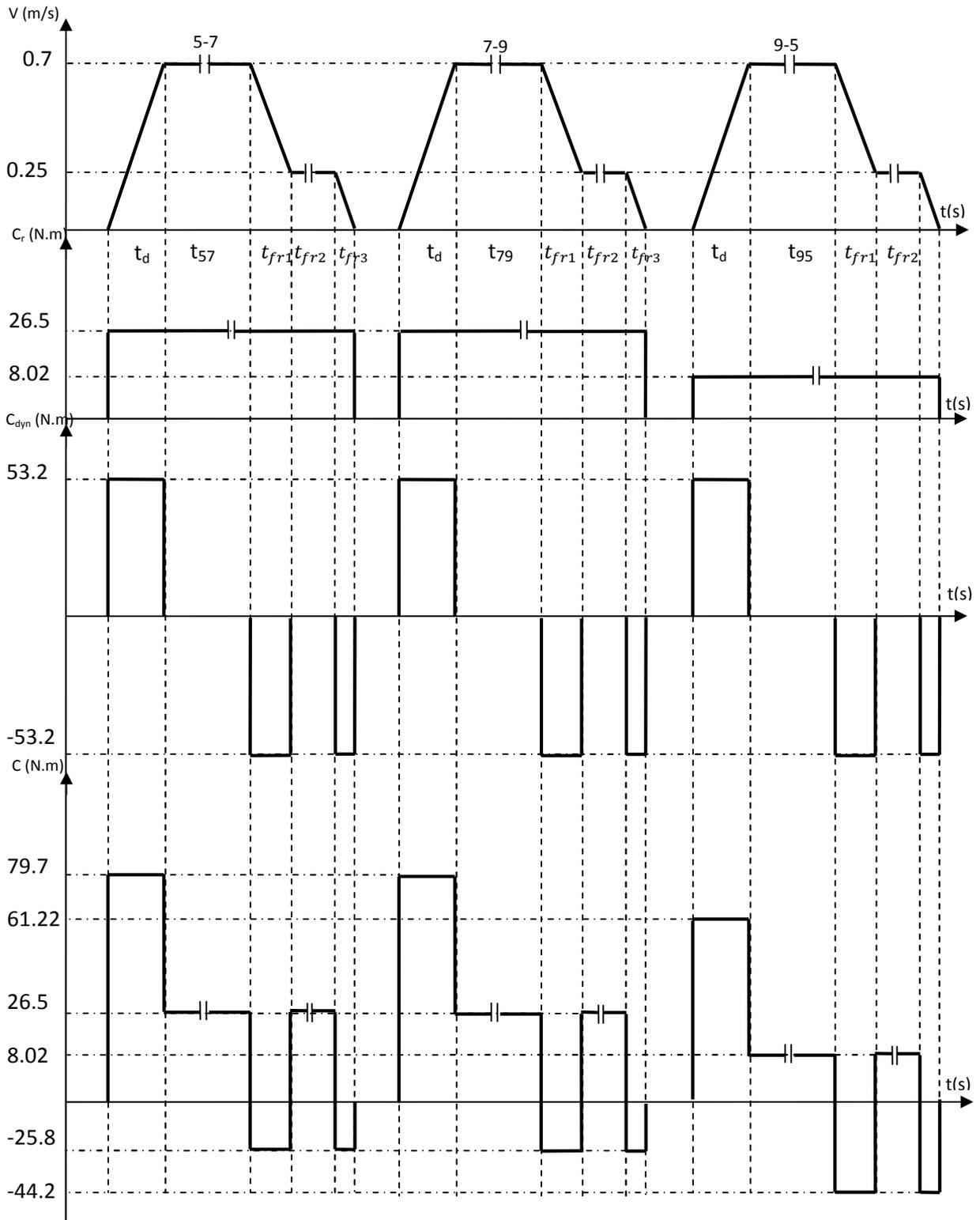


Figure II-5 : diagramme de charge.

## VI. Schéma d'amorçage du moteur

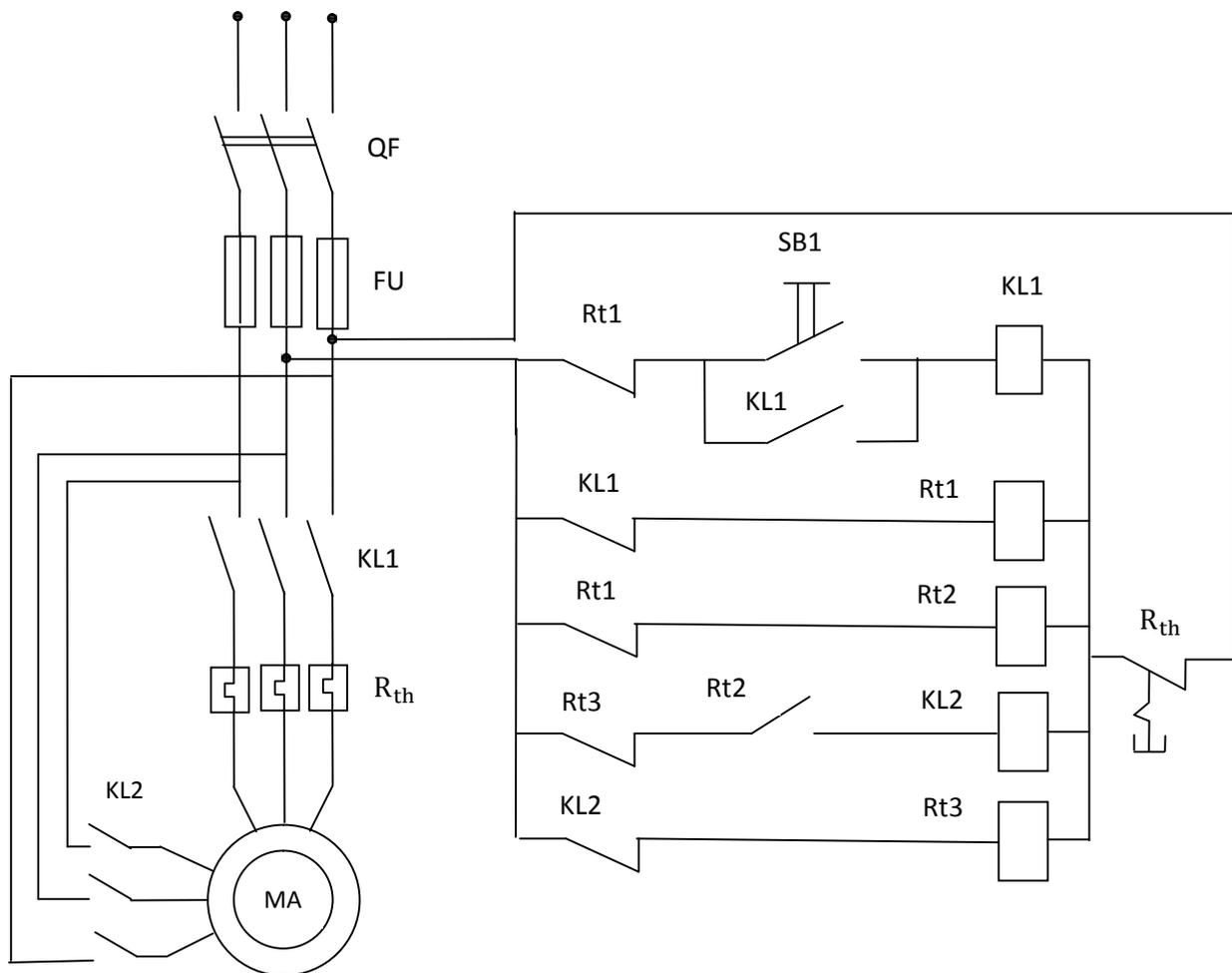


Figure II-6: Schéma d'amorçage du moteur.

SB1 : Bouton de démarrage.

QF : Disjoncteur de ligne.

FU : Fusible.

KL1, KL2 : Contacteurs de ligne.

R<sub>th</sub> : Relai thermique.

R<sub>t1</sub>, R<sub>t2</sub>, R<sub>t3</sub> : Relais temps.

Le relai thermique R<sub>th</sub> assure la protection du moteur des surcharges dues aux échauffements, les fusibles FU le protègent des courts-circuits.

Pour faire démarrer le moteur, on enclenche le disjoncteur QF et en appuyant sur le bouton de démarrage SB1, la bobine de contacteur de ligne KL1 reçoit l'alimentation ce qui implique la fermeture des contacteurs de ligne KL1, et le moteur à travers son circuit statorique est mis sous tension de la source d'alimentation, le moteur s'emballe sur sa caractéristique naturelle, au même temps le relai de temps Rt1 sera mis hors tension.

Lorsque le moteur atteint son régime permanent, au bout d'un certain temps (temps de démarrage+temps de régime établie) calculés auparavant les contacteurs de relai temps Rt1 se ferment, donc le moteur débute son freinage dynamique sous l'influence du couple de charge sur son arbre, au même temps le relai temps RT2 sera mis sous tension.

