

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

Faculté : Sciences de L'Ingéniorat

Département : Électromécanique

## MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

# AMELIORATION DES PERFORMANCES ENERGETIQUE DES CONVOYEURS A BANDE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Par : BOUCENNA Joughaina

DEVANT LE JURY

Président :	M BELHAMRA A	U.B.M. Annaba
Directeur de mémoire :	M BELHAMRA A	U.B.M. Annaba
Examineur :	M HAMDAOUI R	U.B.M. Annaba
Examineur :	M BOUAKKAZ M	U.B.M. Annaba
Examineur :	M BOUGHABA M	U.B.M. Annaba

Année 2019

*Remerciements et dédicaces*

## *Remerciement*

*Mes remerciements s'adressent en premier lieu à toutes les personnes qui ont permis le bon déroulement de ces travaux de thèse.*

*Je remercie sincèrement monsieur Ali BELHAMRA, Professeur à l'université Badji Mokhtar Annaba, pour le sujet qu'il m'a proposé, les conseils prodigués et pour la confiance qu'il m'a accordée tout au long de cette thèse et pour m'avoir orienté pendant toute la durée de ce travail et pour sa contribution à son enrichissement.*

*Je souhaite exprimer mes remerciements au madame DJOUMAA NAIMA, pour avoir « co-encadré» cette thèse de manière officieuse et qui a assuré le suivi de mes travaux en me fournissant le support scientifique et les conseils nécessaires à ma formation durant la préparation de ma thèse*

*Je remercie, Monsieur HAMDAOUI R d'avoir accepté d'être examinateur et membre de jury.*

*Je remercie chaleureusement Monsieur BOUAKKAZ M pour leur participation comme examinateurs et membre à mon jury de thèse.*

*Je remercie, Monsieur BOUGHABA M d'avoir accepté d'être examinateur et membre de jury.*

*Enfin j'accorde une mention spéciale à mon mari, ainsi que ma famille qui est une source permanente de motivation et de bonheur.*

## *Dédicaces*

*A ma mère,*

*A mon père,*

*A mon mari,*

*A mes frères et ma sœur,*

*A mes nièces*

*A toute ma famille,*

*A mes amis.*

*jouhaina*



## *Sommaire*

## SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
ملخص	
Abstract	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I. Construction des convoyeurs à bande</b>	
I.1	Introduction.....3
I.2	Types et configurations des convoyeurs à bande.....3
I.2.1	Convoyeur à rouleaux.....3
I.2.2	Convoyeur à tablier ou à palettes .....4
I.2.3	Convoyeur gravitaire.....4
I.2.4	Convoyeur à bande ou à tapis.....6
I.3	Caractéristiques techniques d'un convoyeur à bande.....6
I.3.1	Effort tangentiel.....7
I.3.2	Puissance d'entraînement.....9
I.4	Principaux composants d'un convoyeur à bande.....10
I.4.1	La bande .....10
I.4.1.1	Types de la bande transporteuse.....11
I.4.1.2	Profils de la bande.....12
I.4.1.3	La vitesse de la bande.....12
I.4.1.4	Calcul de la largeur de la bande .....13
I.4.2	Les tambours .....14
I.4.2.1	Calcul des Diamètres des tambours.....14
I.4.2.2	Tambour de commande (moteur).....15
I.4.2.3	Tambour de renvoi .....16
I.4.2.4	Tambour d'inflexion ou de contrainte .....16
I.4.3	Les rouleaux de supports.....17
I.4.3.1	Les rouleaux de supports supérieurs.....17
I.4.3.2	Les rouleaux de supports inférieurs.....18
I.4.3.3	Ecartement des rouleaux de supports.....18
I.4.4	Dispositifs de nettoyage.....19
I.4.5	Trémie.....20
I.4.6	Stations porteuses en auge ou de type guirlande .....20
I.4.7	Dispositifs de reprise de tension .....20
I.5	Propriétés physiques des produits transportés.....22
I.6	Conclusion.....23
<b>Chapitre II : Calcul de la puissance d'un convoyeur à bande</b>	
II.1	Introduction .....24
II.2	Solutions pour réduire la consommation d'énergie des convoyeurs à bande.....24
II.3	Régimes de fonctionnement des convoyeurs à bande.....26

II.3.1	Le régime stationnaire .....	26
II.3.2	Le régime transitoire .....	26
II.3.3	Contrôle de la vitesse des convoyeurs à bande.....	27
II.3.4	Contrôle de la vitesse pendant le régime transitoire.....	27
II.3.5	Risques pendant le régime transitoire.....	28
II.4	Méthode de calcul de puissance.....	29
II.4.1	Modèle énergétique basé sur le calcul de la résistance.....	29
II.4.2	Modèle énergétique basé sur la conversion d'énergie.....	31
II.4.3	Un modèle énergétique analytique.....	32
II.5	Conclusion.....	34

### **Chapitre III. Solutions pour réduire la consommation énergétique d'un convoyeur à bande**

III.1	Introduction.....	35
III.2.	Les méthodes d'amélioration de l'efficacité énergétique des convoyeurs à Bande.....	35
III.2.1	Méthode d'ajustement de la vitesse.....	35
III.2.1.1	Principe du contrôle de la vitesse.....	35
III.2.1.2	Conditions préalables du système de contrôle de vitesse.....	36
III.2.1.2	a- Les variateurs de la vitesse.....	37
III.2.1.2	b-Dispositif de détection de débit du matériau.....	39
III.2.2	Méthode de puissance paramétrique basée sur les résistances.....	40
III.2.2.1	Modèle de convoyeur .....	40
III.2.2.2	Résistances des convoyeurs.....	40
III.2.2.2	(a) Résistance principale (primaire) $F_H$ .....	41
III.2.2.2	(b) Résistance spéciale $F_S$ .....	42
III.2.2.2	(c) Résistance secondaire $F_N$ .....	43
III.2.2.3	Modélisation de la consommation énergétique (puissance) du convoyeur à bande .....	43
III.2.2.4	Algorithme de model d'énergie propose.....	46
III.2.3	Méthode de modélisation de la charge .....	47
III.3	Conclusions.....	49
	Conclusion général.....	50
	Bibliographie	

*Liste des figures*

## Liste des figures

### Chapitre I. Construction des convoyeurs à bande

Figure I.1	Convoyeur des rouleaux .....	4
Figure I.2	Convoyeur à palettes .....	4
Figure I.3	Convoyeur gravitaire droit.....	5
Figure I.4	Convoyeur gravitaire courbé .....	5
Figure I.5	Convoyeur gravitaire pivotant.....	6
Figure I.6	Schéma d'un convoyeur à bande incliné.....	6
Figure I.7	les Forces de traction exercées sur la bande en opération d'accélération...	8
Figure I.8	principaux éléments d'un convoyeur à bande .....	10
Figure I.9	Bande multi-plies à armatures en textile.....	10
Figure I.10	Coupe transversale de la bande transporteuse.....	11
Figure I.11	La largeur de la bande .....	13
Figure I.12	Emplacement des tambours.....	14
Figure I.13	Tambour de commande .....	16
Figure I.14	Tambour de renvoi.....	16
Figure I.15	Tambour d'inflexion .....	17
Figure I.16	Rouleau porteur de la bande.....	17
Figure I.17	Ecartement des rouleaux des supports.....	18
Figure I.18	Types des stations porteuses.....	20
Figure I.19	Dispositif de reprise de tension à vis.....	21
Figure I.20	Utilisation d'un contre poids.....	21

### Chapitre II. Calcul de puissance d'un convoyeur à bande

Figure II.1	Les régimes stationnaires de convoyeur à bande .....	26
Figure II.2	Le régime transitoire du convoyeur à bande (cyclo gramme) .....	27
Figure II.3	Convoyeur à bande typique.....	29

### Chapitre III. Solution pour réduire la consommation énergétique des convoyeurs à bande

Figure III.1	Principe du contrôle de la vitesse.....	36
Figure III.2	Variateur de la vitesse à courroie trapézoïdale.....	38
Figure III.3	Variateur de la vitesse à engrenage.....	38
Figure III.4	Variateur de vitesse à fréquence variable.....	39
Figure III.5	Les outils de mesures de débit du matériau .....	39
Figure III.6	Schéma simplifié d'un convoyeur à bande.....	40
Figure III.7	Puissance maximal calculé dans les deux model.....	46
Figure III.8	Propriété en forme de vague du flux de matériau sur le convoyeur à bande	47
Figure III.9	Déplacement de la charge sur le convoyeur.....	48

*Liste des tableaux*

## Liste des tableaux

Tableau I .1	Largeur minimale de la bande .....	13
Tableau I .2	Diamètres minimaux recommandés pour les tambours.....	15
Tableau I .3	Ecartement entre les rouleaux des supports.....	19
Tableau I .4	Propriétés physiques des produits transportés .....	22
Tableau III .1	Contribution à la consommation totale d'énergie .....	45

## *Résumé*

### **Résumé :**

Avec l'augmentation du prix de l'électricité, la demande croissante en énergie nécessite une meilleure compréhension des applications des modèles pour réduire les consommations de l'énergie des convoyeurs à bande, pour cela nous proposons trois approches pour réduire la consommation énergétique générique des convoyeurs à bande.

