



## MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

*Pour l'Obtention du*

**Diplôme de Master Sciences et Techniques**

**Spécialité : Ingénierie Mécanique**

**Etude et dimensionnement d'un système de  
manutention mécanique du ciment (produit fini)**

*Présenté par :*

**Sakina RAJI**

**Narjiss Zhar**

*Encadré par:*

- **Jalil ABOUCHITA**, professeur du département Génie Mécanique, FST Fès
- **Redouan KRAMCHI**, chef de département maintenance , LAFARGE usine de Meknès

**Le jury :**

- **Mr. Abouchita**
- **Mr. Seddouki**
- **Mr. Majdoubi**
- **Mr. Kramchi**

# Remerciements

*Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, nous tenons à remercier tout d'abord nos enseignants qui nous ont préparé théoriquement durant ces deux années de formations, ainsi que tout le corps administratif de la faculté.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Monsieur CHOVAR le directeur de la société LAFARGE CIMENT usine de Meknès, et à Monsieur KRAMCHI le chef du service Maintenance de nous avoir accordé l'occasion d'effectuer ce stage dans Les bonnes conditions.*

*Nos remerciements chaleureux s'adressent plus particulièrement à Monsieur GHARIB, chef de service Mécanique qui a tenu le rôle de guide durant cette insertion professionnelle et qui nous a proposé le sujet de notre stage.*

*Nos vifs remerciements vont aussi à notre encadrant pédagogique Monsieur ABOUCHITA et à tout le personnel du bureau de méthodes spécialement M.AMOUMEN, M.TAHMOUCH, M.NAJI, pour leurs encadrements, leur disponibilité, leurs informations précieuses, et leurs efforts déployés pour l'accomplissement de ce stage dans les meilleures conditions.*

*Enfin, nos sincères remerciements touchent toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

# Sommaire

Remerciements

Sommaire

Introduction

## Chapitre I : Présentation de LAFARGE Ciment

- I. Historique
- II. LAFARGE CIMENT Usine de Meknès
  - 1-Présentation de l'usine
  - 2- Statut juridique
  - 3-Effectif du personnel
  - 4-Organigramme
  - 5-Présentation des services

## Chapitre II : Procédé de fabrication du Ciment

- I. Définition du ciment
- II. Différent types de ciments
- III. Etapes de fabrication du ciment
  - 1-Exploitation de la carrière
  - 2-Concassage
  - 3-Echantillonnage
  - 4-Pré homogénéisation
  - 5-Broyage cru
  - 6-Homogénéisation
  - 7-Cuisson
  - 8-Refroidisseur
  - 9-Broyage ciment
  - 10-Ensachage et expédition

## Chapitre III : Etude et dimensionnement d'un système de manutention mécanique de ciment fini

- I. Présentation du sujet
  - 1- Contexte
  - 2- Cahier des charges
  - 3- Analyse des données
- II. Manutention Mécanique des produits en vrac
  - 1- Généralités
  - 2- Caractéristiques techniques des appareils de manutention mécanique

- III. Dimensionnement des appareils de manutention mécanique du ciment fini entre broyeur BK5 et les silos de stockage
  - 1- Transporteur a bande
  - 2- Elévateurs a godets
  - 3- Aéroglissières
- IV. Analyse Comparative
  - 1- étude de fiabilité
  - 2- Cout de maintenance

## Conclusion

# Introduction

L'industrie des matériaux de construction, dont le ciment constitue la matière de base, détient une place importante dans le secteur des industries de transformation marocain. C'est un domaine en pleine expansion au Maroc.

En effet, nous étions très curieuses de découvrir le fonctionnement global de l'usine, les relations entre les services et toutes les interactions qui lui sont intrinsèques. Enfin, il faut noter que le ciment est un matériau qu'on peu produire à très grande échelle et très bas prix. Il n ya donc guère de perspective de remplacement du ciment en termes d'usage en tant que matériau principal de construction des habitations et des grands ouvrages. Ce matériau est le second bien le plus consommé au monde en termes de volume après l'eau.

Dans ce monde secoué par la crise énergétique et face à l'offre insuffisante par rapport à la demande accrue de notre pays, il importe que toutes les entreprises puissent procéder à une bonne maîtrise de leur consommation énergétique. Ceci, d'une part pour diminuer la consommation énergétique qui est synonyme de gain de profit pour l'entreprise et d'autre part pour soulager la demande. Pour cela, LAFARGE doit nécessairement optimiser les conditions de fonctionnement de ses équipements. Ainsi, la recherche des performances de ces derniers mène la fonction maintenance à être responsable de la garantie de leur disponibilité. Cette garantie doit être assurée dans des conditions financières optimales, c'est la raison pour laquelle LAFARGE –Meknès nous a proposé ce sujet qui consiste à concevoir un système de manutention mécanique du ciment fini remplaçant un système pneumatique actuel a l'usine de Meknès.

Ce projet constitue une occasion pour faire preuve de nos capacités en tant que futur ingénieurs. Ce présent rapport comporte deux parties principales :

- La présentation de LAFARGE ainsi que le procédé de fabrication du ciment.
- Dimensionnement du système de la manutention mécanique du ciment fini vers les silos de stockage et élaboration d'une analyse comparative en termes de rentabilité et fiabilité avec l'installation actuelle.



## Chapitre I:

# Présentation de LAFARGE CIMENTS

## I. Historique:

Créée en 1833, en Ardèche, par la famille Pavin de Lafarge afin de produire de la chaux, la société dirigée par Bertrand Colomb est aujourd'hui devenue un groupe internationalisé qui se positionne au premier rang mondial des producteurs de ciment. Participation à de grands chantiers internationaux, notamment la construction du canal de Suez ou l'édification du bâtiment abritant la bourse américaine à Wall Street. C'est à partir de 1912 que le ciment commença à être utilisé au Maroc. C'est alors que fut décidée en 1913, l'implantation de la première cimenterie à Casablanca avec une capacité de production annuelle de 10 000 tonnes.

L'accroissement des besoins nationaux en ciment a engendré l'extension de l'usine de Casablanca et la création de nouvelles unités, notamment le démarrage de la cimenterie de Meknès en 1953 avec un nominal de production de 150 000 tonnes/an. C'est ainsi qu'à la veille de l'indépendance, le niveau de production du Maroc en ciment, approchait les 850 000 tonnes/an (cimenterie de Casablanca, Meknès, Agadir, Tanger et Tétouan). Alors que, de nos jours, le Maroc produit environ 7 000 000 de tonnes/an, assurant ainsi son autosuffisance depuis 1982. Pour augmenter le niveau de sa production CADEM a créé un deuxième four en 1969. Et c'est qu'en 1985 que CADEM a procédé à l'extension de la capacité de production de son deuxième four, en le portant de 900 tonnes de clinker par jour à 1 500 tonnes par jour.

Suite à la reprise affichée par la demande de ciment particulièrement depuis l'année 1988, le potentiel cimentier national est entrain d'être renforcé par des extensions d'unités existantes et de création d'autres nouvelles, on remarque ainsi l'extension de la capacité de production pour la CADEM à 1 300 000 tonnes/an, par l'adjonction d'une nouvelle ligne qui a démarré en avril 1993. Depuis 1997, la CADEM est devenue LAFARGE CEMENTS et faisait partie du groupe international LAFARGE.

LAFARGE CIMENT Usine de Meknès a réalisé le montage d'un nouveau filtre à manches, pour l'aval du four c'était en 1998, alors que pour l'amont du four c'était en 2001, pour protéger l'environnement.

## II. LAFARGE ciments sites de production :

### 1. présentation de l'usine :

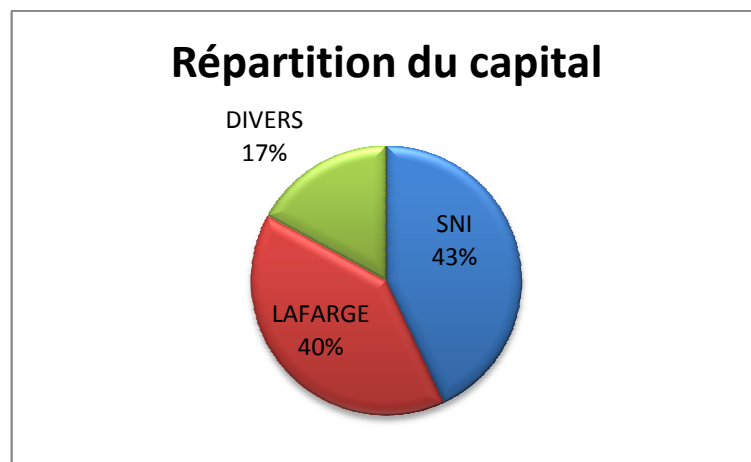
Située au nord-est de la ville de Meknès, 4ème ville marocaine sur l'échelle économique grâce à la présence de plusieurs usines et entreprises qui jouent un rôle magistral dans le développement de la ville. Parmi ces usines on trouve LAFARGE-CIMENT qui avait comme nom : CADEM (ciment artificiel de Meknès). Grâce à son potentiel et à son dynamisme, LAFARGE-CIMENT Usine de Meknès, assure la bonne continuité et le leadership de tout LAFARGE MAROC.

Depuis sa création, plusieurs améliorations techniques et mécaniques ont été réalisées pour mieux dominer le marché marocain, à cet effet les ventes de l'usine de Meknès représentent 30 % des ventes de LAFARGE MAROC, qui sont réparties comme suit : 75 % en CPJ 35 et 25 % en CPJ 45, les deux qualités du ciment produites par l'usine.

### 2. Statut juridique :

Un accord a été signé entre les deux sociétés (SNI et LAFARGE) afin de rassembler leurs forces et leurs intérêts, tout en créant un holding appelé LAFARGE MAROC.

- Code usine : **MKS**.
- Capital social : 476 430 500 DH
- Capacité de production : 1 250 000 tonnes/an.
- Chiffre d'affaires en 99 : 577 363 704.00 DH
- Répartition du capital :



Produits fabriqués : Ciment portland avec ajouts CPJ45 en sac et en vrac  
Ciment portland avec ajouts CPJ35 en sac

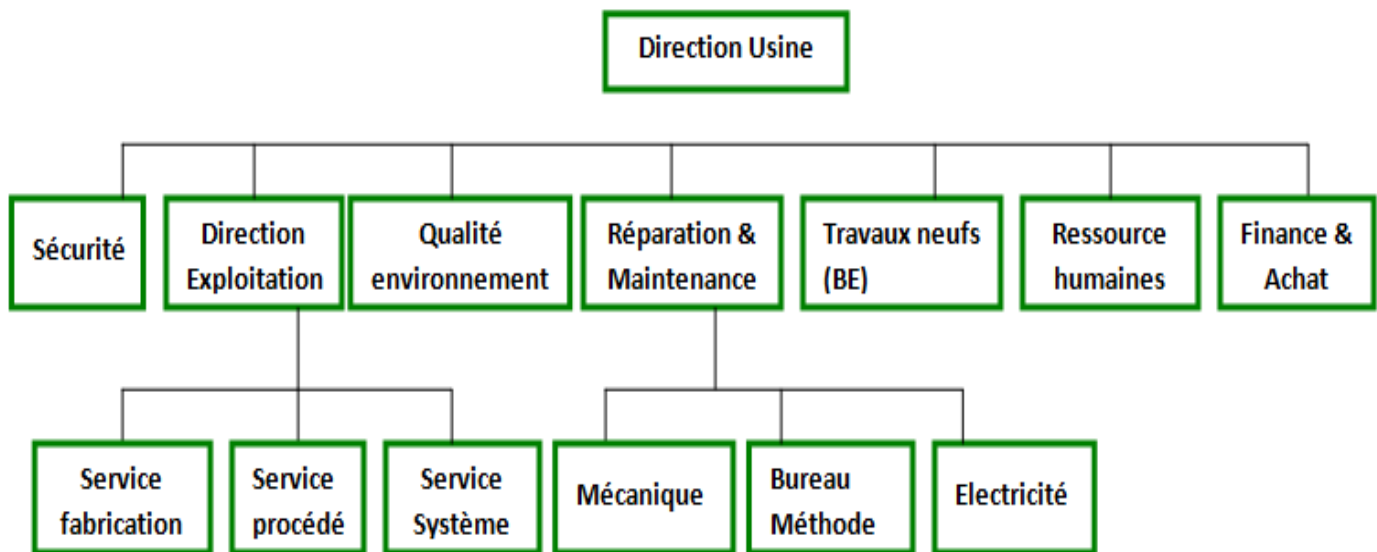


### 3. Effectif du personnel Usine de Meknès :

331, répartis de la façon suivante :

- Cadres : 19
- Agents de maîtrise supérieurs : 13
- Agents de maîtrise moyens : 14
- Agents de maîtrise simples : 29
- Employés : 23
- Chefs d'équipe : 37
- Ouvriers qualifiés : 119
- Maneuvers : 17

### 4. Organigramme de l'Usine de Meknès :



### 5. Présentation des services:

En partant de l'extraction des matières premières jusqu'à l'obtention du ciment, ce processus de fabrication nécessite l'existence de plusieurs services s'occupant chacun d'une ou plusieurs tâches.

**a. Service Carrière :**

Il permet l'approvisionnement en matières premières : Calcaire, argile de la carrière. Celles-ci sont extraites sur un site à 5km de l'usine et sont concassées sur un concasseur appelé l'HAZMAG. Les matières sont ensuite acheminées par transporteur de 5km appelé CURVODUC.

**b. Service Fabrication:**

Les ateliers composant la fabrication du ciment (concassage de la matière première, pré homogénéisation, broyage cru, cuisson, broyage cuit...) fonctionnent automatiquement, leur suivi se fait à partir d'une salle de contrôle. Le service fabrication est donc composé de chefs de postes, d'opérateurs et de rondiers qui assurent la production 24h/24h.