Le moteur se freine avec sa grande vitesse jusqu'à atteindre la vitesse réduite pendant un certain temps puis les contacteurs du relai temps Rt2 se ferment, ainsi que la bobine de contacteur de ligne KL2 sera mise sous tension et ses contacteurs se ferment, le moteur s'emballe sur sa vitesse réduite et le relai temps Rt3 sera met sous tension.

Le moteur fonctionne avec sa vitesse réduite pendant un certain temps puis les contacteurs de relai temps se ferment ainsi que le moteur sera met sous tension et il se freine sous l'influence du couple sur son arbre jusqu'à l'arrêt total ainsi le cycle de fonctionnement du moteur s'achève. [16]

## VII. Caractéristiques mécaniques

Les moteurs asynchrones d'induction, à rotor en court-circuit, bobinés ou non, alimentés par le réseau à fréquence constante et tension sinusoïdale imposé, possèdent en régime permanent des caractéristiques  $C(\omega)$  de type shunt favorable à l'entraînement des machines-outils qui présentent, elles, des couples croissants avec la vitesse. Ils fonctionnent de manière stable à vitesse rigoureusement constante. [17]

### VI.1. Caractéristique mécanique pour la grande vitesse

- Calcul de la vitesse angulaire de synchronisme

On a ;  $n_0 = 1000 \text{ trs/mn}$

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = 104.72 \text{ rd/s} \quad (\text{II-44})$$

- Calcul de la vitesse angulaire nominal

$$\omega_n = \frac{2\pi n_n}{60} = 98.43 \text{ rd/s} \quad (\text{II-45})$$

- Calcul du glissement nominal

$$g_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0} = 0.06 = 6\% \quad (\text{II-46})$$

- Calcul du glissement maximal

$$g_{max} = g_n \left( \frac{C_{max}}{C_n} \pm \sqrt{\left( \frac{C_{max}}{C_n} \right)^2 - 1} \right) = 0.36 = 36\% \quad (\text{II-47})$$

- Calcul de la vitesse angulaire maximale

$$g_{max} = \frac{\omega_0 - \omega_{max}}{\omega_0} \Rightarrow \omega_{max} = \omega_0(1 - g_{max}) = 67.02 \text{ rd/s} \quad (\text{II-48})$$

- Calcul du couple de démarrage

$$\frac{C_d}{C_n} = 2.8 \Rightarrow C_d = 2.8C_n = 85.4 \text{ N.m} \quad (\text{II-49})$$

- Calcul du couple de maximal

$$\frac{C_{max}}{C_n} = 3.1 \Rightarrow C_{max} = 3.1C_n = 94.55 \text{ N.m} \quad (\text{II-50})$$

## VI.2. Caractéristique mécanique pour la vitesse réduite

- Calcul de la vitesse angulaire de synchronisme

On a  $n_0 = 250 \text{ trs/mn}$

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = 26.18 \frac{\text{rd}}{\text{s}} \quad (\text{II-51})$$

- Calcul de la vitesse angulaire nominal

$$\omega_n = \frac{2\pi n_n}{60} = 21.46 \frac{\text{rd}}{\text{s}} \quad (\text{II-52})$$

- Calcul du glissement nominal

$$g_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0} = 0.18 = 18\% \quad (\text{II-53})$$

- Calcul du glissement maximal

$$g_{max} = g_n \left( \frac{C_{max}}{C_n} \pm \sqrt{\left( \frac{C_{max}}{C_n} \right)^2 - 1} \right) = 0.59 = 59\% \quad (\text{II-54})$$

- Calcul de la vitesse angulaire maximale

$$g_{max} = \frac{\omega_0 - \omega_{max}}{\omega_0} \Rightarrow \omega_{max} = \omega_0(1 - g_{max}) = 10.73 \frac{rd}{s} \quad (II - 55)$$

- Calcul du couple nominal

$$C_n = \frac{P_n}{\omega_n} = 139.8 \text{ N.m} \quad (II - 56)$$

- Calcul du couple de démarrage

$$\frac{C_d}{C_n} = 1.8 \Rightarrow C_d = 1.8C_n = 251.64 \text{ N.m} \quad (II - 57)$$

- Calcul du couple maximal

$$\frac{C_{max}}{C_n} = 2 \Rightarrow C_{max} = 2C_n = 280 \text{ N.m} \quad (II - 58)$$

Sur la base des différents couples et vitesses obtenus pour la grande et vitesse réduite on peut dessiner les caractéristiques mécaniques suivantes

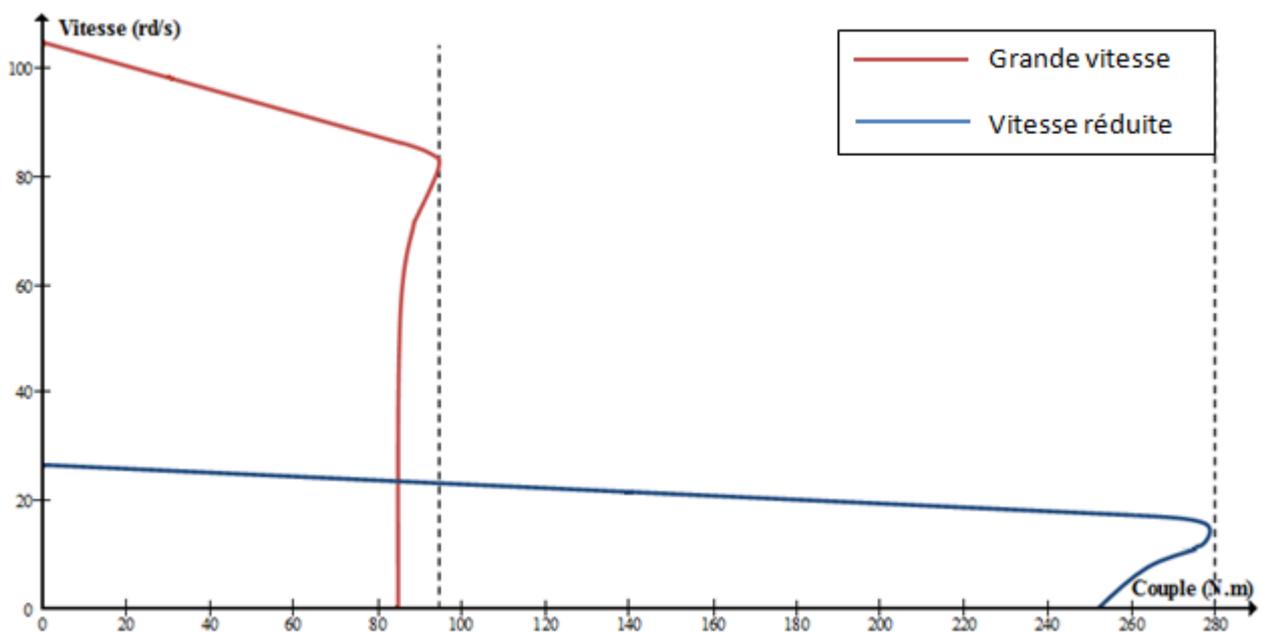


Figure II-7 : Caractéristiques mécaniques du moteur à grande et à vitesse réduite.

La caractéristique mécanique pour la grande vitesse du moteur est représentée par la **figure II-7** (en rouge) sert au déplacement rapide de la cabine, cependant celle de la vitesse réduite (en bleu) sert au positionnement et l'arrêt précis de la cabine.

Lors de la mise sous tension du moteur, celui-ci s'emballe sur la caractéristique à grande vitesse jusqu'à atteindre le point de fonctionnement nominal, ensuite le moteur freine momentanément, Pour avoir une précision et une souplesse à l'arrêt le moteur s'emballe sur sa caractéristique à vitesse réduite jusqu'à l'arrêt total de la cabine.

La détermination de la puissance du moteur et la vérification par la méthode équivalente du courant ou du couple est basée sur des suppositions assurant une bonne précision de fonctionnement du système, suffisante dans la pratique pour les moteurs fonctionnant sans tenir compte des arrêts probables. Mais pour les moteurs fonctionnant en régime transitoire avec ses arrêts probables, cette méthode ne peut pas être appliquée. Grâce à sa simplicité, cette méthode est largement utilisée pour le calcul approché de la puissance des moteurs de tous les types [14].

