



# SOMMAIRE

- **REMERCIEMENT**
- **INTRODUCTION**
- **PRESENTATION DU CAHIER DES CHARGES**

## Chapitre 1 : PRESENTATION DE LA SOCIETE

<b>GENERALITES.....</b>	2
<b>ACTIVITES.....</b>	7

## Chapitre 2 : Description générale de pont roulant (calcaire)

<b>Introduction.....</b>	14
<b>Présentation générale du pont roulant .....</b>	15
<b>Spécification technique.....</b>	17

## Chapitre 3 : Modélisation numérique des efforts poutres sommiers

<b>Procédure.....</b>	25
<b>Résultats anticipés.....</b>	29

## Chapitre 4 : Modification du système de translation

<b>Description du système de translation actuel.....</b>	33
--	----



<b>Etude améliorative.....</b>	<b>34</b>
<i>Conclusion.....</i>	<b>51</b>

## Chapitre 5 : calcul des rails

<b>Etat général .....</b>	<b>52</b>
<b>Détermination du nouveau poids du pont.....</b>	<b>54</b>
<b>Remarque.....</b>	<b>55</b>

- CONCLUSION
- ANNEXES
- BIBLIOGRAPHIE
- WEBOGRAPHIE



## *Introduction*

*Avec le développement de la concurrence dans le secteur cimentier, la réduction du coût de revient est devenu un très grand souci qui oblige une telle industrie à déployer tous les efforts pour mener un développement durable et pertinent à tous les niveaux. On se doit alors une politique d'efficacité afin de maîtriser le processus de production et le flux énergétique, tout en préservant la majorité de la clientèle du ciment.*

*Pour maîtriser le processus de production, les cimenteries déploient des efforts considérables pour résoudre les différents problèmes survenus lors de fonctionnement de l'un des équipements de production.*

*A cet effet, LAFARGE ne cesse d'améliorer ses technologies. Particulièrement, elle veille à éviter les ruptures des travaux et assurer par la suite une continuité de productivité, car les arrêts non programmés ne peuvent qu'influencer négativement sur la crédibilité de la société et lui engendrer des pertes considérables.*



## *Chapitre 1 :*

# Présentation du groupe LAFARGE



## A. Présentation de la société

### I. Historique :

Le Groupe Lafarge a vu le jour en **1833** lorsque Léon Pavin se lance dans l'exploitation du gisement de pierre de calcaire en reprenant l'activité familiale acquise en **1974** auprès de LA SEIGNEURIE LAFARGE. Les grands chantiers se succèdent peu à peu consolidant ainsi l'entreprise qui s'agrandit de jour en jour.

L'implantation à l'étranger débute avec l'ouverture vers les marchés d'Afrique du Nord. Déjà en Algérie depuis **1866**, Lafarge y devient le premier producteur de ciment Portland et s'installe au Maroc et en Tunisie.



En **1926**, Lafarge ouvre sa première cimenterie au Royaume-Uni. En **1956** le Groupe s'implante en Amérique du Nord, il fusionnera en **1980** avec le Groupe Coppée : Ces acquisitions aux Etats-Unis et au Canada placent alors Lafarge Coppée comme le numéro 1 du ciment en Amérique du Nord.

Entre **1982** et **1990** Lafarge se lance à la conquête de l'Europe : Lafarge s'intéresse d'abord à l'Allemagne puis aux pays de l'Europe de l'Est. En **1994** Lafarge entre en Chine.

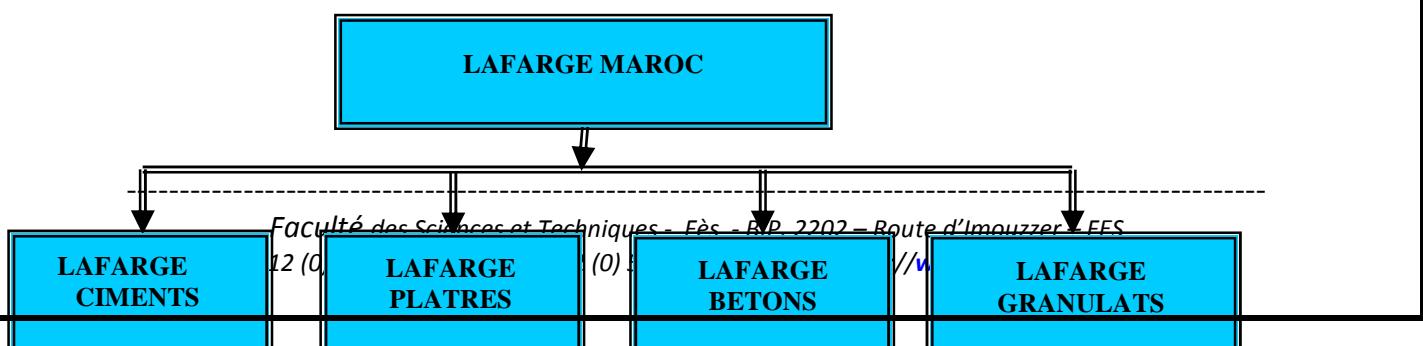
Depuis son introduction au Maroc, l'industrie du ciment a évolué depuis **1913** jusqu'à nos jours ; cette évolution se traduit comme suit :

- ➔ **1913** : Création de la première société de ciment "Chaux et Ciments du Maroc" à Casablanca, elle avait pour but de construire une usine à four droit au quartier des Roches Noires ;
  - ➔ **1929** : Accord associant "Chaux et Ciments du Maroc" à Lafarge ;
  - ➔ De **1930 à 1955** : Construction simultanée de quatre fours ;
  - ➔ **1968** : Création de "Lafarge Maroc" dont le principal actionnaire est la société "Chaux et Ciments du Maroc" ;
  - ➔ **1981** : Création de la Cimenterie Nouvelle de Casablanca 'CINOUCA' chargée de réaliser une unité de production de 1 200 000 tonnes de ciment par an. CINOUCA participe à la protection de l'environnement en choisissant le site de sa nouvelle usine à 30 km au Sud Ouest de Casablanca et à 17 km de Bouskoura ;
  - ➔ **1992** : Démarrage de la première installation de broyage de ciment par presse à rouleaux en Afrique, entraînant du coup des économies d'énergie considérables ;
- 
- ➔ **1996** : CINOUCA est devenue le pôle fédérateur d'un groupe comportant quatre cimentiers et six centrales de bétons ;
  - ➔ **1999** : Signature de partenariat avec l'ONA après contrôle effectué entre Lafarge et la Société Nationale d'Investissement - SNI - ;
  - ➔ **2004** : Audit de l'usine de Bouskoura et du siège pour l'obtention de la certification ISO 9001 versions 2000.
  - ➔ **2006** : Extension de la deuxième ligne de production de ciment à l'usine de Bouskoura.

La société a poursuivi le renforcement de ses ressources humaines par l'embauche de cadres qualifiés dont le nombre est passé de 53 à 121 en quatre ans ; cette politique a pour objectif le développement des compétences initiées, et vise à accompagner la mise à niveau technologique des usines et les changements organisationnels introduits pour améliorer l'efficacité de Lafarge Maroc, ainsi elle se traduit par l'effort soutenu en matière de recrutement et de formation.

## **II. LAFARGE ciments sites de production :**

Le groupe LAFARGE Maroc comprend quatre secteurs de base : ciments, plâtre, bétons et granulats qui sont illustrés selon le diagramme ci-dessous :





## II.1 Chiffres d'affaires :

La répartition des chiffres d'affaires par activité est représentée comme suit :

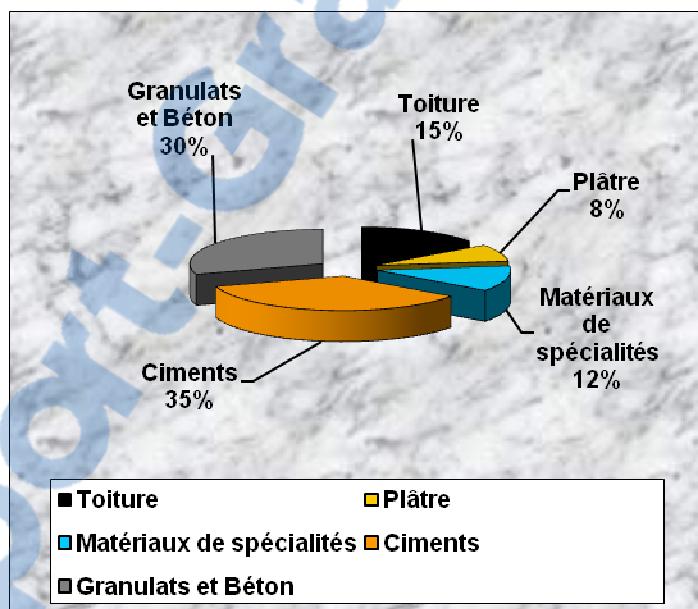


Figure 2 : Chiffres d'affaires

Granulats, bétons : Prêts à l'emploi, bétons préfabriqués pour les constructeurs d'ouvrages d'art, routes, bâtiments, etc... ; Elle représente 30% du chiffre d'affaires du groupe, avec 16942 collaborateurs.

Gamme de ciment et liants hydrauliques : Adaptée au besoin du marché et de la construction et même des travaux publics, représente 35% du chiffre d'affaires du groupe, et avec 32238 collaborateurs.

Gamme de tuiles : En béton et en terre cuite, accessoires de couverture systèmes de conduites de cheminées, représente 15% du chiffre d'affaires du groupe avec 12362 collaborateurs.

Système de plaque de plâtre à projeter : au service du second œuvre du bâtiment, construction neuve voire rénovée, il représente 8% du chiffre d'affaires du groupe, avec 3661 collaborateurs.



Matériaux de spécialités représentant 12% du chiffre d'affaires du Groupe avec 5155 collaborateurs, où ils prennent deux formes :

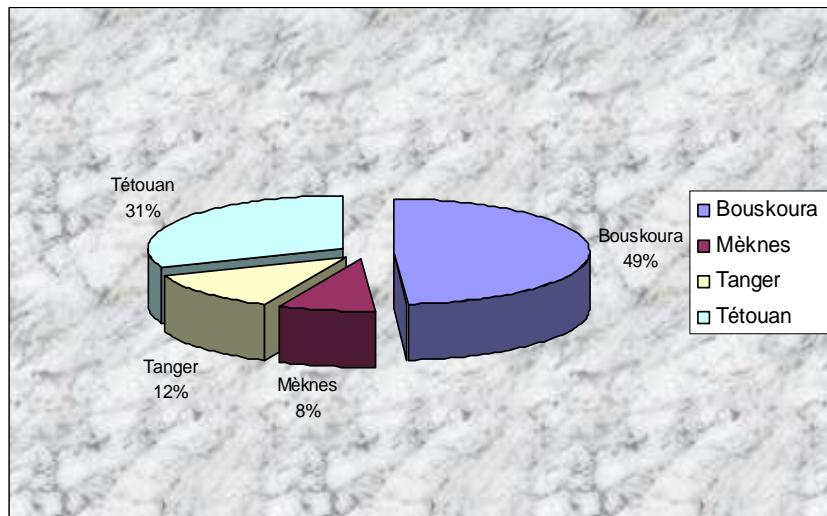
& Produits minéraux pour l'industrie « aluminates, réfractaires et chaux » ;

& Produits formulés pour la construction « mortiers, adjuvants, peintures et applications routières ».

#### II.2 Répartition des ventes dans les quatre cimenteries

année 2004 :

LAFARGE MAROC représente 42% de production de ciment dans le marché marocain. Il est à signaler que le groupe LAFARGE donne de l'importance à L'usine de Bouskoura puisqu'elle représente 49% de la production au sein du groupe.



**Figure 3 : Répartition des ventes**

### III. Procédés de fabrication du ciment :

#### III.1 Définition du ciment :

Le ciment est un lien hydraulique constitué d'une poudre minérale, d'aspect grisâtre, obtenue par broyage et cuisson à 1450 °C d'un mélange de calcaire et d'argile. Le produit de la cuisson, appelé clinker, forme une combinaison de chaux, de silice, d'alumine et d'oxyde ferrique.

Le ciment résulte du broyage de clinker et de sulfate de calcium ajouté généralement sous forme de gypse. Il forme avec l'eau une pâte plastique faisant prise et durcissant progressivement, même à l'abri de l'air, notamment sous l'eau.

Les constituants anhydres, présents sous forme de cristaux polygonaux assez réguliers et homogènes, se combinent à l'eau et se décomposent. En s'hydratant, ils recristallisent, prenant des formes très variées : Aiguilles, bâtonnet, prismes, divers...

Ces cristaux adhèrent aux adjuvants granuleux du béton : sable, gravier, cailloux...c'est l'hydratation qui constitue le ciment.



La figure suivante résume les éléments qui entrent dans la constitution du ciment:



Figure 4 : Constitution du ciment

III.2 Différents types de ciments :

LAFARGE MAROC s'intéresse à la fabrication des trois catégories de ciments, à savoir : CPJ35, CPJ45 et CPA55.

Concernant le ciment blanc, le groupe l'importe sous forme de matière cuite (clinker) pour être broyé et mis en sacs en vue de son expédition.

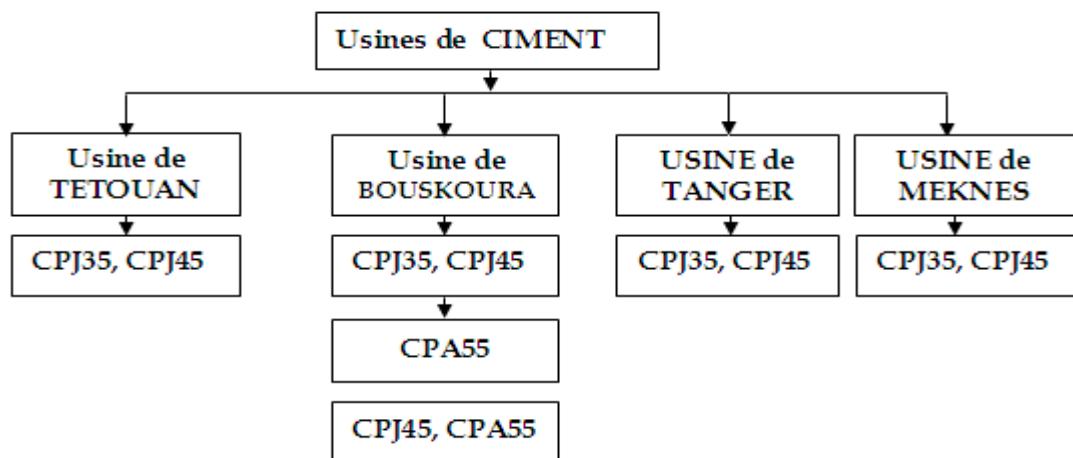


Figure 5: Types de ciments

En outre, les trois types de ciments (CPJ35, CPJ45, CPA55) se différencient selon des pourcentages précis des ajouts au clinker.

*Rapport-gratuit.com*



#### IV.

Ciments Compositions	CPJ35	CPJ45	CPA55
<b>Calcaire</b>	<b>35.60%</b>	<b>24.00%</b>	<b>0.00%</b>
<b>Cendres volantes</b>	<b>3.21%</b>	<b>6.52%</b>	<b>0.00%</b>
<b>Gypse</b>	<b>2.80%</b>	<b>3.14%</b>	<b>5.64%</b>
<b>Clinker</b>	<b>58.39%</b>	<b>66.34%</b>	<b>94.36%</b>

#### Etapes de fabrication de ciment :

Avant d'obtenir du ciment, la matière première passe par diverses étapes de transformation physico-chimiques de l'extraction jusqu'à l'expédition.

##### IV.1 Carrière :

LAFARGE ciments Bouskoura exploite une carrière qui fournit deux matières premières : le calcaire et le schiste. L'extraction de ces roches se fait par abattage à l'explosif. Il consiste à fragmenter le massif exploité à l'aide d'explosifs :

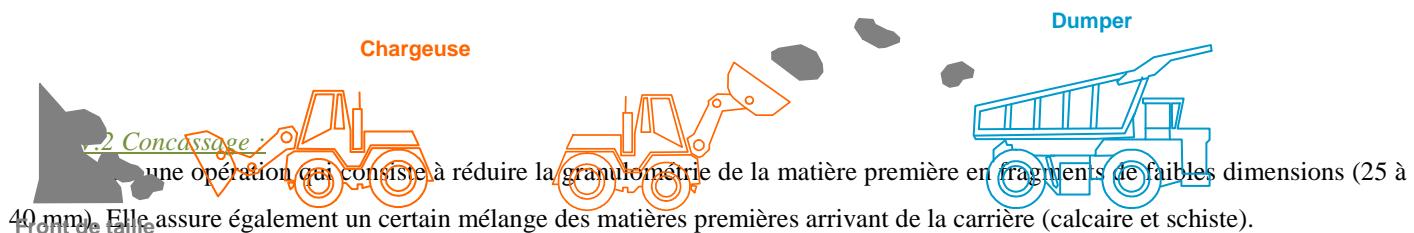


Figure 6: Extraction et transport de la matière première

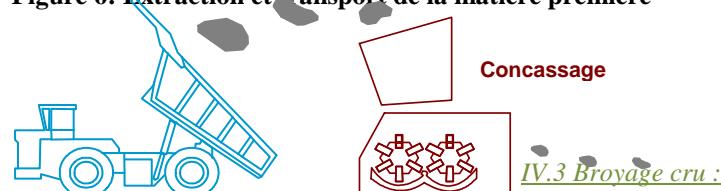


Figure 7: Concassage

Les matières premières doivent être finement broyées pour faciliter les réactions chimiques au cours de la cuisson dans le four.