**c. Service Electrique et Régulation:**

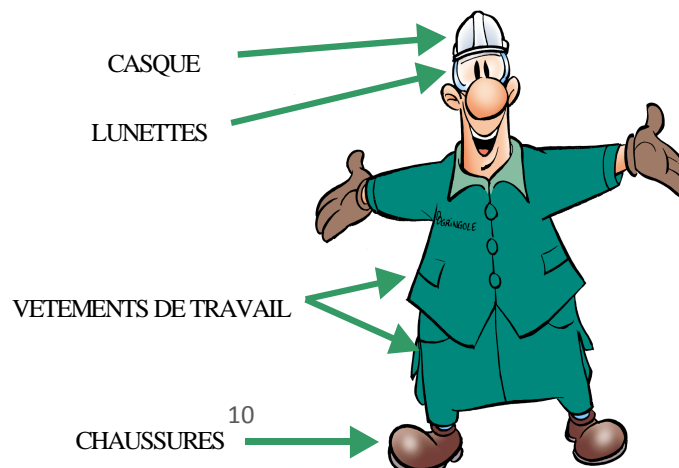
Il intervient à la demande du service fabrication. Il s'occupe de tout ce qui est moteurs électriques, transformateurs, automates, variateurs de vitesses, instrument, régulation permettant de contrôler et d'observer les différents paramètres rentrant en jeu dans la supervision tels que la température, les pressions, les débits...

**d. Service Commercial :**

Ce service est le plus mouvant car il permet de fixer les objectifs de vente de ciments à une clientèle bien identifiée. Leur travail se base sur la réception des bons de commande et des effets de commerce, la saisie des commandes et des bons de livraison.

**e. Service de Sécurité :**

Il est le moteur pour la réalisation et l'encadrement de l'effectifs de l'usine pour produire un ciment avec un objectif de zéro accident, il a pour mission l'animation de la sécurité, le soutien de la hiérarchie en matière de sécurité, l'animation d'un comité de sécurité usine, instauration des procédures de sécurité, le reporting sécurité et la gestion du réseau sécurité inter usines.



**f. Service de Finance -Gestion:**

Ce service a pour mission la gestion de la comptabilité générale et analytique dans le but d'assurer une conformité à la réglementation et la législation. Pour se faire le service assure la gestion des procédures comptables, fiscales et financières, la gestion des processus budgétaires, la consolidation reporting, l'analyse des coûts ainsi que la gestion du patrimoine foncier avec le siège.

**g. Service de Ressources Humaines :**

Il se charge de la gestion des ressources humaines, et plus précisément la gestion administrative du personnel non cadre, l'application de la législation du travail, la gestion des relations avec les représentant du personnel, l'instauration d'un bon climat social, l'établissement des plans de formation et l'assurance d'une parfaite communication interne.

**h. Service d'Achat:**

Il a pour principale mission la gestion des stocks suivant la politique des achats du groupe et le respect des procédures également du marketing-achats, l'homologation des fournisseurs commandes et le suivi des livraisons.

**i. Service du Contrôle de Qualité :**

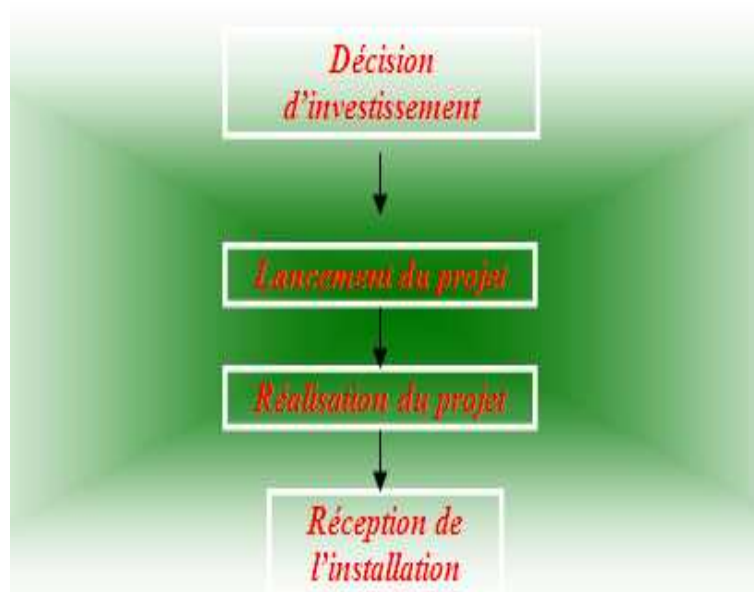
LAFARGE CEMENTS, Usine de Meknès est dotée d'un laboratoire équipé de tous les équipements nécessaires à la réalisation des contrôles depuis la réception des matières premières jusqu'aux expéditions du produit fini et ce conformément aux normes en vigueur et aux besoins de la clientèle. Le personnel de ce laboratoire ayant en charge le contrôle de la qualité est compétent et suit des formations continues en matière de contrôle de qualité et selon un planning de formation préétabli.

Ce laboratoire est divisé en plusieurs départements, agencés de telle sorte à assurer une bonne réception, identification, et conservation des échantillons ainsi que la réalisation de tous les essais.

**j. Service Bureau d'Etudes :****Présentation du service d'accueil : Travaux Neufs**

- Procédure : Création ou modification d'installation MKS (usine de Meknès).
- Objet : Conception et réalisation de nouvelles installations de maintien, progrès, qualité, environnement et sécurité.
- Domaine d'application : usine de Meknès.
- Pilote du processus : Ingénieur travaux neufs usine de Meknès
- Éléments d'entrée : Fiches d'investissement, cahiers de charges fonctionnels, plan développement usine
- Éléments de sortie : Installation mise à disposition
- Inscription budget investissement année suivante, annulation ou autres solutions.

La procédure suivie pour réaliser un travail demandé est la suivante :



## Chapitre II:

# Procédé de fabrication du Ciment

## **I. 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.

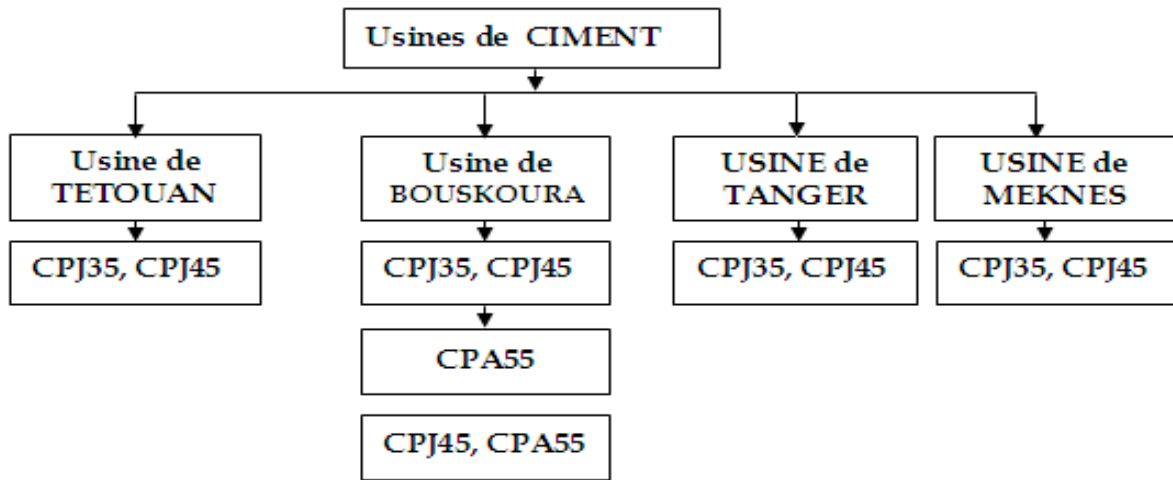
La figure suivante résume les éléments qui entre dans la constitution du ciment :



**Figure 4 : Constitution du ciment**

## **II. 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 mit 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.

| Ciments compositions | CpJ35  | CpJ45  | CpA55  |
|----------------------|--------|--------|--------|
| calcaire             | 35.60% | 24%    | 0%     |
| Cendres volantes     | 3.21%  | 6.52%  | 0%     |
| Gypse                | 2.80%  | 3.14%  | 5.64%  |
| Clinker              | 58.39% | 66.34% | 94.36% |

**Différentes compositions du ciment**

### **III. 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.

#### **1. Carrière :**

LAFARGE ciments Meknès 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 :

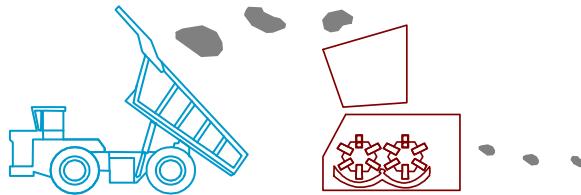


**Figure 6: Extraction et transport de la matière première**

## 2. Concassage :

Les matières concassées sont ensuite stockées par qualités dans le hall de stockage de l'usine. C'est une opération qui consiste à réduire la granulométrie de la matière première en fragments de faibles dimensions (25 à 40 mm). Elle assure également un certain mélange des matières premières arrivant de la carrière (calcaire et schiste). En effet, le calcaire et le schiste transportés par les camions sont déchargés dans une trémie qui est reliée à un alimentateur à vitesse variable qui permet de réguler le débit d'alimentation.

Les matières concassées sont ensuite stockées par qualités dans le hall de stockage de l'usine



**Figure 7: Concassage**

## 3. Echantillonnage :

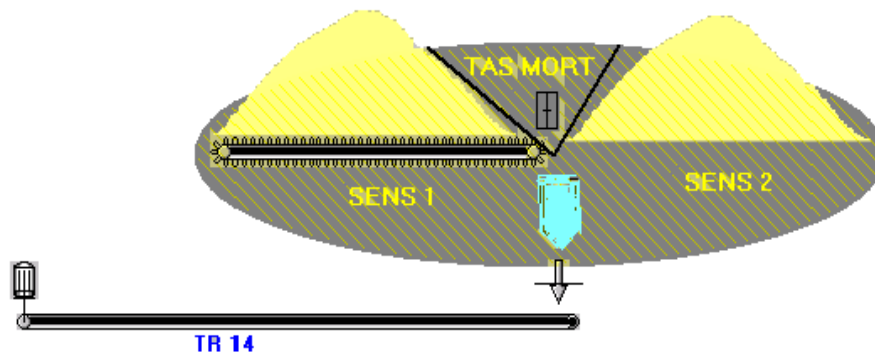
C'est une étape essentielle entre le concassage et l'opération de broyage. Elle a pour but de déterminer et de réaliser un pré dosage des quatre constituants de base de cru : chaux, silice, alumine et fer, qui assurera la composition correcte et donc la qualité du produit fini.

A partir d'analyses de routine effectuées sur des échantillons prélevés périodiquement sur le circuit de matière provenant des concasseurs, le laboratoire de l'usine précise les quantités de chaque composant et définit ainsi la constitution de la pré-homogénéisation.

## 4. Pré-homogénéisation :

Après concassage, la matière crue présente toujours des fluctuations importantes dans sa composition, c'est pourquoi elle est introduite dans une tour d'échantillonnage puis stockée dans l'installation de pré homogénéisation.





En effet, il existe deux types de pré homogénéisation chez Lafarge - ciments :

➤ **La pré-homogénéisation à cordons :**

Ce type est consacré à la ligne 1 qui se fait d'une manière circulaire et discontinue, telle que dans une enceinte en forme de dôme (semi sphérique), on construit des tas curvilignes, chaque tas s'arc-boute sur des tas morts.

➤ **La pré-homogénéisation à chevrons :**

Ce type est utilisé en ligne 2, il permet une bonne répartition des couches qui en résulte une distribution moyenne de la composition chimique. Le jeteur de type Stocker déverse la matière sur la ligne génératrice supérieure du tas et effectue des allées et retours successifs. Par la suite, les couches du tas ont la forme d'une surface de prisme et s'encastrent les unes sur les autres

## 5. Broyage Cru

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

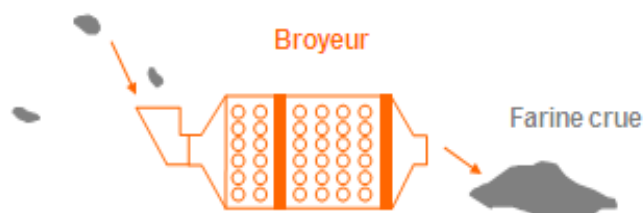


Figure 8 : Broyeur cru

La matière passe donc par les doseurs qui alimentent 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 minerais apportés par les matières premières et les ajouts de correction en faibles proportions.

Le broyage est une opération essentielle pour la cimenterie puisqu'il consomme de 20 à 30 % de l'énergie électrique totale nécessaire au fonctionnement de l'usine. A la fin du broyage, la matière est dirigée vers un séparateur qui sélectionne les particules selon leur grosseur.

## 6. Homogénéisation :

A la suite du broyage et après séparation, les matières premières sont transformées en une poudre de grande finesse appelée dans le jargon cimentier « Farine ». Cette farine doit présenter une composition chimique aussi constante que possible. Ces matières premières sont acheminées vers des silos dans lesquelles elles sont homogénéisées.