## Conclusion

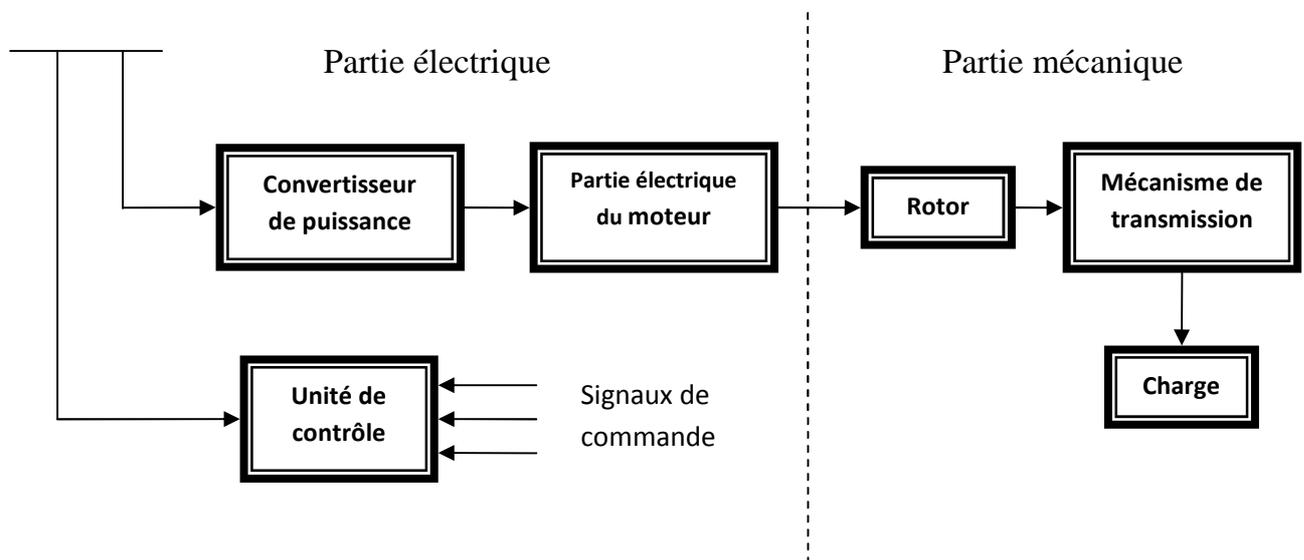
Dans ce chapitre, on a effectué le dimensionnement de la partie mécanique du système. Ce calcul nous conduit à choisir correctement le moteur d'entraînement, à élaborer et obtenir les performances de tout le système passant par le diagramme de charge qui nous donne un aperçu détaillé des cycles de fonctionnement. Aussi, on a obtenu les allures des caractéristiques mécaniques ainsi que le schéma d'amorçage du moteur.

Chapitre III  
étude des propriétés  
dynamiques de l'entraînement d'ascenseur

Les entraînements électriques sont des systèmes compliqués et leur étude est très difficile lorsqu'une analyse complète de son comportement est désirée. Mais avec l'avènement de la technologie cette étude est devenue facile suivant une approche modulée.

Le schéma type d'un entraînement électrique est représenté sur la **figure III-1**, qui est constitué de deux parties distinctes selon la nature de la puissance: [5]

- Une partie électrique qui comprend l'alimentation, le système de convertisseur statique et le moteur électrique.
- Une partie mécanique qui comprend la partie tournante du moteur électrique (rotor), le mécanisme de transmission, et la charge en mouvement.



**Figure III- 1:** Assemblage générique d'un entraînement électrique.

### I. Calcul du schéma cinématique de la partie mécanique de l'entraînement électrique.

- Rayon de l'entraînement

$$\rho = \frac{v}{\omega} = 0.8m \quad (\text{III-1})$$

- Moment d'inertie de la poulie ramené à l'arbre du moteur

$$J_p = 11.2 \text{ kg.m}^2$$

$$J'_p = \frac{J_p}{j_r^2} = 3,54.10^{-3} \text{ Kg.m}^2 \quad (\text{III-2})$$

- **Moment d'inertie de contre poids ramené à l'arbre du moteur**

$$J_{cp} = \frac{G_{cp} \cdot D_p^2}{4g} = 124 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{cp} = \frac{J_{cp}}{j_r^2} = 0.04 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{III-3})$$

- **Moment d'inertie de la cabine ramenée à l'arbre du moteur**

$$J_{cabine} = \frac{(G_c) \cdot D_p^2}{4g} = 106 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{cabine} = \frac{J_{cabine}}{j_r^2} = 0.034 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{III-4})$$

- **Moment d'inertie de poids des personnes ramené à l'arbre du moteur**

$$J_p = \frac{G_{asc} \cdot D_p^2}{4} = 12.8 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_p = \frac{J_p}{j_r^2} = 4,16 \cdot 10^{-3} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{III-5})$$

- **Rigidité du câble**

$$\beta_c = \frac{E_c \cdot S_c}{l_c} = 549841.27 \text{ N/m} \quad (\text{III-6})$$

Avec :

$E_c = 10^7$  : Module de rigidité du câble (N/cm<sup>2</sup>).

$S_c = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 0.866 \text{ cm}^2$ : Section du câble.

$l_c = 15.75 \text{ m}$  : Longueur du câble.

- **Rigidité de câble ramenée à l'arbre du moteur**

La rigidité du manchon de couplage est  $\beta_m = 7500 \text{ N/m}$

La rigidité de manchon de liaison entre le réducteur et la poulie ramenée à l'arbre du moteur est :

$$\beta'_m = \frac{\beta_m}{j_r^2} = 2.4 \text{ N/m} \quad (\text{III-7})$$

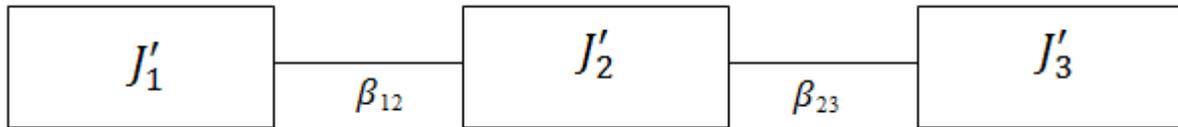
- **Moment d'inertie du réducteur et le manchon de freinage  $J_1$**

On le prend égal à 20% de celui du moteur

$$J_1 = 0.2J_{mot} = 0.0936 \text{ kg.m}^2 \quad (\text{III-8})$$

## II. Schéma mécanique de calcul à trois masses

Le schéma mécanique de calcul à 3 masses peut être représenté comme suit :



**Figure III- 2:** Schéma mécanique de calcul à trois masses.

$$J'_1 = J_{mot} + J_1 = 0.5616 \text{ kg.m}^2$$

$$J'_2 = J'_{c\grave{a}ble} + J'_{cp} = 0.040134 \text{ kg.m}^2$$

$$J'_3 = J'_{cabine} + J'_{poids} = 0.0386 \text{ kg.m}^2$$

$$\beta_{12} = \beta'_m = 2.4 \text{ N/m}$$

$$\beta_{23} = \beta'_{c\grave{a}ble} = 175.33 \text{ N/m}$$

On transforme le schéma à trois masses en schéma à deux masses

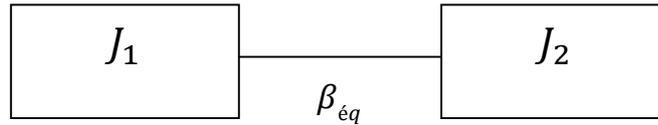
$$J_{12} = J'_2 \frac{\beta_{12}}{\beta_{12} + \beta_{23}} = 5.46 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

$$J_{23} = J'_3 \frac{\beta_{23}}{\beta_{23} + \beta_{12}} = 0.04 \text{ kg.m}^2$$

$$\beta_{\acute{e}q} = \frac{\beta_{12} \cdot \beta_{23}}{\beta_{12} + \beta_{23}} = 2.4$$

$$\left. \begin{aligned} J_{1\Sigma} &= J'_1 + J_{12} = 0.52146 \text{ kg.m}^2 \\ J_{2\Sigma} &= J'_3 + J_{23} = 0.07816 \text{ kg.m}^2 \end{aligned} \right\} J_{\Sigma} = J_{1\Sigma} + J_{2\Sigma} = 0.64 \text{ kg.m}^2 \quad (\text{III-9})$$

Le schéma mécanique de calcul à 2 masses peut être représenté comme suit :



**Figure III- 3 :** Schéma mécanique de calcul simplifié à deux masses.

$$\text{Le rapport de masse: } \gamma = \frac{(J_1+J_2)}{J_1} = \frac{J_\Sigma}{J_1} = 6.83. \quad (\text{III-10})$$

### III. Calcul dynamique de la partie mécanique de l'entraînement électrique

Pour analyser les processus dynamiques, les méthodes de fréquences sont très utilisées, les diagrammes de Bode sont obtenus des fonctions de transfert on substituant l'opérateur de LAPLACE ( $p$ ) par ( $j\Omega$ ), d'où  $\Omega$  est la fréquence du signal d'entrée (consigne). Pour un système d'entraînement électrique à une seule masse, on a la FT (Fonction de Transfert) suivante : [16]

$$W_\omega(p) = \frac{\omega(p)}{c_{dyn}(p)} = \frac{1}{Jp} \quad (\text{III-11})$$