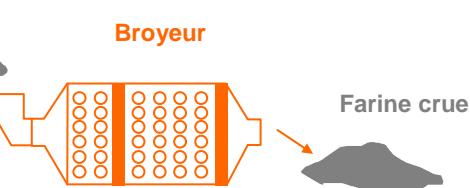


Figure 8 : Broyeur粗

La matière passe donc par les doseurs qui alimente le broyeur sécheur. La fonction de séchage est nécessaire pour diminuer le taux d'humidité de la matière. En plus du séchage et de la fragmentation, le broyeur assure le mélange des différents minéraux apportés par les matières premières et les ajouts de correction en faibles proportions.



#### IV.4 Ligne de cuisson :

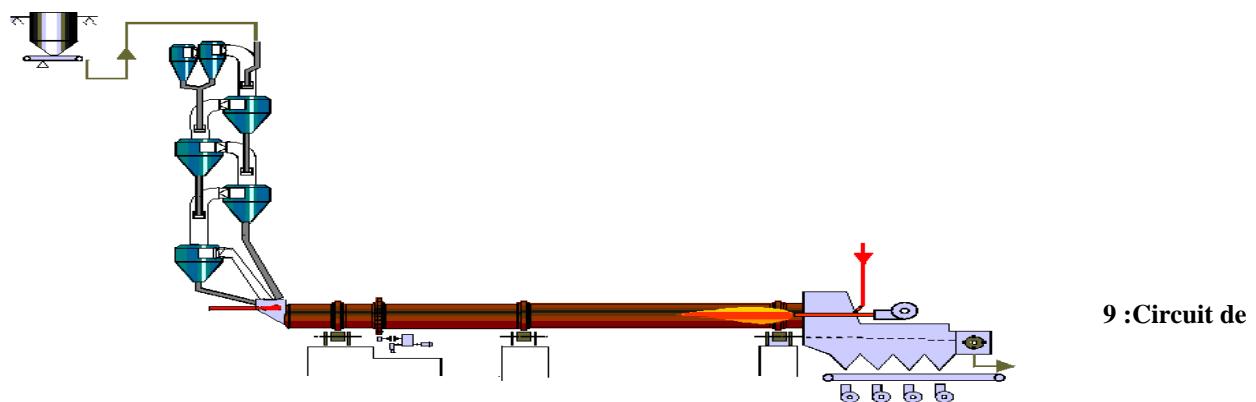
La ligne de cuisson est constituée de :

- Une tour à cyclones ;
- Un four rotatif ;
- Un refroidisseur.

#### **1. Tour à cyclones :**

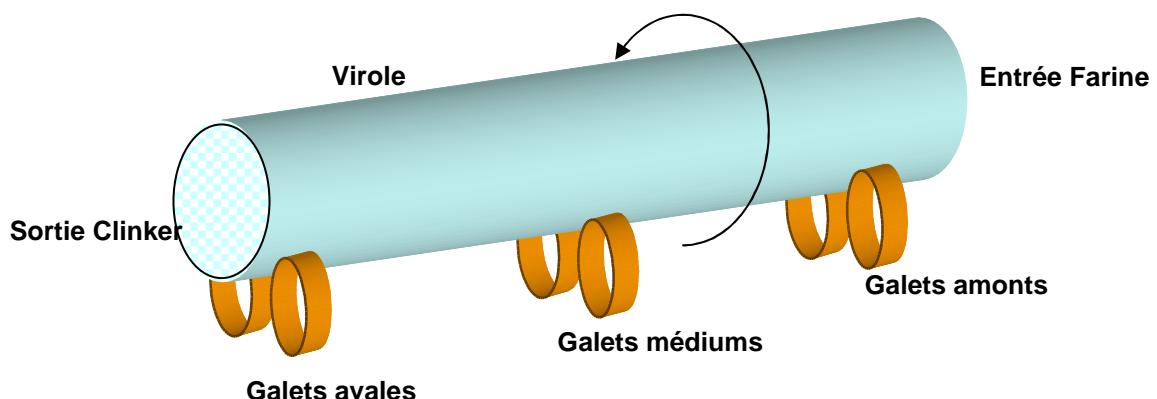
La tour à cyclones est un échangeur de chaleur à voie sèche constituée de cinq étages. Elle permet d'effectuer un échange thermique à contre courant entre les gaz chauds ( $850^{\circ}\text{C}$ ) sortant du four et la farine froide ( $50$  à  $60^{\circ}\text{C}$ ). Les gaz parcourent l'édifice de bas en haut alors que la matière le parcourt en sens inverse.

Figure cuisson



#### **2. Four rotatif :**

C'est une grande enceinte circulaire rotative dans laquelle on injecte le combustible sous pression pour produire une flamme. C'est un échangeur de chaleur à contre courant dans lequel la flamme et les gaz récupérés du refroidisseur cèdent leur chaleur à la farine qui arrive en sens inverse. Le four est constitué par une virole en acier et protégée par un revêtement intérieur en matériaux réfractaires.





**Figure 10: Four rotatif**

### 3. Refroidisseur :

Il est situé à l'aval du four, c'est un refroidisseur à grilles horizontales au nombre de deux à commande hydraulique. Le refroidissement est assuré par onze ventilateurs. L'air produit par ces ventilateurs est insufflé sous les grilles par des chambres de soufflage.

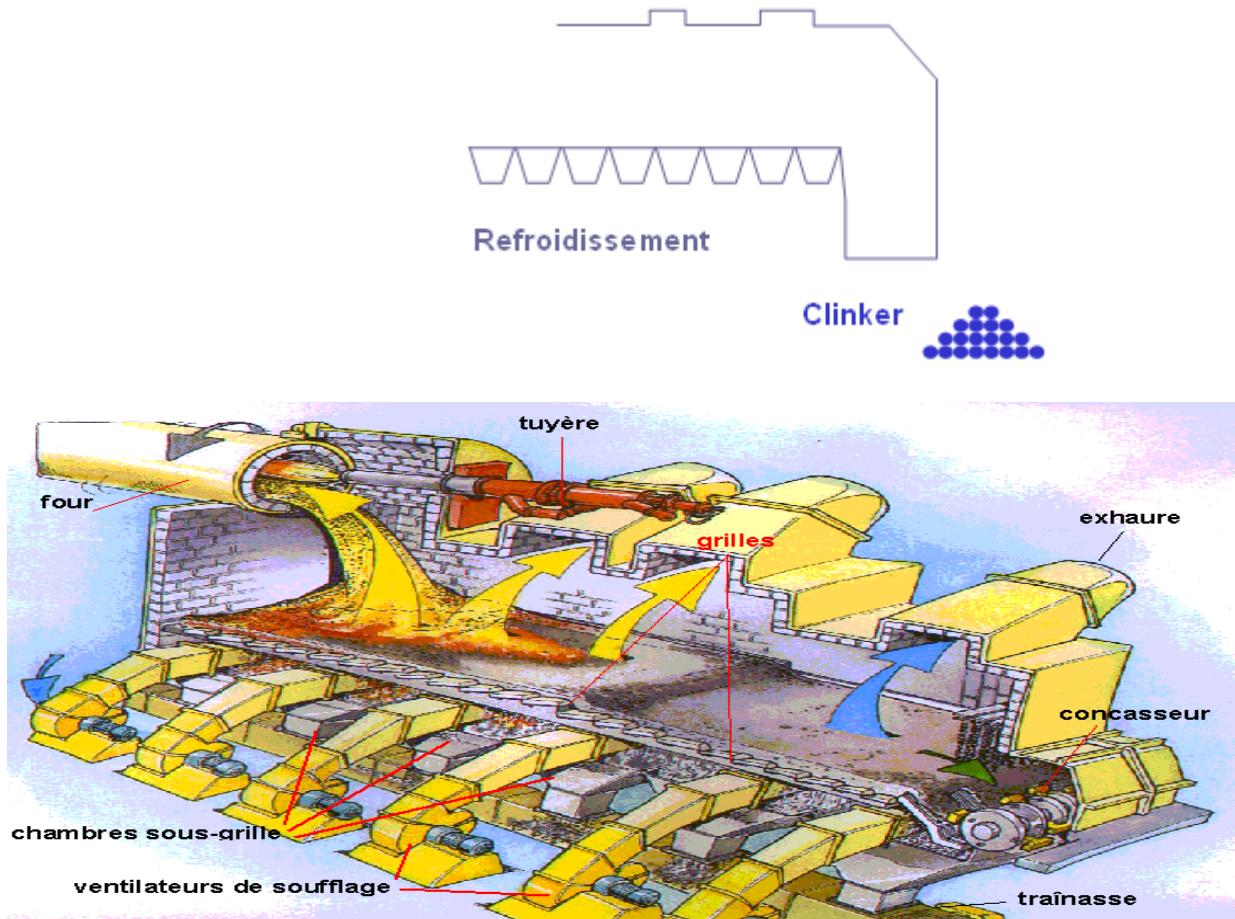


Figure 11: Refroidisseur

#### IV.5 Broyage ciment :

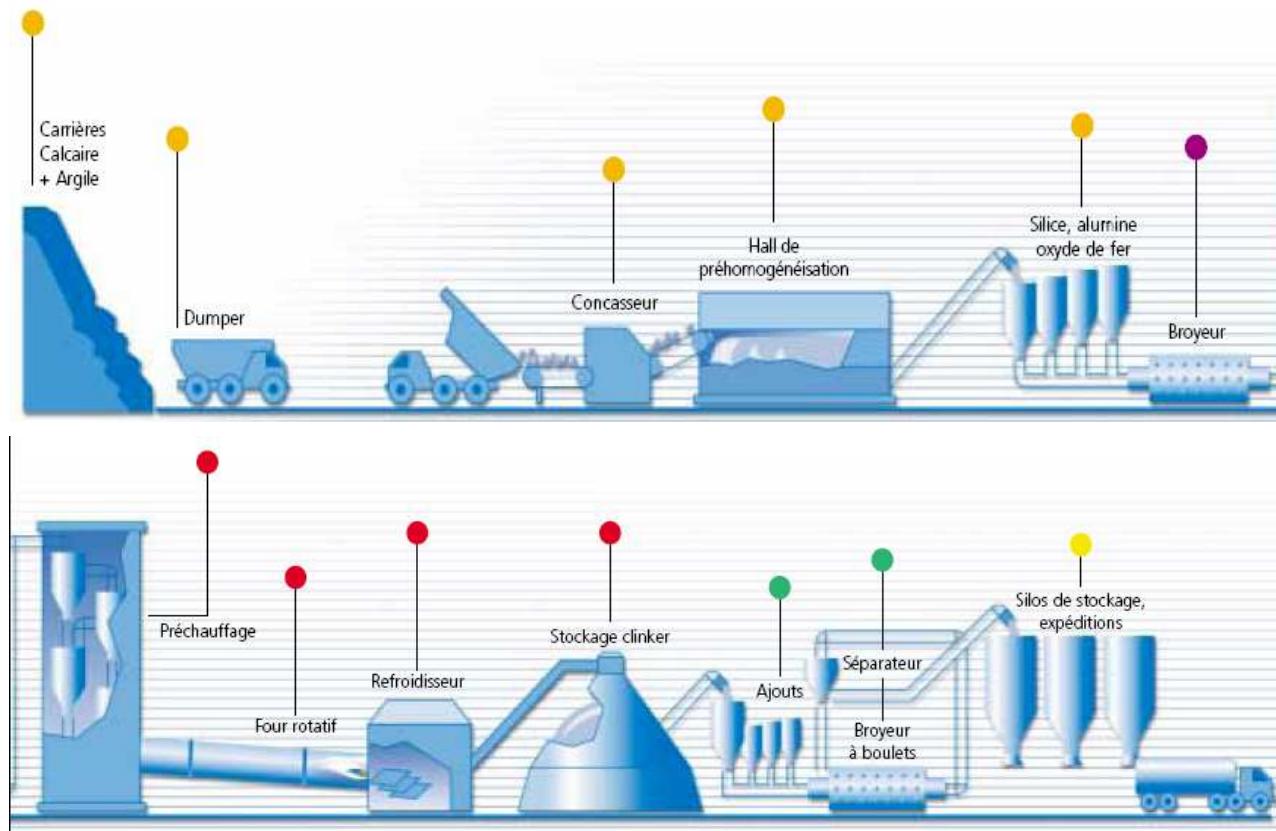
Après refroidissement, les granules de clinker sont ensuite broyés avec addition de gypse. Cette addition a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique et aussi de conférer au ciment des propriétés spécifiques correspondant aux différentes qualités du ciment (CPJ35 ; CPJ45 ; CPA55).

#### IV.6 Ensachage et expédition :

A la sortie du broyeur, le ciment est orienté vers les silos de stockage et de livraison. Trois silos pour la CPJ35, trois pour la CPJ45 et un silo pour la CPA55. Le transport s'effectue à l'aide d'un convoyeur pneumatique par des pompes Fuller. La livraison du ciment s'effectue soit en sacs, soit en vracs.



Le schéma ci-contre résume les différentes transformations subies par la matière première jusqu'à l'obtention du ciment et son expédition :





## *Chapitre 2 :*

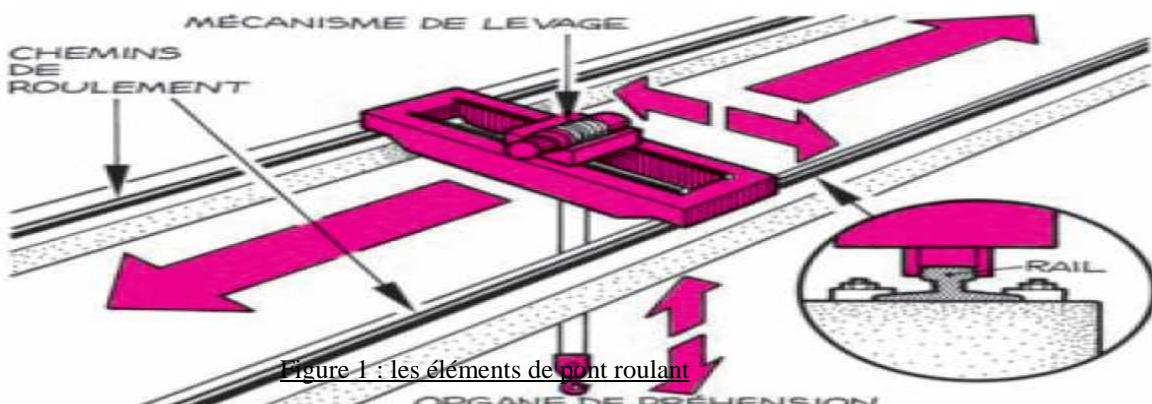
Description générale du pont roulant



## Introduction :

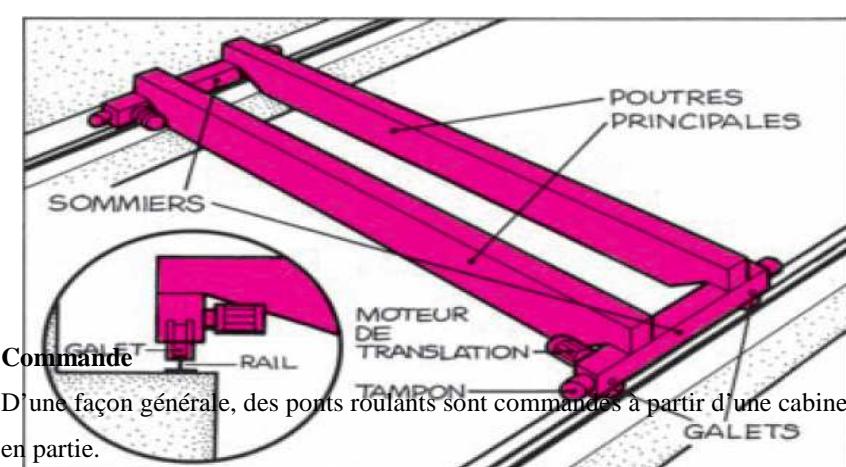
Les poutres roulantes, ponts roulants, portiques et semi-portiques sont des appareils de levage destinés à soulever et à déplacer des charges ; ils se déplacent sur des chemins de roulement parallèles (1) leur organe de préhension (crochet, benne ou autre accessoire de levage) est suspendu par l'intermédiaire d'un câble et de poulies à un mécanisme de levage (treuil ou palan) susceptible de se déplacer perpendiculairement aux chemins de roulements de l'appareil.