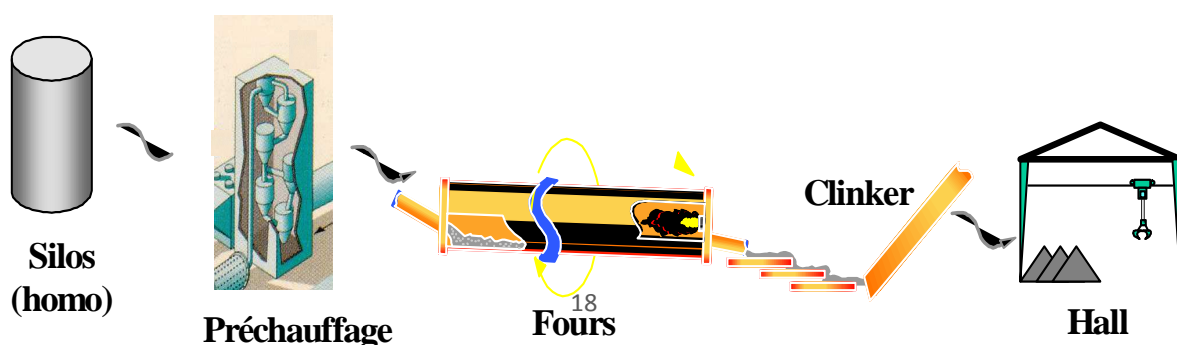
L'opération d'homogénéisation complète le processus de pré homogénéisation préalable, elle permet d'obtenir un produit de caractéristiques chimiques uniformes qui permettent la fabrication d'un clinker de qualité constante. La préparation de la matière première est maintenant achevée

## 7. Cuisson :

On entend par cuisson le processus de transformation de la matière crue en clinker par un apport thermique suffisant pour obtenir des réactions chimiques complètes conduisant à l'élimination presque totale de chaux non combinée. Ainsi au fur et à mesure de son avancement dans le four, la matière passe par plusieurs stades de transformation :

Elle subit d'abord un séchage, puis un réchauffage entre 400 et 500° C; Elle entre vers 900 à 1100° C dans une zone de décarbonatation et de calcination pour aboutir vers 1450°C à la clinkérisation (transformation de C<sub>2</sub>S en C<sub>3</sub>S en présence d'alumine et d'oxyde de fer qui ont subi une fusion).

La matière sortant du four est le clinker. Elle se présente sous forme de grains gris foncés, arrondis, à surface irrégulière et dont le diamètre peut aller jusqu'à 3 cm. La cuisson s'opère dans des fours rotatifs. Ce sont de longs cylindres, inclinés sur l'horizontale. Ces cylindres sont garnis intérieurement par un revêtement réfractaire.

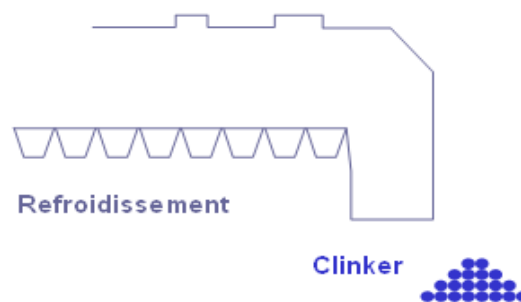


## 8. Refroidisseur :

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.

Le refroidisseur a un triple rôle :

- Refroidir le clinker qui sort du four
- Récupérer le maximum de chaleur contenu dans le clinker
- Assurer la trempe de clinker par un refroidissement énergétique et rapide.



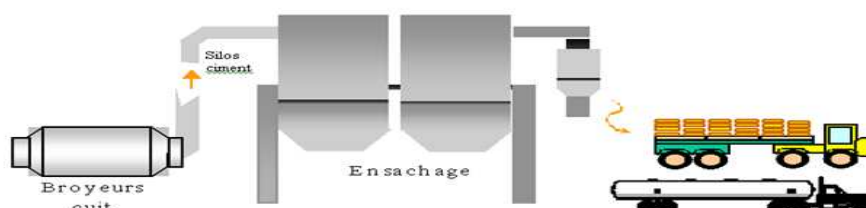
## 9. Broyage ciment

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).

Le ciment fini est orienté vers les silos de stockage et de livraison. Le transport s'effectue pneumatiquement dans des tuyauteries grâce à des pompes spéciales.

## 10. Ensachage et expédition :

LAFARGE dispose de 6 silos d'une capacité de stockage total de 18.000 tonnes de ciment. Le ciment est vendu soit en vrac, soit en sacs, par camions ou chemins de fer. Pour la mise en sac du ciment, LAFARGE dispose de 7 ensacheuses.



## Chapitre III:

### Etude et Dimensionnement d'un système de la Manutention Mécanique du Ciment fini

## I. Presentation de sujet :

### 1. Contexte :

Après le broyage, le ciment fini est orienté vers les silos de stockage. Le transport s'effectue pneumatiquement dans des tuyauteries grâce à une pompe à vis.

En gros, le ciment est entré par le dessus de la pompe, la vis permet de le déplacer jusqu'à une chambre où il y a compression afin de fluidifier le ciment (par l'intermédiaire de l'air comprimée) et permettre le pompage et l'acheminement vers les silos de stockage.

La maintenance de cette installation pneumatique coûte à LAFARGE un budget énorme et les conditions de son fonctionnement nécessitent une forte consommation de l'énergie. La raison pour laquelle l'entreprise a pensé remplacer ce système par une ligne mécanique plus fiable et plus économique similaire à celle existante à l'usine de Tétouan.

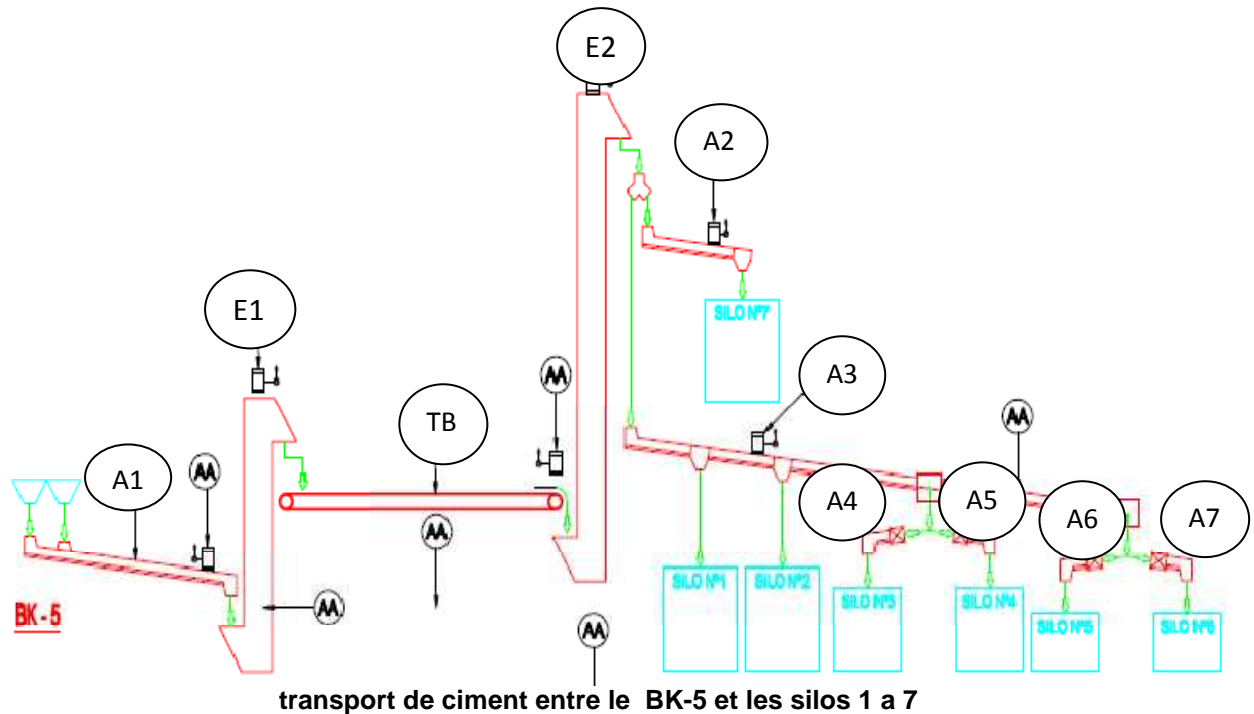
La mission qui nous a été confiée consiste à faire le dimensionnement des équipements de manutention mécanique du ciment et élaborer par la suite une analyse comparative en terme performance et fiabilité. En effet, quand l'entreprise a besoin de transporter une certaine matière, elle élabore un cahier des charges exactement comme celui qui nous a été confié pour qu'un bureau d'études d'une sous-traitance réalise le dimensionnement.

### 2. Cahier des charges:

#### **Projet : Manutention mécanique du produit fini**

La présente étude prend en charge le dimensionnement de l'installation qui est basé sur le plan guide usine Meknès et le schéma du transport de produit fini entre le broyeur BK-5 et les silos de ciment N° 1 à 7 fourni par le service des travaux neufs (Bureau d'études au sein de Lafarge –Meknès).

Les deux opérations broyage et stockage nécessaires à l'élaboration du ciment sont liées entre elles par des systèmes (voir le schéma) de manutention pneumatique (Aérogliissières) et mécanique à l'aide d'appareils spécifiques tels que élévateurs à godets et un transporteur à bande sélectionnés par rapport aux caractéristiques précises ( physiques, chimiques, granulométrie) de notre produit , le débit maximal à assurer, et les conditions de service. Ce qui est fondamental par rapport à un critère économique, à la configuration du site et à l'environnement.



Description des équipements repérés sur le schéma du projet :

- 1/ Rep. TB    Transporteur à bande.
- 2/ Rep. E    Elévateurs à bande
- 3/ Rep. A    Aéroglissières

### 3. Analyse des données :

A partir du cahier des charges qu'on nous a été confié nous avons essayé de rassembler le maximum de documents qui peuvent nous être utiles. En effet, il aurait fallu que nous visitions les équipements existants dans l'atelier dans le but de comprendre la structure, voir les caractéristiques, et observer le fonctionnement. En outre, nous avons réalisé quelques interviews avec les visiteurs qui travaillent au niveau de cet atelier pour savoir leur point de vue concernant le choix de cette solution.

Le fait que le bureau d'étude (Travaux Neufs) n'avait pas assez de documentations sur les transporteurs et les élévateurs nous a amené à travailler en coordination avec le bureau de Méthode qui possède un bon ensemble de caractéristiques de ces équipements proposés par leurs fournisseurs. Cette démarche nous a permis d'acquérir un certain savoir sur la procédure dont il faut suivre pour un bon dimensionnement. Ensuite, nous avons contacté des fournisseurs pour avoir une idée sur leur façon de dimensionnement et puis pour savoir aussi quel est le type qu'il faut pour telle ou telle matière.

Donc il était primordial d'acquérir des informations auprès des experts. Ensuite, nous nous sommes penchés sur le calcul des caractéristiques à partir des informations citées dans le cahier des charges, ainsi que de la documentation que nous avons pu rassembler afin de réaliser ce projet.

Avant d'entamer la démarche effectuée dans le dimensionnement de ces appareils, nous jugeons utile de passer en revue quelques notions de base sur la manutention mécanique des produits en vrac et élaborer une description technique des appareils utilisés dans ce projet pour connaître les paramètres à prendre en compte dans leurs étude et conception.

## II. Manutention mécanique des produits en vrac :

### 1. Définition :

La manutention mécanique des produits en vrac est omniprésente dans pratiquement tous les secteurs de l'industrie qui utilisent les produits sous cette forme. Elle occupe une part très importante parmi les activités de secteurs que sont: la chimie, la sidérurgie, la cimenterie, l'agroalimentaire, la fonderie, la papeterie, les carrières, le traitement des déchets par incinération... Ces secteurs sont variés et très différents, les méthodes et les appareils utilisés seront eux aussi très différents et sélectionnés judicieusement au cas par cas.

Rappelons tout d'abord **les avantages de la manutention mécanique :**

- faciliter la mise en continu d'une production
- améliorer les conditions de travail en diminuant la pénibilité des tâches manuelles
- sécuriser le personnel
- permettre d'accéder à l'automatisation des circuits de manutention
- améliorer la production quantitativement pour diminuer les coûts
- faciliter la maîtrise de la production
- supprimer l'encombrement de l'unité de production et libérer des espaces à l'intérieur des bâtiments existants
- permettre de répondre rapidement à la demande du marché.
- réduire l'immobilisation des moyens de transport, routiers, ferroviaires, fluviaux et maritimes.

Il est primordial de **connaître parfaitement les caractéristiques des produits en vrac à manutentionner**, cette connaissance précise étant le point de départ essentiel d'une étude sérieuse d'un problème de manutention mécanique continue.

Des documents de la Fédération européenne de la manutention (FEM) très complets, rédigés avec le concours des industriels de la profession, donnent toutes les caractéristiques et propriétés des produits en vrac intervenant en manutention mécanique, en particulier:

- FEM 2581 et 2582 : caractéristiques générales des produits en vrac en vue de leur classification et leur symbolisation.
- FEM 2181 : caractéristiques spécifiques des produits en vrac intervenant en manutention mécanique.



En résumé, on doit disposer d'indications sur les grandeurs caractéristiques et propriétés suivantes:

- nom du produit (si possible, formule chimique également)
- grosseur des grains
- forme des grains
- angle d'éboulement
- propriétés physiques et chimiques (tendance à l'agglomération, abrasivité, agression chimique et corrosion, fragilité mécanique, risques d'explosion, inflammabilité, nature poussiéreuse, humidité, tendance à coller et adhésion, comportement hygroscopique, odeurs, toxicité...)
- masse volumique en vrac et autres renseignements complémentaires : température, tendance à la fragilisation, changement de consistance, électricité statique, tendance à la dégradation, présence d'huiles et graisses, pelucheux...

Si les caractéristiques du produit ainsi que son débit influent sur la conception et les dimensions des transporteurs ou élévateur, certains paramètres sont plus spécifiques.