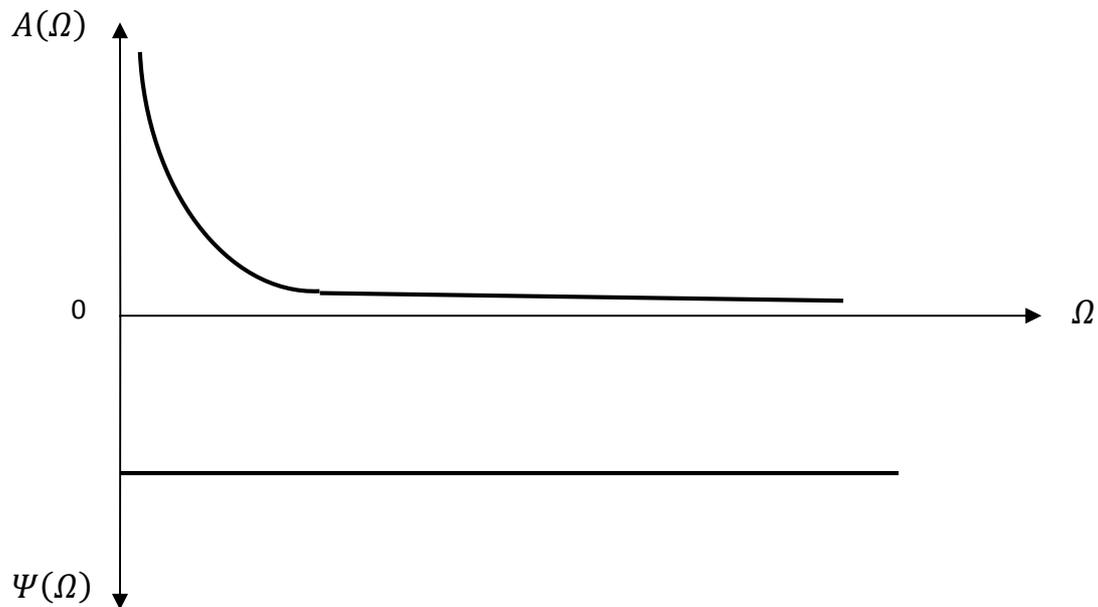
La caractéristique Amplitude-Fréquence du système sera donc :

$$W_\omega(j\Omega) = \frac{\omega(j\Omega)}{c_{dyn}(j\Omega)} = -j \frac{1}{J\Omega} \quad (\text{III-12})$$

Le diagramme de Bode est représenté sous forme Amplitude-Fréquence  $A(\Omega)$  et Phase-Fréquence  $\Psi(\Omega)$

$$A(\Omega) = |W_\omega(j\Omega)| = \frac{1}{J\Omega}$$

$$\Psi(\Omega) = \arg(W_\omega(j\Omega)) = \frac{-\pi}{2}$$



**Figure III- 4** : diagramme de Bode pour un système à une seule masse.

Lorsque la fréquence diminue, l'amplitude augmente, quand elle tend vers zéro, l'amplitude (vitesse) tend vers l'infini ce qui correspond parfaitement au couple dynamique constant et puisque ce dernier est constant, la vitesse de rotor du moteur croit continuellement jusqu'à obtenir des valeurs établies. Il est nécessaire à cette vitesse d'assurer un couple dynamique constant.

Lorsque la fréquence augmente ( $\Psi = (30 \div 60)s^{-1}$ ), l'amplitude se rapproche de zéro, par conséquent la partie mécanique représente un filtre à basses fréquences, il transmet uniquement les basses fréquences du signal quand aux hautes fréquences, sont affaiblies ou bien amorties.

Cette propriété de la partie mécanique de l'entraînement électrique est utilisée dans les entraînements électriques ayant des tensions de sorties non sinusoïdales. Dans ce cas le rotor ne reproduit que le mouvement de la composante du signal d'entrée ignorant presque les vibrations de haute fréquence.

Dans les systèmes mécaniques réels, il y a des pertes d'énergie sous formes de frottements visqueux et d'hystérésis mécanique élastiques, le couple de freinage est lié à ces pertes, lequel est appelé le couple de frottements visqueux. [16]

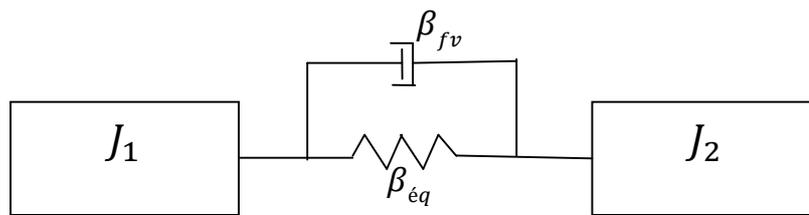
$$C_{fv} = \beta_{fv}(\omega_1 - \omega_2) \quad (\text{III-13})$$

Avec ;

$\beta_{fv} = 0.2$  : Coefficient de proportionnalité appelé de frottement visqueux [N.m.s]

$\omega_1, \omega_2$  : vitesses angulaires aux extrémités de l'élément élastique.

Dans ce cas le schéma mécanique de calcul se présente comme suit ;



**Figure III- 5:** Schéma mécanique de calcul simplifié à deux masses avec prise en compte des forces dissipatives.

Le couple de torsion  $C_t$  et le couple de frottements visqueux  $C_{fv}$  peuvent être unis en un seul couple.

$$\left. \begin{aligned} C_{12} &= C_t + C_{fv} \\ C - C_t - C_{fv} &= J_1 \frac{d\omega_1}{dt} \\ C_{12} - C_r &= J_2 \frac{d\omega_2}{dt} \\ C_{12} &= \left( \frac{\beta_{\acute{e}q}}{p} + \beta_{fv} \right) (\omega_1 - \omega_2) \end{aligned} \right\} \quad \text{(III-14)}$$

On écrit les équations obtenues du système à deux masses sous formes d'équations dans le domaine de LAPLACE

$$C(p) - C_t(p) - C_{fv}(p) = J_1 \frac{d\omega_1(p)}{dt} \quad \text{(III-15)}$$

$$C_{12}(p) - C_r(p) = J_2 \frac{d\omega_2(p)}{dt} \quad \text{(III-16)}$$

$$C_{12}(p) = \left( \frac{\beta_{\acute{e}q}}{p} + \beta_{fv} \right) (\omega_1(p) - \omega_2(p)) \quad \text{(III-17)}$$

$$(III-15) \Rightarrow C(p) - C_{fv}(p) - C_{12}(p) = J_1 p \omega_1(p)$$

$$\Rightarrow \omega_1(p) = \frac{C(p) - C_{fv}(p) - C_{12}(p)}{J_1 p}$$

$$(III-16) \Rightarrow C_{12}(p) - C_r(p) = J_2 p \omega_2(p)$$

$$\Rightarrow \omega_2(p) = \frac{C_{12}(p) - C_r(p)}{J_2 p}$$

Les charges mécaniques dans les processus industriels ont une large variété de caractéristiques. Cependant les équations de mouvement obtenues auparavant permettent d'analyser les propriétés dynamiques de l'entraînement électrique par les méthodes d'asservissement, la méthode d'analyse la plus utilisée est celle des fonctions de transfert et schémas bloc.

Le système d'équations peut être écrit sous forme d'opérateur de LAPLACE comme suit :

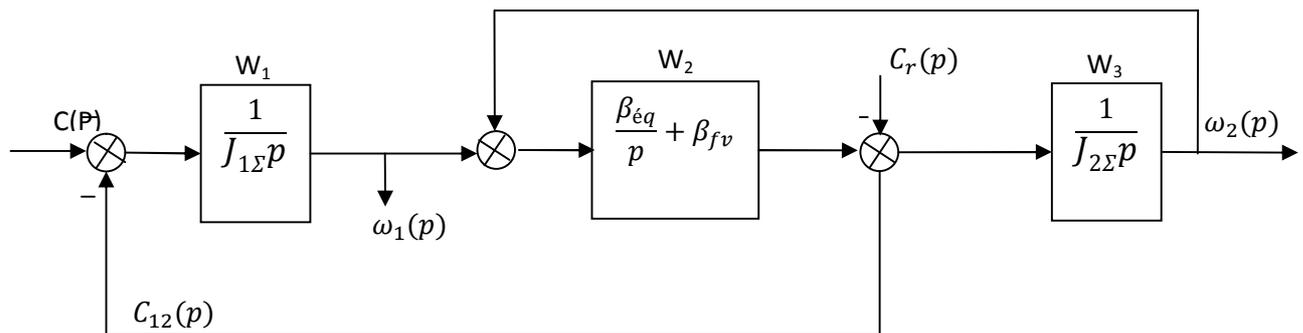


Figure III- 6 : Schéma bloc de la partie mécanique de l'entraînement électrique.