Les convoyeurs à bande sont généralement surdimensionnés lors de la conception pour prendre en compte les extensions de capacité prévues et parfois pour normaliser la taille des composants afin de réduire les coûts de maintenance.

Lors de leur chargement les convoyeurs peuvent subir un chargement irrégulier de la bande, de sorte que le débit global du matériau est variable.

La modélisation des convoyeurs à bande porte sur la modélisation dynamique de la tension de la courroie, de ses propriétés élastiques et de la modélisation de différents types de résistances.

Cependant, les modèles proposés sont capables de prendre en considération avec précision les quantités de matériau chargées sur chaque section de la bande transporteuse et par conséquent estimer la valeur précise de la puissance requise pour le transporteur.

ملخص

مع ارتفاع أسعار الكهرباء ، يتطلب الطلب المتزايد على الطاقة فهماً أفضل لتطبيقات النماذج لتقليل استهلاك أحزمة النقل للطاقة ، لذلك نقتراح ثلاثة طرق لتقليل الاستهلاك العام للطاقة الحزام الناقل.

عادةً ما تكون وحدات النقل ذات الأحزمة كبيرة الحجم في التصميم لاستيعاب توسعات السعة المخططة وأحياناً لتوحيد أحجام المكونات لتقليل تكاليف الصيانة.

عند تحميل الناقلات ، يمكن أن يخضع التحميل غير المتكافئ للشريط ، بحيث يكون التدفق الكلي للمادة متغيراً.

يركز نمذجة حزام النقل على النمذجة الديناميكية لشد الحزام والخصائص المرنة ونمذجة أنواع مختلفة من المقاومات .

ومع ذلك ، فإن النماذج المقترحة قادرة على النظر بدقة في كميات المواد المحملة على كل قسم من حزام الناقل ، وبالتالي تقدير القيمة الدقيقة للطاقة المطلوبة للناقل

**الكلمات المفتاحية:** الاحزمة الناقلية, التشخيص, المراقبة, عامل الشد, نقل القوى

*Abstract*

**Abstract:**

With the rising price of electricity, the increasing demand for energy requires a better understanding of the applications of the models to reduce the energy consumption of conveyor belts, for that we propose three approaches to reduce the generic energy consumption of belt conveyors.

Belt conveyors are typically oversized in design to accommodate planned capacity expansions and sometimes to standardize component sizes to reduce maintenance costs.

When loading the conveyors can undergo uneven loading of the band, so that the overall flow of the material is variable.

Belt conveyor modeling focuses on dynamic modeling of belt tension, elastic properties and modeling of different types of resistors.

However, the proposed models are capable of accurately considering the quantities of material loaded on each section of the conveyor belt and therefore estimate the precise value of the power required for the conveyor.

## *Introduction générale*

### **Introduction général**

Les convoyeurs à bande jouent un rôle important dans le transport continu de matériaux solides en vrac [15].

Selon les exigences actuelles, les constructions des convoyeurs à bande sont développés par l'augmentation de débits des matériaux, l'utilisation des systèmes d'entraînement électriques pour garantir la régularité de la mise en marche, la régularité de la vitesse de rotation des tambours moteurs avec la vitesse de déplacement de la bande en fonction de la charge réelle pour éviter la rupture de la bande transporteuse...etc. [21].

L'exploitation rationnelle des convoyeurs à bande est une mission complexe car elle dépend de plusieurs paramètres qui passent en premier lieu par une bonne maintenance du système électromécanique de toutes les parties en mouvement, et la création de condition dynamiques acceptables lors des processus transitoires, processus, durant laquelle la bande subissant des tensions supplémentaires en plus du patinage.

Ce qui accélère la fatigue et la déchirure de la bande, surtout que le prix de la bande seule représente 60% des prix de l'installation [5].

Les convoyeurs à bande à grande échelle consomment une quantité considérable d'électricité [9].

Au cours des dernières décennies, plusieurs solutions d'économie d'énergie ont été proposées pour réduire la consommation d'énergie des convoyeurs à bande [9], [10].

Quelques études portent sur la dynamique des convoyeurs à bande en fonctionnement transitoire, Il n'y a cependant aucune étude décrivant le fonctionnement des convoyeurs à courroie à vitesse contrôlée pendant le fonctionnement transitoire [12], [16].

Les recherches actuelles sur le contrôle de la vitesse pour les convoyeurs à bande se concentrent principalement sur le calcul et la prévision des économies d'énergie possibles [14].

La norme DIN (spécialement DIN 22101) suggère que des économies d'énergie considérables peuvent être réalisées en abaissant la vitesse du convoyeur et en améliorant l'utilisation de la courroie [4].

Dans cette thèse les risques potentiels en fonctionnement transitoire sont discutés, les risques comprennent principalement la rupture de la bande dans la zone des jonctions, le glissement de la bande autour de tambour d'entraînement ou de frein, la surchauffe du moteur et le déversement de matériaux [4].

Pour éviter les risques mentionnés et réaliser un fonctionnement transitoire approprié avec un temps d'accélération minimum il faut appliquer une méthode de contrôle de la vitesse adaptée, cette méthode tient compte à la fois des risques potentiels et de la performance dynamique du convoyeur à bande [4].

Dans ce contexte, le mémoire comporte trois chapitres ; Le premier présente une synthèse sur les types et les configurations des convoyeurs, les différents types de produits à transporter ainsi les caractéristiques techniques d'un convoyeur à bande et les différents composants et leurs dénominations et dimensions.

Le deuxième chapitre propose les différentes solutions pour réduire la consommation d'énergie et le contrôle de la vitesse dans les opérations transitoires, ainsi que la détermination de différentes méthodes de calcul de puissance.

Le troisième chapitre propose des méthodes d'amélioration de l'efficacité énergétique des convoyeurs à bande et une méthode d'ajustement de la vitesse, et les conditions préalables du système de contrôle de vitesse et aussi la méthode de puissance paramétrique basée sur la résistance, à la fin, On propose un modèle énergétique avec deux paramètres basés sur les résistances de courroie,

## *Chapitre I*

### *Construction des convoyeurs à bande*

## **I.1 Introduction**

Le convoyeur à bande est un outil de manutention automatique qui permet de déplacer des produits finis ou bruts d'un poste à un autre par le mécanisme de transmission de puissance.

Cette dernière est transmise d'un arbre moteur vers un ou plusieurs arbres récepteurs par l'intermédiaire de courroies ou de chaînes.

Le produit ou la marchandise étant placée sur une bande (reliée à la chaîne ou à la courroie) ou sur une tôle, se déplace d'une manière uniforme dans un circuit fermé. La vitesse de déplacement est relative à la vitesse de rotation du moteur et peut être réduite ou augmentée selon la volonté de l'opérateur en tenant compte de quelques paramètres tels que la productivité, la cadence de production, etc.

Ils sont aussi employés dans notre vie quotidienne telle que l'escalier mécanique qui fait partie de la même famille.

Le rôle du convoyeur à bande est de remplacer le travail de l'ouvrier qui trouve beaucoup de peine à accomplir ces tâches d'où l'influence sur la productivité [1]

## **I.2 Types et configurations des convoyeurs à bande**

En choisissant un convoyeur, il faut tenir compte des facteurs suivants :

- L'inclinaison du convoyeur
- La densité des matériaux
- La granulométrie du produit à transporter
- Le coefficient de frottement entre le matériau et le revêtement supérieur de la bande
- Les conditions environnementales (humidité, température et autres [4])

Les convoyeurs sont classés d'après leurs moyens de manutention, généralement on distingue les convoyeurs suivants :

### **I.2.1 Convoyeur à rouleaux**

Dans ce cas, le déplacement des charges se fait à l'aide des rouleaux. Ces derniers sont entraînés généralement soit par des pignons et chaînes, soit par pignons et courroies crantées ou bien par roue et corroie.

Ce type de convoyeur accepte des charges considérables. (Figure I.1).



*Figure I.1 Convoyeur à rouleaux.*

### **I.2.2 Convoyeur à tablier ou à palettes**

Ce genre de convoyeur est destiné à transporter des palettes. Le transport de ces dernières se fait soit avec des rouleaux qui peuvent être mécanisés ou gravitaires (figure I.2), soit avec des chaînes montées sur les deux extrémités du convoyeur.



*Figure I.2 Convoyeur à palettes.*

### **I.2.3 Convoyeur gravitaire**

Même définition que le convoyeur à rouleaux, mais dans ce cas les rouleaux ne sont pas entraînés car il n'y a pas de motoréducteur. Donc, pour assurer le fonctionnement, il faut prévoir des pentes.

Il existe plusieurs types de convoyeurs gravitaires :

- Transporteur gravitaire droit (figure I.3).



*Figure I.3 Convoyeur gravitaire droit.*

- Transporteur gravitaire courbé (figure I.4).



*Figure I.4 Convoyeur gravitaire courbé*

- Transporteur gravitaire pivotant (figure I.5).



Figure I.5 Convoyeur gravitaire pivotant.