Ils sont classés en groupes et calculés selon les règles de la FEM (Fédération Européenne de Manutention) et font l'objet des normes françaises de L'AFNOR en concordance pour l'essentiel avec les règles de la FEM.



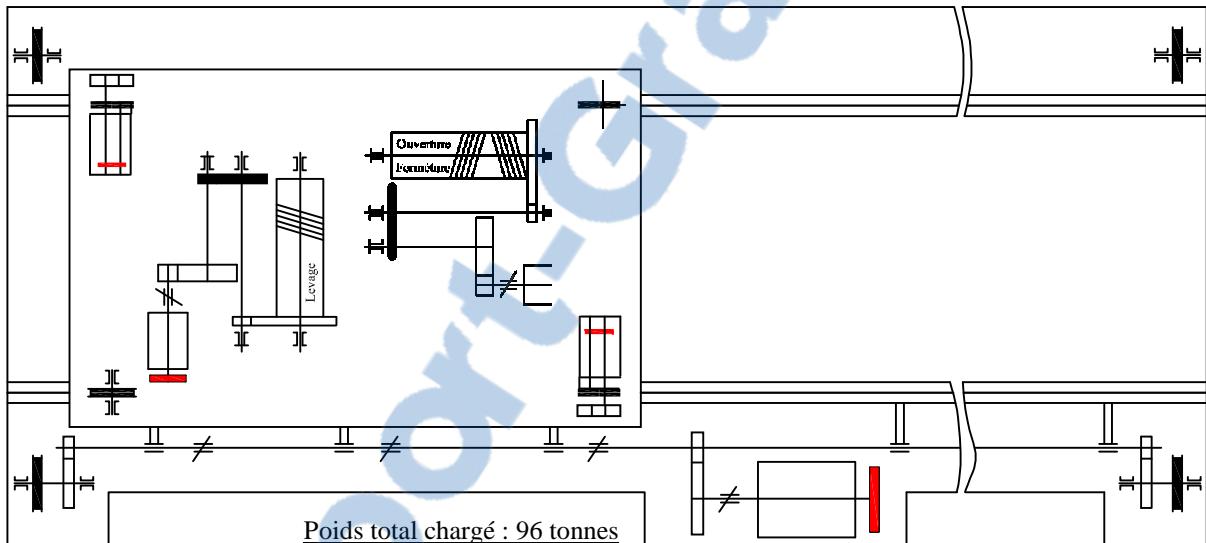
Les axes de déplacement sont appelés :

1. translation : axe des voies de roulement (plus grande distance) correspondant à un mouvement d'ensemble du pont.
2. direction : axe transversal ; généré par un déplacement du chariot.
3. levage : axe vertical ; levage ou descente de la charge dû à un mouvement du treuil et donc des câbles.



## 1. Présentation du pont calcaire :

C'est un système électromécanique piloté par un opérateur et servant pour le transport du calcaire et du clinker vers les trémies aux entrées des broyeurs BK3 et BK5, il est composé des trois sous ensembles suivants :



## 2-Spécifications opérationnelles :

- SITUATION : cimenterie de Meknès – Hall de stockage matière	
- PORTEE (entraxe des rails de translation) :	30 m
- LONGUEUR DU HALL :	144 m
- SERVICE :	24 / 24h
- CAPACITE DE LEVAGE NOMINALE :	11 t
- MATIERE : Type of Product	
Densité	Clinker 1.33
Granulométrie	Calcaire 1.41
	Charbon 0.9 t/m <sup>3</sup>
	...
	mm



	Hygrométrie :	Moyenne	...	...	...	%
H20		Maximum	...	...	...	%
	Température :	Moyenne	60	35	...	°C
H20		Maximum	120	45	...	°C
	Angle de dépôt statique		40	45	20	
		Degré				

**ENVIRONMENT** : Atmosphère très poussiéreuse

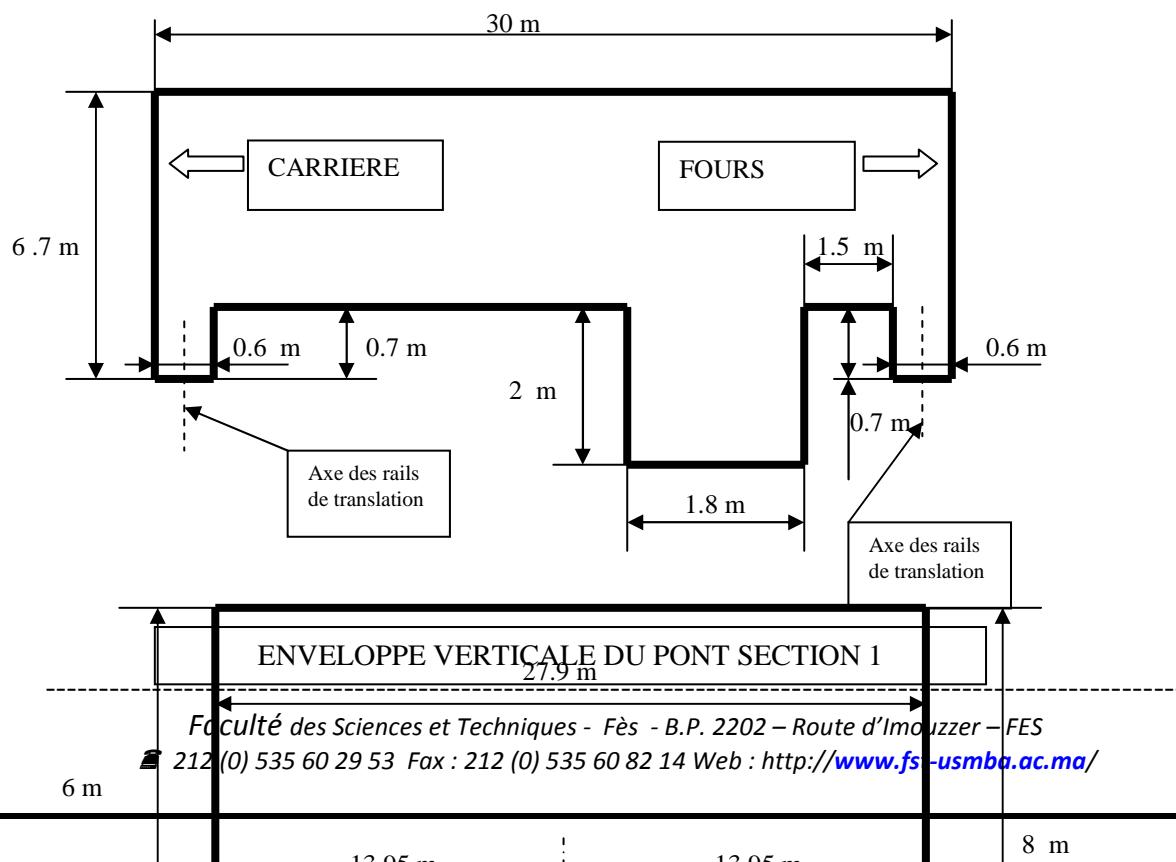
Température maxi.	45 °C
Température mini.	0 °C
Hygrométrie maxi.	... %
Altitude	500 m

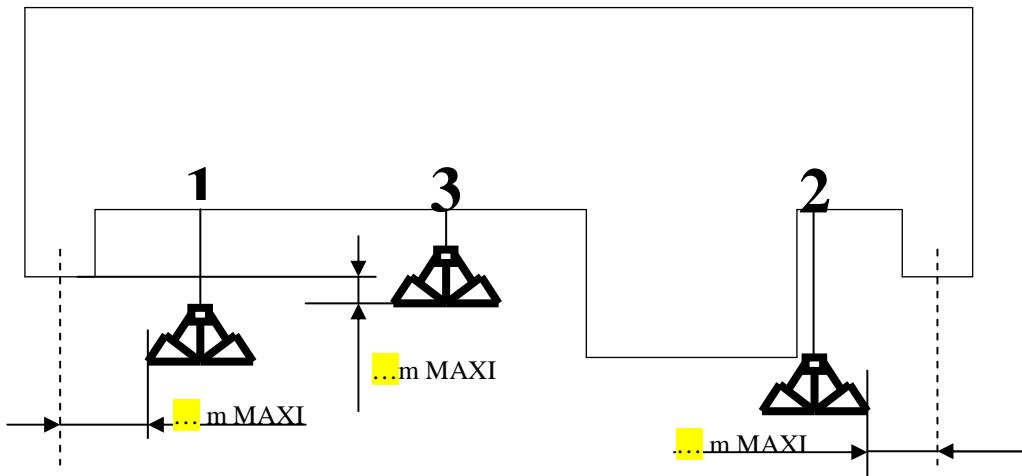
Classification (Selon FEM – révision 3 du 1998.10.01)

Groupe d'engins : A 8  
Groupe de mécanismes : M8  
Spectre de charge : Q3  
Classe de spectre : L4  
Classe d'utilisation des mécanismes : T 9  
Démarrages / heure : 600 d/h  
Facteur de marche : 60 %

### **3-Spécifications techniques :**

### **3-1 Conception général du pont**





1 : Position de la benne ouverte avec chariot coté fours

2 : Position de la benne ouverte

APPROCHES BENNE OUVERTE SECTION 2

• **Vitesse :**

Tous les mouvements seront contrôlés par des variateurs de vitesse.

	Levage	Direction	Translation
Vitesse (m/mn)	0 à 40	0 à 50	0 à 100
Temps d'accélération (s)	2	3	8
Temps de décélération (s)	2	3	8

Rapport-gratuit.com



Faculté des Sciences et Techniques - Fès - B.P. 2202 – Route d’Imouzzer – FES

212 (0) 535 60 29 53 Fax : 212 (0) 535 60 82 14 Web : <http://www.fst-usmба.ac.ma/>



- **Charge utile :**  
11 t (4.6 t benne + 6.4 t matière).

- **Hauteur de levage :**  
15.5 m (approx.)

- **Poids total du pont :**

- Avec benne vide : 86 tonnes ;
- Avec benne pleine : 96 tonnes.

- **Vitesse de translation du pont :** 100 m/mn ;

- **Moteur actuel de translation :** 40 CV, 1450 tr/mn ; 29KW

- **Diamètre extérieur des galets :** 800 mm ;

- **Matériau des galets :** Acier.

- **Largeur des rails :** 65mm.

- **Matériau des rails :** Acier.

### 3-2 Sous ensembles mécaniques

#### 3-2-1 Structure du pont

##### 3-2-1-1. Quadrilatère

Le quadrilatère est composé de 2 poutres caisson et de 2 sommiers en caisson

Une attention particulière a été apportée à la fabrication des poutres (diaphragmes, soudures pleine pénétration entre semelles et âmes) de façon à obtenir une flèche maximum sous charge nominale égale à 1/1000 de la portée du pont. (soit 30 mm)

Les semelles supérieures des poutres sont équipées de rails « Burbach » (type A55 – DIN 536) dont les joints sont soudés et fixés par crapauds.

Les extrémités de chaque poutre sont équipées de butoirs pour le chariot.

Les liaisons poutres – sommiers (par boulons HR) assurent une bonne rigidité du quadrilatère et permettent un réglage facile de sa géométrie.

##### 3-2-1-2. Un chariot :

Il comporte la cabine de conducteur et le système de levage et d'ouverture-fermeture de la benne. Le chariot est muni d'un mouvement de translation sur des rails fixées sur la structure du pont, l'entraînement en translation se fait à l'aide de deux moteurs électriques montés en diagonal et liés chacun à un électrofrein et à un réducteur. La figure 1 illustre la disposition des différents organes du chariot.

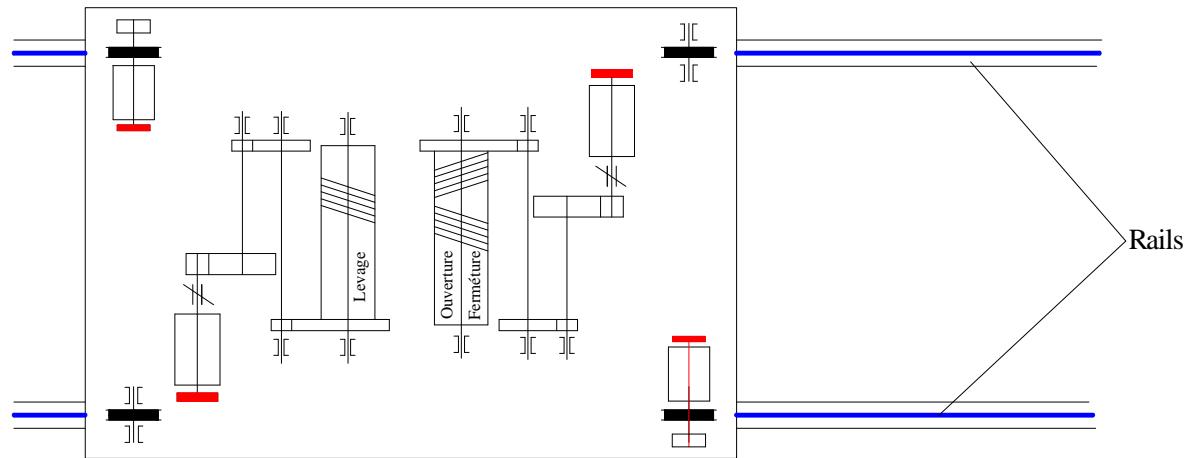


Figure 1

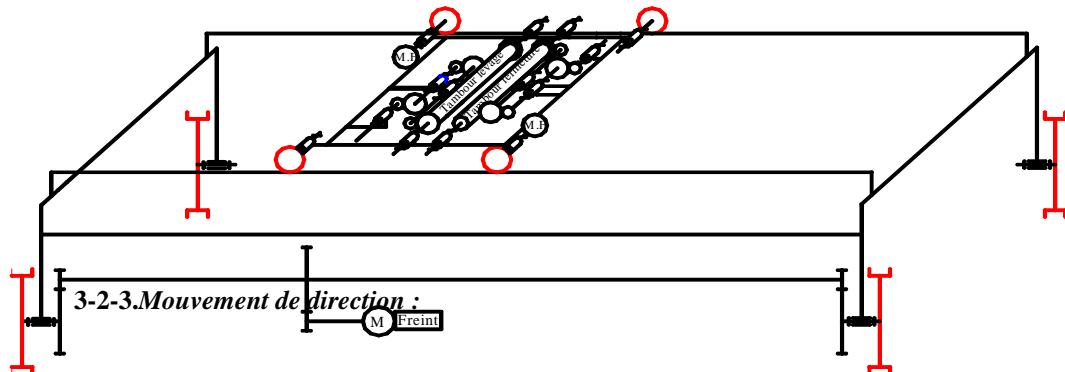
### 3-2-2. Mouvement de translation :

Le mouvement de translation est assuré par 2 galets moteurs et 2 galets porteurs (« fous »). Chaque galet moteur est entraîné par un groupe moto-réducteur-frein, le frein à disque électromagnétique étant intégré au moteur et équipé d'un déblocage manuel. Ce frein est utilisé, en condition normale, comme frein de parking, le ralentissement étant réalisé électriquement par les variateurs de vitesse et le frein ne retombant qu'à basse vitesse.

Les galets sont du type à double joue et dimensionnés pour rouler sur des rails de type MRS 87B (largeur de rail = 65 mm).

Les galets ont une résistance comprise entre 85 et 100 daN/mm<sup>2</sup> et une dureté de bande de roulement de 450 HB.

Les sommiers ont été conçus pour assurer un excellent positionnement des galets (alignement, carrossage,...) selon les critères de la FEM. La dimension des sommiers devra respecter le rapport portée du pont / entre axe des galets de translation < 5.



### 3-2-3. Mouvement de direction :



Le mouvement de direction est assuré par 2 galets moteurs et 2 galets porteurs (« fous »). La motorisation des galets moteurs dépend de la portée du chariot :

Si la portée est inférieure à 3 mètres, les galets moteurs seront entraînés par un seul groupe motoréducteur avec arbres de transmission.

Si la portée est supérieure à 3 mètres, chaque galet moteur sera entraîné par un groupe motoréducteur.

Les groupes moto-réducteur-freins sont équipés d'un frein à disque électromagnétique muni d'un déblocage manuel.

Ces freins seront utilisés, en condition normale, comme frein de parking, le ralentissement étant réalisé électriquement par les variateurs de vitesse et les freins ne retombant qu'à basse vitesse.

Les galets sont du type à double joue et dimensionnés pour rouler sur des rails de type « Burbach » A55 – DIN N° 536 (largeur de rail = 55 mm), ils ont une résistance comprise entre 85 et 100 daN/mm<sup>2</sup> et une dureté de bande de roulement de 450 HB.

### **3-2-4 .Levage et manœuvre de benne**

Ces actions sont assurées par l'enroulement et le déroulement des câbles liés d'une part à la benne et d'autre part aux tambours, ces tambours sont entraînés par deux moteurs électriques qui sont dotés de freins à disques afin de maintenir la benne en ouverture ou en fermeture et en position voulue.