L'action de commande (signal de consigne) est assurée par le couple moteur  $C(p)$ , l'action de perturbation par les couples résistants  $C_{12}(p)$  et  $C_r(p)$ , et la régulation des coordonnées (états variables) assurée par les vitesses angulaires des deux masses  $\omega_1(p)$  et  $\omega_2(p)$  ayant respectivement des angles  $\varphi_1(p)$  et  $\varphi_2(p)$ .

Pour  $C_r(p) = 0$ , on simplifie le schéma bloc précédent pour aboutir à une fonction de transfert  $W_{\omega_2}(p) = \frac{\omega_2(p)}{C(p)}$  comme suit :

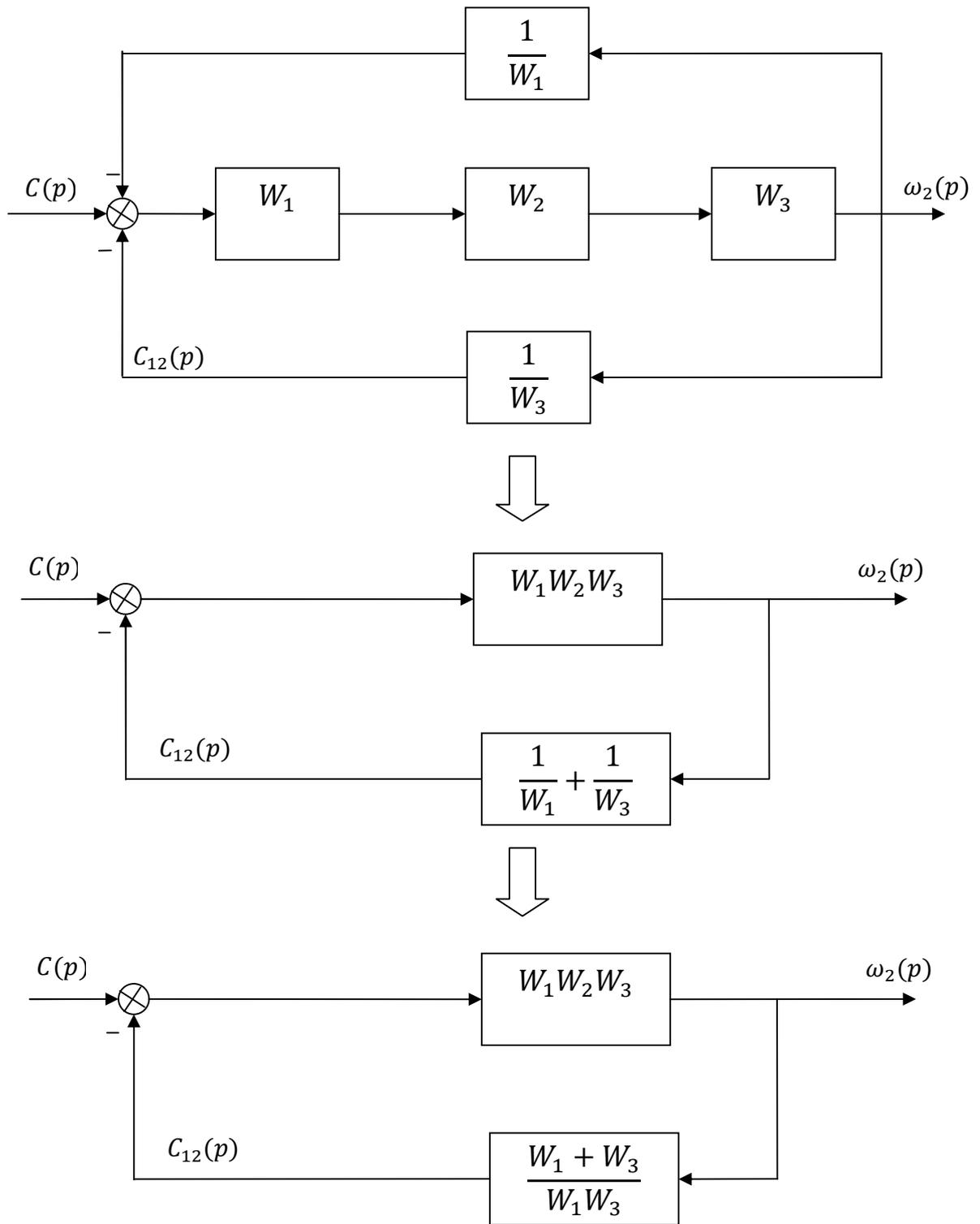


Figure III- 7 : Simplification du schéma bloc de la partie mécanique.

$$W_{\omega_2}(p) = \frac{\omega_2(p)}{C(p)} = \frac{W_1 W_2 W_3}{1 + W_1 W_2 + W_2 W_3} \quad \text{à} \quad C_r(p) = 0 \quad (\text{III-16})$$

De la même façon, on simplifie le schéma bloc pour aboutir à l'expression de  $W_{\omega_1}(p)$  et  $W_{\omega_2}(P)$  suivantes :

$$W_{\omega_1}(p) = \frac{W_1(1+W_2W_3)}{(1+W_1W_2+W_2W_3)} = \frac{\omega_1(p)}{C(p)} \quad \text{à} \quad C_r(p) = 0 \quad (\text{III-17})$$

$$W_{\omega_2}(p) = \frac{W_3(1+W_2W_3)}{(1+W_1W_2+W_2W_3)} = \frac{\omega_2(p)}{C_r(p)} \quad \text{à} \quad C(p) = 0 \quad (\text{III-18})$$

Avec :

$$W_1(p) = \frac{1}{J_1 p}$$

$$W_2(p) = \frac{\beta_{\acute{e}q}}{\rho} + \beta_{fv}$$

$$W_3(p) = \frac{1}{J_2 p}$$

Dénominateur :

$$\begin{aligned} 1 + W_1 W_2 + W_2 W_3 &= 1 + \frac{1}{J_1 p} \cdot \left( \frac{\beta_{\acute{e}q}}{p} + \beta_{fv} \right) + \frac{1}{J_2 p} \cdot \left( \frac{\beta_{\acute{e}q}}{p} + \beta_{fv} \right) \\ &= 1 + \frac{1}{P^2} \left( \frac{\beta_{\acute{e}q}}{J_2} + \frac{\beta_{\acute{e}q}}{J_1} \right) + \frac{1}{P} \left( \frac{\beta_{fv}}{J_1} + \frac{\beta_{fv}}{J_2} \right) \end{aligned}$$

On a :

$$\left( \frac{\beta_{\acute{e}q}}{J_2} + \frac{\beta_{\acute{e}q}}{J_1} \right) = \frac{\beta_{\acute{e}q}(J_1+J_2)}{J_1 J_2} = \Omega_{12}^2 \quad (\text{III-19})$$

D'où :

$$\beta_{\acute{e}q} \left( \frac{J_1+J_2}{J_1 J_2} \right) = \Omega_{12}^2 = 35.28 : \text{Fréquence cyclique des oscillations.}$$

Désignons :

$$\left( \frac{\beta_{fv}}{J_1} + \frac{\beta_{fv}}{J_2} \right) = \frac{\beta_{fv}(J_1+J_2)}{J_1 J_2} = 2\alpha_{fv} \quad (\text{III-20})$$

D'où :

$$2\alpha_{fv} = 2.94s^{-1} : \text{Coefficient d'atténuation des vibrations mécaniques [s}^{-1}\text{]}$$

On obtient :

$$1 + W_1W_2 + W_2W_3 = 1 + \frac{1}{p^2} \Omega_{12}^2 + \frac{1}{p} 2\alpha_{fv}$$

$$1 + W_1W_2 + W_2W_3 = \frac{1}{p^2} (P^2 + \Omega_{12}^2 + P2\alpha_{fv})$$

- $W_{\omega_1}(p)$

Numérateur

$$\begin{aligned} W_1(1 + W_2W_3) &= \frac{1}{J_1p} \left[ 1 + \left( \frac{\beta_{12}}{P} + \beta_{fv} \right) \cdot \frac{1}{J_2p} \right] \\ &= \frac{1}{J_1p} \left( 1 + \frac{1}{p^2} \cdot \frac{\beta_{12}}{J_2} + \frac{1}{p} \frac{\beta_{fv}}{J_2} \right) \end{aligned}$$

On a:

$$\left( \frac{\beta_{12}}{J_2} \cdot \frac{J_1(J_1+J_2)}{J_1(J_1+J_2)} \right) = \Omega_{12}^2 \frac{J_1}{(J_1+J_2)} ;$$

$$\frac{\beta_{fv}}{J_2} \cdot \frac{J_1(J_1+J_2)}{J_1(J_1+J_2)} = 2\alpha_{fv} \frac{J_1}{(J_1+J_2)}$$

On obtient :

$$W_1(1 + W_2W_3) = \frac{1}{J_1p} \left( \frac{P^2 + 2\alpha_{fv} P \frac{J_1}{(J_1+J_2)} + \Omega_{12}^2 \frac{J_1}{(J_1+J_2)}}{p^2} \right)$$