### I.2.4 Convoyeur à bande ou à tapis

Dans ce type de convoyeur, les produits ou les charges en général sont transportés à l'aide d'une bande qui s'enroule uniformément sur un arbre moteur qui est relié au motoréducteur et un arbre récepteur. Il permet de transporter des charges assez importantes avec un fonctionnement silencieux. (Voir figure : I.6).

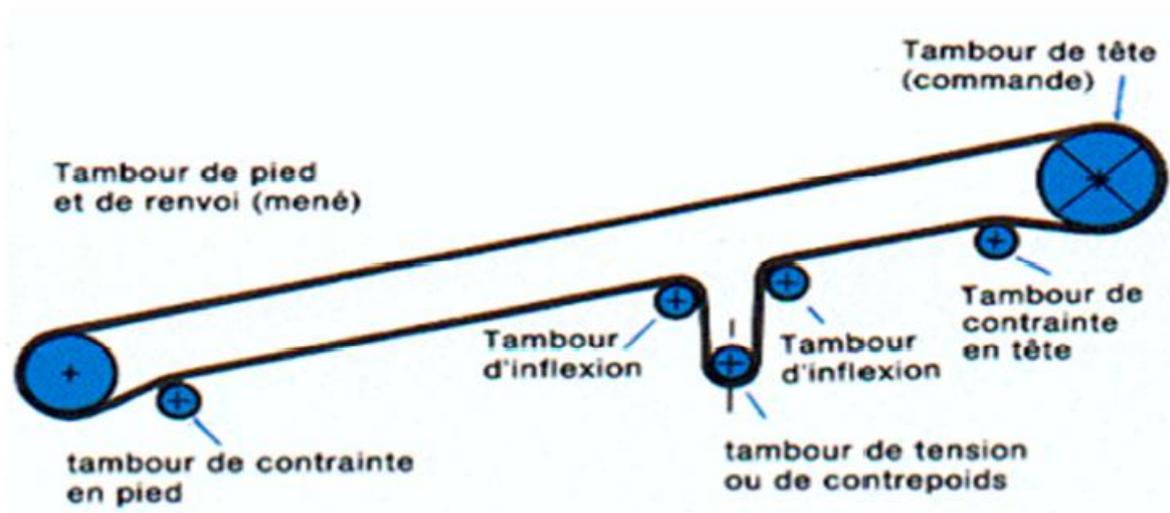


Figure I.6 Schéma d'un convoyeur à bande incliné

### I.3 Caractéristiques techniques d'un convoyeur à bande

Un convoyeur à 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 bande en élastomère dont la fonction est double :

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

Le convoyeur à bande est conçu pour transporter des produits en continu sur la face supérieure de la bande, les surfaces de la bande sont en contact avec une série de rouleaux montés sur le châssis du convoyeur en un ensemble appelé : 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'entraînement pour transmettre le mouvement.[1]

### **I.3.1 Effort tangentiel**

Les forces tangentielles sont engendrés au niveau des tambours d'entraînement, qu'ils exercent un effort de traction ou de retenue, et sont transmises à la bande pour vaincre toutes les forces agissant sur celle-ci.

Il faut d'abord calculer l'effort tangentiel total  $F_U$  sur le pourtour du tambour d'entraînement.

Il doit vaincre la résistance au roulement et il est la somme des efforts suivant :

-effort nécessaire pour déplacer la bande chargée: doit surmonter les forces de frottement engendrées par les stations supports supérieures et inférieures, les tambours de renvoi et de contrainte, etc.;

- effort nécessaire pour vaincre la résistance au déplacement horizontal du produit;

- effort nécessaire pour élever le produit à la hauteur requise (dans le cas d'une descente, l'effort engendré par la masse modifie la puissance résultante);

- effort nécessaire pour vaincre les résistances secondaires, lorsqu'il y a des accessoires.

(Dispositifs mobiles de déchargement, chariots-verseurs, dispositifs de nettoyage, racleurs, rives de guidage caoutchoutées, dispositifs de retournement etc.

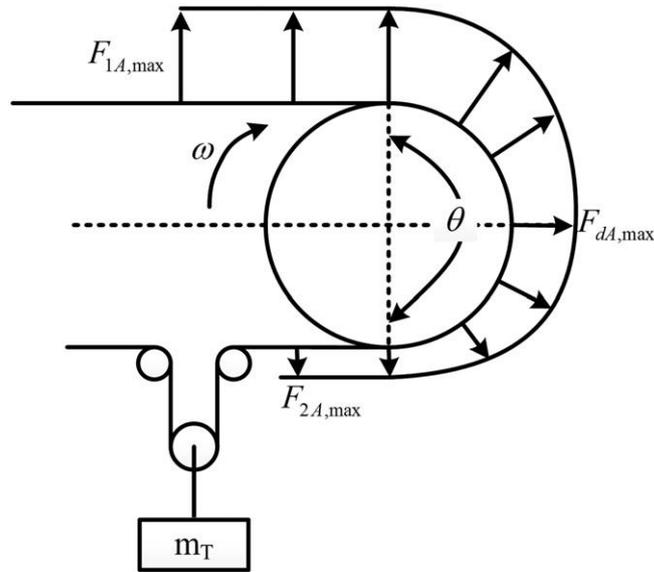


Figure I.7 les Forces de traction exercées sur la bande en opération d'accélération.

On obtient l'effort tangentiel total  $F_U$  sur le pourtour du tambour d'entraînement à l'aide de la forme suivante :

$$F_U = [ L \times C_q \times C_t \times f ( 2 q_b + q_G + q_{RU} + q_{RO} ) \pm ( q_g H ) ] \times 0.981 \quad (I.1)$$

Où :

$L$  = entre axe du convoyeur (m)

$C_q$  = coefficient de résistance fixe (accessoires)

$C_t$  = coefficient de résistance passive

$f$  = coefficient de frottement des pièces tournantes (stations-supports)

$q_b$  = poids de la bande métrique en Kg/m (somme du poids du revêtement et de celui de la carcasse)

$q_G$  = poids du produit transporté métrique Kg/m

$q_{RU}$  = poids des parties tournantes inférieures en Kg/m

$q_{RO}$  = poids des parties tournantes supérieures en Kg/m

$H$  = variation de la hauteur de la bande.

Lorsqu'il est nécessaire de calculer ces efforts pour un convoyeur dont la hauteur est variable, on s'aperçoit que l'effort tangentiel total est constitué des efforts  $F_a$  (effort tangentiel pour déplacer la bande du brin supérieur) et des efforts moins importants  $F_r$  (effort tangentiel sur le brin inférieur) qui sont nécessaires pour déplacer une section uniforme de la bande du convoyeur ce qui donne [3] :

$$F_U = (F_{a1} + F_{a2} + F_{a3} \dots) + (F_{r1} + F_{r2} + F_{r3} \dots) \quad (I.2)$$

Où :

$F_a$  = effort tangentiel pour déplacer une section du brin supérieur

$F_r$  = effort tangentiel pour déplacer une section du brin inférieur

### **I.3.2 Puissance d'entraînement**

La puissance d'entraînement nécessaire d'un transporteur, qui doit être transmise à la bande par un seul ou simultanément par plusieurs tambours.

Le convoyeur à bande est caractérisé par la puissance de son moteur d'entraînement, environ de 95 % de cette puissance est transformée en tension effective sur la bande.

Les deux facteurs, puissance du moteur et tension sur la bande sont d'une importance capitale pour le bon fonctionnement du convoyeur et le contrôle de la charge. Si la puissance et la tension ne sont pas correctement synchronisées, les matériaux peuvent se déverser et auront à la fois une incidence sur la durée de vie de la bande et sur les autres éléments du convoyeur comme il peut y avoir des répercussions sur la sécurité de l'ensemble [6].

La puissance du moteur permet de :

- Vaincre la résistance attribuable au passage de la charge sur les rouleaux porteurs.
- Déplacer la charge en montée ou en descente.
- Accélérer le matériau à la vitesse de la bande au point de chargement.
- Accélérer ou de décélérer la charge et les parties en mouvement, même dans les conditions les plus sévères (matériaux et courroie gelés) au moment du démarrage.[3]

La norme ISO/DP9856 obéit à une puissance d'entraînement déterminé par la formule suivante :

$$P = \frac{F_U \cdot V}{100 \cdot \eta} [\text{kw}] \quad (I.3)$$

Où

$F_u$  : Effort tangentiel total

$V$  : La vitesse de la bande

$\eta$  : Le rendement de système du convoyeur

#### I.4 Principaux composants d'un convoyeur à bande

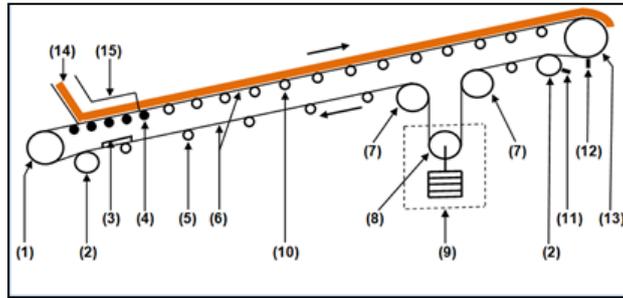


Figure I.8 principaux éléments d'un convoyeur à bande [12]

- (1) Tambour de renvoi
- (2) Poulie souple (en tête et en queue)
- (3) Nettoyeur de courroie interne (racleur de courroie interne)
- (4) Poulies à choc (rouleaux à impact)
- (5) Retour de rouleaux (rouleaux de renvoi)
- (6) Courroie
- (7) Poulies de contrainte
- (8) Poulie releveuse
- (9) Tendeur contre poids
- (10) les rouleaux du support (rouleaux porteurs)
- (11) Nettoyeur de poulie (racleur de poulie)
- (12) Nettoyeur de courroie externe (racleur de courroie externe)
- (13) La poulie d'entraînement
- (14) Matériaux
- (15) Trémie

##### I.4.1 La bande

Le principe de fonctionnement est de transporter le matériau de la queue jusqu'à la tête du convoyeur, la bande est sans doute la partie la plus importante du convoyeur, Il faut donc la choisir avec la plus grande attention, en étudiant d'abord les ressources nécessaires pour le choix de la bande tel que le type de matériau convoyé ,capacité volumétrique de la bande, vitesse de la bande, l'angle d'inclinaison du convoyeur, la puissance et la tension maximale de moteur et l'environnement de travail,...etc. [7].