#### **3-2-4-1.Motorisations :**

Sachant que la benne est de type “4 câbles”, les motorisations de levage et de manœuvre de benne sont identiques.

- **Moteur** : Type cage d'écureuil.  
Tension d'alimentation : 415 V (+ 5 %, - 10 %).  
Fréquence d'alimentation : 50 Hz F 5 %.  
Protection : IP 55.  
Ventilation : moto-ventilé.  
Echauffement : Class B.  
Isolement : Class F.  
Stator / Rotor imprégnation adaptée à l'industrie cimentière

Type de fixation B 3 (IM 1001).  
Nombre de manœuvre par heure = 600.  
Facteur de marche : 60%

- **Frein** : Le freinage est réalisé électriquement par les variateurs de vitesse

Le freinage final (à vitesse zéro) ou le freinage d'urgence est réalisé par un frein à tambour ou un frein à disque situé sur l'arbre rapide entre moteur et réducteur. Les garnitures de frein sont exemptes d'amiante.

- **Réducteur** : - du type à arbres parallèles
  - montage flottant (arbre creux)
  - Dimensionné pour une durée de vie de 100 000 heures avec un facteur de service de 1.75 / puissance installée.
  - carter moulé ou mécano soudé
- **Accouplement lent** : type denture
- **Tambour** : Construits en acier d'une résistance de 360 N/mm<sup>2</sup>.  
Diamètre > 25 x diamètre de câble.



Palier équipé de roulements sphériques (dimensionné pour un C/P > 7.5) et graisseurs.

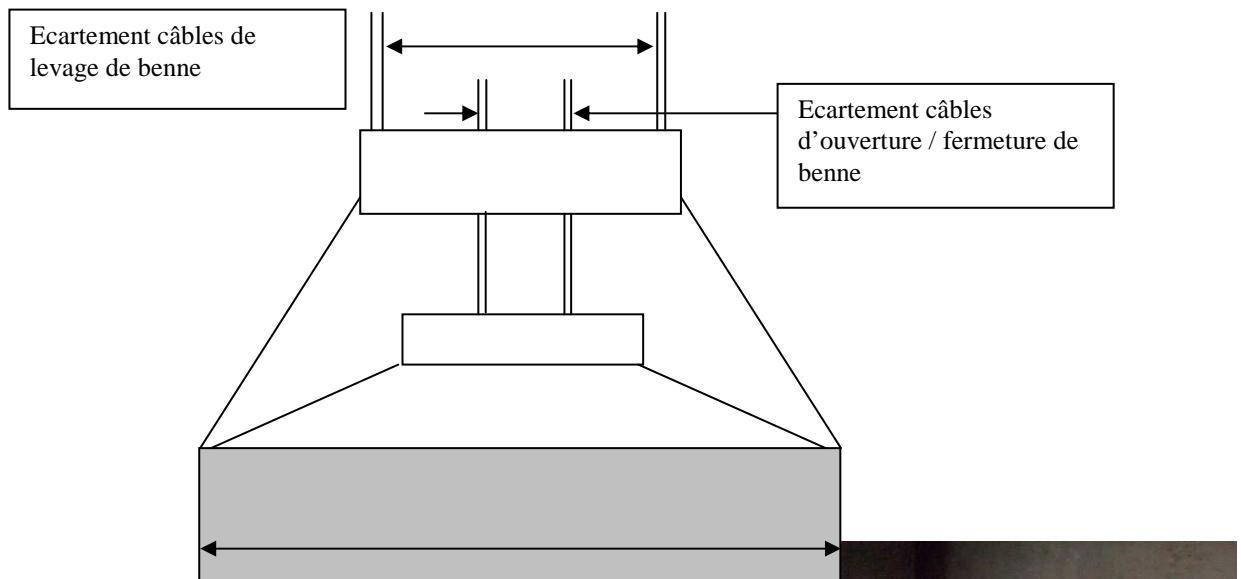
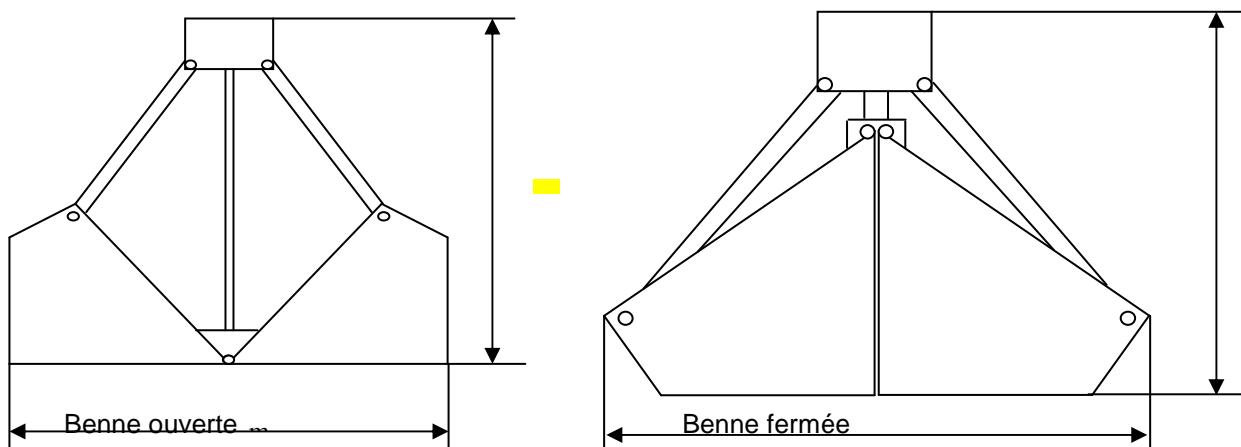
Les cages polyamides sont interdites.

Orientation : axe de tambour parallèle aux rails de translation (c'est-à-dire perpendiculaire aux poutres de pont).

### 3-2-4-2.Benne

Les caractéristiques de la benne sont :

- Benne de type 4 câbles
  - Poids mort : 4.6 t.
  - Volume (volume d'eau) : 2.7 m<sup>3</sup>
  - Volume (maximum) : 4 m<sup>3</sup>
- Masse maxi. de matière transportée : 6.4 t



- Mécanisme – Nombre de poulies ; 8 (4 haut et 4 bas).

- Mécanisme – course des câbles de manœuvre entre la position ouverte et la position fermée: 2 m

### 3-2-4-3.Câbles :





Les câbles de levage et de manœuvre de benne sont plastifiée

du type à torons compactés et âme (type Casar Turboplast ou équivalent)

Le diamètre nominal est de 22 mm.

La charge à la rupture de l'acier est de 1960 N/mm<sup>2</sup>.

La charge à la rupture mini des câbles est de 42500daN.

Les tambours en acier (S355JR) seront à hélices (1 droite et 1 gauche)

#### 3-2-4-4. Cabine :

La cabine de conduite est fixée au chariot elle se translate le long de la portée elle est équipée de pupitres de commande qui comprennent les équipements suivants :

- 1 manipulateur pour le levage et les commandes d'ouverture / fermeture de benne (combinable)
- 1 manipulateur pour translation et direction (combinable)
- 1 bouton poussoir "En service"
- 1 bouton poussoir "Arrêt"
- 1 arrêt d'urgence
- 1 bouton poussoir pour le klaxon
- 1 bouton poussoir d'accuittement défaut
- 1 interrupteur pour les projecteurs



2010/04/29

#### 3-2-4-5. Accès :

L'accès à la cabine est assuré par les passerelles, plateformes, escaliers et échelles qui sont disposés dans toutes les zones du pont nécessitant un accès en sécurité pour les pontiers et personnel de maintenance.

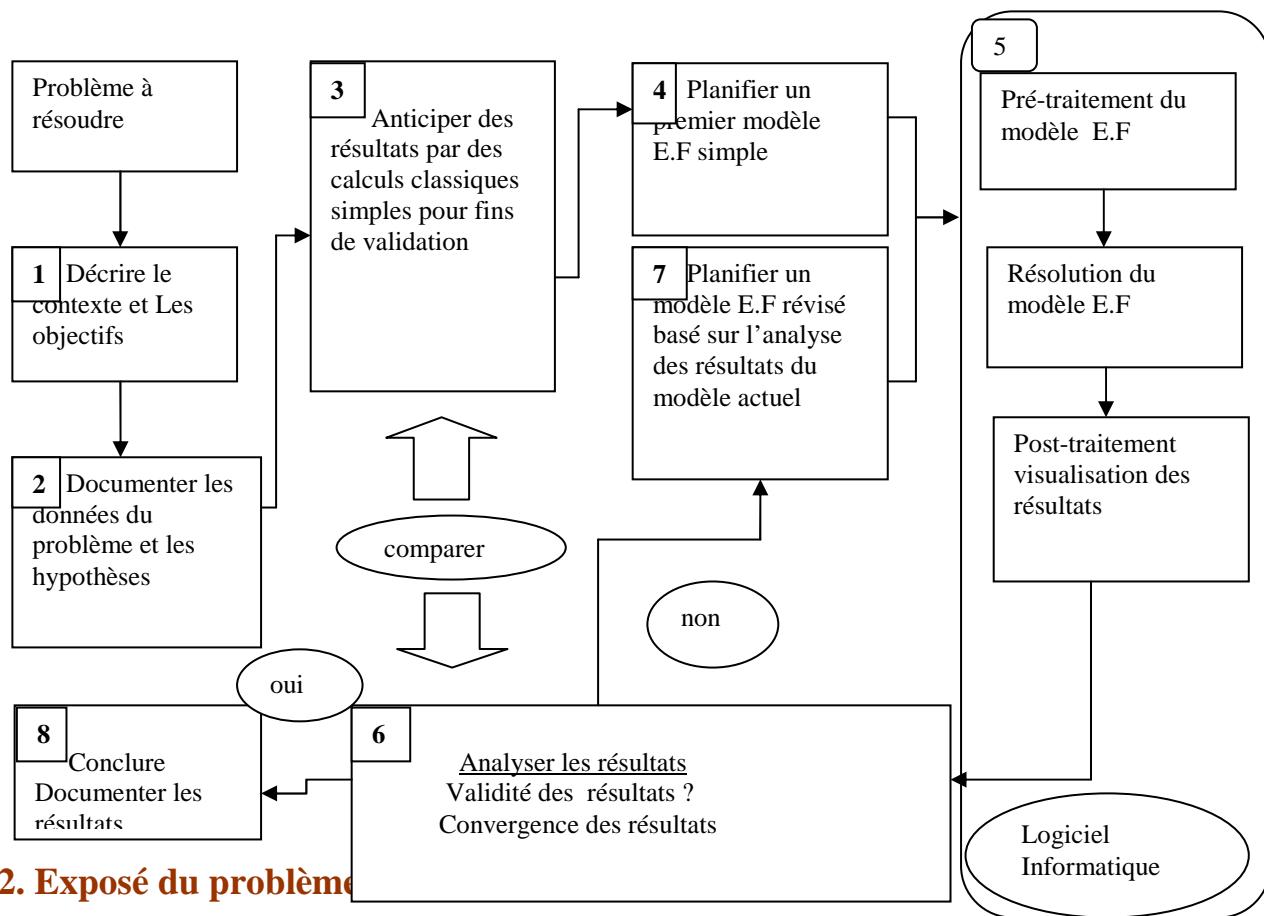


## *Chapitre 3 :*

Modélisation numérique des efforts poutres sommiers



## 1. Procédure d'analyse numérique :



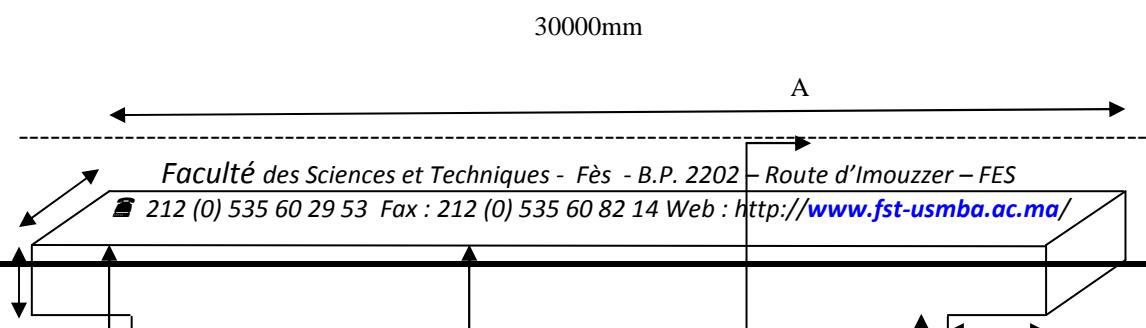
## 2. Exposé du problème

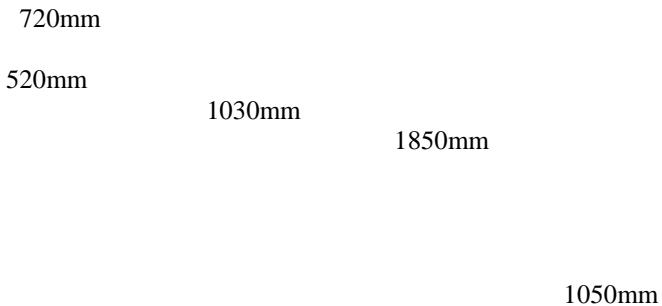
On veut faire l'analyse par élément finis des deux poutres en acier d'un pont roulant supportant un chariot +benne ayant une masse dynamique de 26 tonnes

Un concept préliminaire est illustré à la figure ci- contre

NB : ici, pour faciliter la présentation, on n'analysera qu'une seul poutre

Les dimensions sont données ci-dessous.





### 3. Contexte et objectifs

#### Contexte

-Analytique. La présente étude vise à visualiser les zones sollicitées par la charge du chariot+benne chargée

-Pratique : deux poutres en acier d'un pont roulant soutenant une masse dynamique de 26 tonnes (chariot+benne chargée).

#### Objectif

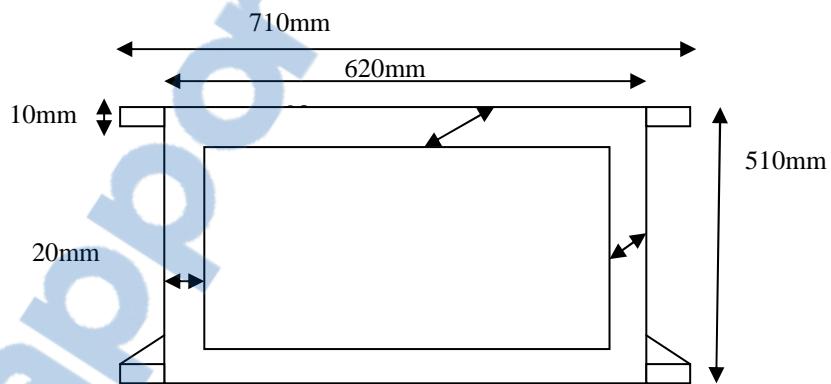
Sachant que le matériau utilisé pour la tige est l'acier et que le problème est dynamique (difficile à représenter), on va choisir 3 positions pour l'application de la charge (shéma1) pour visualiser les zones sollicités par la charge.

### 4. Données du problème

Dimensions :

Les dimensions sont montrées ci-dessus.

Propriétés de section :



#### Propriétés de matériau :

Les caractéristiques de cet acier seront utilisées dans l'analyse. Les propriétés sont montrées ci-dessous :

	R <sub>m</sub> (Mpa)	R <sub>e</sub> (Mpa)	E (Gpa)	v	densité	A%
Acier ordinaire	300/1100	200/900	210	0,3	7,85	>17



## Hypothèse

- On fait l'hypothèse d'un état plan de contrainte ; parce que la poutre est générée par projection d'un profil 2D et que les efforts sont appliqués uniformément dans le plan
- Pour la raison de simplification on étudie une seule poutre puisqu'elles possèdent les mêmes caractéristiques.
- la poutre a une longueur 5 fois supérieurs aux dimensions transversales.par conséquent, on peut négliger, pour le calcul classique, l'effet de cisaillement transverse.

## Gravité

On utilise une accélération gravitationnelle de 10 m/s<sup>2</sup> pour calculer le poids de la masse. Le poids est donc 26 tonnes/2 (pour une seule poutre)       $13000 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 130000 \text{ N}$       →

Puisqu'on travail à l'échelle de 1/100 alors le poids sera donc 1,3KN

## **5. Résultats anticipés**

### Qualitatifs

- Soumise à la masse de 13000 Kg, la poutre fléchira vers le bas.
- les fibres supérieurs seront en tension et celles inférieures en compression.
- à l'encastrement, les déplacements et les rotations doivent être nuls.

## **6. Planification du modèle numérique**

### Type de problème

On ne peut pas modéliser la poutre avec une charge dynamique, c'est pourquoi on appliquera une charge statique aux deux extrémités et au milieu.