Donc on peut écrire

$$W_{\omega_1}(P) = \frac{1}{J_1p} \left( \frac{P^2 + 2\alpha_{fv} P \frac{J_1}{(J_1+J_2)} + \Omega_{12}^2 \frac{J_1}{(J_1+J_2)}}{(P^2 + \Omega_{12}^2 + P2\alpha_{fv})} \right) \quad \text{(III-21)}$$

- $W_{\omega_2}(P)$

Numérateur

$$W_1W_2W_3 = \frac{1}{J_1p} \left( \frac{\beta_{12}}{p} + \beta_{fv} \right) \cdot \frac{1}{J_2p} = \frac{1}{J_1J_2 p^2} \left( \frac{\beta_{12}}{p} + \beta_{fv} \right)$$

$$W_1W_2W_3 = \frac{1}{p^3} \frac{\beta_{12}}{J_1J_2} + \frac{1}{p^3} \frac{\beta_{fv}}{J_2J_1} = \frac{\Omega_{12}^2}{(J_1+J_2)} \frac{1}{p^3} + \frac{2\alpha_{fv}}{(J_1+J_2)} \frac{1}{p^3}$$

$$W_1 W_2 W_3 = \frac{1}{(J_1 + J_2)p} \frac{2\alpha_{fv} + \Omega_{12}^2}{p^2}$$

Donc on peut écrire

$$W_{\omega_2}(p) = \frac{1}{(J_1 + J_2)p} \frac{2\alpha_{fv} + \Omega_{12}^2}{p^2 + 2\alpha_{fv}p + \Omega_{12}^2} \quad (\text{III} - 22)$$

- $W_{\omega_2}(P)$

Numérateur

$$W_3(1 + W_2 W_3) = \frac{1}{J_2 p} \left[ 1 + \frac{1}{J_1 p} \left( \frac{\beta_{12}}{P} + \beta_{fv} \right) \right]$$

$$W_3(1 + W_2 W_3) = \frac{1}{J_2 p} \left( 1 + \frac{\beta_{12}}{J_1} \frac{1}{p^2} + \frac{\beta_{fv}}{J_1} \frac{1}{p} \right)$$

$$W_3(1 + W_2 W_3) = \frac{1}{J_2 p} \left( \frac{p^2 + 2\alpha_{fv}p \frac{J_2}{J_1 + J_2} + \Omega_{12}^2 \frac{J_2}{J_1 + J_2}}{p^2} \right)$$

Donc on peut écrire

$$W_{\omega_2}(p) = \frac{1}{J_2 p} \frac{p^2 + 2\alpha_{fv}p \frac{J_2}{J_1 + J_2} + \Omega_{12}^2 \frac{J_2}{J_1 + J_2}}{p^2 + 2\alpha_{fv}p + \Omega_{12}^2} \quad (\text{III-23})$$

Equation caractéristique

$$p(p^2 + 2\alpha_{fv}p + \Omega_{12}^2) = 0 \quad (\text{III-24})$$

La solution de l'équation caractéristique est :

Les racines

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 = 0 \\ p_2 = -\alpha_{fv} + \sqrt{\alpha_{fv}^2 - \Omega_{12}^2} = -\alpha_{fv} + j\sqrt{\Omega_{12}^2 - \alpha_{fv}^2} \\ p_3 = -\alpha_{fv} - \sqrt{\alpha_{fv}^2 - \Omega_{12}^2} = -\alpha_{fv} - j\sqrt{\Omega_{12}^2 - \alpha_{fv}^2} \end{array} \right.$$

$$\text{D'où : } \sqrt{\Omega_{12}^2 - \alpha_{fv}^2} = \Omega_r$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow p_2 = \alpha_{fv} + j\Omega_r \\ \Rightarrow p_3 = -\alpha_{fv} - j\Omega_r \end{array} \right.$$

Avec  $\Omega_r$  : fréquence de résonance de vibrations mécaniques du système à deux masses en présence des forces dissipatives.

$p_1 = 0$  : correspond au mouvement établi du système c'est-à-dire à  $t$  tend vers l'infini ( $t \rightarrow \infty$ ).

### Conclusion

Dans ce chapitre on a ramené les paramètres mécaniques du système à l'arbre du moteur, on a obtenu un système de trois masses qu'on a simplifié pour devenir un système à deux masses. Cette simplification nous a permis de faciliter l'analyse des paramètres mécaniques du système d'entraînement.

# Chapitre IV

simulation et interprétation des résultats

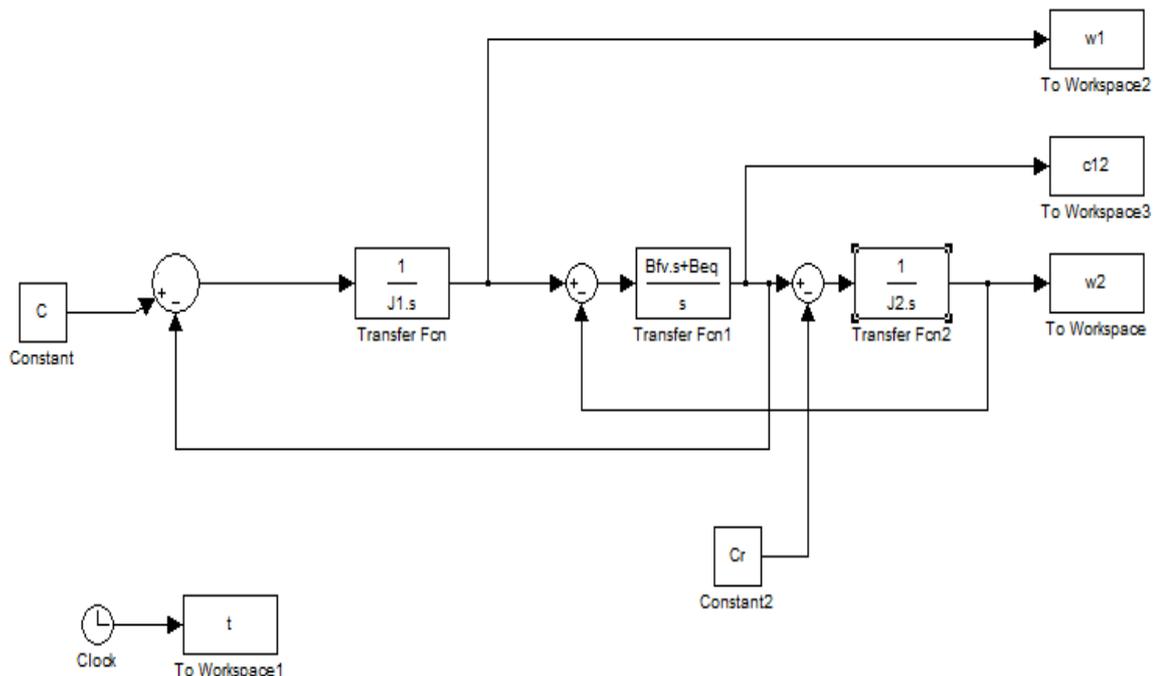
Dans le chapitre précédent on a abouti à un schéma bloc de la partie mécanique de l'entraînement électrique (**Figure III-1**). Ce schéma bloc nous permis de visualiser les comportements des différents paramètres mécaniques voire les vitesses et les couples. La simulation sera réalisée grâce au logiciel de simulation **Simulink** de MATLAB.

Simulink est un logiciel pour modeler, simuler, et analyser les systèmes dynamiques. Il supporte les systèmes linéaires et non linéaires. Simulink fourni une interface utilisateur (GUI) graphique pour bâtir des modèles comme les schémas fonctionnels.

Ce chapitre sera consacré à la visualisation et à la confirmation des hypothèses annoncées au chapitre précédent concernant le comportement des vitesses en régime transitoire (démarrage). Mais aussi à l'interprétation de ces résultats.