Il était donc primordial que LAFARGE nous transmette toutes les informations nécessaires qu'il possède sur le produit à manutentionner (ciment), et qu'il souligne tous les éléments qu'il pense pouvoir être utiles

## 2. Caractéristiques techniques des équipements de transport en vrac :

### **2.1. Transporteur a bande :**

#### **a. Principe:**

Un transporteur à bande (convoyeur a bande) a pour fonction de transporter en continu des produits en vrac Mélangés ou homogènes, sur des distances allant de quelques mètres à des dizaines de Kilomètres. L'un des principaux composants du convoyeur est la Dont la fonction est double :

- recevoir le produit transporté
- transmettre la force nécessaire pour déplacer cette charge

Les surfaces de la bande (supérieure sur le brin porteur et inférieure sur le brin de retour) sont en contact avec une série de rouleaux montés sur le châssis du convoyeur en un

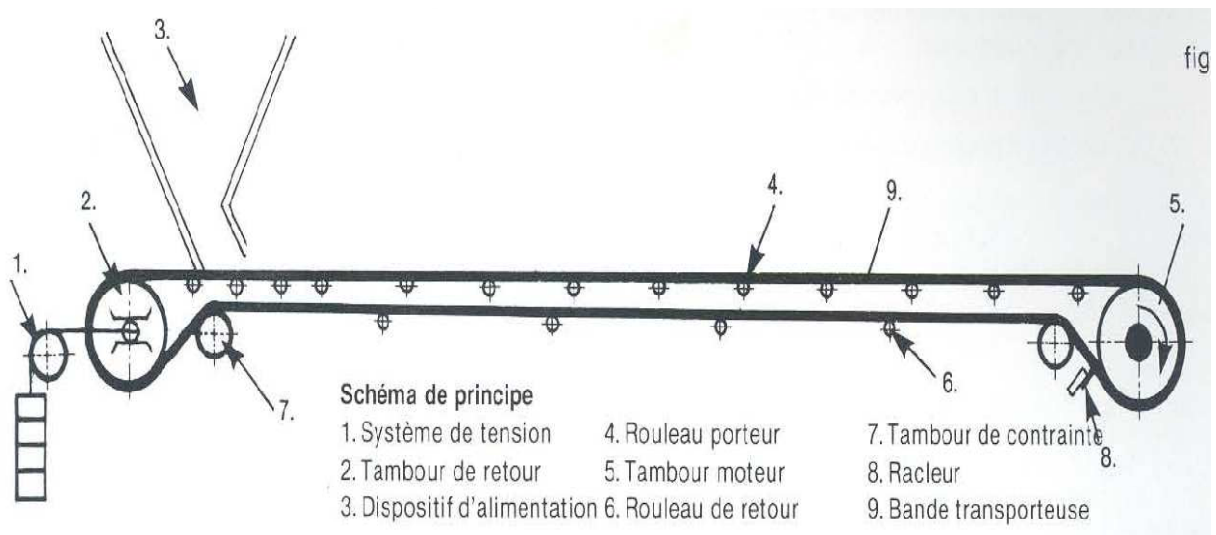
ensemble appelée station-support. A chaque extrémité du convoyeur, la bande s'enroule sur un tambour, l'un d'entre eux étant relié à un groupe d'entrainement pour transmettre le mouvement. Le convoyeur à bande présente les avantages suivants :

- Grande Capacité de transport
- Souple à concevoir pour les environnements d'usine à espace réduit
- Nécessite une maintenance réduite
- Possibilité de transporter des produits très fragiles
- Réduction des besoins de traitement des poussières
- Réduction de la dégradation du produit
- La puissance nécessaire est faible par rapport au débit et à la longueur.

Selon les charges à transporter, les grands convoyeurs à bande peuvent représenter une économie de 40 à 60 % par rapport au transport routier.

Les composants électriques et mécaniques des convoyeurs, tels que rouleaux, tambours, roulements, moteurs, etc. sont fabriqués dans le respect des normes les plus strictes.

**b. Les principaux composants du convoyeur :**



La Fig. 9 illustre les principaux composants d'un convoyeur à bande type horizontal. Dans notre cas un capot aura une importance fondamentale pour protéger le produit transporté de l'air Ambiant et d'assurer le bon fonctionnement.

### + La bande transporteuse :

La bande transporteuse en Caoutchouc est constituée de :

- La carcasse qui détermine la tension susceptible d'être appliquée
- Le revêtement qui est en fonction du matériau transporté

La carcasse a pour utilité de transmettre et d'absorber les efforts auxquels est soumis la courroie elle est composée de toiles textiles polyester en chaîne et polyamide en trame (EP)

Le revêtement protège la carcasse du produit transporté ainsi que les organes de convoyeur (Tambours, rouleaux)

### + Les tambours:

Fonction: entraîner la courroie ou l'amener à changer de direction. Celui de contrainte, il ramène le brin entrant ou sortant de la courroie en ligne avec le brin de retour ou crée l'angle d'enroulement voulu autour du tambour d'entraînement.

### + Brin Porteur :

Le brin porteur peut avoir pour soutien :

- Une batterie à rouleaux formés en auge
- Une batterie à rouleaux plats
- Un support de glissement

#### ○ Batterie à trois rouleaux formés en auge :

Il est utilisé pour le transport de marchandises en vrac. La batterie à rouleaux en auge offre une grande capacité, faible risque de perte de matières, et un guidage efficace de la bande avec  $\lambda$  l'angle d'auge.



C'est le modèle que nous avons choisi, car lorsque les rouleaux sont de même longueur, la capacité optimale est obtenue à un angle d'auge de  $45^\circ$ . La distance entre les rouleaux est normalisée à max 10mm. Il est nécessaire de diminuer l'angle d'auge  $\lambda$  au fur et à mesure à l'arrivée de la chute de la matière afin de faciliter cette dernière.

○ **Batteries à deux rouleaux :**

En général, cette batterie n'est s'utilisée qu'en cas de largeurs de bandes inférieures à 650 mm. Un angle d'auge supérieur à 25° n'est pas utile du fait des efforts exercés sur la bande.



○ **Support de glissement :**

Peut être utilisé pour le transport de charges individuelles ou de produits en vrac. Le support de glissement peut être réalisé en acier, en tissu synthétique ou en bois dur

On utilise normalement, sur la face inférieure de la bande des bandes à faible frottement en raison des forces de friction entre la bande et le support de glissement.



✚ **Brin de retour :**

Il est généralement soutenu par des batteries à rouleaux plats. Dans le cas de transporteurs de grande longueur, il peut être utile d'employer des batteries à deux rouleaux qui facilitent le guidage de la bande.

Pour le transport de matières collantes, on a recours à des rouleaux de retour pourvus de rouleaux de support ou de revêtement en caoutchouc pour réduire l'accumulation des matières dures sur les rouleaux.

Pour tenir compte du guidage de la bande, tant les rouleaux porteurs que les rouleaux de retour ils doivent être réglables dans le sens de course de la bande



### **+ Chargement de produits en vrac :**

Il est recommandé de faire le chargement dans le sens de la course et à une vitesse égale à celle de la bande (1,5m/s). La matière transportée doit se situer autour du milieu de la bande étant donné qu'un emplacement asymétrique occasionne souvent un dépôt de la bande.

La hauteur de chute de la matière doit être la moins élevée possible pour diminuer les effets d'impact sur la bande.

### **+ Système de tension :**

Celui-ci a pour fonction de donner une précontrainte à bande devant assurer :

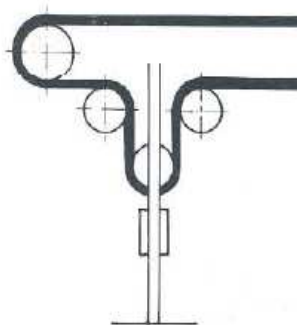
- L'entraînement de la bande par le tambour moteur dans toutes les conditions d'utilisation.
- La réduction de la flexion de bande entre les rouleaux porteurs et les rouleaux de retour.

D'après leur mode de fonctionnement, les systèmes de tension se divisent en deux groupes principaux. Système de tension fixe et système de tension auto-réglant

#### **o Système d'auto-réglant :**

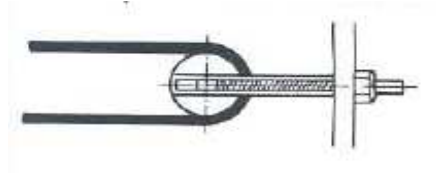
Ce système maintient la précontrainte constante tout en assurant que la tension admissible de la bande n'est pas dépassée.

La forme la plus couramment employée est celle d'un contrepoids. Le meilleur effet est normalement obtenu en plaçant le contrepoids à proximité du tambour moteur



○ **Système de tension fixe :**

La tension à vis est souvent employée pour les transporteurs de courte longueur à charge modérée.



La tension de vis n'est pas capable d'absorber tous les allongements momentanés qui peuvent se produire en cas de variations de charges subites et pendant la phase d'accélération. Aussi les installations ayant une distance entre axes supérieure à 50m doivent elles être munies d'un tendeur auto-réglant. Pour notre cas, on a un entre axes de 12m ce qui explique le choix d'un système de tension fixe.

Ce système exige une surveillance constante et un réglage fréquent, principalement lors de la mise en service d'une nouvelle bande.

## **2.2. Élévateur à godets sur bande :**

Du fait de leurs hautes performances, les élévateurs à godets sur bande sont utilisés essentiellement dans des applications en marche continue à maintenance réduite pour la manutention de la farine crue, du ciment, du charbon pulvérisé ou autres vracs fins (< 3 mm) à des températures pouvant atteindre 130°C. La hauteur va de 10 à 150 m et le débit jusqu'à 1500 t/h. Le pas rapproché des godets et la vitesse de l'élévateur (1 - 2,1 m/s) garantissent un transport continu de la matière avec un minimum de fuites

### **a. Principe :**

L'élévateur à godets (fig. 10) se compose d'une bande formant courroie tendue verticalement entre une poulie de tête-motrice et une poulie de pied dont l'axe est déplaçable en hauteur pour permettre le réglage de la tension. Des godets sont fixés sur la bande et l'ensemble est enfermé dans un bâti en bois ou en tôle, équipé d'une goulotte d'alimentation dans le pied de l'élévateur où les godets se remplissent par pelletage et d'une tête de forme appropriée pour évacuer le ciment par projection centrifuge.

La vitesse de la bande dans les élévateurs classiques est de 1-2 m/s, donc relativement lente et adaptée à un travail continu

## **b. Description technique de l'élévateur a godets:**

- **Bâti :**

Autrefois en bois, difficile à nettoyer et à désinsectiser, le bâti est maintenant très généralement en métal sous forme d'éléments en caisson de 2 à 3 m de longueur raccordés par brides boulonnées.

Les éléments doivent être montés selon une verticale rigoureuse sinon la sangle et les godets frottent et usent rapidement le bâti.

- **Tête d'élévateur :**

La tête a une forme étudiée pour permettre la projection centrifuge des produits. Elle est donc spécifique à une vitesse de bande et un type de produit.

Intérieurement, elle peut être doublée par un revêtement d'usure aisément démontable (plaque en acier mangano-siliceux, fonte alliée ou caoutchouc).

Un dispositif anti retour est nécessaire surtout sur les élévateurs rapides ou de grande hauteur, afin d'éviter le retour en arrière de la bande, en cas d'arrêt accidentel en charge. A la tête des élévateurs, est souvent placée une tête de distribution à directions multiples.

- **Pied d'élévateur :**

Le pied doit être doté d'une trappe de vidange facile d'accès pour permettre le débouillage. Dans les grandes installations, le pied de l'élévateur est dans une fosse qu'il faut prévoir suffisamment vaste pour que les ouvriers puissent y travailler et dotée d'une échelle d'accès.

- **Poulies :**

Les poulies sont pleines ou ajourées. La poulie supérieure comporte des cannelures pour le passage des têtes de boulon des godets. En cas de surcharge, la bande peut patiner sur la poulie supérieure. Ce patinage provoque son usure et peut à la limite causer un incendie. Pour cette raison, les poulies de tête ont un revêtement à fort coefficient de friction avec la bande,

En l'absence de patinage, la surcharge est transmise au moteur sur lequel est prévue une sécurité électrique qui l'arrête.

L'axe de la poulie inférieure se déplace verticalement pour régler la tension de la bande. Sur les petits élévateurs, le réglage se fait par Vis; sur les gros, il peut être à contrepoids ou par tension hydraulique automatique. Le réglage de la tension modifie la position des godets par rapport au bâti dans le pied d'élévateur, ce qui peut perturber le chargement des godets et augmenter la casse

- **Bande :**

Les bandes modernes ont une armature interne en acier ou en fibres synthétiques (polyester), matériaux qui sont moins sensibles aux variations d'hygrométrie que les armatures en coton employées autrefois.

- **Godets :**

Il existe toute une gamme de godets en matériaux et de formes différentes, adaptés à chaque produit.

- Godets classiques en fer blanc ou en acier galvanisé.
- Godets plastique - relativement souples et blessant peu les produits.
- Godets inox (chers) (usages spéciaux)
- Godets caoutchouc (chers) (usages spéciaux).

Les godets sont fixés sur la bande par des boulons à tête plate (côté bande).

- **Gousset d'alimentation :**

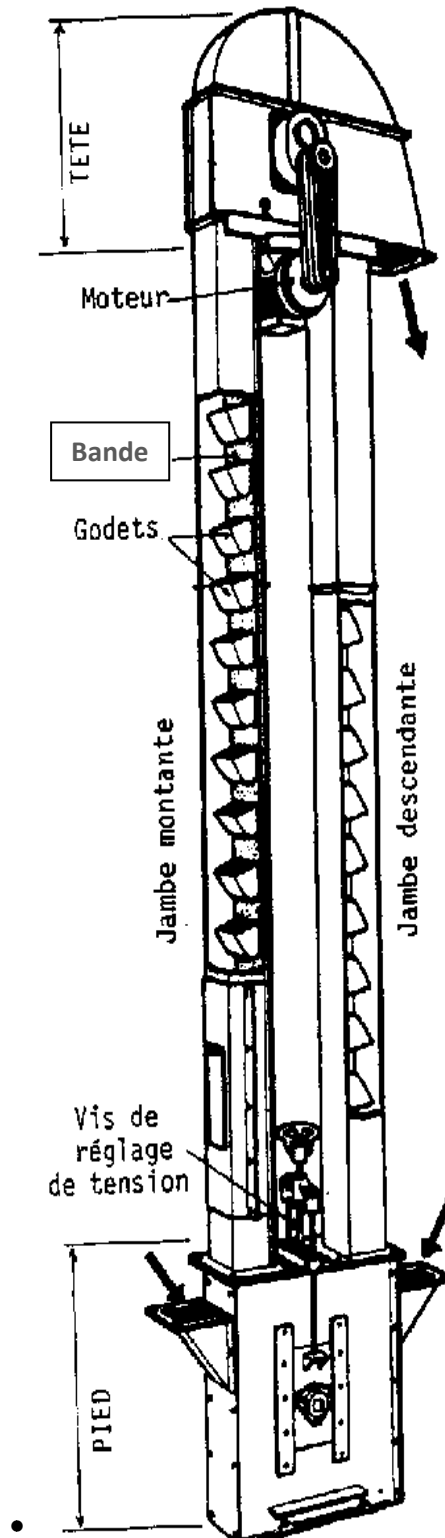
Le gousset est en général placé sur le brin descendant, le godet piochant dans le pied de l'élévateur pour obtenir un remplissage maximum. Avec les produits de faible densité (farine), l'alimentation brin descendant est également recommandée.