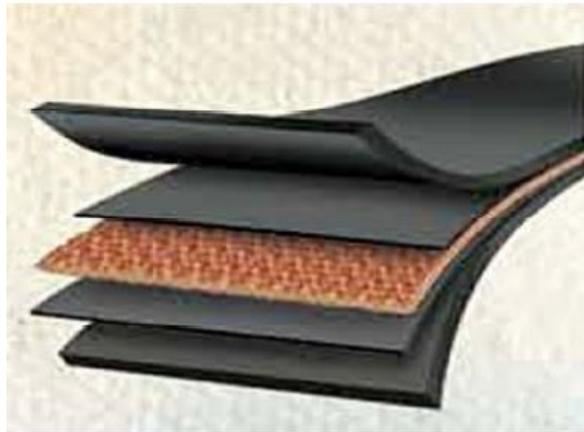


Figure.I.9 Bande multi-plis à armatures en textile

#### I.4.1.1 Types de la bande transporteuse

Il existe deux types des bandes transporteuse : les bandes continues et les bandes discontinues.

-**Les bandes continues** sont composées des morceaux des bandes mesurant entre 100 à 300m assemblés pour former une bande de plusieurs kilomètres de longueur.

-**Les bandes discontinues** sont composées d'éléments de faible longueur (quelques cm) assemblés telle une chaîne, la longueur de la bande est proportionnelle au nombre de maillon qui la compose il dépend exclusivement de son utilisation [8].

La bande est un élément complexe, elle est composée de deux parties :

- Partie textile qui transmet les efforts et celle qui est en contact avec l'extérieur.
- Partie souple en PVC ou en un composite PVC-caoutchouc qui sert à protéger le renfort textile des chocs ainsi que de l'abrasion produits par la marchandise transportée comme l'illustre dans la figure (I.10).

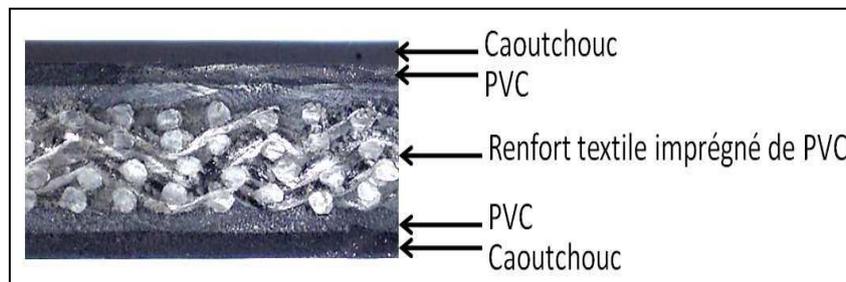


Figure I.10 Coupe transversale de la bande transporteuse [8]

#### **I.4.1.2 Profils de la bande**

Est définie comme étant la combinaison du type de la bande (plate, en auge, avec un bord de contenance, en sandwich, ronde, carrée, etc.) et des caractéristiques de sa face externe (lisse, nervurée, à tasseaux, à godets, etc.).

De ce fait, le profil de la bande a des répercussions sur la conception des dispositifs mécaniques requis pour assurer le bon fonctionnement du convoyeur (grattoirs, rouleaux, tambours, etc.) et des incidences sur la sécurité au cours de l'utilisation et de l'entretien du convoyeur [9].

#### **I.4.1.3 La vitesse de la bande :**

La vitesse maximale d'un convoyeur à bande a atteint des limites qui étaient inimaginables il y a quelques années, ces vitesses très élevées ont permis d'augmenter considérablement les volumes transportés.

Les caractéristiques physiques du produit à manutentionner sont l'élément déterminant pour le calcul de la vitesse de la bande car les produits légers, tels que les céréales, la poussière ou les fines de minerais, permettent d'utiliser des vitesses élevées. Par contre, une granulométrie, une abrasivité ou une masse volumique plus importantes nécessitent de réduire la vitesse de la bande transporteuse [3].

##### **❖ Vitesse élevée**

Les effets positifs sont :

- Permet de transporter plus de matériau
- Lorsque les facteurs liés à cette vitesse élevée sont pris en compte, cela réduit aussi les risques de déversement.

Les effets négatifs sont :

- Peut entraîner l'émission de poussière, de déversement et la projection des charges isolées.
- Risque de choc et de coincement avec les charges isolées ou les agrégats.
- Si le convoyeur est en montée, la vitesse a pour effet de faire glisser ou chuter les matériaux (surtout les agrégats et les matériaux sphériques) vers l'arrière [10].

##### **❖ Vitesse faible**

Les effets positifs sont :

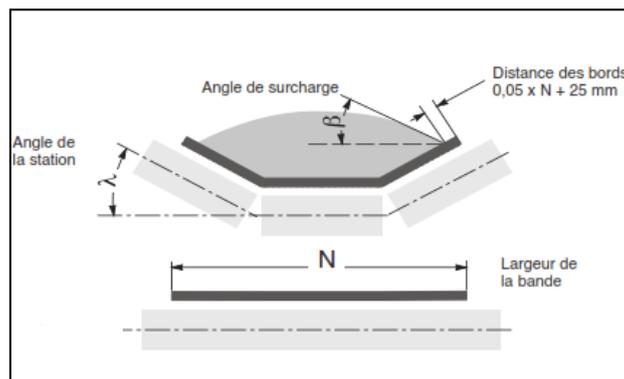
- Limite l'émission de poussière ainsi que les déversements.

Les effets négatifs sont :

- Si la vitesse du convoyeur est trop faible par rapport au débit de la trémie d'alimentation, il y aura surcharge du convoyeur ainsi que des déversements.

#### **I.4.1.4 La largeur de la bande**

Une augmentation de la largeur de la bande augmente significativement le volume de matériau transporté car une bande de bonne largeur permettra la ségrégation des matériaux fins et le contrôle du mouvement des agrégats, l'utilisation d'une bande bien dimensionnée en permet d'éviter les déversements et la chute d'agrégats [8].



*Figure I.11 La largeur de la bande [15]*

La largeur de la bande avec le plus grand angle correspond à une augmentation du débit volumique. Cette largeur est essentiellement déterminée en fonction de la quantité de produit transporté et en fonction de sa charge de la rupture et de l'inclinaison des rouleaux du support, comme il est indiqué dans la figure (I.11).

D'après la norme ISO/DP9856 la largeur optimale recommandée d'une bande transporteuse est indiqué dans le tableau I.1.

**Tableau I.1 Largeur minimale de la bande [3]**

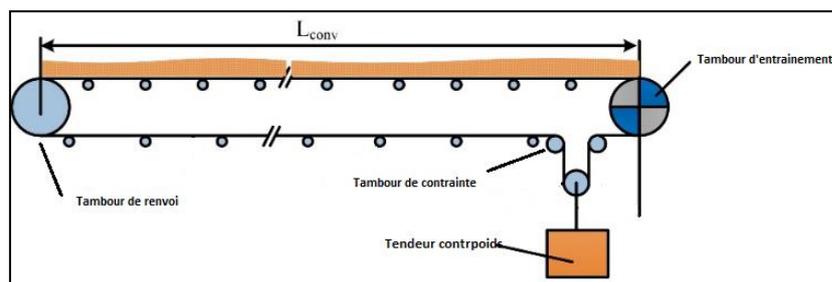
Largeur minimale de la bande en fonction de sa charge de rupture et de l'inclinaison des rouleaux			
Charge de rupture [N/mm]	Largeur de la bande [mm]		
	Inclinaison des rouleaux [°]		
	$\lambda=20/25^\circ$	$\lambda=30/35^\circ$	$\lambda=45^\circ$
400	400	400	450
500	450	450	500
630	500	500	600
800	500	600	650
1000	600	650	800
1250	600	800	1000
1600	600	800	1000

### **I.4.2 Les tambour**

Selon leur emplacement sur le convoyeur, les tambours doivent résister aux forces exercées à la fois par la tension de la bande et par le produit transporté et pour un maximum d'efficacité, tant pour le remplacement d'un tambour que pour une nouvelle installation, les données suivantes permettent de déterminer les dimensions et les caractéristiques de la construction parce qu'ils sont indispensables pour le choix d'un tambour [3].