### I. Diagramme fonctionnel de la partie mécanique de l'entraînement électrique sous logiciel Matlab/Simulink

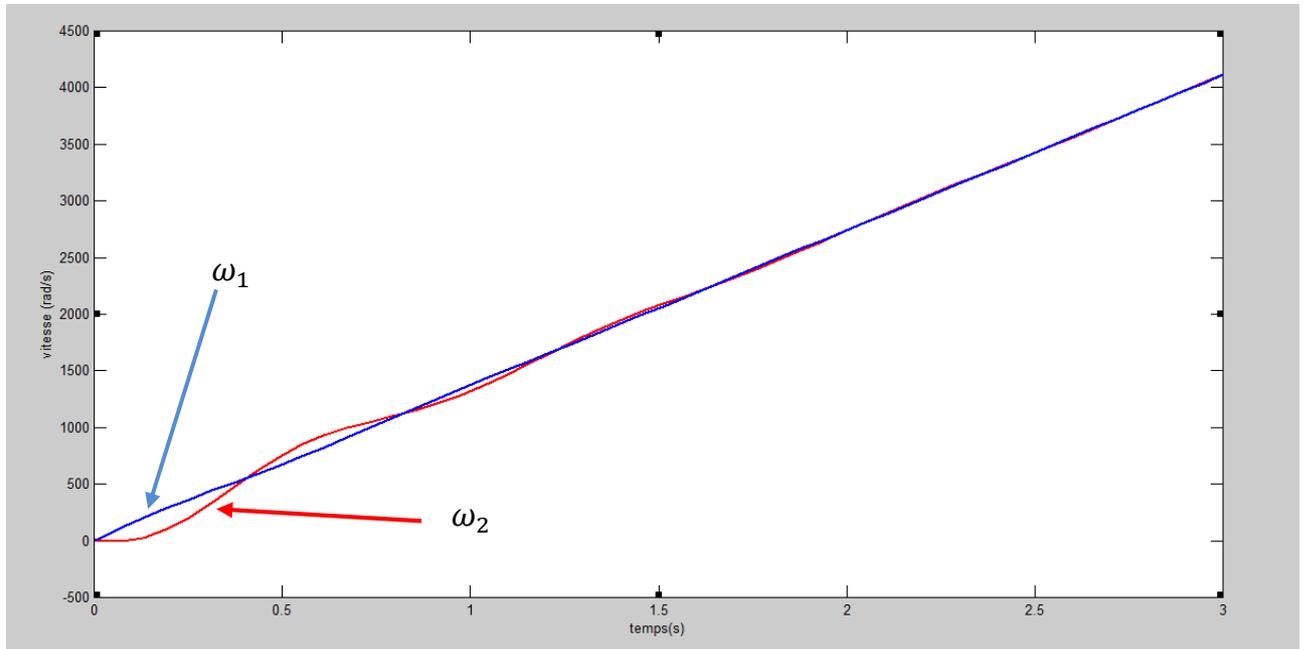
Le diagramme fonctionnel est donc le suivant :



**Figure IV-1** : Le diagramme fonctionnel de la partie mécanique de l'entraînement électrique sous Simulink.

## II. Résultats

### II.1. Analyse des courbes de vitesses



**Figure IV-2:** Démarrage du système à deux masses avec prise en compte des forces dissipatives

La vitesse  $\omega_1$  varie d'une manière presque constante, par contre la vitesse  $\omega_2$  à des oscillations atténuantes. Tous ça s'explique en ramenant les équations (III-18) (III-20) de domaine de LAPLACE vers le domaine temporel. On aura ;

$$\omega_2(t) = \varepsilon_{moy} t - \frac{\varepsilon_{moy}}{\Omega_r} e^{-\alpha_{fv}} \sin \Omega_r t \quad (IV-1)$$

$$\omega_1(t) = \varepsilon_{moy} t - \frac{J_2}{J_1} \frac{\varepsilon_{moy}}{\Omega_r} e^{-\alpha_{fv}} \sin \Omega_r t \quad (IV-2)$$

Avec :

$\varepsilon_{moy}$ : L'accélération angulaire moyenne ( $\varepsilon_{moy} = \frac{c}{J_1 + J_2}$ )

- $\sin(\Omega_r t)$  explique le comportement sinusoïdal des vitesses.
- à  $t$  tend vers l'infini  $\omega_2(t) = \omega_1(t) = \varepsilon_{moy} t$ , les deux vitesses varient proportionnellement au temps.

L'amplitude des oscillations est proportionnelle à l'accélération moyenne ( $\varepsilon_{moy}$ ) et inversement proportionnelle à la fréquence de résonance de vibrations mécaniques ( $\Omega_r$ ) de système à deux masses.

La variation non uniforme de la vitesse entraîne une augmentation de charge dynamique, ces charges dynamiques croissantes entraînent des chocs et augmentent essentiellement l'usure de l'équipement en diminuant sa fiabilité, pour cela il faut prévoir des régularités dans la commande pour limiter les oscillations de la vitesse et de même diminuer les charges dynamiques.

L'oscillation est évaluée par le logarithme décriment l'atténuation.

$$\lambda_{fv} = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} \quad (\text{IV-3})$$

D'où  $A(t)$  : amplitude des oscillations en fonction de temps.

$A(t+T)$  : amplitude des oscillations en fonction de temps à la fin d'une période d'oscillation.

D'une part on peut considérer que l'amplitude des oscillations en présence des forces dissipatives diminue en fonction de temps,

$$\frac{A(t)}{A(t+T)} = \frac{e^{-\alpha_{fv}t}}{e^{-\alpha_{fv}(t+T)}} = e^{\alpha_{fv}T} \quad (\text{IV-4})$$

$$\Rightarrow \lambda_{fv} = \ln e^{\alpha_{fv}T} = \alpha_{fv}T = \alpha_{fv} \frac{2\pi}{\Omega_r} = \alpha_{fv} \frac{2\pi}{\sqrt{\Omega_{12}^2 - \alpha_{fv}^2}} \quad (\text{IV-5})$$

D'autre part  $\lambda_{fv} = \frac{1}{N}$

D'où  $N$  : nombre d'oscillation

L'amplitude des oscillations diminue de  $e = 2.71$  sur cette base de nombre d'oscillations avant leur atténuations complète peut être déterminé de  $(2 \div 5) \%$  d'erreur.

$$N_{\Sigma} = \frac{3 \div 4}{\lambda_{fv}} \quad (\text{IV-6})$$

Le logarithme déterminant l'atténuation naturelle des oscillations de la partie mécanique de l'entraînement électrique

$$\lambda_n = 0,1 \div 0,3$$

Le nombre d'oscillations avant l'atténuation

$$N_{\Sigma} = \frac{3 \div 4}{0,1 \div 0,3} = (30 \div 40) \text{ oscillations}$$

Le nombre d'oscillations étant élevé d'où la nécessité de prendre des mesures pour réduire ces oscillations où bien compenser leur action négatives. [16]

## II.2. Diagramme de Bode

Les diagrammes de Bode consistent à tracer deux graphes correspondant respectivement au gain réel et au déphasage. Pour la courbe de gain, on ne trace pas directement  $G(v)$  mais  $G_{dB} = 20 \log G(v)$  défini comme le gain en décibels et, de surcroît, avec une échelle logarithmique en abscisse. Outre les raisons historiques qui ont présidé à ce choix, il existe deux intérêts essentiels au choix du tracé logarithmique du gain.

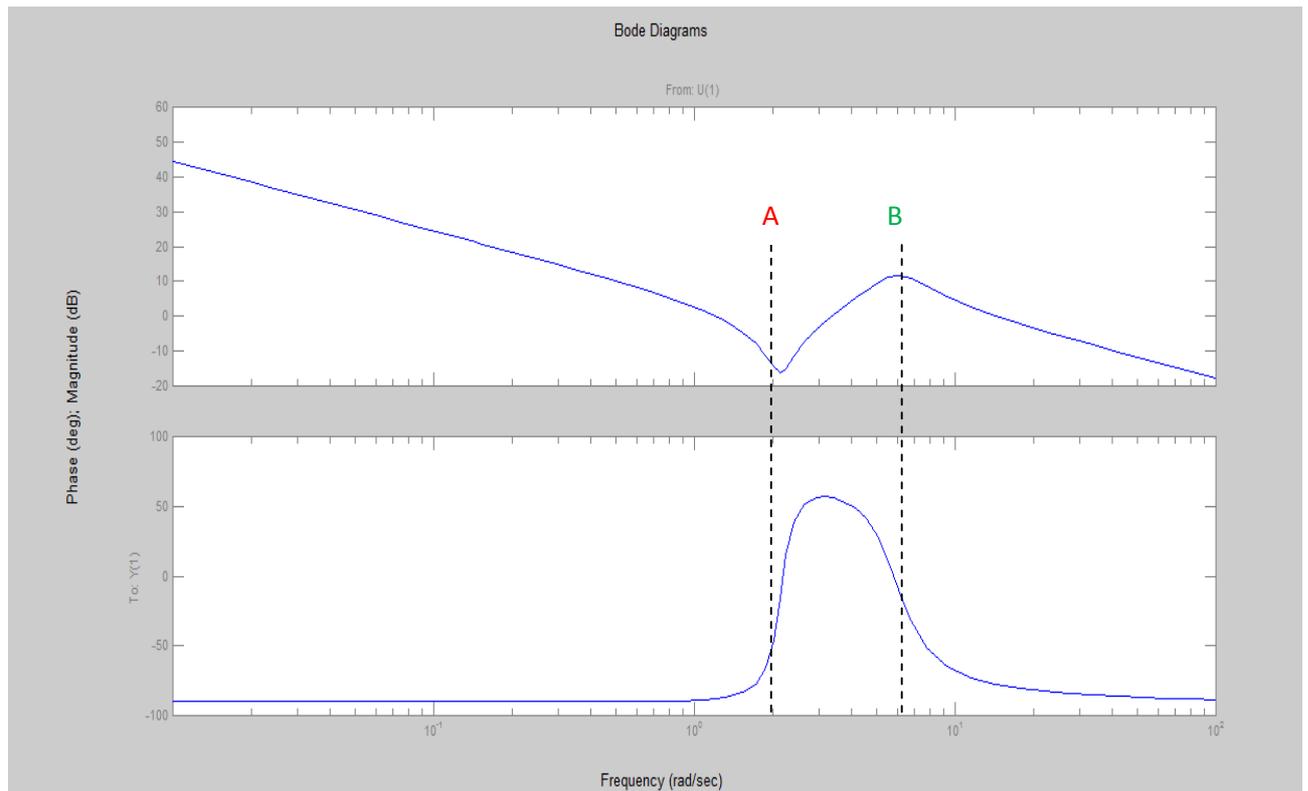
L'axe des ordonnées est bien évidemment gradué en décibels. Un gain réel  $G(v)$  supérieur à 1 correspond à un gain en décibels positif tandis qu'un gain réel inférieur à 1 correspond à un gain en décibels négatif. On a bien sûr  $20 \log G(v) = 0 \text{ dB}$  pour  $G(v) = 1$ .