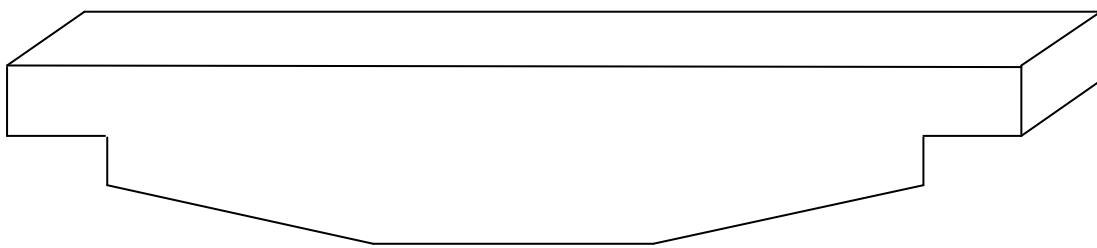
Ce pendant, les efforts agissant suivant l'épaisseur de la poutre, la poutre présentera un état plan de contrainte.

Notons que la poutre est vide de l'intérieur

### Modèle géométrique

Le modèle géométrique qui sera utilisé pour simuler la poutre est présenté ci-dessous.

Et les dimensions réelles seront réduites de 1/100.



## Maillage



## Le maillage de la géométrie utilisera principalement des éléments 2D quadrangulaires paraboliques

Les raisons du choix des éléments sont :

Analyse 2D en état plan de contrainte      éléments 2D

Forme rectangulaire      éléments quadrangulaires (convergent mieux que triangle)

Flexion dans le plan      éléments paraboliques (représentent mieux la flèche)

## Propriétés de matériau des éléments

Tous les éléments auront les propriétés de l'acier

## Propriétés physiques des éléments

Les éléments 2D ne nécessitent que l'épaisseur comme propriété physique. Ici, l'épaisseur est de 0,02m

## Conditions aux frontières : chargement

Le seul chargement considéré est le poids de 1,3 KN transmise à la poutre par le poids du chariot+benne chargée. Le chariot+la benne agissent sur toute l'épaisseur de la poutre et sur la largeur de 710mm. Par conséquent, on modélise la force comme illustré ci-dessous.

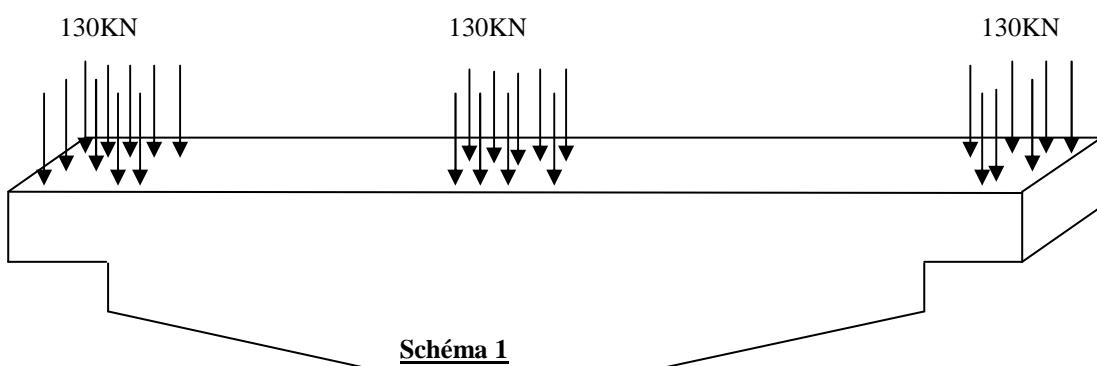
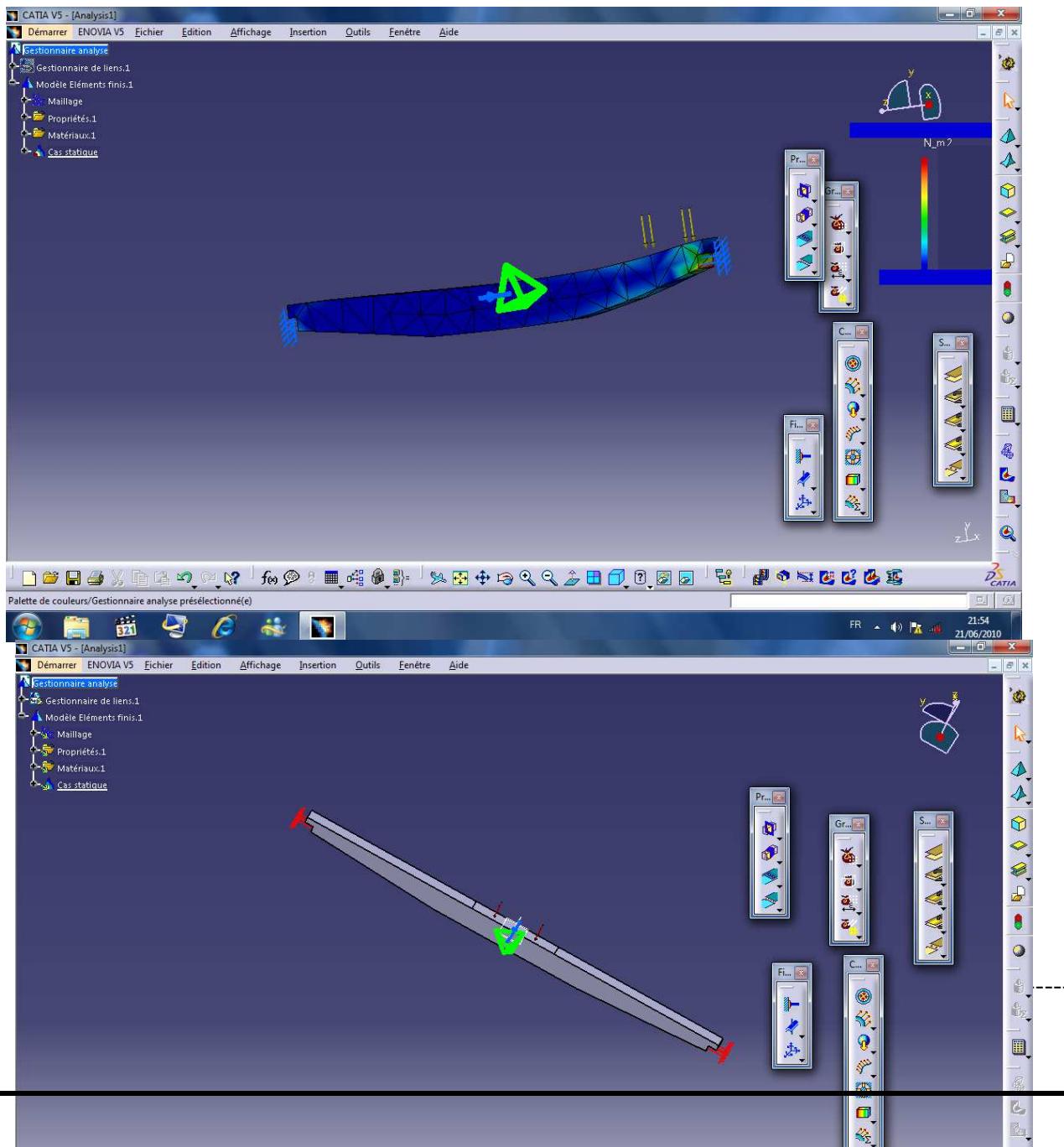


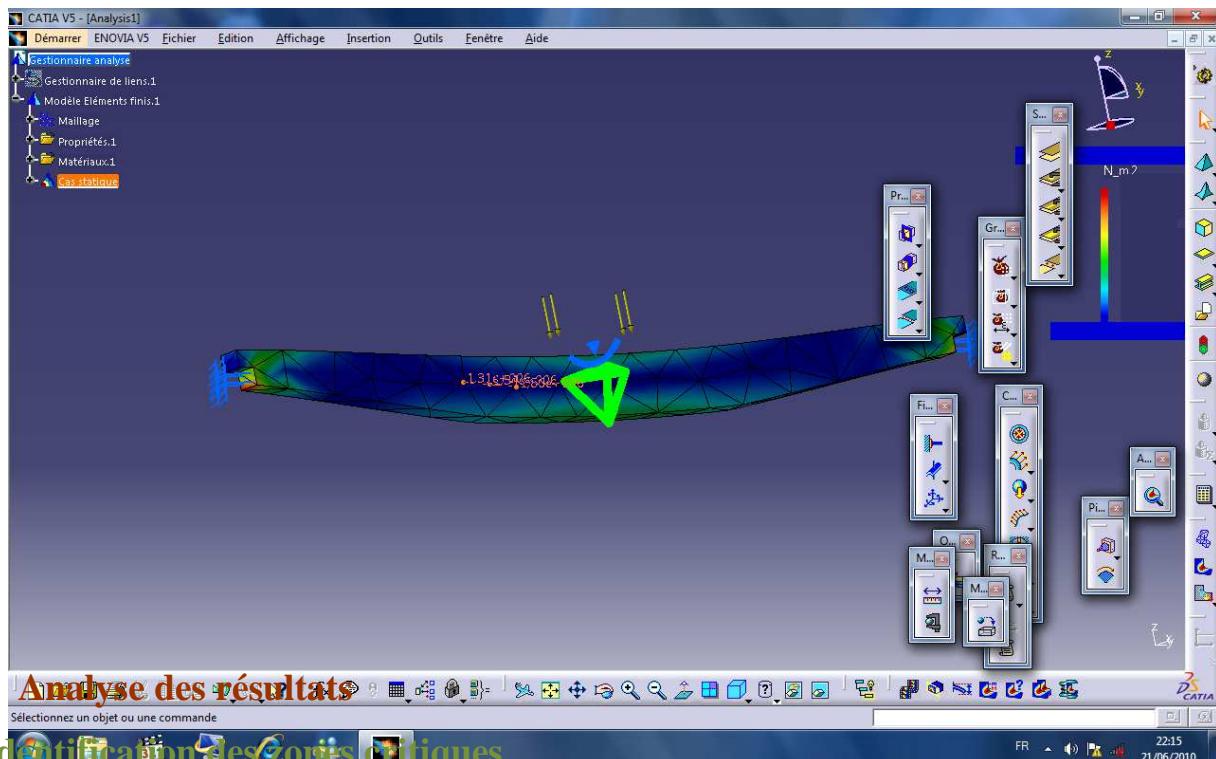
Schéma 1

La modélisation sera sur le logiciel CATIA R18, en respectant l'échelle de 1/100 la charge deviendra 1,3KN réparti le long de 60mm (échelle réelle 6m).et puisque les deux extrémités sont semblables on va appliquer la charge à l'une et au milieu.

## Résultats numérique







### Analyse des résultats

### Identification des zones critiques

D'après ces résultats numériques il apparaît bien que les zones critiques sont près de l'encastrement à fibres supérieures et inférieures. C'est pourquoi il faut :

- Renforcer la liaison poutre sommier en vérifiant périodiquement le serrage des boulons de fixation afin d'éviter toute sorte de fissure ou de cisaillement.

Les points les plus critiques aussi concernent le chariot (déformation de la structure supportant la cabine et le local électrique).

Par ailleurs, j'ai suggéré de s'orienter vers un pont à cabine fixe. Cette conception permettrait de simplifier la conception du chariot tout en offrant une qualité de visibilité compatible avec les manœuvres à réaliser.



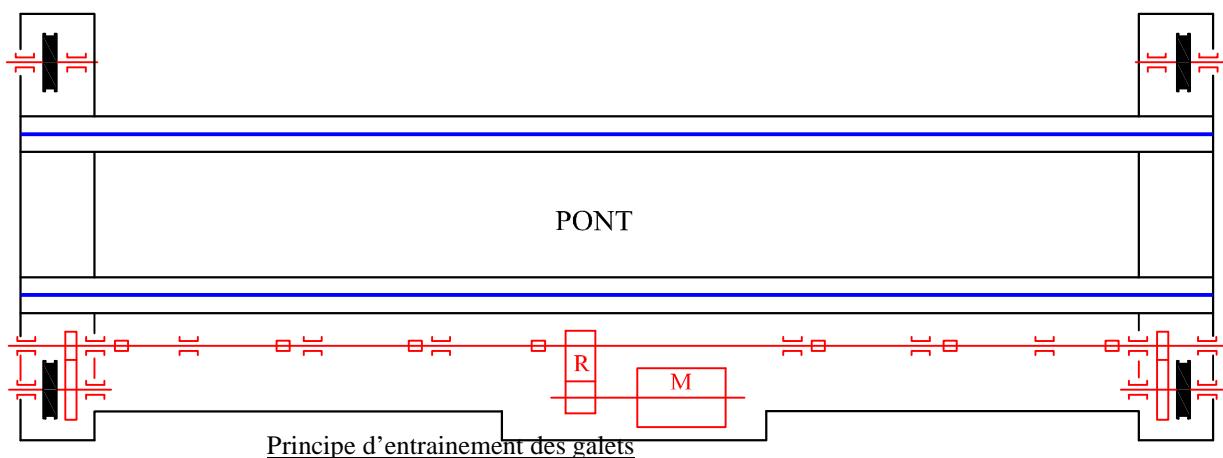
## *Chapitre4 :*

Modification du système de translation de pont roulant



## **I. Description du système de translation actuel:**

Le mouvement de translation du pont se fait à l'aide de quatre galets, deux motorisés et deux autres fous. Le moteur utilisé pour ce mouvement est accouplé aux deux galets en passant par un ensemble de réducteurs. Dans ce genre d'entraînement, la synchronisation entre les deux galets ne pose pas de problème, mais l'arbre qui assure cette synchronisation présente des problèmes au niveau de l'encombrement et de la sécurité des opérateurs surtout que tout ce système est pleinement accessible. Le schéma cinématique suivant montre le principe d'entraînement des galets.



## **II. Problèmes posés au niveau de la translation du pont :**

- Phénomènes vibratoires au niveau des organes de transmission de mouvement entre le moteur électrique et les galets de commande surtout au moment de démarrage;
- Vu le dernier changement des rails, une partie du carter couvrant les pignons d'attaque des galets de commande a été enlevée pour ne pas frotter sur le socle, à cet effet, le graissage des pignons n'avait plus d'efficacité et l'usure des pignons et couronnes sur galets sont devenaient de plus en plus rapides ce qui nécessite :
  - Le changement des deux pignons chaque 10 jours (prix unitaire 4000 DH).
  - Le changement des deux couronnes d'entraînement du galet moteur chaque 3 mois (Prix unitaire 30 000 DH)
  - bruits trop élevé.

## **III. ETUDE AMELIORATIVE :**

Dans le but de rendre le pont calcaire encore plus fiable et plus sécuritaire, le principe de la modification est de remplacer le moteur assurant la translation par deux autres moteurs électriques accouplés directement chacun sur l'un des deux galets de commande.



L'étude de cette proposition sera menée en deux parties :

**La première** est mécanique et concerne la détermination des différents efforts et couples, le dimensionnement des moteurs et leurs choix à partir des catalogues fournisseurs, en plus de l'étude de la transmission moteur-galet et de la fixation des moteurs sur la structure du pont.

**Le deuxième** est électrique et porte sur la commande et la synchronisation des deux moteurs, le but de cette partie est d'éviter le déraillement du pont et de diminuer les pertes mécaniques provenant du frottement entre les boudins et les rails.

### III.1. Analyse fonctionnelle :

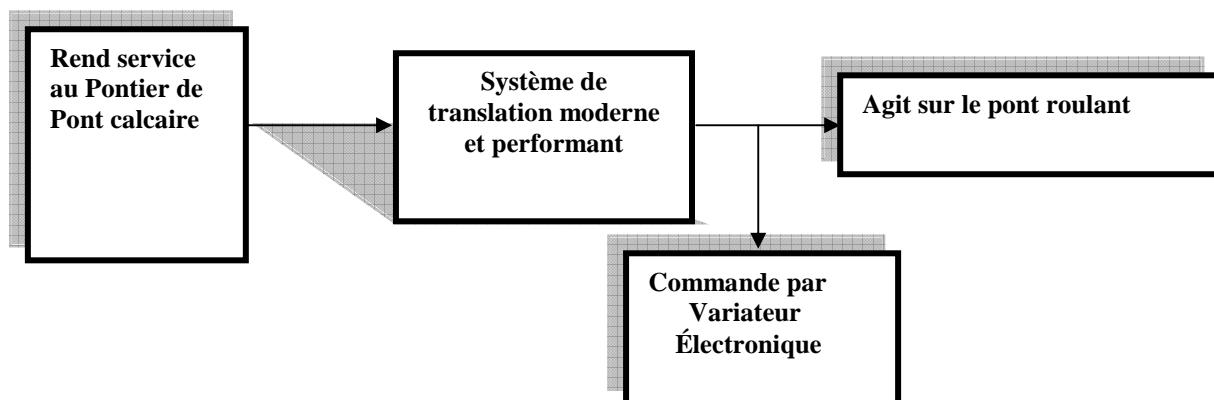
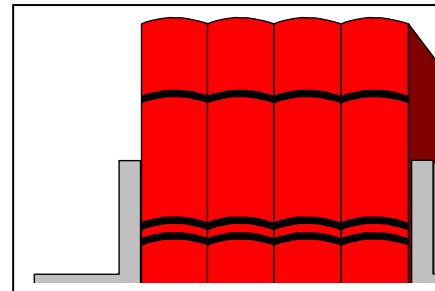
#### 1. définition :

L'analyse fonctionnelle est une des méthodes permettant d'aider un concepteur à analyser le besoin à satisfaire en séparant des diverses solutions susceptibles d'y répondre pour tendre à l'optimisation du couple besoin – solution.