Les principales données nécessaires à la conception d'un tambour sont les suivantes :

- Largeur de la bande
- Diamètre du tambour en fonction du type et des caractéristiques de la bande
- Mode de fixation de l'axe au tambour (bague de verrouillage, clavette, soudage)
- Emplacement du tambour (tambour de commande, de renvoi ou de contrainte) comme le montre dans la figure(I.12)
- Angle d'enroulement de la bande sur le tambour d'entraînement  $\alpha$
- Tensions de la bande  $T_1, T_2$



*Figure I.12 Emplacement des tambours [11]*

#### **I.4.2.1 Calcul des Diamètres des tambours**

Un diamètre correct de tambour d'entraînement minimise les contraintes dans la bandeau niveau des jonctions, un grand angle d'enroulement autour du tambour moteur permet de réduire la tension globale dans la bande, ce qui permet la réduction du diamètre des tambours de contrainte.

Le dimensionnement du diamètre d'un tambour d'entraînement dépend étroitement du type de la bande utilisée.

Le tableau I.2 indique les diamètres minimaux recommandés par rapport au type de la bande utilisée, pour éviter son endommagement comme la séparation au niveau des jonctions ou déchirure de l'armature [3].

**Tableau I.2** *Diamètres minimaux recommandés pour les tambours*

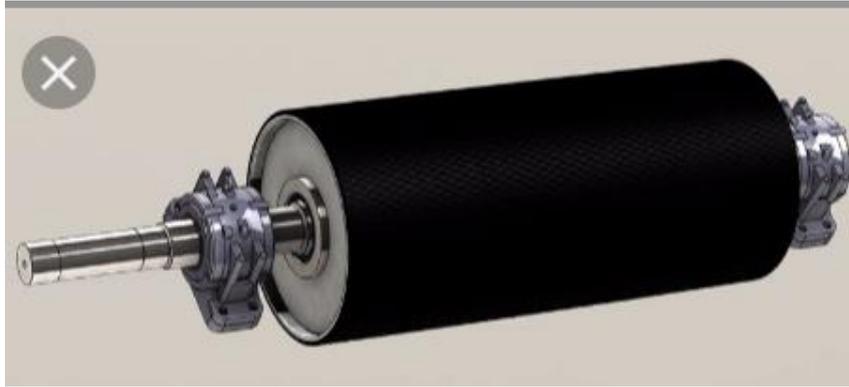
Diamètres minimaux recommandés pour les tambours						
Charge de rupture de la bande [N/mm]	Bande à armature textile			Bande à armature métallique		
	tambour commande [mm]	tambour renvoi [mm]	tambour contrainte [mm]	tambour commande [mm]	tambour renvoi [mm]	tambour contrainte [mm]
200	200	160	125	–	–	–
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

#### **I.4.2.2 Tambour de commande (moteur)**

Lié directement par son axe au motoréducteur, le tambour de commande ou le tambour moteur, entraîne directement la bande. Sa surface peut être lissée en finition normale ou avoir un revêtement en caoutchouc dont l'épaisseur est calculée en fonction de la puissance à Transmettre.

Ce revêtement permet une meilleure adhérence à la bande et évite l'usure prématurée de la surface du tambour.

Le diamètre du tambour est dimensionné en fonction de la catégorie et du type de bande, ainsi que des pressions exercées sur sa surface.



*Figure I.13 Tambour de commande*

### **I.4.2.3 Tambour de renvoi**

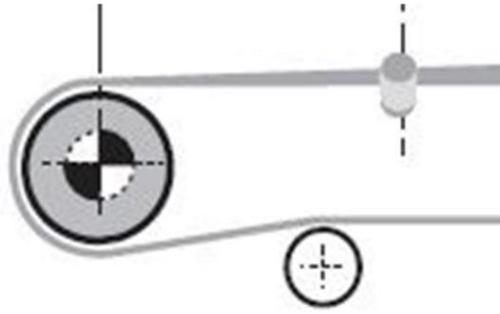
Positionné au pied de l'ossature, le tambour de renvoi sert à tendre la bande, sa surface est dans la plus part des cas revêtue. Son diamètre est normalement inférieur à celui prévu pour le tambour moteur.



*Figure I.14 Tambour de renvoi*

### **I.4.2.4 Tambour d'inflexion ou de contrainte**

Ils servent à augmenter l'arc d'enroulement de la bande et d'une manière générale, ils sont utilisés dans tous les cas où il est nécessaire de dévier la bande au niveau des dispositifs de tension à contrepoids, des appareils de déchargement mobiles... etc.



*Figure I.15 Tambour d'inflexion*

### **I.4.3 Les rouleaux de supports**

Ce sont les composants les plus importants du convoyeur et ils représentent une part considérable de l'investissement total, comme ils réduisent la résistance au mouvement de la bande chargée et la soutiennent en produisant un mouvement doux et sans heurt.

On distingue deux types des rouleaux de supports sur un convoyeur à bande :

- Les rouleaux de supports supérieurs
- Les rouleaux de supports inférieurs



*Figure I.16 Rouleau porteur de la bande*

#### **I.4.3.1 Les rouleaux de supports supérieurs**

Ils soutiennent la bande et tournent librement et facilement sous la charge, certains rouleaux porteurs peuvent aussi servir à amortir les impacts, à aligner la bande, à la former en auge ou à en changer la direction, sur la plupart des convoyeurs à bande, les rouleaux du

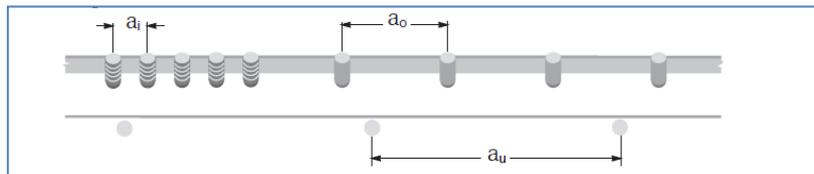
support porteurs ont une configuration en auge pour que la bande puisse transporter maximum de produit.

#### **I.4.3.2 Les rouleaux de supports inférieurs**

Les rouleaux de supports inférieures qui soutiennent la bande non chargée à son retour, peuvent comporter un seul rouleau sur toute la largeur ou bien deux rouleaux formant un "V" et inclinés à  $10^\circ$ .

#### **I.4.3.3 Ecartement des rouleaux de supports**

L'écartement des rouleaux de supports est la distance qui sépare deux rouleaux porteurs supérieures ou bien celles qui portent le brin inférieur de la bande transporteuse, comme l'indique la figure (I.17) elles sont respectivement  $a_0$ ,  $a_u$ . On définit l'écartement des rouleaux de supports selon la largeur de la bande et la masse volumique du produit à transporter.



*Figure I.17 Ecartement des rouleaux des supports [14]*

La distance entre deux rouleaux des supports la plus couramment utilisée pour le brin supérieur d'un convoyeur à bande est **1** mètre, alors que pour le brin inférieur les rouleaux sont normalement espacés de **3** mètres [3].

Le tableau I.3 indique les différentes valeurs de l'écartement maximal préconisé selon la largeur de la bande et la masse volumique du produit transporté

**Tableau I.3 Ecartement entre les rouleaux des supports**

Largeur de la bande [mm]	Ecartement maximal préconisé entre les stations [m]			
	Ecartement des rouleaux supérieurs Selon la masse volumique du produit transporté [t/m <sup>3</sup> ]			Rouleaux inférieures [m]
	<1.2 t/m <sup>3</sup>	De 1.2 à 2.0 t/m <sup>3</sup>	> 1.2 t/m <sup>3</sup>	
800	1.5	1.35	1.25	3.0
1000	1.35	1.20	1.10	3.0
1200 1400 1600 1800	1.2	1.00	0.80	3.0

L'écartement des rouleaux supérieures situés au niveau du point de chargement  $a_i$  est réduit par rapport à l'écartement des rouleaux supérieures  $a_0$  de moitié ou plus pour éviter toute incurvation excessive de la bande transporteuse et son débordement.

D'après le tableau I.3 si on trouve que la largeur de la bande est de : 1600 mm, on a Ecartement des rouleaux supérieures  $a_0 = 1,20$  m

Ecartement des rouleaux inférieures  $a_u = 3,0$  m

On aura donc :

$$a_i = \frac{a_0}{3} = 0,4m \quad (I.4)$$

Le fléchissement de la bande entre deux rouleaux porteurs ne doit pas dépasser 2% de la distance qui les sépare, un fléchissement plus important entraîne un déversement du produit pendant le chargement et favorise des forces de frottement excessives pendant le déplacement de la bande en raison de la manipulation du produit transporté.

Il en résulte non seulement une augmentation de la puissance consommée, mais également des efforts exercés sur les rouleaux, et d'une manière générale une usure prématurée de la surface de la bande [9], [3].