Pour les produits fragiles, on alimentera de préférence sur le brin montant.

- **Dépoussiérage :**

La position de la prise de dépoussiérage par aspiration est à définir dans chaque cas. Il est judicieux de la placer sur la boîte de jetée qui fait suite à la tête.



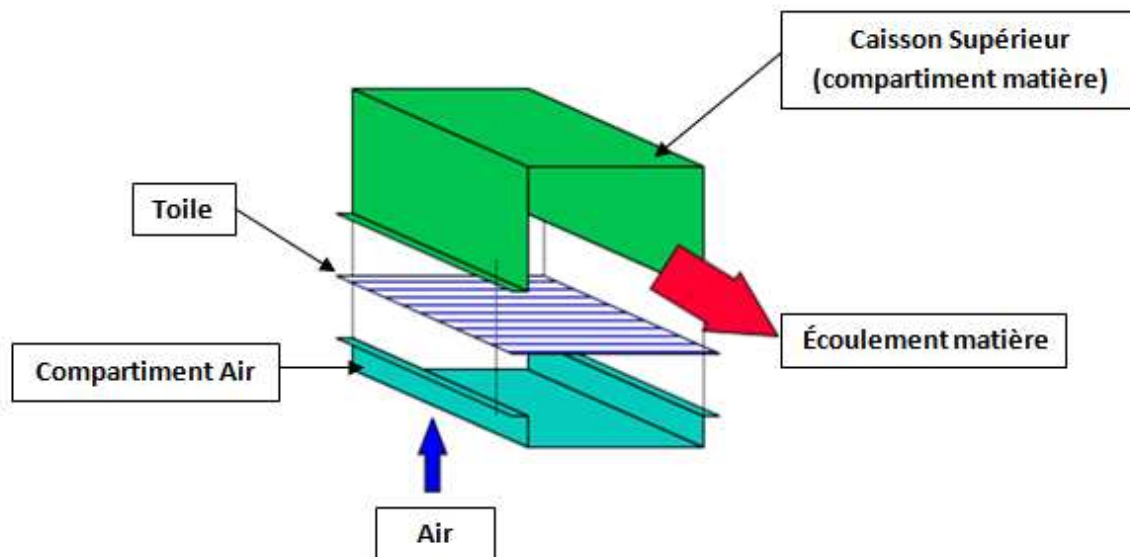


**Fig.10** élévateur à godets

### 2.3. Les Aéroglissières :

**L'utilité :** Les Aéroglissières permettent de transporter de grandes quantités de matériaux pulvérulents à différents points indépendants de leur emplacement, avec une inclinaison de 5° à 12°.

**Principe de fonctionnement :** Ces équipements de transport se composent de goulottes divisées en deux chambres : l'une supérieure à travers laquelle circulent les matériaux, et l'autre inférieure à travers laquelle circule l'air. Les chambres sont séparées entre elles par une toile à voile fabriquée en polyester résistant à l'abrasion ainsi qu'aux températures atteignant 120°C. Le flux d'air qui passe à travers la toile à voile maintient les particules du matériau de la chambre supérieure partiellement suspendues. Dès cet instant, le comportement du matériau fluidisé est similaire à celui d'un liquide et rend sa manipulation aisée.



#### Avantages de l'aéroglissière:

- Les Aéroglissières peuvent transporter de grands tonnages de produits avec une faible consommation énergétique.
- Redémarrage aisé du système même après un arrêt en charge : disponibilité augmentée.
- Faible vitesse de transport : qualité du produit respectée.
- Garantit plus de sécurité aux opérateurs.
- N'a pas besoin d'entretien exhaustif.

### III. Dimensionnement du transport mécanique BK5 :

#### 1. Transporteur a bande : Rep. TH

##### 1.1 Cahier des charges :

Les principaux facteurs qui déterminent le dimensionnement d'un convoyeur à bande sont: le débit-volume nécessaire, le type de produit à transporter et ses caractéristiques physiques et chimiques.

Les illustrations qui suivent montrent les critères utilisés pour le calcul de la vitesse de la bande, le dimensionnement des rouleaux et des tambours, et enfin On définit les tensions de la bande transporteuse partant de la puissance absorbée.

➤ **Caractéristiques du produit transporté :**

- Ciment
- Densité apparente :  $d=0.9 \text{ t/m}^3$
- Granulométrie : 0 à 1 mm
- abrasivité: non abrasif
- Température : max 110 C

➤ **Débit souhaite:**

- Débit massique :  $Q_m= 120\text{t/h}$
- Débit Volumique :  $Q_v= 133 \text{ m}^3/\text{h}$

➤ **Caractéristiques de l'installation:**

- Largeur de la bande :  **$B=650 \text{ mm}$**
- Entraxe :  **$L=118 \text{ m}$**
- Conditions d'exploitation: normales
- Utilisation: **24 h/24h**

**Remarque :**

Au début, le dimensionnement du transporteur se limitait pour nous à la détermination de, Vitesse linéaire, Débit, Longueur, Largeur, Puissance et Résistance de bande. Cependant, en se penchant sur le calcul des caractéristiques et en cherchant plus d'informations, nous sommes rendu compte que le dimensionnement est loin d'être cerné car pour chaque inconnu il y a plusieurs facteurs qui interviennent. Et c'est à ce niveau là que réside la difficulté du sujet.

## 1.2. Démarche effectuée :

Dans les étapes qui suivent nous décrivons l'emploi des formules de dimensions de la manière dont il faut procéder pour élaborer un avant-projet. Cette procédure est une conclusion personnelle et il est fort possible qu'il y a d'autres façons pour dimensionner. Mais celle-ci est pour nous la plus rapide et la plus efficace.

### 1.2.1. Largeur de la bande B (mm):

Son minimum est déterminé en fonction de la nature et de la granulométrie du ciment (matière à transporter). Donc d'après le cahier des charges on a : **B=650mm**. Normalement cette valeur est déduite à partir de la nature du matériau à transporter.

A savoir Les largeurs les plus habituelles pour n'importe quel type de bande, sont les suivantes:

| LARGEURS DE BANDE NORMALISEES |     |     |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 300                           | 400 | 500 | 600 | 650 | 800 | 1.000 | 1.200 | 1.400 | 1.600 | 1.800 | 2.000 | 2.200 |

### 1.2.2. Vitesse de la bande V (m /s):

Son maximum est déterminé en fonction de la granulométrie, le poids spécifique, hauteur de chute de la matière et de la largeur de bande.

Le Tableau ci-dessous indique les valeurs de la vitesse maximale de courroie recommandée en fonction de la largeur et de la nature du matériau:

| Matériaux                        | Largeurs de courroie B (mm) |      |      |      |      |
|----------------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|
|                                  | 400                         | 500  | 650  | 800  | 1000 |
| Legers, de granulométrie réduite | 2,5                         | 3,15 | 3,15 | 3,55 | 4    |
| Demi-lourds, abrasifs            | 1,6                         | 2    | 2,5  | 2,5  | 3,15 |
| Lourds, très abrasifs            | 1,25                        | 1,6  | 1,8  | 1,8  | 2,24 |

Les vitesses indiquées sont des vitesses maximales, et c'est une représentation de RULOUNOS : l'un des fournisseurs de LAFARGE. Cependant, après avoir assisté au transport de certaines matières comme le schiste et le calcaire il s'est avéré que les vitesses

proposées par ce fournisseur ou d'autre ne sont pas assez fiables. Ce qui nous a obligé de se retourner vers les experts de LAFARGE pour savoir leur besoin.

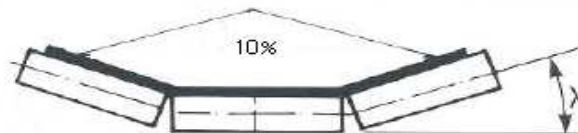
Ils nous ont confirmé que plus la vitesse est faible plus il ya moins de danger de perdre le produit !! C'est pour cela que nous sommes mis d'accord sur une vitesse maximale de 1,5 m/s.

$$V = 1.5 \text{ m/s}$$

### 1.2.3. Capacité Q (t/h) :

La capacité théorique de la courroie transporteuse est calculée à partir de la section théorique de la charge transportée et de la vitesse de bande (m/s).

Dans le cahier des charges la capacité est déjà déterminée par LAFARGE, c'est ce qu'on appelle la capacité souhaitée Q. D'où on calcule la capacité Q<sub>th</sub> utilisée dans les formules selon une certaine marge de sécurité.



Application Numérique : on a la capacité souhaitée de 120 t/h, avec une marge de sécurité de 10% donc :

$$Q_{th} = 132 \text{ t/h}$$

### 1.2.4. Ecartement des stations -supports :

Ayant choisi une station porteuse avec un angle d'inclinaison des rouleaux latéraux De  $\lambda = 30^\circ$ ; L'écartement peut être choisi en fonction de l'incurvation de la bande entre deux Stations supports.

Le Tab.1 montre comment déterminer l'écartement maximal des stations supports en fonction de la largeur de la bande et de la masse volumique du produit transporté.

Il faut vérifier que l'incurvation de la bande ne dépasse pas 2 % de l'écartement. Une incurvation trop importante peut engendrer une déformation de la masse du produit pendant le déplacement de la bande et par conséquent une augmentation du frottement.

On est ensuite en mesure de déterminer un facteur important, à savoir : une consommation de puissance importante engendre des contraintes anormales soit sur les rouleaux, soit dans la bande qui passe au dessus et surtout l'usure prématurée du revêtement de la bande. Pour notre cas, où la bande a une largeur de 650 mm et la masse volumique du produit est de 0.9 t/m<sup>3</sup>, le tableau ci-dessous indique que:

- pour les stations porteuses, l'écartement recommandé est de **1,65 m**.
- pour les stations inférieures, l'écartement recommandé est de **3 m**.

| Largeur de la bande<br>m | Ecartement des stations<br>supérieures<br>masse volumique du produit transporté t/m <sup>3</sup> |                |            | inférieures<br>m |
|--------------------------|--|----------------|------------|------------------|
|                          | < 1.2<br>m   | 1.2 ÷ 2.0<br>m | > 2.0<br>m |                  |
| 300                      | 1.65   | 1.50           | 1.40       | 3.0              |
| 400                      |  |                |            |                  |
| 500                      |  |                |            |                  |
| 650                      |  |                |            |                  |
| 800                      | 1.50   | 1.35           | 1.25       | 3.0              |
| 1000                     | 1.35   | 1.20           | 1.10       | 3.0              |
| 1200                     | 1.20   | 1.00           | 0.80       | 3.0              |
| 1400                     |  |                |            |                  |
| 1600                     |  |                |            |                  |
| 1800                     |  |                |            |                  |
| 2000                     | 1.00   | 0.80           | 0.70       | 3.0              |
| 2200                     |  |                |            |                  |

**Tableau 1**

**1.2.5. choix des rouleaux :**

Dans le Tab.2, pour une bande de 650 mm et une vitesse de 1.5 m/s on peut choisir des rouleaux de diamètre **89 mm**.

Nous avons déjà indiqué que la vitesse de déplacement de la bande par rapport aux conditions de charge requises était un facteur important pour la conception d'un convoyeur. A partir de la vitesse de la bande et du diamètre des rouleaux, on peut déterminer Les tours-minute des rouleaux à l'aide de la formule suivante:

$$n = \frac{v \times 1000 \times 60}{D \times \pi} \text{ [t/min]}$$

Où: D = diamètre des rouleaux [mm] et v = vitesse de la bande [m/s]

D'où la vitesse de rotation des rouleaux est : **n= 322 t /min**

| Largeur de la bande mm | Pour une vitesse |     |     |              |     |     |              |     |     |
|------------------------|------------------|-----|-----|--------------|-----|-----|--------------|-----|-----|
|                        | ≤ 2 m/s          |     |     | 2 ÷ 4 m/s    |     |     | ≥ 4 m/s      |     |     |
|                        | Ø rouleau mm     |     |     | Ø rouleau mm |     |     | Ø rouleau mm |     |     |
| 500                    | 89               |     |     | 89           |     |     |              |     |     |
| 650                    | 89               |     |     | 89           | 108 |     |              |     |     |
| 800                    | 89               | 108 |     | 89           | 108 | 133 | 133          |     |     |
| 1000                   | 108              | 133 |     | 108          | 133 |     | 133          | 159 |     |
| 1200                   | 108              | 133 |     | 108          | 133 | 159 | 133          | 159 |     |
| 1400                   | 133              | 159 |     | 133          | 159 |     | 133          | 159 |     |
| 1600                   | 133              | 159 |     | 133          | 159 | 194 | 133          | 159 | 194 |
| 1800                   | 159              | 159 | 194 | 159          | 194 |     |              |     |     |
| 2000                   | 159              | 194 |     | 159          | 194 |     | 159          | 194 |     |
| 2200 et autres         | 194              |     |     | 194          |     |     | 194          |     |     |

**Tableau 2**

### 1.2.6. Puissance nécessaire P(KW) :

La puissance théorique nécessaire à l'entraînement d'un transporteur peut se composer en puissance pour la marche à vide, et une puissance pour le transport horizontal de la charge :

- Puissance nécessaire pour la marche à vide P<sub>1</sub> :

$$P_1 = \frac{3,6 * G * L * C * f * v}{367}$$

Avec:

C : Coefficient de frottement des bandes, rouleaux, etc. (Tab.3).

f : Coefficient de frottement des tambours fixé à 0,025-0,03 (Tab. 4).