#### 2. différentes méthodes de l'A.F :

- méthode des interacteurs
- arbre fonctionnel
- diagramme FAST
- méthode SADT
- GRAFCET
- MERISE

#### 3. Analyse du besoin :



#### 4. Détermination des fonctions principales et contraintes :

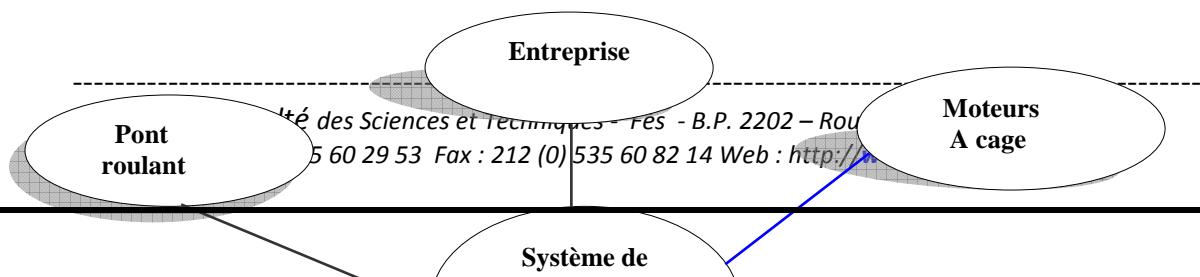
**FP:** Commande de mouvement de translation par variateur de vitesse électronique.

**FC1:** souplesse de conduite

**FC2:** encombrement réduit

**FC3:** investissement mini

**FC4:** limitation d'accès au système pour raison de sécurité





## Enjeux de l'étude

Bien qu'obsolesques, les technologies employées sur le pont sont éprouvées et maîtrisées par le service de maintenance. Elles sont garantes d'une disponibilité maximale du pont de calcaire. Cependant, pour pérenniser la production sur le site, il est primordial de moderniser cet outil en répondant à deux enjeux majeurs :

- Limiter les dépenses énergétiques liées à l'utilisation du pont de calcaire.
- Limiter les coûts de maintenance du pont de coulée, tant du point de vue mécanique qu'électrique.

La problématique sera donc la suivante :

Remplacer le moteur asynchrone à rotor bobiné existant par deux moteurs à cage.

Assurer les séquences de démarrage et de freinage des moteurs par un variateur de vitesse électronique.

Les contraintes :

La modernisation de la chaîne de conversion d'énergie ne doit en rien altérer les performances actuelles du pont de calcaire.

La disponibilité du pont de calcaire doit rester la préoccupation majeure de cette étude.

### Étude de système actuelle

- A. Étude de la chaîne cinématique : détermination des performances mécaniques nécessaires au déplacement du pont  
Données :

- masse totale du pont roulant en charge :  $M_p = 96$  tonnes
- vitesse de translation du pont :  $V_p = 100\text{m}.\text{min}^{-1}$

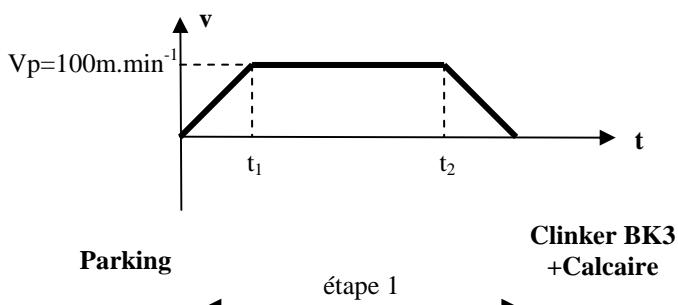
<p>PARKING ( Position initiale du pont : P)</p>	
-----	
Faculté des Sciences et Techniques Fès - B.P. 2202 - Route d'Imouzzer - FES 212 (0) 535 60 29	étape 1 : 30m - marche AV
CLINKER BK3 +	/ <a href="http://www.fst-usmба.ac.ma/">www.fst-usmба.ac.ma/</a>
CALCAIRE	étape 2 : 20m - marche AR



#### A.1. Détermination de la durée d'un cycle de déplacement en translation

Pour évaluer la consommation énergétique du pont roulant de calcaire lors des déplacements en translation horizontale, on se propose de calculer la durée totale d'un cycle de production de fonte.

On s'intéresse à l'étape 1 du mouvement du pont roulant ; le profil de vitesse est conforme au graphe ci-dessous.



**FIGURE 2 : Vitesse de translation du pont au cours du temps**

Les phases d'accélération et de freinage ont des durées égales à 8 secondes dans la solution actuelle. La distance parcourue par le pont lors de chaque étape est précisée sur la figure 1.



On calcule l'accélération  $a$  du pont, en  $\text{m.s}^{-2}$ , sur l'intervalle  $(0 ; t_1)$  sachant que la vitesse en régime établi est de  $100 \text{ m.min}^{-1}$ .

$$\text{A.1.1. } a = dv/dt = 0,2 \text{ m/s}^2$$

En déduire que la distance  $df$  parcourue par le pont pendant une phase d'accélération est de  $6,4\text{m}$ .

$$\text{A.1.2. } x = \frac{1}{2} a t^2 = 6,4\text{m}$$

La distance  $df$  parcourue lors du freinage

$$\text{A.1.3. Distance de freinage } df = 6,4 \text{ m}$$

En déduire la distance  $dp$  parcourue à vitesse constante lors de l'étape 1.

$$\text{A.1.4. Distance parcourue à vitesse constante : } dct = 20-8 = 12 \text{ m.}$$

$$\text{A.1.5. } (t_2-t_1) = 7,2 \text{ s.}$$

A.1.6. On considère que les durées de démarrage et de freinage sont les mêmes pour chaque étape du cycle figure 1, en marche avant comme en marche arrière. On rempli le tableau du document réponse n°1 permettant de calculer la durée de chaque étape.

ETAPE	durée accélération + freinage	Distance parcourue à vitesse constante	Durée de la phase à vitesse constante	durée totale de l'étape
1	$8\text{s}+8\text{s}=14\text{s}$	16,64 m	10 s	26s
2	16s	6,64 m	4 s	20s
3	16s	36,64 m	22 s	38s
4	16s	6,64 m	4 s	20s
5	16s	6,64 m	4 s	20s
6	16s	46,64 m	28 s	44s

A.1.7. On ne tient pas compte des durées de travail pendant lesquelles le pont roulant ne se déplace pas en translation horizontale.

La durée totale du cycle est de :

$$27+17+47+17+17+57 = 182\text{s}$$
 soit environ 3min.

#### A.2. Performances en régime établi : puissance et couple des moteurs de translation

Le déplacement du pont roulant est assuré par deux moteurs (un pour chaque rail de guidage). On donne, figure 3, le schéma simplifié de la transmission associée à chacun des deux moteurs :

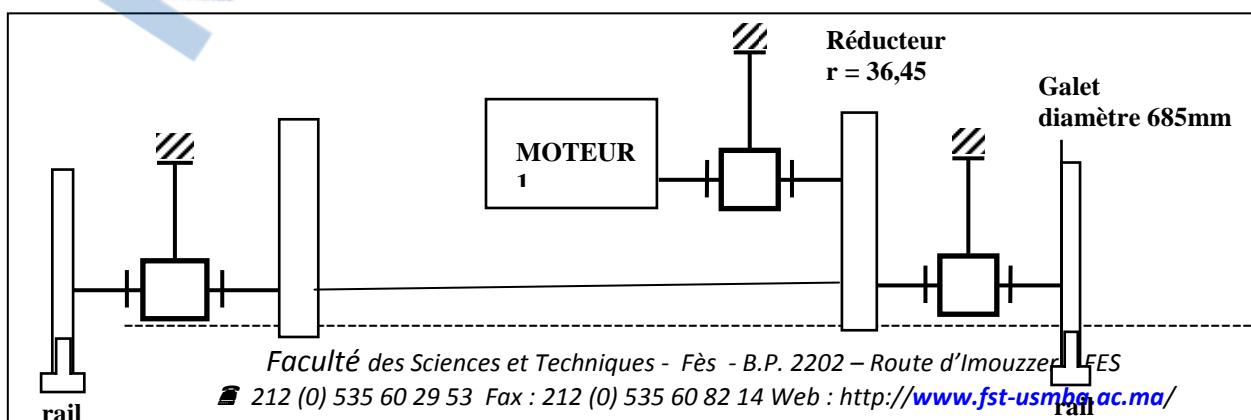


FIGURE 3 : schéma simplifié de la transmission associée à un moteur



A.2.1. La vitesse linéaire de déplacement du pont roulant est  $v_p = 100 \text{ m.min}^{-1}$ . Alors la vitesse angulaire  $\Omega_G$  de rotation des galets en  $\text{rad.s}^{-1}$ , le diamètre des galets étant  $d_G = 685 \text{ mm}$ .

$$\Omega_G = V_p/r_G ; \Omega_G = 4,17 \text{ rad/s}$$

A.2.2. On déterminer la vitesse angulaire  $\Omega_M$  de rotation du moteur compte tenu du rapport de réduction  $r = \Omega_M/\Omega_G = 36,45$  du réducteur.

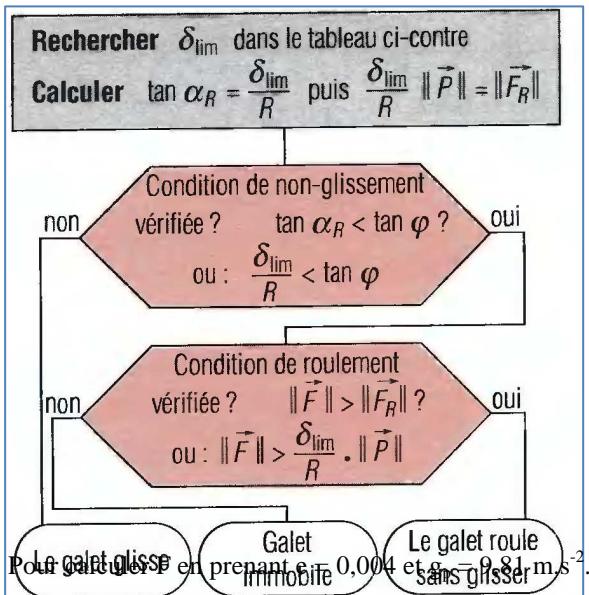
$$\Omega_M = r \cdot \Omega_G ; \Omega_M = 152 \text{ rad/s soit } 1451 \text{ tr/min}$$

A.2.3. L'effort nécessaire pour vaincre la résistance au roulement est donné par :

$$F = e M_p g_p ; (e : \text{résistance au roulement}; g_p : \text{accélération de la pesanteur}; M_p \text{ en kg})$$

Le bon dimensionnement des galets impose que le galet roule sans glissement c'est pourquoi on suit l'algorithme suivante :

$$\delta_{lim} = 0.0013$$



VALEURS DU COEFFICIENT DE RÉSISTANCE AU ROULEMENT : $\delta_{lim}$	
Matières en contact	$\delta_{lim}$ (en m)
Fonte sur acier	$5 \times 10^{-4}$
Acier sur acier	$10^{-4}$
Roue de wagon/rail sec	$5 \times 10^{-4} \text{ à } 4 \times 10^{-3}$
Fonte sur bitume	$8 \times 10^{-3}$
Fonte sur sol en ciment	$15 \times 10^{-3}$
Acier sur sol en ciment	$15 \times 10^{-3}$
Roue métallique/ciment	$2 \times 10^{-2}$
Caoutchouc sur bitume	$3 \text{ à } 15 \times 10^{-3}$
Roue d'automobile/bitume	$3 \times 10^{-2}$

$$A.2.3. F = e M_p g_p ; F = 3,77 \text{ kN}$$

A.2.4. L'effort F étant équitablement réparti sur les deux moteurs, on calcule le moment du couple  $T_G$  exercé sur un seul galet moteur.



$$F' = F/2 = 1,88 \text{ kN} \text{ par galet moteur ; } T_G = F' \cdot r_G ; T_G = 644 \text{ Nm}$$

A.2.5. En déduire la puissance de traction  $P_G$  nécessaire au niveau d'un galet moteur.

$$P_G = F' \cdot v = T_G \Omega_G; P_G = 2,68 \text{ kW}$$

A.2.6. Le rendement de la transmission étant  $\eta = 94\%$  , alors la puissance de traction  $P_M$  nécessaire au niveau d'un moteur est :

$$P_M = P_G / \eta_r; P_M = 2,85 \text{ kW}$$

A 2.7. Le moment du couple moteur  $T_M$  nécessaire à la traction est :

$$T_M \equiv P_M / \Omega_M ; T_M = 18,75 = 19 \text{ Nm}$$

### A.3. Performances dynamiques : couple de démarrage

Le moment d'inertie équivalent ramené sur l'arbre d'un des moteurs est  $J = 4,6 \text{ kg.m}^2$ . La charge oppose à chaque moteur un couple résistant  $Tr = 19 \text{ Nm}$  constant. La vitesse de rotation est de  $945 \text{ tr.min}^{-1}$  en régime établi.

A.3.1. la relation fondamentale de la dynamique s'appliquant à l'arbre d'un des moteurs de translation.

$$\mathbf{J} \frac{d\Omega}{dt} = \mathbf{T}_u - \mathbf{T}_r \quad (\mathbf{T}_u : \text{moment du couple utile})$$

A.3.2. Calcule du moment du couple de démarrage  $T_d$  du moteur si la phase de démarrage a une durée de 8s.

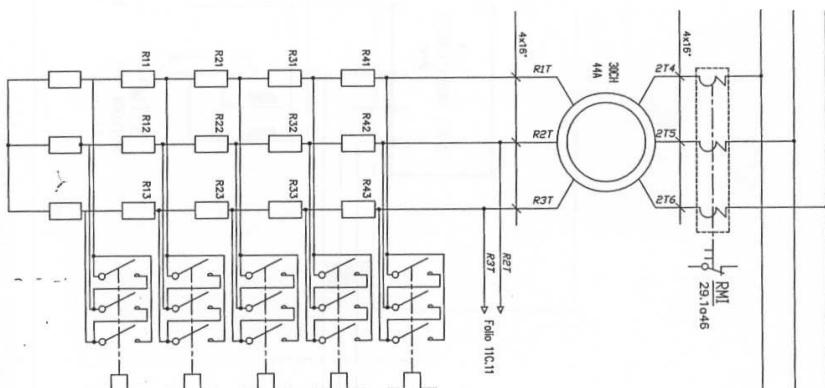
$$T_d = J \frac{d\Omega}{dt} + T_r = 106,4 \text{ Nm}$$

### B. Étude énergétique de la solution actuelle

Le moteur du mouvement de translation étudié est à rotor bobiné. Des résistances sont insérées en série avec le rotor lors des phases de démarrage et de freinage de manière à limiter les couples (pour éviter le patinage des galets sur les rails) ainsi que les courants d'appel.

**FIGURE 4 :**

## Schéma du démarreur rotorique associé à un moteur de translation horizontale





### B.2. Étude des moteurs de translation en régime établi

On se propose de vérifier que le dimensionnement des moteurs de translation peut être revu à la baisse pour le régime établi. On souhaite également déterminer la puissance perdue par chaque moteur pour ce régime établi.

**On négligera les pertes mécaniques et magnétiques ainsi que les pertes par effet Joule au stator. On s'intéresse au moteur de translation horizontale du pont.**

- Alimentation du moteur : 230V / 400V – 50 Hz ;
- Fréquence de rotation du moteur : 1450 tr/min

B.2.1. Déterminons le nombre de pôles du moteur

$$n_s = 1527 \text{ tr/min} (\Omega_s = 160 \text{ rad/s}) ; 4 \text{ pôles} ; p=2$$

B.2.2. Calcule de glissement nominal

$$g = (n_s - n) / n_s ; g = 5 \%$$

B.2.3. La puissance utile nominale du moteur est de 29kW. On calcule le moment du couple utile nominal de ce moteur.

Les besoins en régime établi correspondent à un couple résistant  $T_r = 19 \text{ Nm}$ .

$$T_u = P_u / \Omega_M ; T_u = 191 \text{ Nm}$$

B.2.4. on peut en déduire quant au régime de fonctionnement du moteur

Que le moteur asynchrone fonctionne pratiquement **à vide** pour  $T_u = 19 \text{ Nm}$ .