#### **I.4.4 Dispositifs de nettoyage**

L'enlèvement et le raclage des matériaux qui collent aux deux faces de la bande ou sur le tambour, il prend souvent la forme d'un grattoir ou d'une brosse, le système de nettoyage de la bande doit faire l'objet d'une attention toute particulière de manière à réduire la fréquence des opérations de maintenance et permet au convoyeur d'atteindre un maximum de productivité notamment lorsque la bande transporte des produits humides ou collants.

#### **I.4.5 Trémie**

La trémie est conçue pour faciliter le chargement et le glissement du produit en absorbant les chocs de la charge et en évitant les colmatages et l'endommagement de la bande. Elle permet un chargement immédiat du produit et résout les problèmes d'accumulation. L'inclinaison des parois doit être fonction de la manière dont le produit tombe, de sa trajectoire, ainsi que de la vitesse du convoyeur. La granulométrie et la masse volumique du produit, ainsi que ses propriétés physiques, telles que humidité, corrosion, etc. ont également leur importance pour la conception.

#### **I.4.6 Stations porteuses en auge ou de type guirlande**

Les rouleaux porteurs sont généralement fixés sur des pattes de fixation soudées à une traverse ou un support. L'angle d'inclinaison des rouleaux latéraux varie entre  $20^\circ$  et  $45^\circ$ . On peut également obtenir des angles de  $60^\circ$  avec une suspension de type "guirlande".



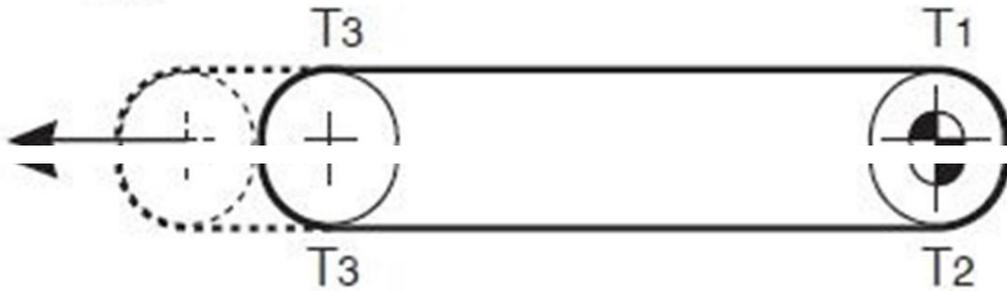
*Figure I.18 Types des stations porteuses*

- A. Station porteuse en auge à trois rouleaux
- B. Station porteuse sous forme d'une guirlande

#### **I.4.7 Dispositifs de reprise de tension**

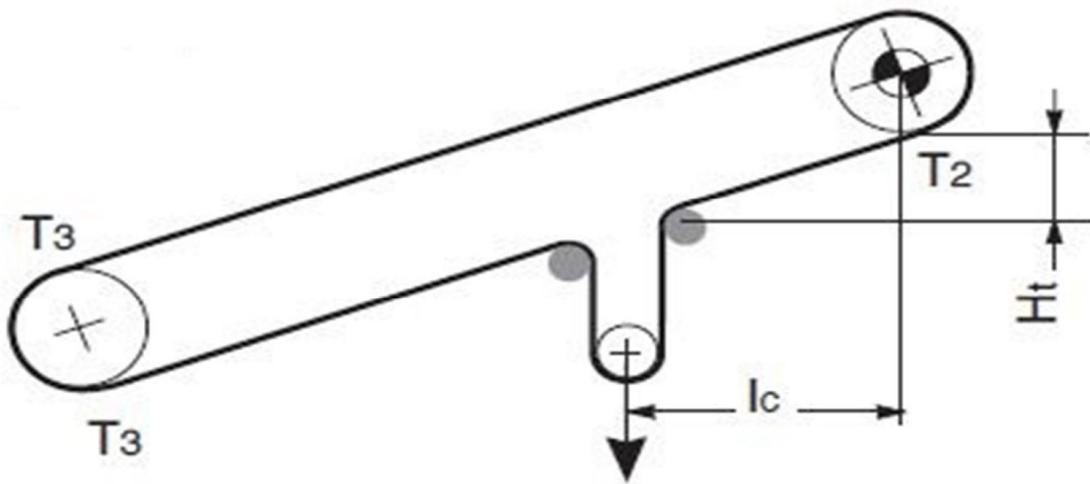
L'effort nécessaire pour maintenir la bande en contact avec le tambour d'entraînement est fourni par un dispositif de reprise de tension. Les dispositifs de tension généralement installés sur les convoyeurs à bande sont à vis ou à contrepoids. Ceux qui sont à vis sont positionnés en pied du convoyeur et sont utilisés sur des appareils dont l'entraxe ne dépasse pas 30 à 40 m. Le mouvement minimal d'un dispositif de reprise de tension ne doit pas être

inférieur à 2 % de l'entraxe du convoyeur s'il est équipé d'une bande à armature textile, ou 0,5 % de son entraxe s'il est équipé d'une bande à armature métallique.



*Figure I.19 Dispositif de reprise de tension à vis*

Dans cette configuration, la tension est réglée normalement en vérifiant périodiquement la vis



*Figure I.20 Utilisation d'un contre poids*

Dans le cas des convoyeurs inclinés, la remise de tension est assurée par un contre poids, la valeur de  $T_g$  est calculée en fonction de la hauteur et la longueur du convoyeur.

### **I.5 Propriétés physiques des produits transportés**

Le tableau I.4 indique les propriétés physiques des produits qu'il convient de prendre en compte lors de l'étude d'un transporteur à bande [3], [4]

**Tableau I.4 Propriétés physiques des produits transportés [3]**

Propriétés physiques des produits transportés		
Type	Masse volumétrique moyenne [t/m <sup>3</sup> ]	Angle d'écoulement [°]
Alumine	0,80-1,04	22°
Calcaire broyé	1.36-1.44	35°
Gravier	1.44-1.60	40°
Gypse, morceaux de 13 mm à 80 mm	1.12-1.28	30°
Minéral de fer	1.60-3.20	35°
Minéral de plomb	3.20-4.32	30°
Plâtre, poussière	0.96-1.12	42°
Sable sec	1.44-1.76	35°
Phosphate	0.96	40°
Sable	1.76-2.08	45°
Sel	1.12-1.28	25°
Sucre en poudre	0.80-0.96	30°

## **I.6 Conclusion**

L'objectif de ce chapitre est de déterminer les dimensions des principaux composants du convoyeur à bande, en tenant compte de l'encombrement disponible et des autres contraintes exigées par l'entreprise.

Dans ce chapitre nous avons présenté les principaux composants d'un convoyeur à bande et les différentes étapes de calcul pour sa conception.

La détermination de la puissance est exigée ainsi que le dimensionnement des différents organes de transmission, ceci en partant du débit massique, la masse volumique du produit à transporter et de la vitesse de déplacement de la bande.

L'étude de la conception nous a permis d'avoir une idée générale sur les convoyeurs existants sur le marché mondial, ainsi que les caractéristiques de chaque type de convoyeur, elle nous a orientés pour le choix de type de convoyeur à bande qui répond au cahier de charge de chaque fonction demandée par l'utilisateur et qui s'adapte avec son environnement.

## *Chapitre II*

### *Calcul de la puissance d'un convoyeur à bande*

## **II.1 Introduction**

La manutention est un secteur important de l'industrie, consommer une proportion considérable de l'alimentation totale. Par exemple, la manutention des matériaux représente environ 10% du total demande maximale en Afrique du Sud.

Les convoyeurs à bande sont en cours employés pour former les parties les plus importantes de la manutention systèmes en raison de leur grande efficacité de transport. Il est significatif pour réduire la consommation d'énergie ou le coût énergétique de secteur de la manutention.

Cette tâche dépend donc de l'amélioration de l'efficacité énergétique des convoyeurs à bande, car sont les principaux composants consommateurs d'énergie de la manutention systèmes.

Par conséquent, l'efficacité énergétique devient l'un des principaux développements de la technologie de convoyeur à bande.

Un convoyeur à bande est un système typique de conversion d'énergie électrique en énergie mécanique. Son efficacité énergétique peut généralement être améliorée à quatre niveaux: performance, fonctionnement, équipement et technologie.

Cependant, la majorité des problèmes techniques littérature concernant l'efficacité énergétique des convoyeurs à bande se concentrent sur le niveau opérationnel et le niveau d'équipement [2].

## **II.2 Solutions pour réduire la consommation d'énergie des convoyeurs à bande**

En raison de leurs avantages inhérents, tels que leur grande capacité et leur faible main-d'œuvre, les transporteurs à courroie jouent un rôle important dans la manutention et le transport des solides en vrac. Selon [9], il y aurait plus de 2,5 millions de convoyeurs en exploitation dans le monde. Compte tenu de leur utilisation intensive, ceci implique une grande consommation d'énergie.

Les convoyeurs à bande consomment de 50% à 70% de la demande totale d'électricité dans un terminal de vrac se cet à elle seule l'Afrique du Sud réserve environ 10% de sa consommation énergétique globale pour les convoyeurs à bande [3].

Compte tenu des défis économiques et écologiques actuels des efforts considérables sont déployés pour une réduction significative de la consommation énergétique des convoyeurs à bande dans le but de minimiser l'empreinte carbone.