L : distance de centre à centre entre le tambour de tête et le tambour de renvoi (en m).

G : Poids de la bande et des parties tournantes des tambours de tête et de renvoi (Kg/m) (Tab.5)

V : Vitesse de la bande (m/s)

Q : Capacité (t/h).

L'entraxe de notre convoyeur va permettre la détermination du coefficient de frottement des bandes, rouleaux...voir tableau 3 :

| L (m) | C    | L (m) | C    | L (m) | C    |
|-------|------|-------|------|-------|------|
| 5     | 12.6 | 90    | 1.8  | 600   | 1.17 |
| 10    | 6.2  | 100   | 1.75 | 800   | 1.11 |
| 15    | 4.5  | 120   | 1.65 | 1000  | 1.08 |
| 20    | 3.6  | 140   | 1.6  | 1200  | 1.06 |
| 25    | 3.1  | 160   | 1.55 | 1500  | 1.05 |
| 30    | 2.8  | 180   | 1.5  | 2000  | 1.04 |
| 40    | 2.4  | 200   | 1.45 | 2500  | 1.04 |
| 50    | 2.2  | 250   | 1.38 | 3000  | 1.03 |
| 60    | 2.1  | 300   | 1.31 |       |      |
| 70    | 2    | 400   | 1.25 |       |      |
| 80    | 1.9  | 500   | 1.2  |       |      |

**Tableau 3. Déterminer C**

En ce qui concerne le coefficient de frottement des tambours, on prend souvent la valeur standard  $f = 0,020$ , mais elle est à modifier dans les cas suivants :

- Forte friction intérieure de la matière.
- Angles d'auge  $>30^\circ$
- Rouleaux porteurs  $<180$  mm
- Vitesse de bande  $>5$ m/s
- Température  $<20^\circ\text{C}$
- Tension moins élevée de la bande
- Bandes flexibles et grosses épaisseurs de revêtement.

|  |             |
|--|-------------|
| Installations avec les rouleaux à roulement facile et matériaux à faible friction intérieure               | 0.017       |
| Installation de qualité standard   | 0.020       |
| Condition d'exploitation défavorable, exploitation dégageant beaucoup de poussières, surcharge périodique. | 0.023-0.030 |
| Transport descendant imposant un freinage par moteur-frein   | 0.012       |

**Tableau 4. Déterminer f**



Le poids des parties mobiles dans la bande est déterminé à partir d'un tableau qui représente le poids de la bande plus le poids des rouleaux porteurs et de retours en fonction de la largeur de la bande. Les valeurs affichées dans le tableau ci-dessous sont calculées à partir des convoyeurs standards existants dans le marché avec la relation suivante :

| Largeur bande mm | Masse lin. Parties mobiles Kg/m |
|------------------|---------------------------------|
| 400              | 27                              |
| 500              | 32                              |
| 650              | 45                              |
| 800              | 52                              |
| 800              | 60                              |
| 1000             | 75                              |
| 1000             | 100                             |
| 1200             | 90                              |
| 1200             | 115                             |
| 1400             | 115                             |
| 1400             | 130                             |
| 1600             | 130                             |
| 1600             | 152                             |
| 1800             | 185                             |
| 2000             | 220                             |

**Tableau 5, Determiner G**

Après avoir déterminé toutes les variables on va pouvoir calculer la puissance nécessaire pour la marche à vide :

$$P_1 = 2.19 \text{ KW}$$

- **Puissance nécessaire pour le transport horizontal de la charge  $P_2$ :**

Puissance nécessaire pour le transport horizontal de la charge est représentée sous la forme suivante :

$$P_2 = \frac{Q * f * L * C}{367}$$

On a :  $Q = 120\text{T/h}$ ,  $f = 0,017$  et  $L = 118\text{m}$

D'où :

$$P_1 = 1.08 \text{ KW}$$

Donc la puissance totale absorbée est :

$$P = P_1 + P_2 = 3.27 \text{ kW}$$

### 1.2.7. Puissance nécessaire du moteur $P_m$ (kW) :

On a  $P_m$  puissance du moteur,  $P$  puissance totale et  $\eta$  Coefficient du rendement mécanique d'où la relation suivante :

$$P_m = \frac{P}{\eta}$$

Si on ne connaît pas le rendement on peut prendre de 0,85 à 0,95.

$$P_m = \frac{P}{\eta} = \frac{3.27}{0.85} = 3.84 \text{ kW}$$

On prend aussi une sécurité sur la puissance de 10%. Alors la puissance du moteur vaut :  $P_m = 4.23 \text{ kW}$

- Les puissances standards des moteurs sont :

|   |     |     |   |   |     |     |
|---|-----|-----|---|---|-----|-----|
| 1 | 1.1 | 2.2 | 3 | 4 | 5.5 | 7.5 |
|---|-----|-----|---|---|-----|-----|

Donc la puissance Moteur choisie est :

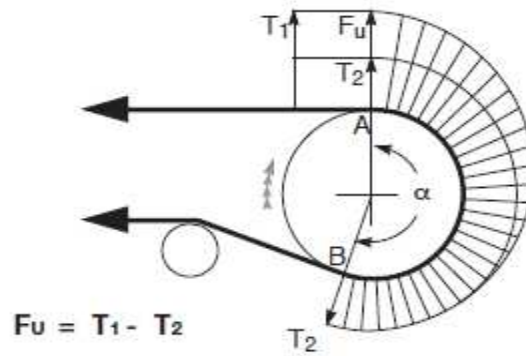
5 kw

### 1.2.8. tension de la bande :

Il est nécessaire de prendre en considération les différentes tensions qui doivent être vérifiées dans un convoyeur ayant un système d'entraînement de bande motorisé.


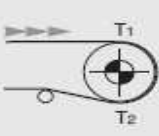
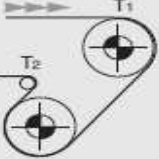
Tensions  $T_1$  et  $T_2$  L'effort tangentiel total  $F_U$  sur la circonférence du tambour correspond à la différence entre les tensions  $T_1$  (côté entrée) et  $T_2$  (côté sortie). On en déduit le couple nécessaire pour mettre en mouvement la bande et à transmettre la puissance.

En se déplaçant du point A au point B (Fig.11) la tension de la bande passe exponentiellement d'une valeur  $T_1$  à une valeur  $T_2$ .



**Fig.11**

Le tableau .6 donne la valeur du coefficient d'enroulement  $C_w$  en fonction de l'arc d'enroulement, du système de tension de la bande et de l'utilisation d'un tambour avec ou sans caoutchoutage

| Configuration de l'entraînement   | Arc d'enroulement $\alpha$ | Dispositif de reprise de tension à contrepoids |                     | Dispositif de reprise de tension à vis |                     |
|---|----------------------------|--|---------------------|--|---------------------|
|   |                            | tambour non caoutchouté                        | tambour caoutchouté | tambour non caoutchouté                | tambour caoutchouté |
|   | 180°                       | 0.84   | 0.50                | 1.2                                    | 0.8                 |
|  | 200°                       | 0.72   | 0.42                | 1.00                                   | 0.75                |
|   | 210°                       | 0.66   | 0.38                | 0.95                                   | 0.70                |
|   | 220°                       | 0.62   | 0.35                | 0.90                                   | 0.65                |
|   | 240°                       | 0.54   | 0.30                | 0.80                                   | 0.60                |
|  | 380°                       | 0.23   | 0.11                | -                                      | -                   |
|   | 420°                       | 0.18   | 0.08                | -                                      | -                   |

**Tab.6**

Prenons dans notre cas ; le convoyeur est mû par un seul tambour de commande recouvert de caoutchouc et installé en tête, les tambours de contrainte étant placés pour produire un arc d'enroulement de 200°; un dispositif de reprise de tension à contrepoids est installé en pied du Convoyeur. A partir du tableau on peut déterminer le coefficient d'enroulement  $C_w = 0,42$ . La tension en aval du tambour de commande est obtenue de la manière suivante:

$$T_2 = F_u \times C_w \text{ [N]} \quad \text{avec } F_u \text{ l'effort tangentiel est donné par : } F_u = P_m/v \text{ [N]}$$

$$F_u = 5500/1.5 \quad \text{d'où} \quad F_u = 3666.6 \text{ N}$$

$$T_2 = 1540 \text{ N}$$

La tension maximale en amont du tambour de commande sera de:  $T_1 = F_u (1 + C_w)$  [N]

$$\text{Soit :} \quad T_1 = 5207 \text{ N}$$

On estime alors la tension de la bande en majorant la valeur de  $T_1$  avec un coefficient tenant compte du régime transitoire de 1,5 :  $T_1 = 5207 \times 1.5$

d'où

$$T_1 = 7810.5 \text{ N}$$

### 1.2.9. Classe de la bande :

Etant donné la tension maximale de service du convoyeur:  $T_1 = T_{\max} = 7810.5 \text{ N}$  La tension de service unitaire de la bande par mm de largeur est obtenue de la manière suivante:

$$T_u \text{ max} = \frac{T_{\max}}{B}$$

$T_u \text{ max} = 12 \text{ N/mm}$  La charge de rupture de la bande correspondra à la charge d'utilisation multipliée par un coefficient de sécurité de "8" pour les bandes à armature métallique et de "10" pour les bandes à armature textile. Dans notre cas (armature textile), on peut choisir une bande ayant une résistance de 120 N/mm : On choisit la résistance standard **250 N/mm**.

### 1.2.10. Diamètre des tambours :

Le dimensionnement du diamètre d'un tambour dépend étroitement des caractéristiques du type de bande utilisée. Le Tab.7 indique les diamètres minimaux recommandés par rapport au type de bande utilisée, pour éviter son endommagement: séparation des nappes ou déchirure de l'armature. Pour une bande qui a : une charge de rupture de 250 N/mm et un armature Textile, on trouve les résultats suivants :

- Diamètre du tambour de tête : 250 mm
- Diamètre du tambour de renvoi : 200 mm
- Diamètre du tambour d'inflexion : 160 mm

| charge de rupture<br>de la bande | bande à armature textile EP<br>DIN 22102 |        |             | bande à armature<br>métallique ST DIN 22131 |        |             |
|----------------------------------|--|--------|-------------|---|--------|-------------|
|                                  | Ø tambour<br>moteur<br>mm                | renvoi | d'inflexion | Ø tambour<br>moteur<br>mm                   | renvoi | d'inflexion |
| 200                              | 200                                      | 160    | 125         | -   | -      | -           |
| 250                              | 250                                      | 200    | 160         | -   | -      | -           |
| 315                              | 315                                      | 250    | 200         | -   | -      | -           |
| 400                              | 400                                      | 315    | 250         | -   | -      | -           |
| 500                              | 500                                      | 400    | 315         | -   | -      | -           |
| 630                              | 630                                      | 500    | 400         | -   | -      | -           |
| 800                              | 800                                      | 630    | 500         | 630   | 500    | 315         |
| 1000                             | 1000                                     | 800    | 630         | 630   | 500    | 315         |
| 1250                             | 1250                                     | 1000   | 800         | 800   | 630    | 400         |
| 1600                             | 1400                                     | 1250   | 1000        | 1000  | 800    | 500         |
| 2000                             | -  | -      | -           | 1000  | 800    | 500         |
| 2500                             | -  | -      | -           | 1250  | 1000   | 630         |
| 3150                             | -  | -      | -           | 1250  | 1000   | 630         |

**Tab.7**

**Conclusion :**

Par étapes successives, on a obtenu à partir des données concernant les caractéristiques des composants d'un convoyeur, les éléments de mesure nécessaires pour le bon fonctionnement de ce dernier. En gros, on adopte une bande de 650 Classe 250 avec un revêtement de qualité résistante à la chaleur.

## 2. ELEVATEUR A GOGETS A BANDE : Rep E

### 2.1. Cahier des charges:

Cet appareil consiste en une courroie sans fin équipée de godets qui s'enroule en tête et en pied sur des roues ou tambours. Le ciment est puisé au pied et déversé en tête de l'élevateur.

Rappelons toujours que le dimensionnement de cet appareil dépend étroitement des caractéristiques du produit à manutentionné et du débit envisagé.

#### ➤ CARACTERISTIQUES DU PRODUIT

- Produit : Ciment.
- Densité : 0,9 t/m<sup>3</sup>
- Granulométrie : .0 à 1 mm.
- Humidité : 0 %.
- Température : 110 °C max.

#### ➤ DEBIT SOUHAITE : Q= 120 T/H

### 2.2. ÉLÉMENTS DE CALCUL DES ÉLÉVATEURS:

#### 2.2.1 Choix des caractéristiques de l'appareil :

Les dimensions concernant les godets (voir la figure ci-dessous), la vitesse de la bande et le diamètre de la poulie sont indiquées dans le Tab .8 qui est une représentation d'AUMUND l'un des principaux fournisseurs des élévateurs a godets pour LAFARGE.