B.2.5. Calcule de puissance utile nécessaire pour le mouvement de translation du pont roulant en régime établi.

$$P_u = T_r \cdot \Omega_M = 2,888 \text{ kW}$$

B.2.6. En déduire la puissance transmise au rotor  $P_{TR}$  si on néglige les pertes mécaniques.

$$P_{TR} = P_u / (1-g) \text{ (pertes mécaniques négligées)} ; P_{TR} = 3,04 \text{ kW}$$

B.2.7. la puissance active  $P_a$  absorbée par le moteur est alors

$$P_a = P_{TR} + P_{FS} ; P_a = 3,04 \text{ kW car } P_{FS} \text{ (pertes fer stator) est négligé.}$$

B.2.8. Calcule de l'ensemble des pertes en régime établi.

Les pertes :  $P_p = P_a - P_u ; P_p = 152 \text{ W}$

B.2.9. ces pertes correspondent aux **pertes par effet joule au rotor** (que l'on peut calculer par  $P_{JR} = g P_{TR}$ )

### B.3. Énergie consommée par une étape de fonctionnement du pont.



Dans un souci de simplification de l'étude, on considère que la masse totale du pont  $M_p$  reste égale à 96 tonnes durant l'ensemble du mouvement. Le glissement des 2 moteurs de translation en régime nominal établi est de 5 %. On rappelle que le moment d'inertie du pont ramené à l'axe de l'un des moteur est  $J = 4,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  et que la vitesse  $V_p$  de translation du pont est de  $60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

B.3.1. Calcule de l'énergie cinétique  $W_c$  du pont en déplacement à vitesse nominale.

$$W_c = \frac{1}{2} M_p V^2 = \mathbf{133,34 \text{ kJ}}$$

B.3.2. L'énergie dissipée par effet Joule dans les résistances rotoriques peut se calculer lors des phases transitoires de démarrage et de freinage par la relation en valeur absolue :

$$W = \left| J \Omega_s^2 \frac{(g_f^2 - g_i^2)}{2} \right| \text{ avec :}$$

$W$  : énergie en joules (1 moteur)

$\Omega_s$  : pulsation de synchronisme (rad/s)

$g_f$  : glissement en fin de phase transitoire

$g_i$  : glissement en début de phase transitoire

B.3.2.1. la valeur du glissement au démarrage est

$$g = \mathbf{1}$$

B.3.2.2. Calcule de l'énergie  $W_r$  dissipée par effet Joule dans les résistances rotoriques **d'un moteur** lors d'une phase transitoire de démarrage vers le régime de vitesse nominale

B.3.2.2. de  $g_i = 1$  à  $g_f = 0,05$ ,  $W_r = - J \Omega_s^2 (g_f^2 - 1^2)/2 ; W_r = \mathbf{59 \text{ kJ}}$ .

B.3.2.3. Au démarrage, le réseau doit fournir :  $W_d = 2 \times W_r + W_c = \mathbf{251,34 \text{ kJ}}$  afin de compenser les pertes des moteurs et assurer la translation du pont.

B.3.2.4. Lors d'un freinage en contremarche, l'opérateur inverse deux phases de chaque moteur. La valeur du glissement au moment de la commutation devient  $g = 200\%$ .

la valeur du glissement à l'arrêt complet du moteur sera

$$\mathbf{B.3.2.4. g = 1}$$

L'énergie  $W_f$  dissipée dans les résistances rotoriques lors de la phase de freinage, jusqu'à l'arrêt complet, **pour les deux moteurs** est

B.3.2.5.  $W_f = (- J \Omega_s^2 (1^2 - 2^2)/2) ; W_f = \mathbf{177 \text{ kJ}}$  pour les deux moteurs



B.3.2.6. Cette énergie  $W_f$  provient de l'énergie cinétique du pont et de l'énergie de freinage  $W_{fr}$  que le réseau doit fournir en complément. On Montrer que le réseau doit fournir au système une énergie  $W_{fr} = 44 \text{ kJ}$  pour assurer le freinage en contremarche.

$$\text{B.3.2.6. } W_{fr} = W_f - W_c = \mathbf{44 \text{ kJ}}$$

#### B.4. Bilan énergétique sur un cycle de fonctionnement

B.4.1. En utilisant le cycle complet de fonctionnement défini sur la figure 1, on calcule l'énergie  $W_{dT}$  fournie par le réseau pour l'ensemble des phases de démarrage en considérant qu'elles sont toutes identiques.

$$\text{B.4.1. Il y a 6 phases de démarrage : } W_{dT} = 6 \times 249 \text{ kJ} = \mathbf{1508 \text{ kJ}}$$

B.4.2. De même, on calcule l'énergie  $W_{frT}$  fournie par le réseau pour l'ensemble des phases de freinage en considérant qu'elles sont toutes identiques.

$$\text{B.4.2. Il y a 6 phases de freinage : } W_{frT} = 6 \times 44 \text{ kJ} = \mathbf{264 \text{ kJ}}$$

B.4.3. La durée totale des 6 phases en régime établi est de 72s et le moteur absorbe alors une puissance de 2888 W. Calculer l'énergie  $W_{et}$  que le réseau doit fournir pour l'ensemble des phases de fonctionnement en régime établi.

$$W_{et} = P_{JR} \times 72 = \mathbf{208 \text{ kJ}}$$

B.4.4 Calcule d'énergie totale  $W_{tot}$  que doit fournir le réseau pour assurer le fonctionnement en translation du pont sur un cycle complet défini figure 1.

$$W_{tot} = W_{dT} + W_{frT} + W_{et} = \mathbf{1980 \text{ kJ}}$$

B.4.5. Les phases de **démarrage et de freinage** sont les plus consommatrices d'énergie.

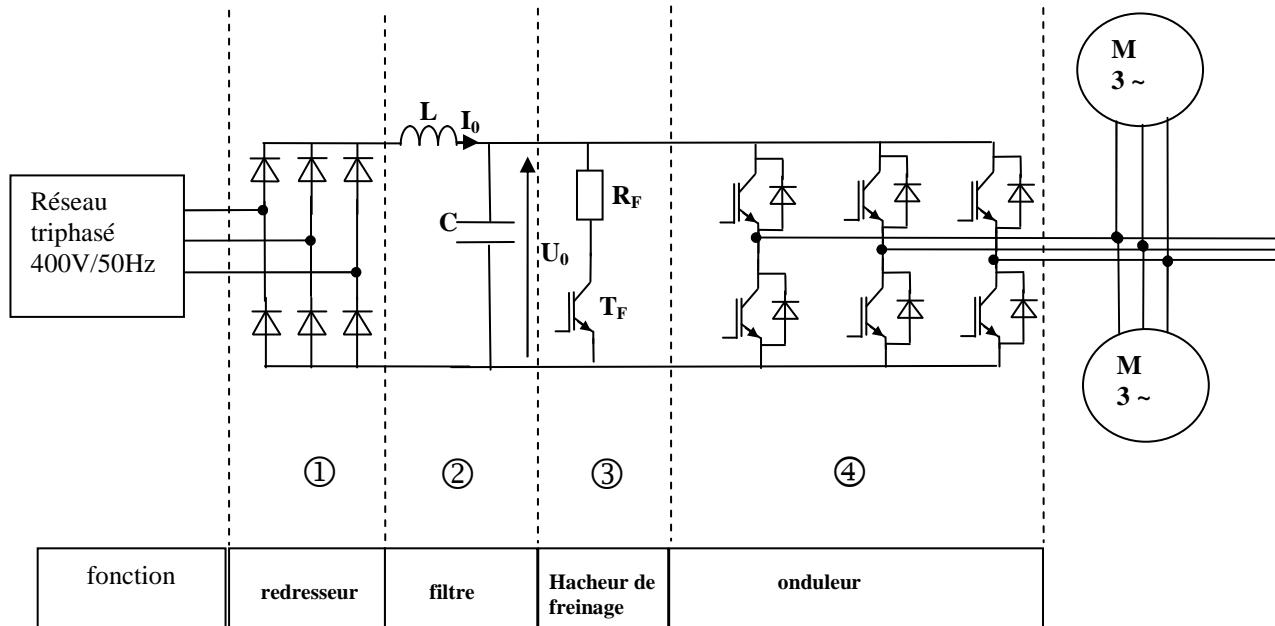
### C. Étude de la solution proposée

Pour améliorer le fonctionnement du pont roulant, la motorisation existante sera remplacée par un moteur asynchrone à cage, piloté par un variateur de vitesse électronique. Ainsi, les séquences de démarrage et de freinage par insertion de résistances, fortement consommatrices d'énergie, seront supprimées. Les phases transitoires sont à présent gérées par le variateur de vitesse. Cela améliore la souplesse de conduite du pont par l'opérateur, évite les à-coups et le patinage des galets sur les rails.

#### C.2. Constitution du variateur de vitesse - Réversibilité.



On donne sur le document réponse 1 un schéma de la constitution interne du variateur électronique de vitesse. Celui-ci est alimenté par le réseau 230V/400V – 50 Hz triphasé.



### C.3. Consommation énergétique

C.3.1. Dans cette solution avec variateur de vitesse :

L'énergie fournie par le réseau aux moteurs, lors des phases de démarrage, a pour valeur  $W_d = 1508 \text{ kJ}$ .

L'énergie fournie lors des phases à vitesse constante vaut  $W_{et} = 208 \text{ kJ}$ .

L'énergie fournie est nulle lors des freinages.

On Calcule l'énergie totale fournie sur un cycle avec cette solution.

$$W_{tot} = W_d + W_{et} = \mathbf{1716 \text{ kJ}} \text{ par cycle.}$$



C.3.2. À l'aide des résultats B.4.4. et C.3.1., on compare les deux solutions du point de vue énergétique en mettant en évidence les phases de fonctionnement où une réelle économie est réalisée.

- Pour les phases de démarrage et en régime établi, il y a peu de différence entre les deux solutions. Par contre à chaque cycle, on économise 264 kJ au freinage. La diminution de consommation est d'environ 16%.

#### D. Dimensionnement des moteurs de translation

Après étude il s'avère que les moteurs de translation peuvent être remplacés par des moteurs à cage de type LS 160L 11kW / 970 mn-1.

On vérifie que les moteurs pressentis sont en mesure d'accélérer le pont dans le temps imparti.

Associés à un variateur de vitesse, ces moteurs seront capables de fournir leur couple maximum sur quasiment toute la gamme de fréquence de tension délivrée par le variateur (0 à 50Hz).

Dans notre cas le couple maximal du moteur pressenti est de l'ordre de  $2,12 \times 109 = 231$  Nm.

Le couple maximal demandé par moteur pour démarrer le pont de coulée est de 106, 4 Nm, ces moteurs sont en mesure d'accélérer le pont de coulée dans le temps imparti.

## Moteurs asynchrones triphasés fermés pilotés par variateur électronique LSMV

### Sélection

IP 55 - 50 Hz - Classe F - Réseau 400 V - Couplage du moteur Y 400 V - S1



Type	Puissance nominale à 50 Hz kW	Vitesse nominale min⁻¹	Moment nominal N.m	Moment maximal / Moment nominal N.m	Courant à vide A	Intensité nominale A	Facteur de puissance 100 %	Rendement 100 %	Moment d'inertie kg.m²	Masse kg
LSMV 160L	11,00	1450	70	110	1,70	2,12	1,00	94	0,0002	100



#### D. Dimensionnement du variateur

Référence : ATV71HD22N4

Justification du choix de la référence de variateur qui convient à cette application.

Le courant nominal doit être supérieur ou égal à la somme des courants nominaux des moteurs à commander :

$$I_{\text{variateur}} \geq 2 * 23.3 = 46.6 \text{ A.}$$

Le variateur qui convient à cette application a pour référence : ATV 71 HD22N4.

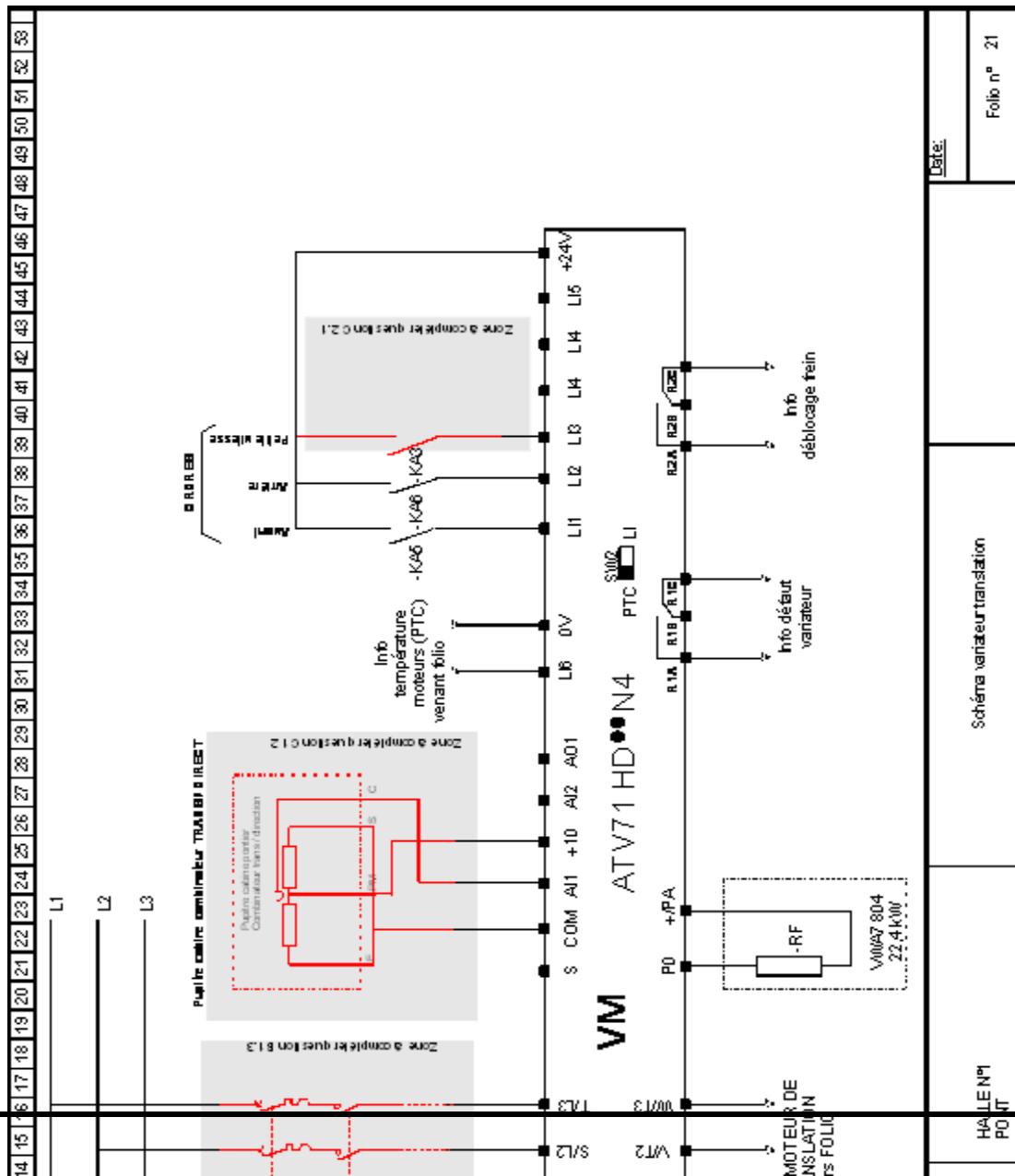
Son courant nominal est de 48 A

Variateurs UL Type 1/IP 20

Moteur	Réseau				Altivar 71				Référence (3)	Masse	
	Puissance indiquée sur plaque (1)		Courant de ligne (2)	Puissance Icc ligne apparente présumé maxi	Courant maximal permanent (1)	Courant transitoire maxi pendant					
	kW	HP	380 V	480 V	380 V	380 V	460 V	60 s	2 s		
0,75	1	3,7	3	2,4	5	2,3	2,1	3,5	3,8	ATV 71H075N4 (4) (5)	3,00€
1,5	2	5,8	5,3	3,8	5	4,1	3,4	6,2	6,8	ATV 71HU15N4 (4) (5)	3,00€
2,2	3	8,2	7,1	5,4	5	5,8	4,8	8,7	9,6	ATV 71HU22N4 (4) (5)	3,00€
3	-	10,7	9	7	5	7,8	6,2	11,7	12,9	ATV 71HU30N4 (4) (5)	4,00€
4	5	14,1	11,5	9,3	5	10,5	7,6	15,8	17,3	ATV 71HU40N4 (4) (5)	4,00€
5,5	7,5	20,3	17	13,4	22	14,3	11	21,5	23,6	ATV 71HU55N4 (4) (5)	5,50€
7,5	10	27	22,2	17,8	22	17,6	14	26,4	29	ATV 71HU75N4 (4) (5)	5,50€
11	15	36,6	30	24,1	22	27,7	21	41,6	45,7	ATV 71HD11N4 (4) (5)	7,00€
15	20	48	39	31,6	22	33	27	49,5	54,5	ATV 71HD15N4 (4) (5)	22,00€
18,5	25	45,5	37,5	29,9	22	41	34	61,5	67,7	ATV 71HD18N4 (4) (5)	22,00€
22	30	50	42	32,9	22	48	40	72	79,2	ATV 71HD22N4 (4) (5)	30,00€
30	40	66	56	43,4	22	66	52	99	109	ATV 71HD30N4 (4) (5)	37,00€
37	50	84	69	55,3	22	79	65	118,5	130	ATV 71HD37N4 (4) (5)	37,00€
45	60	104	85	68,5	22	94	77	141	155	ATV 71HD45N4 (4) (5)	44,00€
55	75	120	101	79	22	116	96	174	191	ATV 71HD55N4 (4) (5)	44,00€
75	100	167	147	102,6	22	170	124	212	224	ATV 71HD75N4 (4) (5)	44,00€