En règle générale, on porte directement les valeurs de  $v$  sur l'axe des abscisses en respectant l'échelle logarithmique et en plaçant la pulsation  $v = 1$  à l'origine de cet axe (puisqu'elle correspond à  $\log v = 0$ ). [1]

Grace au logiciel MATLAB on peut directement visualiser le diagramme de Bode avec l'instruction « `bode(w2)` ».

Avec :

$$w2 = \frac{p^2 + 2\alpha_{fv}p \frac{J_2}{J_1 + J_2} + \Omega_{12}^2 \frac{J_2}{J_1 + J_2}}{J_2 p^3 + J_2 2\alpha_{fv} p^2 + J_2 \Omega_{12}^2 p} \quad (\text{IV-7})$$



**Figure IV-3** : Diagramme de Bode de  $\omega_2$

On peut constater que les propriétés dynamiques du système à deux masses dans l'intervalle de fréquence  $[0 ; A=10 \text{ rad/s}]$  les propriétés sont similaires aux propriétés dynamiques de système à une seule masse.

La réponse de système à deux masses pour les impulsions de fréquence inférieure à  $10 \text{ rad/s}$  est par une diminution de l'amplitude ( $v^\uparrow \Rightarrow G_{dB}(v)^\downarrow$ ), le déphasage est de  $\varphi = \frac{-\pi}{2} \text{ rad}$ , ce qui veut dire que pour cet intervalle de fréquence la vitesse tend à se stabiliser.

Pour les fréquences comprises entre l'intervalle  $[A=10 ; B=50] \text{ rad/s}$ , les propriétés dynamiques du système à deux masses change de comportement, on aperçoit une augmentation de l'amplitude et de déphasage. L'angle  $\varphi$  augmente jusqu'à une valeur de  $\varphi = +\frac{2\pi}{3}$ , la vitesse prend un comportement oscillatoire.

Pour les fréquences comprises entre l'intervalle  $[B=50 ; \infty] \text{ rad/s}$ , le système retrouve le comportement de premier intervalle. le déphasage est de  $\varphi = \frac{-\pi}{2} \text{ rad}$ , la vitesse tend à se stabiliser. Les hautes fréquences sont dissipées et absorbées par la présence des forces dissipatives.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

Notre travail consiste à contribuer à l'élaboration d'un diagramme de charge et l'étude des performances dynamiques d'un système d'entraînement électrique.

Dans le cadre de ce travail, l'étude concerne l'ascenseur, entraîné par un moteur asynchrone à deux vitesses, permettant d'obtenir une grande précision, grâce à l'emploi d'une vitesse réduite avant l'arrêt total de la cabine.

Après avoir choisi le moteur à deux vitesses, un calcul du câble de levage et un dimensionnement de la poulie d'entraînement avec la prise en compte des régimes transitoires a été effectué. Le contrôle par la méthode équivalente du couple nous a conduits à la détermination de la puissance du moteur nécessaire à l'entraînement de tout le système. Par la suite, on a obtenu les allures des caractéristiques mécaniques pour les deux vitesses après avoir défini certains points tel que le régime à vide ( $\omega_0$ ), le régime court-circuit ( $C_{cc}$ ) et le point de fonctionnement nominal.

L'élaboration du diagramme de charge a été réalisée après calcul des temps et des distances du mouvement des différentes étapes du cycle de fonctionnement. Ce diagramme illustre le trajet de la cabine dont on distingue trois modes de fonctionnement (accélération, stabilité et décélération) en fonction des couples dynamique et résistant développés durant ce trajet.

Après la détermination des différents paramètres de l'entraînement électrique, un modèle (schéma cinématique) du système a été élaboré dont nous avons intégrés quelques éléments importants tel que :

- Le rayon d'entraînement ;
- Les différents moments d'inertie ;
- La rigidité du câble ;
- Les frottements visqueux ;
- La fréquence cyclique des oscillations mécaniques.

Ces paramètres et ces éléments nous ont permis d'étudier le système d'entraînement réduit à deux masses, à travers lequel nous avons obtenu une vitesse oscillatoire atténuante à cause de la présence des forces dissipatives.

Enfin, espérons que ce travail apportera des informations techniques utiles sur les ascenseurs, et ce projet peut être complété par plusieurs études, pouvant faire l'objet de nombreuses perspectives, à savoir :

- Le contrôle en échauffement du moteur ;
- Le calcul des performances de l'ensemble de cet entraînement électrique ;
- Optimisation de l'arrêt précis de la cabine ;
- Détermination des indices de qualité du système élaboré.

# Annexe

**A1- Cahier des charges.**

Vitesse linéaire de la cabine ( $v$ )	0.71 m/s
Capacité de chargement ( $G_c$ )	320 Kg
Poids de la cabine ( $G_k$ )	6500 N
Erreur d'arrêt ( $\Delta s$ )	20 mm
Accélération admissible ( $a_{\max}$ )	1.5 m/s <sup>2</sup>
Diamètre de la poulie de transmission ( $D_p$ )	800 mm
Nombre d'étages	9

# Bibliographie

# Bibliographie

- [1] **Yves Granjon** « AUTOMATIQUE Systèmes linéaires, non linéaires, à temps continu, à temps discret, représentation d'état ». Edition DENOD, Paris 2010.
- [2] **Bastien SAUVAN, Émil SALAGEANU** « Rapport : Simulation d'ascenseur » Université Nice Sophia antipoles. janvier 2006
- [3] **J.Bonal, G.Séguier** « Entraînements électriques à vitesse variable » volume1, LONDRE Tec&Doc, Lavoisier 1998.
- [4] **R.De Donker, D.W.J. Pulle, A.Veltman** «Advanced Electrical Drives » Edition Springer, New York 2011.
- [5] **Z.Taous** « développement d'un outil numérique destine à l'étude des performances dynamiques d'un entraînement électrique : application aux ascenseurs » Thèse de Magistère option "Entraînements électriques " université de Mouloud MAMMEREI de Tizi-Ouzou. 2010.
- [6] [fr.wikipedia.org/wiki/Ascenseur](http://fr.wikipedia.org/wiki/Ascenseur), site internet consulté en mars 2012.
- [7] [www.ascenseur.free.fr](http://www.ascenseur.free.fr) , site internet consulté en avril 2012.
- [8] [www.energieplus-lesite.be/energieplus](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus) , site internet consulté en avril 2012.
- [9] [www.scribd.com/doc/51052891/PFE-ASCENCEUR](http://www.scribd.com/doc/51052891/PFE-ASCENCEUR) , site internet consulté en avril 2012.
- [10] [www.otis.com](http://www.otis.com) .No PEFC/10-31-1232, site internet consulté en avril 2012.
- [11] [www.electrocoffigna.site.ac-strasbourg.fr](http://www.electrocoffigna.site.ac-strasbourg.fr), site internet consulté en mai 2012.
- [12] **KAPILOV I.P.,KLOKOV B.K.** Catalogue « Entraînements Electriques », Energoatomizdat, Tome II, Moscou 1989.
- [13] **journal officiel de la république française, commission central des marchés** « Ascenseurs et monte charge électriques » N°5653-1, Juillet 1990.
- [14] **H. Bouguetof** « étude d'un ascenseur» mémoire de fin d'étude ingénieur électrotechnique option machine électrique, université de Mouloud MAMMEREI de Tizi-Ouzou. 2002.
- [15] **KLOUTCHEV B.I.** « Théorie de l'entraînement électrique' » Energoizdat, Moscou 1985.

[16] **R. Chaibi** «Cours licence et master : Théorie des entraînements électriques»  
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2009-2010 et 2010-2011.

[17] « PRINCIPES D'ELECTROTECHNIQUE », cours et exercices corrigés. **Max Marty**,  
**Daniel Dixneuf**, **Delphine Garcia Gilabert**. Edition DUNOD 2005.