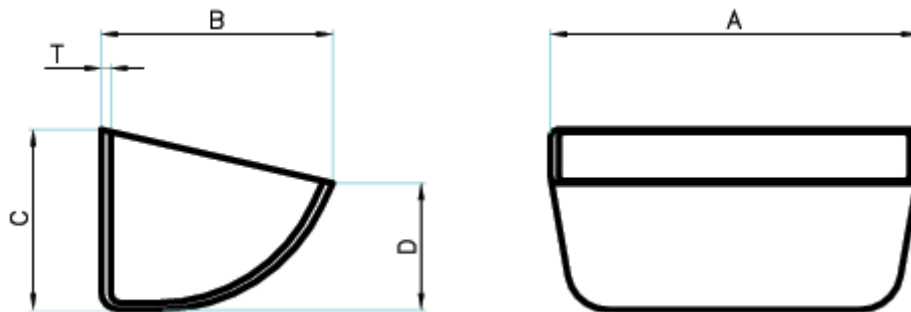
La sélection de ces caractéristiques techniques qui vont servir par la suite au calcul de la puissance, prend en compte la capacité à transporter qui est de 133 m<sup>3</sup> /h et prévoit également un remplissage de godets égal à 75 % de sa capacité en eau.

Prenant la valeur la plus proche de la capacité réelle : 135 m<sup>3</sup>/h

- Largeur godets : 400 mm
- Fond godets : 220 mm
- Pas entre godets : 280 mm
- Capacité des godets : 8.4 dm<sup>3</sup>
- Vitesse de la bande : 1.25 m/s
- Diamètre poulie : 630 mm

**Tab.8**

| Bucket      |                       |                           |                                    | Theoretical capacity m <sup>3</sup> /h |     |     |     |  |  |  |  |  |  |
|-------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------------|--|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|
| Width<br>mm | Protru-<br>sion<br>mm | Volume<br>dm <sup>3</sup> | Speed<br>m/s<br><br>Ø Pulley<br>mm | Bucket spacing mm                      |     |     |     | Conveyor speed<br>without hydraulic coupling |  |  |  |  |  |
|             |                       |                           |                                    | 240                                    | 280 | 320 | 360 |  |  |  |  |  |  |
| 160         | 160                   | 1.9                       | 1.00                               | 29                                     | 24  | 21  |     |  |  |  |  |  |  |
| 200         | 160                   | 2.4                       | 500                                | 36                                     | 31  | 27  |     |  |  |  |  |  |  |
| 250         | 220                   | 5.2                       | 1.25<br><br>630                    |  | 84  | 73  | 65  |  |  |  |  |  |  |
| 315         | 220                   | 6.6                       |                                    | 106                                    | 93  | 83  |     |  |  |  |  |  |  |
| 355         | 220                   | 7.4                       |                                    | 119                                    | 104 | 93  |     |  |  |  |  |  |  |
| 400         | 220                   | 8.4                       |                                    | 135                                    | 118 | 105 |     |  |  |  |  |  |  |



**Fig. 12 Les Dimensions de godet**

**2.2.2 la puissance à appliquer sur l'arbre de poulie de tête :**

Cette puissance est calculée en France à l'aide de la formule empirique suivante qui prend en compte les pertes par frottements de toutes sortes qui sont de l'ordre de 30 %

$$W = \frac{5}{1360} Q \times h$$

Avec :

**W** : puissance absorbée en kW

**Q** : Débit en t/h

**h** : distance entre axes tambours en m

- pour l'Elévateur E1 : h=14.45 m (cahier des charges) W1= 6.45 kw
- Pour l'Elévateur E2 : h= 41.55 m (cahier des charges) W2 =18.7 kw

La **puissance** RÉELLE du moteur à mettre en place est encore supérieure car elle doit tenir compte du rendement du moteur et du rendement du dispositif d'accouplement entre le moteur et l'arbre de la poulie (de l'ordre de 80 à 90 %).

Soit le rendement confirmé par les experts de LAFARGE est 0.85.

D'où les puissances:  $W_{E1}=7.5 \text{ kw}$   $W_{E2}= 22 \text{ kw}$

En effet, Les puissances obtenues correspondent aux puissances standards des moteurs d'où :

$\text{kw}$   $\text{kw}$

### Conclusion :

D'après les spécialistes, L'élévateur à godets est un appareil difficile à bien adapter: la moindre erreur génère des soucis énormes. L'appareil n'est pas souple, pas de comparaison possible avec un transporteur à bande et nécessite un bon dimensionnement, la chose qui nous a amené à chercher vérifier nos calculs.

En effet, nous n'avons pas réussi à contacter les fournisseurs de LAFRAGE mais nous avons consulté un service de Design gratuit de cet appareil et il nous a validé les calculs effectués.



### 3. Calculs d'Aéroglossière : Rep A

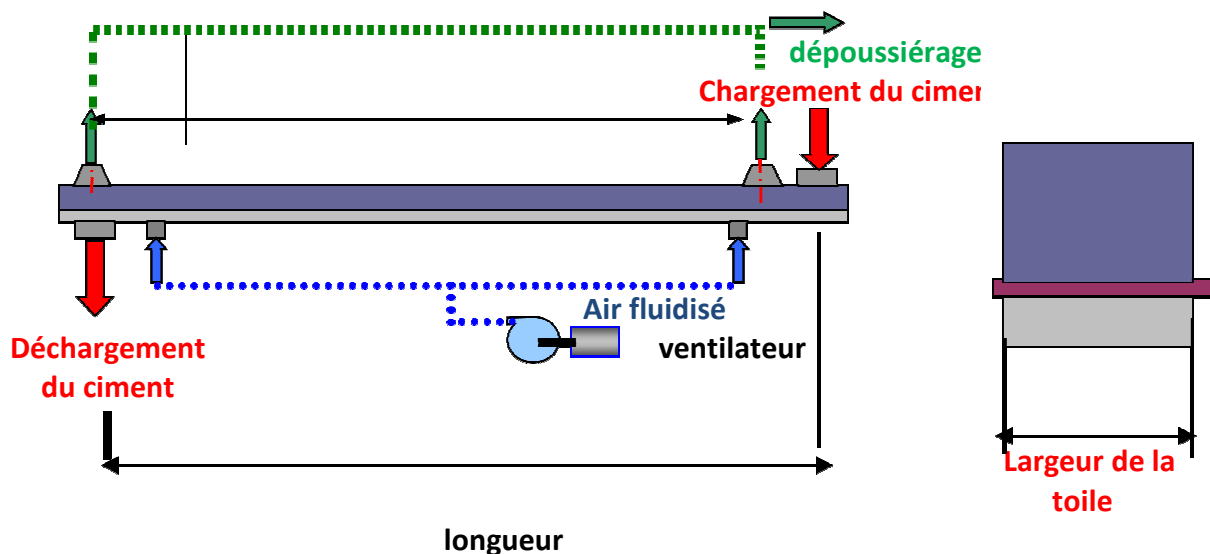
Les principaux facteurs qui déterminent le dimensionnement des Aéroglossières sont: le débit-volume nécessaire, la nature du produit manutentionné.

Pour un écoulement stable et une vidange parfaite, l'aéroglossière nécessite une pente descendante dans la direction du transport. L'angle de cette pente dépend essentiellement du produit à transporter. L'angle d'inclinaison pour le ciment vaut 6°.

|                                     |     |                   |
|-------------------------------------|-----|-------------------|
| Densité du produit fluidisé         | 0,9 | t/m <sup>3</sup>  |
| Débit volumique du produit fluidisé | 133 | m <sup>3</sup> /h |

Dans les étapes suivantes on montre l'astuce utilisé dans de calcul de débit de l'air de fluidisation, la largeur de la toile, le débit de dépoussiérage et la puissance nécessaire pour le ventilateur.(voir la figure ci-dessous)

En effet, le service des TRAVAUX NEUFS dispose d'une application de calcul automatique d'Aéroglossière réalisé par le bureau d'étude du groupe LAFARGE .Cette application respectant les normes en vigueur de Design des Aéroglossières s'appuie sur des critères de choix normalisés (tableaux ci-dessous) concernant la sélection des éléments de dimensionnement indiqués précédemment en fonction du débit souhaité et de la longueur de l'appareil.



| Produit fluidise<br>m3/h | Produits de<br>grosse<br>granulométrie | Produits<br>Non séparés | Ciment |
|--------------------------|--|-------------------------|--------|
| 20                       | 100                                    | 100                     | 100    |
| 25                       | 150                                    | 100                     | 100    |
| 35                       | 150                                    | 150                     | 150    |
| 50                       | 200                                    | 150                     | 150    |
| 55                       | 200                                    | 200                     | 200    |
| 90                       | 250                                    | 200                     | 200    |
| 95                       | 250                                    | 250                     | 250    |
| 130                      | 300                                    | 250                     | 250    |
| 140                      | 300                                    | 300                     | 300    |
| 200                      | 400                                    | 300                     | 300    |
| 220                      | 400                                    | 300                     | 400    |
| 250                      | 400                                    | 400                     | 400    |
| 340                      | 500                                    | 400                     | 400    |
| 380                      | 500                                    | 500                     | 500    |
| 510                      | 600                                    | 500                     | 500    |
| 530                      | 600                                    | 600                     | 600    |
| 770                      | 800                                    | 600                     | 600    |
| 870                      | 800                                    | 800                     | 800    |
| 1110                     | 1000                                   | 800                     | 800    |
| 1250                     | 1000                                   | 1000                    | 1000   |
| 1600                     | 1000                                   | 1000                    | 1000   |

Tab.9 déterminer la largeur de la bande en fonction du débit volumique

| largeur de<br>la bande<br>mm | débit d'air<br>nécessaire<br>m3/h per m |
|------------------------------|---|
| 100                          | 12                                      |
| 150                          | 18                                      |
| 200                          | 24                                      |
| 250                          | 30                                      |
| 300                          | 36                                      |
| 400                          | 48                                      |
| 500                          | 60                                      |
| 600                          | 72                                      |
| 800                          | 96                                      |
| 1000                         | 120                                     |

| m3/h | Puissance |
|------|-----------|
| 0    | 1,5       |
| 200  | 1,5       |
| 500  | 2,2       |
| 700  | 3,0       |
| 900  | 4,0       |
| 1400 | 5,5       |

Tab.11 déterminer la puissance nécessaire

Tab.10 déterminer le débit d'air fluidisé en fonction de la largeur de la toile

Le tableau suivant récapitule le calcul des éléments nécessaires constituant les Aéroglissières repérés dans le schéma du transport à la base du cahier des charges dont on dispose :

|   | A1    | A2    | A3   | A4/A5 | A6/A7 |
|---|-------|-------|------|-------|-------|
| <b>Débit</b>  | 120   | 80    | 120  | 120   | 80    |
| <b>Longueur (m)</b>                                   | 15.67 | 14.45 | 49   | 4.38  | 3.58  |
| <b>Largeur de la bande (mm)</b>                       | 250   | 200   | 250  | 250   | 200   |
| <b>Débit d'air de fluidisation (m3/h)</b>             | 480   | 360   | 1470 | 150   | 96    |
| <b>Vitesse de ventilateur de soufflage (tr/min)</b>   | 2800  | 2800  | 2800 | 2800  | 2800  |
| <b>Débit de dépoussiérage (m3/h)</b>                  | 576   | 432   | 1764 | 180   | 115   |
| <b>Nombre de ventilateurs</b>                         | 1     | 1     | 2    | 1     | 1     |
| <b>Débit d'air de chaque ventilateur (m3/h)</b>       | 480   | 360   | 735  | 735   | 96    |
| <b>Puissance installée de chaque ventilateur (kW)</b> | 1.5   | 1.5   | 3    | 1.5   | 1.5   |

### Conclusion :

L'utilisation de l'outil de calcul automatique des Aéroglissières nous a permis de maîtriser leurs caractéristiques techniques et garantir moins d'erreurs effectuées dans le dimensionnement.

## IV .Analyse comparative des deux systèmes de manutention mécanique et pneumatique :

Il s'agit de s'assurer de la pertinence de la solution proposée par L'entreprise et d'évaluer son impact énergétique et économique par rapport a la situation actuelle. Pour cela nous allons Appuyer notre étude par la relève de défaillances causées par chaque équipement et l'estimation de leur cout de maintenance relatif pour en conclure une comparaison judicieuse entre les deux systèmes de manutention.

### 1. Etude de fiabilité :

Pour l'étude de cette problématique ,on a commencé par consulter **ADAP** qui représente une fiche d'incidents causés par le matériel lui même et le **Cahier des Incidents** qui rassemble toutes les pannes possibles, même si elles sont causées par d'autres facteurs on a pris aussi les mêmes informations concernant le système de transport mécanique BK5 pour pouvoir le comparer au système pneumatique.

#### ADAP 2010

| <i>Causes</i> | <i>Désignation</i>       | <i>Désignation Sous causes</i> | <i>Heures</i> | <i>Heures Cumul</i> | <i>%</i> | <i>Fréquence</i> | <i>%</i> |
|---------------|--------------------------|--------------------------------|---------------|---------------------|----------|------------------|----------|
| 456EL33       | Elévateur sortie broyeur | Déport bande                   | 3.58          | 195.17              | 77.91    | 9                | 2.61     |
| 456EL33       | Elévateur sortie broyeur | Elévateur                      | 3.08          | 205.17              | 81.90    | 8                | 2.32     |
| 456EL33       | Elévateur sortie broyeur | Contrôleur de rotation         | 0,4           | 246.89              | 98.55    | 1                | 0,29     |

| <i>Causes</i> | <i>Désignation</i> | <i>Désignation Sous causes</i> | <i>Heures</i> | <i>Heures Cumul</i> | <i>%</i> | <i>Fréquence</i> | <i>%</i> |
|---------------|--------------------|--------------------------------|---------------|---------------------|----------|------------------|----------|
| 458PM04       | Pompe IBAU         | Compresseur pompe              | 12.08         | 92.72               | 37.01    | 14               | 4.06     |
| 458PM04       | Pompe IBAU         | Pompe Fuller                   | 1.92          | 223.07              | 89.04    | 4                | 1.16     |

| <i>Causes</i> | <i>Désignation</i> | <i>Désignation Sous causes</i> | <i>Heures</i> | <i>Heures Cumul</i> | <i>%</i> | <i>Fréquence</i> | <i>%</i> |
|---------------|--------------------|--------------------------------|---------------|---------------------|----------|------------------|----------|
| 458CP08       | Compresseur d'air  | Compresseur pompe              | 9             | 111.39              | 44.46    | 11               | 3.19     |
| 458CP08       | Compresseur d'air  | vanne                          | 0.75          | 240.14              | 95.86    | 2                | 0.58     |

Pour le Transporteur a bande, Les responsables Lafarge nous ont confirmé que les résultats n'ont révélé aucune anomalie pendant l'année 2010 !!