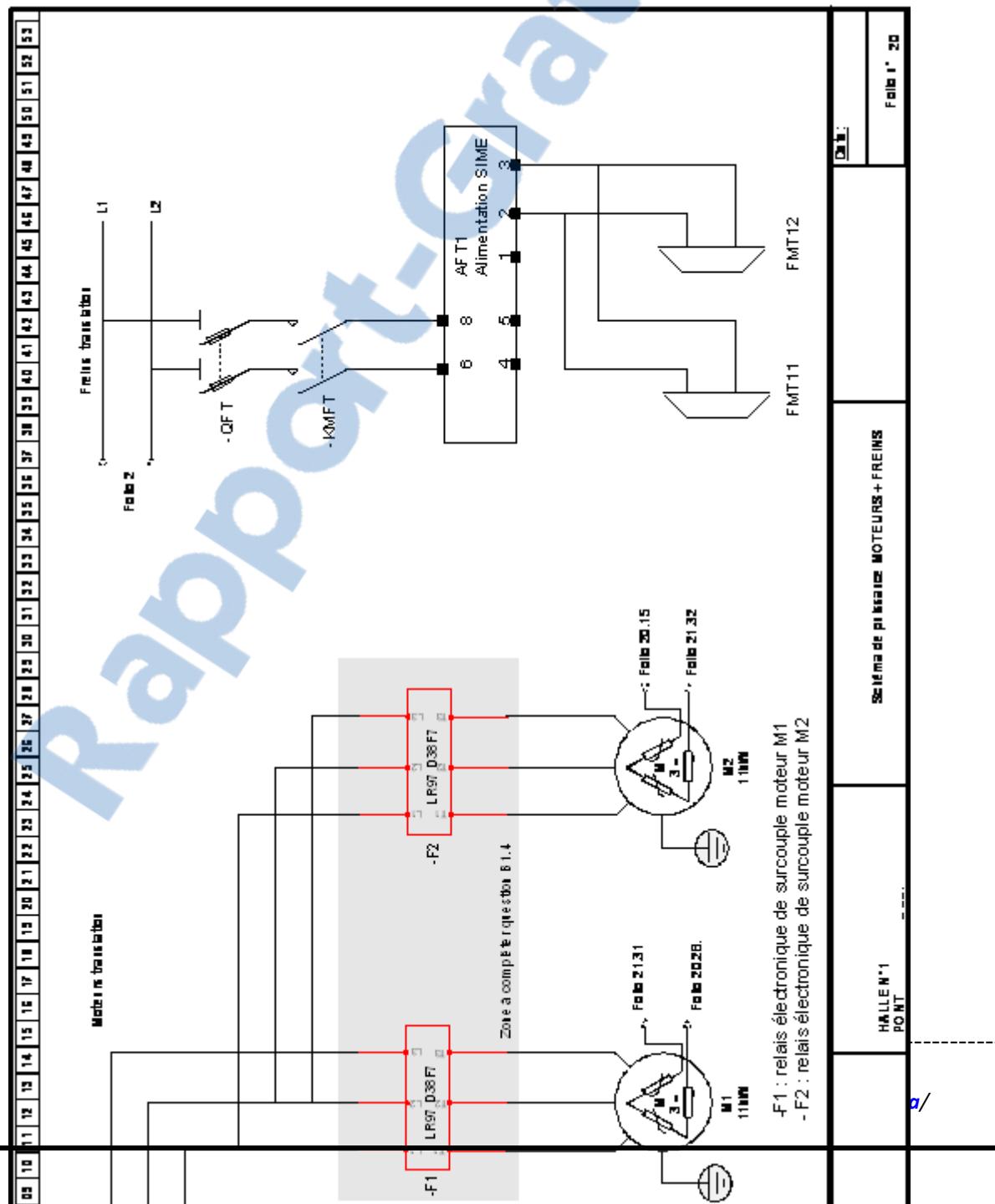


Le schéma du variateur en conséquence



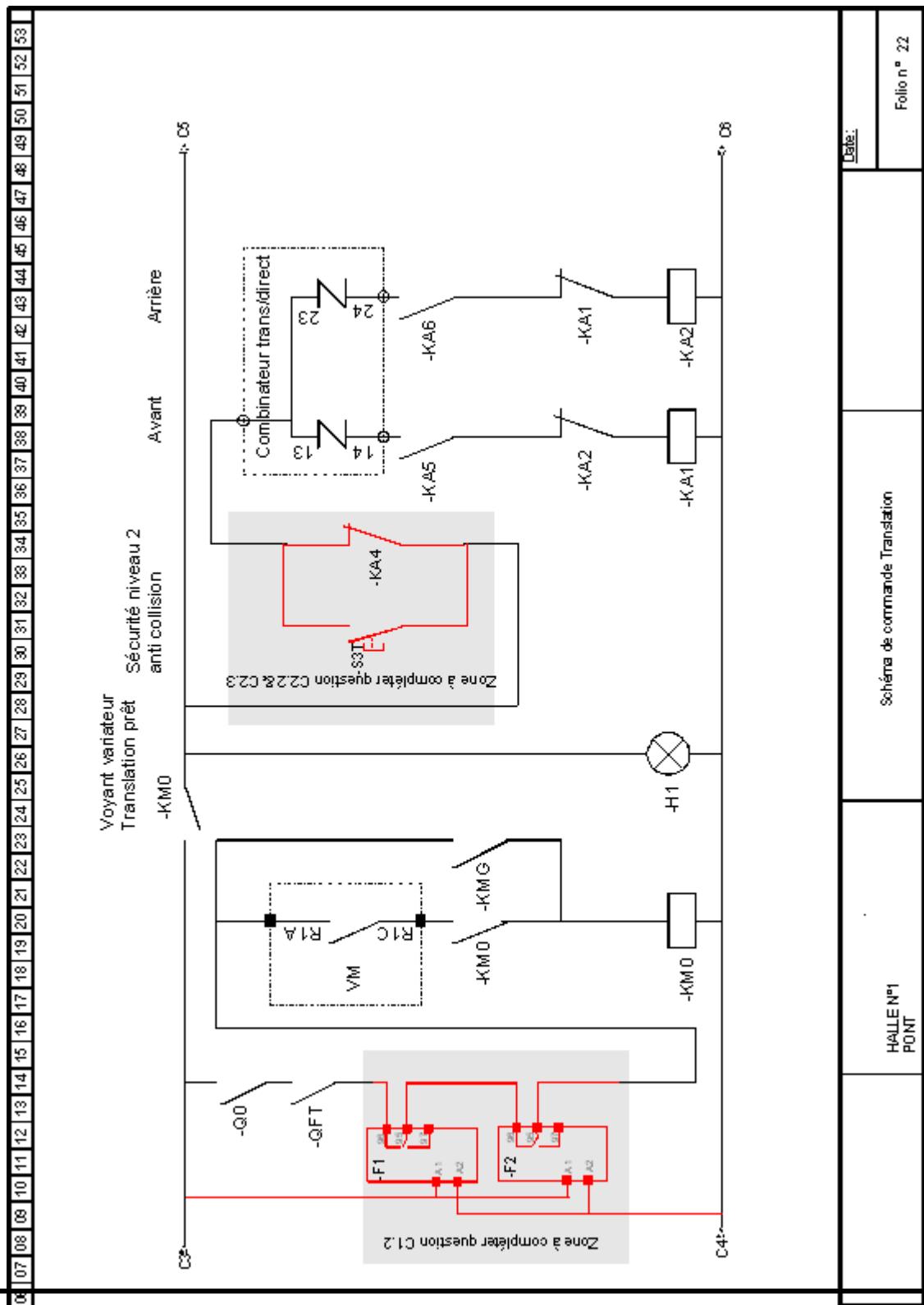


Le schéma de puissance en conséquence :





Le schéma de commande en conséquence :





## Conclusion

Si la solution étudiée précédemment est validée en termes de fiabilité et de fonctionnement et que celle-ci est généralisée à l'ensemble des mouvements du pont, l'investissement serait minimum.

Sur le plan de la maintenance curative mécanique, il n'y aura plus d'usure prématuée des paliers de roulements, des rails, des accouplements dû à l'utilisation de la contremarche, ce qui se traduira par moins d'arrêts de production.

Il n'y aura plus de maintenance systématique sur les moteurs, dans la mesure où le moteur à bagues est remplacé par des moteurs à cage.

Enfin sur le plan énergétique, on peut s'attendre à une chute importante de la consommation d'énergie électrique.



## **Chapitre 5 :**

Calcul des rails de translation



## 1. Etat général

Depuis Juillet 2005 sont montés des rails de type DIN 536 A65 (B3) de résistance 880N/mm<sup>2</sup>.

L'état de la voie de roulement montre un mauvais alignement des rails, à la fois dans le plan horizontal et vertical est responsable en grande partie des dysfonctionnements observés sur les mouvements de translation des ponts.

J'ai mesuré la géométrie des rails en toute la longueur de la voie de roulement de la zone d'action de pont roulant calcaire et j'ai relevé les mesures montrées aux tableaux suivants :

Côte original : X=65mm

Côte alarme : X=80mm

Rail côté carrière															
N°poutre	1 - 2	2 -3	4 - 5	5 - 6	6-7	7 -8	8-9	10 -	11	11-12	12 13	14 -	15 -	16 -	17- 18
cote	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Relevé	66,1	66,6	67,7	67,1	66,8	66,6	66	66,3	66,6	66,1	66	65,5	65,4	65,6	
Ecart	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>2,7</b>	<b>2,1</b>	<b>1,8</b>	<b>1,6</b>	<b>1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	
Relevé	66,5	66,7	67	68,2	67,7	67,2	67	67	67	66,6	66,2	65,6	65,7	66	
Ecart	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>	<b>2</b>	<b>3,2</b>	<b>2,7</b>	<b>2,2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1,6</b>	<b>1,2</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>1</b>	
Relevé	67	68,5	69,3	69	68,5	67,7	67,6	67,2	68,2	67	66,7	65,7	65,7	66	
Ecart	<b>2</b>	<b>3,5</b>	<b>4,3</b>	<b>4</b>	<b>3,5</b>	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>	<b>2,2</b>	<b>3,2</b>	<b>2</b>	<b>1,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>1</b>	

Rails côté four															
N°poutre	21 -	22 -	23 -	25 -	26 -	27 -	28 -	30 -	31 -	32 -	34 -	35 -	36 -	37 -	38
Cote	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Relevé	71,5	68,7	69,3	69,3	69,9	71,2	71,5	71,4	70	68,7	67,8	67,6	66,8	66,7	
Ecart	<b>6,5</b>	<b>3,7</b>	<b>4,3</b>	<b>4,3</b>	<b>4,9</b>	<b>6,2</b>	<b>6,5</b>	<b>6,4</b>	<b>5</b>	<b>3,7</b>	<b>2,8</b>	<b>2,6</b>	<b>1,8</b>	<b>1,7</b>	
Relevé	71,5	73,1	73,4	73,3	73,7	73,8	73,9	73,8	73,7	73,4	69,6	68,1	67,4	67	
Ecart	<b>6,5</b>	<b>8,1</b>	<b>8,4</b>	<b>8,3</b>	<b>8,4</b>	<b>8,8</b>	<b>8,9</b>	<b>8,8</b>	<b>8,7</b>	<b>8,4</b>	<b>4,6</b>	<b>3,1</b>	<b>2,4</b>	<b>2</b>	
Relevé	75,6	76,3	78,2	80	79,6	76,3	79,6	73,4	73,3	74,2	70,5	69,2	68,2	67,4	
Ecart	<b>10,6</b>	<b>11,3</b>	<b>13,2</b>	<b>15</b>	<b>14,6</b>	<b>11,3</b>	<b>14,6</b>	<b>8,4</b>	<b>8,3</b>	<b>9,2</b>	<b>5,5</b>	<b>4,2</b>	<b>3,2</b>	<b>2,4</b>	

poids excessif du pont calcaire déforme le rail, cet effet est plus prononcé dans les zones de travail de pont calcaire. En plus certains morceaux de rails ne sont pas alignés entre eux.

Après avoir analysé ces mesures, je constat que quand le pont TAIM (pont coté stockage) arrive et travaille dans la zone de la trémie (maximale déformation du rail) correspond au zone du chargement où les rails ont une largeur supérieur à la dimension intérieure des roues, on fait un bruit très fort ce qui provoque le déraillement du pont roulant TAIM.

Ces rails, comme précisé dans les mesures précitées, ne sont pas appropriés et il convient de les remplacer par un rail plus large offrant une pression limite dans les tolérances de la FEM.



## 2. Détermination de nouveau poids du pont roulant calcaire :

Après avoir enlevé l'ancien système de translation pesant :

- Diamètre d'arbre de transmission de mouvement :  $D_a = 89\text{mm}$
- Longueur d'arbre de transmission de mouvement :  $L_a = 30\text{m}$
- 

La masse volumique de l'acier est :  $\rho = 7850\text{kg/m}^3$   
et  $V = 2\pi rh$

Alors le poids d'arbre et :  $P_a = 1465\text{kg}$

- Poids du moteur de translation :  $P_m = 290\text{kg}$
- 6 paliers d'accouplement :  $P_p = 50\text{kg} * 6 = 300\text{kg}$
- Réducteur +système de lubrification :  $P_r = 150\text{kg}$
- 6 accouplement :  $P_{ac} = 6 * 10\text{kg} = 60\text{kg}$

Le poids total d'ancien système de translation est de :  $2265\text{kg}$

Le poids de nouveau système est d'environ  $300\text{kg}$ , alors le poids du pont devient presque 94 tonnes. Si l'on divise sur 4 pour avoir la charge par galet on aura 23,5 tonnes par galet

D'après le tableau III de recommandation de calcul et de l'exécution des chemins de roulement on déduit que la largeur des rails convenable pour ce pont est de 75mm.

TABLEAU 4

Charges admissibles sur les galets

(Tableau III - Recommandations pour le calcul et l'exécution des chemins de roulement de ponts roulants - 3<sup>e</sup> Partie)

Diamètre des galets $D$ mm	Hauteur du rail $H$ mm	Largeur du champignon $K$ mm	Largeur utile du champignon $K - 2r_1$ mm	Section diamétrale $D(K - 2r_1)$ mm	Charge maximale sur un galet $P$ tonnes
300	55	45	37	111	6,7
	65	55	45	135	8,1
400	65	55	45	180	10,8
	75	65	53	212	12,7
500	75	65	53	265	15,9
	85	75	59	295	17,7
600	75	65	53	318	19,0
	85	75	59	354	21,2
	95	100	80	480	28,8
800	85	75	59	472	28,3
	95	100	80	640	38,4
	105	120	100	800	48,0

Remarque :

La durée de vie des rails et des galets est fortement pénalisée par l'accumulation de poussières de clinker en particulier). La mise en place de simples brosses ou têtes de balais (articles du commerce) fixées sur les 2 extrémités de chaque sommier améliorera significativement la situation.



## Conclusion général

*La société LAFARGE CIMENTRI usine de MEKNÈS m'a offert l'opportunité de mieux concrétiser mes connaissances théoriques et m'a ouvert une voie vers le monde professionnel.*

*En effet grâce à la collaboration et l'encadrement de mon parrain professionnel, j'ai réussi à cibler les principaux causes d'anomalies du pont roulant (calcaire) pour la dite société, mon travail a eu comme résultats :*

- *Modalisation des efforts poutres sommiers : cette étude a permis de visualiser les zones les plus sollicités par la charge sur poutres.*
- *Modification du système de translation de pont roulant afin de rendre ce dernier plus disponible tout en minimisant la consommation d'énergie électrique, diminuer les l'usure et rend service au pontier en lui offrant un système de conduite plus sophistiqué.*
- *Renouvellement des rails existants (déformés) par d'autres plus larges afin de supporté la charge lourde du pont.*

*Ces améliorations indiquées ci-dessus vont montré leurs efficacités et efficiencies au sein Hall, s'ils vont suivi par une réalisation dans les proches délais et cela tout en rappelant que la mise en place de ces modifications a nécessité des moyennes moins couteuses en terme du coût (coût bas).*

*En fin mon stage m'a permis à me familiariser avec le milieu professionnel, ce qui permettra une meilleure insertion dans le marché d'emploi.*