Au cours des dernières décennies, plusieurs améliorations ont été proposées au niveau des constructions des convoyeurs à bande afin de minimiser les pertes d'énergie, ces différents nouveaux concepts de construction peuvent être classés en quatre méthodes [16] :

**a. Méthodes d'utilisation des composants économiques**

- Bandes transporteuses à faible perte
  - Utilisation une bande en caoutchouc à faible perte pour ne pas perdu la surface inférieur de la bande
  - Une bande du poids légère
- Des stations supports économes en énergie
  - Rouleaux à faible perte
  - Nouvelle conception pour les stations lentes
- Systèmes d'entraînement efficaces en énergie
  - Unités d'entraînement efficaces, telles que convertisseurs de fréquence, boîtes de vitesses et moteurs

**b. Méthodes d'optimisation de la conception**

- Optimiser l'itinéraire des convoyeurs
- Réduire le nombre de points de chargements (s'assurer que la répartition de la charge sur le long de convoyeur soit uniforme)

**c. Méthodes de récupération d'énergie**

- Réparation des générateurs de charge supplémentaire (défaillance des rouleaux et autres par une surveillance efficace)

**d. Méthodes d'optimisation de l'opération d'entraînement**

- Contrôle de l'état de fonctionnements des moteurs
- Adapter la vitesse du convoyeur

Dans le cas de l'installation d'un nouveau convoyeur à bande, les deux premières méthodes sont appliquées efficacement pour réduire la consommation d'énergie.

La troisième méthode, participe efficacement à la réduction de l'énergie de convoyeur elle est écologiquement prometteuse et techniquement possible [17].

Quant à la quatrième méthode elle est valable à la fois pour les installations existantes et ceux en projet et implique des investissements supplémentaires limités.

Ce chapitre est basé sur la méthode d'optimisation de l'opération d'entraînement, avec en particulier l'ajustement de la vitesse du convoyeur.

Normalement, le débit de la matière réel est généralement inférieur à la capacité nominale des convoyeurs à bande pour éviter la surcharge de la bande aux points de chargement.

Lorsque le convoyeur à bande tourne à vitesse nominale, la bande est partiellement remplie, le réglage de la vitesse de la bande est synchronisé avec la vitesse du convoyeur ceci permet de faire des économies d'énergie considérables sur les convoyeurs à bande, cette technique est définie comme un contrôle de la vitesse [3].

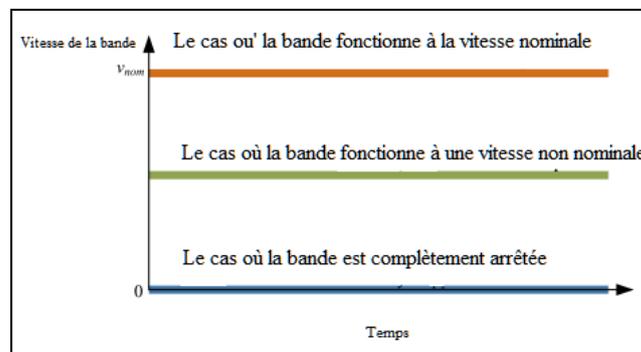
### **II.3 Régimes de fonctionnement des convoyeurs à bande**

Le convoyeur à bande fonctionne généralement à une vitesse définie, dans le cas d'un changement considérable de la vitesse d'alimentation du matériau, le convoyeur à bande doit être accélérer ou ralentir pour correspondre au débit réel du matériau.

On distingue deux types de régimes :

#### **II.3.1 Le régime stationnaire**

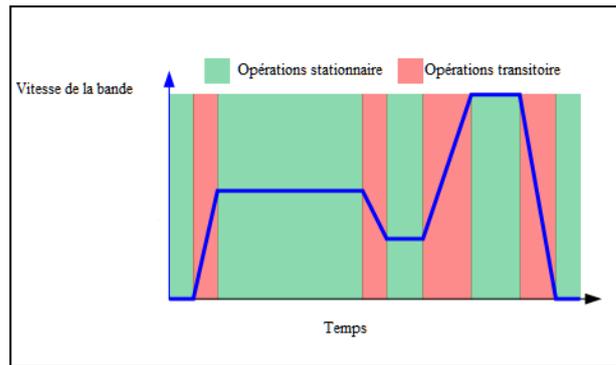
C'est le cas où la bande à l'arrêt, le cas où la bande tourne à une vitesse nominale et le cas où la bande tourne à une vitesse non nominale (la vitesse non nominale peut être inférieure ou supérieur à la vitesse nominale) voire la figure (II.1)



*Figure II. 1 Les régimes stationnaires de convoyeur à bande [15]*

#### **II.3.2 Le régime transitoire**

Est situées entre deux régimes stationnaires voisines il comprend à la fois les processus d'accélération et décélération comme le montre la figure (II.2)



*Figure II.2 Le régime transitoire du convoyeur à bande (cyclo gramme) [15]*

### **II.3.3 Contrôle de la vitesse des convoyeurs à bande**

Il se fait surtout pendant le régime transitoire pour effectuer des démarrages et des arrêts progressifs.

Plusieurs techniques sont été utilisées pour fournir un démarrage acceptable dans toutes les conditions d'exploitation du convoyeur et avec les différentes charges de la bande, parmi ces techniques nous avons le contrôle de la vitesse à fréquence variable, le contrôle de la vitesse à couplage hydraulique, et le contrôle de la vitesse à transmission mécanique variable, des techniques récentes sont utilisées actuellement pour atteindre un temps de freinage adapté, telles que l'utilisation des systèmes de freinage intelligents afin de prévoir un arrêt progressif [4].

Le contrôle de la vitesse permet à la fois de minimiser et d'éliminer les secousses lors du freinage par l'ajustement de la vitesse du convoyeur en fonction du débit transporté, afin d'éviter la surcharge de la bande accompagné d'une réduction de la consommation d'énergie des convoyeurs à bande.

L'opération de réglage de la vitesse est définie comme une opération transitoire dans le régime de fonctionnement des convoyeurs à bande.[4]

### **II.3.4 Contrôle de la vitesse pendant le régime transitoire**

Le processus de mise en vitesse de convoyeur à bande peut se faire dans les différentes conditions d'exploitation :

- Démarrage à vide,
- Démarrage en charge,
- Freinage brusque,

- Freinage lent,...

Le régime transitoire peut se dérouler dans plusieurs situations comme suivantes :

- ***Démarrage normal***

C'est un démarrage où le convoyeur à bande démarre comme prévu. Dans ce type de démarrage, le moteur peut démarrer simplement par un démarreur connecté directement aux bornes d'alimentation du moteur. Ceci est valable uniquement pour les convoyeurs à bande ayant une puissance du moteur ne dépassant pas 15kW.

A ce jour les variateurs de vitesse sont largement utilisés pour le contrôle de la vitesse du convoyeur dans le but de réaliser un démarrage en douceur.

- ***Régime intermittent***

Le convoyeur à bande travail en régime continu et la variation de la charge sur la bande qui est le résultat d'un mauvais dispositif de chargement peut provoquer des variations de couple en cours de fonctionnement qui peuvent être assimilés à des variations des régimes (intermittent), cela se traduit surtout par des surcharges thermiques du moteur, et un désalignement de la bande.

- ***Arrêt normal***

C'est un arrêt planifié, il est réalisé de façon à contrôler le couple d'entraînement et la vitesse, dans ce cas les forces d'entraînement sont maintenues constantes mais inférieures aux résistances de mouvement.

- ***Arrêt d'urgence***

Lorsqu'un événement d'urgence se produit (glissement de la bande sur le tambour moteur, déviation de la bande....) un arrêt d'urgence est effectué afin que la bande s'arrête dans un court de temps.

### **II.3.5 Risques pendant le régime transitoire**

Au cours de régime transitoire, il peut se produire des accélérations importantes provoquées par exemple par des surtensions très élevées qui produiront des tensions supplémentaires sur la bande et seront la cause de la rupture de la bande, ces risques sont :

- Rupture de la bande au niveau des jonctions
- Glissement de la bande autour de tambour d'entraînement
- Déversement de la matière loin de la bande
- Surchauffe du moteur

Pour éviter les risques qui surviennent dans les régimes transitoires, l'accélération doit être contrôlée et surveillée.