- ❖ Durée des arrêts totaux de l'élévateur est 8 heures
- ❖ Durée des arrêts totaux de la pompe à vis IBAU est 14 heures
- ❖ Durée des arrêts totaux du compresseur d'air est 9heures 75 min

En faisant une comparaison entre les deux systèmes de manutention on voit bien que la solution mécanique (élévateur & transporteur a bande) a une durée d'arrêt nettement inférieur à celle pneumatique (pompe à vis & compresseur).

Afin que la comparaison soit correcte et précise nous avons décidé de limiter l'étude sur le transporteur à bande et l'ensemble pompe à vis -compresseur (vue que les élévateurs et les Aéroglissières font partie des deux systèmes étudiés).

Pour cela on va utiliser les coefficients suivants :

**Temps d'ouverture = 24H\*365**

$$\text{Coefficient d'Utilisation} = \frac{\text{Nombre d'heures de marche}}{\text{Temps d'ouverture}}$$

$$\text{Coefficient de Fiabilité} = \frac{\text{Nbr H de marche} - \text{Nbr H d'arrêt sur incidents}}{\text{Nombre d'heure de marche}}$$

$$\text{Taux de défaillance} = \frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Durée d'usage}}$$

| Libellé                   | Unité    | Année 2010           |                         |
|---------------------------|----------|----------------------|-------------------------|
|                           |          | Transporteur a bande | Pompe avis +compresseur |
| Heures de marche          | H        | 6827.27              |                         |
| Coefficient d'utilisation | %        | 77.93                |                         |
| Taux de défaillance       | défaut/H | -                    | 5.86*10 <sup>-4</sup>   |
| Coefficient de fiabilité  | %        | 100                  | 99.65                   |
| Arrêts sur incidents      | H        | 0 arrêt              | 23.75                   |

.D'après les calculs établis, il est clair que la manutention mécanique du produit fini est plus fiable que la manutention pneumatique présente a l'usine ce qui confirme les attentes de Lafarge la -dessus.

## 2. Cout de la maintenance :

Les frais annuels d'entretien et de maintenance, comprennent les charges salariales ainsi que le coût du matériel de maintenance et celui de la main d'œuvre (y compris service, nettoyage et surveillance).

En raison de l'absence de l'historique des interventions effectuées au niveau des équipements concernés dans notre étude, nous a amené à consulter les agents de la maintenance de l'atelier BK5 pour rassembler toutes les informations nécessaires concernant les activités de maintenance réalisées par-dessus.

Selon les agents de la maintenance, les activités de réparation au niveau des Aéroglissières et des élévateurs sont très limitées vue leur haute performance. Par conséquent, il n'était pas nécessaire de procéder périodiquement à des travaux d'entretien d'où le coût de leur entretien est quasiment réduit. Cela n'empêche pas de citer que Le composant qui est relativement fréquemment changé dans les Aéroglissières est la toile qui a une longue durée de vie.

Cependant, les interventions effectuées au niveau de la pompe à vis et le compresseur sont assez fréquentes et requièrent un budget important. Tel que le compresseur nécessite une prestation étrangère au bout de 20000 heures de marche.

En se basant sur les données collectées (ci-dessous) d'auprès le bureau de méthodes on a pu estimer le cout de maintenance destinée au transport pneumatique sachant que ce cout estimatif comprend seulement les frais d'entretien normal prévus :

### ❖ Coût de la main d'œuvre destiné au Compresseur :

| Désignation  | Quantité | Prix unitaire       | Prix Total |
|--|----------|---------------------|------------|
| Forfait journalier révision sur site   | 6        | 13282,5             | 79695      |
| forfait journalier temps de déplacement  | 2        | 9056,25             | 18112,5    |
| Forfait jour préparation rédaction rapport   | 1        | 9056,25             | 9056,25    |
| Forfait journalier éloignement week end  | 2        | 2415                | 4830       |
| Mise à disposition outillage spécifique  | 1        | 5433,75             | 5433,75    |
| billet avion et surcharge bagage 40kg refacturer sur présentation facture +10% le billet d'avion sera pris en charge par Aerzen et refacture par Aerzen majeure de 10% | 1,00     |                     | 0,00       |
| <b>prix total de la révision du compresseur VM85"DH" HT</b>  |          | <b>117127,50 DH</b> |            |

❖ Coût des pièces de rechanges destine pour le Compresseur :

| rang                                      | code      | Désignation article         | Q  | PU    | PT               |
|---|-----------|-----------------------------|----|-------|------------------|
| 1   | 149449000 | Chapeau de palier           | 1  | 7564  | 7564             |
| 2   | 148170000 | Bague chasse goutte         | 1  | 3217  | 3217             |
| 3   | 146907000 | lanterne                    | 8  | 3709  | 29672            |
| 4   | 149265000 | douilles d'étanchéité       | 1  | 7019  | 7019             |
| 5   | 146910000 | douilles d'étanchéité       | 1  | 6842  | 6842             |
| 6   | 146911000 | douilles d'étanchéité       | 1  | 6501  | 6501             |
| 7   | 149449000 | douilles d'étanchéité       | 1  | 6597  | 6597             |
| 8   | 148170000 | lanterne                    | 4  | 3954  | 15816            |
| 9   | 146907000 | viseur d'huile              | 2  | 545   | 1090             |
| 10  | 146921000 | couronne support de RLT     | 2  | 3252  | 6504             |
| 11  | 146920000 | couronne support de RLT     | 1  | 1611  | 1611             |
| 12  | 146922000 | couronne support de RLT     | 2  | 3664  | 7328             |
| 13  | 146926000 | bague graphite bague appui  | 12 | 7073  | 84876            |
| 14  | 123205000 | RLT rouleaux CYL            | 4  | 7540  | 30160            |
| 15  | 116523000 | RLT rouleaux CYL            | 1  | 3033  | 3033             |
| 16  | 122147000 | RLT rouleaux CYL            | 1  | 4937  | 4937             |
| 17  | 119193000 | RLT rouleaux CYL            | 1  | 2201  | 2201             |
| 18  | 123203000 | RLT .a billes a contact OBL | 2  | 2530  | 5060             |
| 19  | 123204000 | RLT .a billes a contact OBL | 2  | 4340  | 8680             |
| 20  | 121941000 | RLT . A rouleaux cyl        | 1  | 1820  | 1820             |
| 21  | 122137000 | RLT a 4pints de contact     | 1  | 4937  | 4937             |
| 22  | 116868000 | joint torique               | 6  | 20    | 120              |
| 23  | 116940000 | joint torique               | 1  | 116   | 116              |
| 24  | 150402000 | joint torique               | 1  | 1157  | 1157             |
| 25  | 123548000 | joint torique               | 1  | 1270  | 1270             |
| 26  | 150374000 | joint torique               | 1  | 371   | 371              |
| 27  | 149502000 | Bague labyrinthe            | 1  | 3586  | 3586             |
| 28  | 122775000 | joint torique               | 2  | 20    | 40               |
| 29  | 119127000 | joint torique               | 2  | 49    | 98               |
| 30  | 121984000 | Ressort hélicoïdale         | 6  | 253   | 1518             |
| 31  | 148168000 | frette                      | 1  | 4416  | 4416             |
| 32  | 179273000 | valve régulatrice           | 1  | 3345  | 3345             |
| 33  | 151380000 | cartouche de rechange       | 1  | 17167 | 17167            |
| 34  | 167265000 | filtre a huile              | 1  | 1542  | 1542             |
| <b>Prix total des pièces de rechanges</b> |           |                             |    |       | <b>280211 DH</b> |

En faisant un cumul on voit que pendant 2ans et 3 mois on dépense 397338.5DH qui vaut **200 000 DH** par an.

**Remarque:**

Deux révisions pour ce compresseur après 40000 heures de fonctionnement sont équivalentes à son prix d'achat.

❖ Cout des pièces de rechanges de la pompe :

| pièces de rechange | prix          | fréquence  |
|--------------------|---------------|------------|
| Roulement (122B)   | 6500          | semestriel |
| roulement (112)    | 6500          | semestriel |
| vis de pompe       | 130000        | annuel     |
| douille d'usure    | 90000         | annuel     |
| presse étoupe      | 56000         | annuel     |
| aile finale        | 19000         | semestriel |
| <b>total</b>       | <b>308000</b> |            |

D'après le tableau on peut conclure le coût annuel d'intervention sur la pompe qui est environ de **340 000 DH**.

**Au total l'usine a besoin d'un budget de révision annuel pour le système pneumatique de 540 000 DH par an.**

❖ Cout d'entretien destine au transporteur a bande ;

En général pour un tel transporteur destiné pour acheminer le ciment vers les réservoirs de stockage, on a des interventions surtout au niveau des bavettes qui empêche la fuite du matériau par les côtés (bavette d'étanchéité latérale) ou par l'arrière qu'on doit les changé chaque semestre .Par contre les rouleaux doivent être remplacé chaque année.

Pratiquement, Le cout estimatif prévu pour ce transporteur est environ de **35 000 Dh/an**.

**Conclusion :**

D'après l'étude établie, il est clair que la rentabilité de la manutention mécanique est nettement supérieure à celle de la manutention pneumatique du ciment fini. Par conséquent, il serait judicieux d'adopter rapidement la solution mécanique.

Le tableau suivant permet de voir clairement la différence entre le transport pneumatique et le transport mécanique qui peut le remplacer :



|  | <b>Transport mécanique</b>      | <b>Transport pneumatique</b>    |
|--|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>1-Le plus performant</b>  | plus performant                 | moins performant                |
| <b>2-Consommation électrique</b>                                   | 50kW                            | 532kW                           |
| <b>4-Estimation du coût d'entretien</b>                            | 35KDh/an                        | 540KDh/an                       |
| <b>5-Sécurité aux opérateurs</b>                                   | Risque assez important          | Pas de risque                   |
| <b>6-Entretien</b>   | Facile                          | Difficile                       |
| <b>7-Redémarrage aisé du système même après un arrêt en charge</b> | Même facilité                   | Même facilité                   |
| <b>8-Nécessite une maintenance</b>                                 | Réduite                         | Assez importante                |
| <b>9-Bruits</b>  | Plus de bruit                   | Moins de bruit                  |
| <b>10-Flexibilité dans le chemin de conduite</b>                   | Flexibilité quasi illimitée     | Pas de flexibilité              |
| <b>11-Besoins de traitement de poussière</b>                       | Emet plus de poussière          | Maîtrise de poussière           |
| <b>12-L'écoulement le plus stable</b>                              | Même stabilité                  | Même stabilité                  |
| <b>13-Réduction de la dégradation du produit</b>                   | Conserve le produit en bon état | Conserve le produit en bon état |

# Conclusion

Ce stage nous a d'abord permis la découverte d'un secteur très intéressant : la cimenterie. Nous avons apprécié le travail sur un projet propre à la Conception Mécanique tel que l'étude et le dimensionnement des appareils de transport mécanique du ciment, C'était très intéressant et enrichissant de travailler sur ce sujet ! Ceci dits, nous sommes très satisfaites et ravies d'avoir participé et mené à terme ce projet de ce grand chantier. De plus, c'était une occasion pour nous de développer nos capacités d'adaptation et d'autonomie.

Nous ajouterons que ce stage de fin d'études nous a permis de mieux appréhender notre futur métier d'ingénieur, et de mettre en pratique les diverses connaissances techniques et théoriques acquises lors de notre cursus à la « FST ». Durant ces quatre mois à LAFARGE, nous avons piloté une tâche qui était propre aux sociétés de sous-traitance de LAFARGE Ainsi, nous avons acquis une vision globale des enjeux, notamment techniques et financiers.

Nous tenons à signaler que nous avons mené notre projet en suivant une démarche précise allant de la définition de la problématique jusqu'à la solution finale. Ceci s'est traduit évidemment par la mise en place d'un planning afin d'organiser notre travail et présenter les résultats à nos responsables pour les valider ou les améliorer. Ainsi, la gestion de notre projet nous a confirmé l'importance du management et de la communication au sein d'un groupe, et nous a permis d'apprendre une méthodologie de travail.

A travers ce stage, nous avons développé le sens de la communication, que ce soit avec nos collègues ou les fournisseurs. Nous avons également tissé de très bonnes relations avec l'ensemble du personnel Bureau de méthodes, et agrandi notre réseau de contacts qui nous sera très utile dans l'avenir.

Enfin, ce premier pas à LAFARGE nous a permis d'observer de près le fonctionnement d'une grande entreprise et ça nous a également aidé à développer encore plus notre sens de la responsabilité et de l'engagement. Le fait d'avoir approfondi nos connaissances dans la cimenterie pourra faire une grande différence de compétence. Autrement dit, ce projet nous paraît très utile pour l'avenir. Espérons en avoir l'occasion durant notre carrière, de devenir plus motivantes et d'y donner pleine satisfaction. Un futur ingénieur doit persévérer dans son travail, et perfectionner ses techniques afin d'exceller dans ce qu'il entreprendra lors de sa carrière.

# Bibliographie

- Ouvrage:

Rollers and components for bulk handling : **RULLI RULMECA S.p.A.**

- Sites Web :

"[http://www.bulksolidsflow.com/free\\_programs/bucket\\_elevator/bucket\\_elevator.html](http://www.bulksolidsflow.com/free_programs/bucket_elevator/bucket_elevator.html)"

"<http://www.kauman.com>"

"<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/genie-industriel-th6/logistique-ti082/manutention-mecanique-continue-de-produits-en-vrac-ag7511/>"

"<http://www.fao.org/Wairdocs/x5164F/X5164f0n.htm>"