## II.4 Méthode de calcul de puissance

### II.4.1 Modèle énergétique basé sur le calcul de la résistance

Un convoyeur à bande typique est illustré à la Fig.II.3. Sous stationnaire conditions de fonctionnement, consommation d'énergie du convoyeur à bande est principalement déterminée par la résistance au mouvement dans la charge section de la ceinture et de la ceinture de retour. Les accessoires, tels que nettoyeurs de courroies, charrues et plinthes à l'extérieur du chargeur

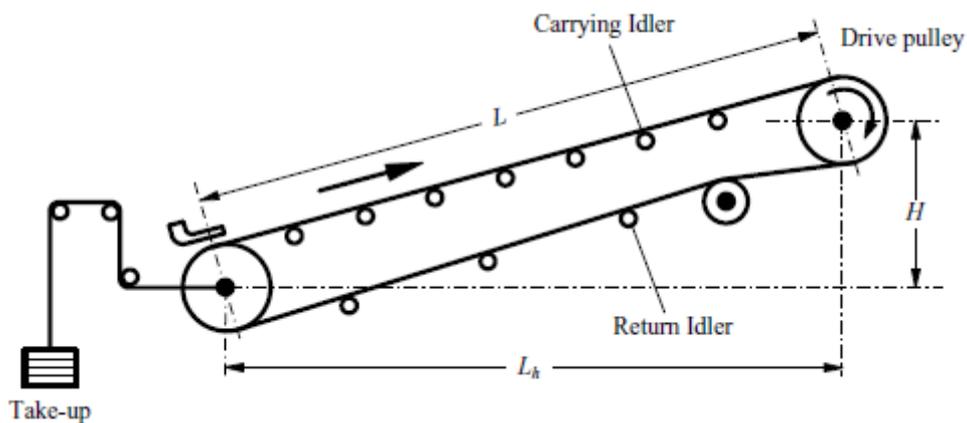


Figure II.3 Convoyeur à bande typique

Les stations contribuent également à la consommation totale d'énergie. ISO 5048 et DIN 22101 sont assez similaires, mais ils sont différents pour traiter les résistances de frottement des nettoyeurs de courroie. Tous les deux d'entre eux divisent les résistances au mouvement en résistance primaire

$F_H$  résistance primaire

$F_N$  résistance secondaire

$F_{st}$  résistance de pente (inclinaison)

$F_s$ . La résistance spécial est la somme de toutes les résistances liées au frottement le long du convoyeur à bande à l'exception des spéciaux résistances, et est calculé par

$$F_H = fLg [Q_{R0} + Q_{RU} + (2Q_B + Q_G) \cos \delta], \quad (II.1)$$

Où

**f** est le facteur de friction,

**L** est la distance centre à centre (m),

**Q<sub>RO</sub>** est la masse métrique des rouleaux supérieur (kg / m),

**Q<sub>RU</sub>** est la masse métrique des rouleaux inférieur (kg / m),

**Q<sub>B</sub>** est la masse métrique de la bande (kg / m),

**δ** est l'angle d'inclinaison (°)

**Q<sub>G</sub>** est la masse métrique de la charge (kg / m) qui est déterminée par  $Q_G = T / 3.6V$ . T est le taux de transfert (t / h) et V est la vitesse de la courroie (m / s).

Équation (II.1) est un calcul simplifié de la résistance total.

La résistance secondaire comprend les résistances au frottement ou à l'inertie qui se produisent seulement à certaines parties du convoyeur à bande.

Ils sont la résistance à l'inertie et la résistance au frottement entre matériau et courroie au poste d'alimentation

**F<sub>bA</sub>** la résistance au frottement entre les plaintes et le matériau dans la partie accélérée zone

**F<sub>r</sub>** la résistance enveloppante entre courroie et poulie **F<sub>w</sub>** et la résistance à l'appui

**F<sub>t</sub>** ISO 5048 et DIN 22101 permettent une le coefficient C soit utilisé pour estimer

**F<sub>N</sub>** qui est nommé comme Méthode du coefficient C. C'est  $F_N = (C - 1)$

**F<sub>H</sub>**. La relation entre C et L à partir d'ISO 5048 peut être montés avec [20]

$$C = 0,85 + 13,31L - 0,576, \quad (10 \leq L < 1840)$$

$$C = 1,025. \quad (1840 \leq L)$$

La résistance spéciale inclut la résistance causée par l'avant **F<sub>p</sub>** + **F<sub>st</sub>**, roues libres inclinées

**F<sub>fr</sub>** résistance au frottement des panneaux de jupe en dehors de la station d'alimentation

**F<sub>sb</sub>** la résistance des nettoyeurs de courroie

**F<sub>c</sub>** et la résistance des matériaux charrues

**F<sub>p</sub>** Résistance au stop résulte de l'élévation du matériau. C'est exactement calculé en utilisant

$$F_{st} = QGHg$$

Où

**H** est le changement net en élévation (m). La résistance totale est exprimée en

$$F_U = F_H + F_N + (F_{fr} + F_{sb} + F_c + F_p) + F_{st} \quad (II.2)$$

Ou

$$F_U = CF_H + (F_{fr} + F_{sb} + F_c + F_p) + F_{st} \quad (II.3)$$

En condition stationnaire, la puissance totale  $P_T$  est ainsi obtenue par

$$P_T = F_U \cdot V \quad (\text{II.4})$$

#### II.4.2 Modèle énergétique basé sur la conversion d'énergie

Dans l'optique de la conversion d'énergie, la puissance du convoyeur à bande à l'état stationnaire peut être principalement divisée en trois composants comme suit [20]:

- 1) le pouvoir de faire fonctionner le convoyeur vide  $P_{ec}$ ;
- 2) le pouvoir de déplacer le matériau horizontalement sur une certaine distance  $P_h$ ;
- 3) le pouvoir de soulever le matériau à une certaine hauteur  $P_l$ . La somme de ces composants est égale à la puissance totale de convoyeur à bande,

$$P_T = P_{ec} + P_h + P_l \quad (\text{II.5})$$

Selon [8],  $P_{ec}$ ,  $P_h$  et  $P_l$  sont calculés à l'aide de la méthode suivant des formules empiriques

$$P_{ec} = gf (L_h + L_0) QV, \quad (\text{II.6})$$

$$P_h = gf (L_h + L_0) T / 3.6 \quad (\text{II.7})$$

$$P_l = Gh.T / 3,6 \quad (\text{II.8})$$

Où

$L_h$  est la distance horizontale centre à centre (m),

$L_0$  est la longueur de compensation constante (m)

$Q$  est la masse de pièces mobiles des équipements en kilogrammes par mètre de distance centre à centre (kg / m).

Il est exprimé par :

$$Q = Q_{R0} + Q_{RU} + 2Q_B \quad (\text{II.9})$$

Dans (II.6) et (II.7),  $L_0$  est utilisé pour compenser certains composants de la force de friction qui sont indépendants de la longueur de la ceinture et sont donc traités comme constants.

JIS B 8805, FDA et le modèle Goodyear sont tous basés sur cette méthodologie de conversion d'énergie [7], [8], mais le déterministe les spécifications pour  $L_0$  sont assez différentes. JIS B 8805 et le modèle de Goodyear utilisent une seule valeur pour la compensation constante  $L_0$ .

Il est indépendant de  $L$  et concerne le frottement facteur et conditions de travail. Cependant, la FDA utilise trois valeurs par morceaux pour la constante de longueur de compensation  $L_0$ , qui sont déterminés en fonction de  $L$  et des conditions de travail.

Puisque les modèles de calcul d'énergie basés sur cette conversion d'énergie la méthodologie nécessite relativement moins de paramètres, c'est beaucoup plus simple que les modèles basés sur la résistance. Mark et Cal Meyer [20] ont utilisé ce type de calcul d'énergie modèle d'audit énergétique et de transfert de charge.

### II.4.3 Un modèle énergétique analytique

Un modèle énergétique analytique est proposé ici pour répondre à l'exigence d'optimisation énergétique.

Il à sa racine dans l'ISO 5048 cependant, sa forme analytique le rend approprié pour le paramètre estimation et optimisation énergétique. Selon ISO 5048 et DIN 22101, la résistance secondaire d'un convoyeur à bande est obtenue à partir de quatre parties comme suit

$$F_N = F_{bA} + F_f + F_w + F_t \quad (\text{II.10})$$

$F_t$  est relativement petit et peut donc être omis.

$F_w$  est aussi petit et ne varie pas beaucoup, il est donc pris comme une constante.

$C_{Ft}$  Si l'initiale la vitesse du matériau dans le sens du mouvement de la courroie est prise à zéro et le facteur de friction entre le matériau et la ceinture est pris identique à celle entre le matériau et les plinthes

$F_{bA}$  et  $F_f$  peuvent être obtenus par les deux équations suivantes, respectivement [2]

$$F_{bA} = \frac{TV}{3.6} \quad (\text{II.11})$$

$$F_f = \frac{T^2}{6.48\rho b^2} \quad (\text{II.12})$$

Où  $q$  est la masse volumique en vrac du matériau (kg / m<sup>3</sup>) et  $b_1$  la largeur entre les planches de la jupe (m). Maintenant,  $F_N$  peut être réécrit comme suit :

$$F_N = \frac{TV}{3.6} + \frac{T^2}{6.48\rho b^2} + C_{Ft} \quad (\text{II.13})$$

Les résistances spéciales,  $F_S$ , d'un transporteur à bande existant, y compris  $F_{fr}$ ,  $F_{sb}$ ,  $F_c$  et  $F_p$ , ont la relation suivante avec  $T$  et  $V$ .

$$F_S = k_1 \frac{T^2}{V^2} + k_2 \frac{V}{T} + k_3 \quad (\text{II.14})$$

Où  $k_1$ ,  $k_2$  et  $k_3$  sont des coefficients constants qui se rapportent aux paramètres structurels du convoyeur à bande. En combinant (II.3), (II.8) et (II.9), et  $\mathbf{F}_{st} = \mathbf{Q}_{GHg}$  avec (II.2), on obtient [2].

$$P_T = \frac{TV^2}{3.6} + \frac{T^2V}{6.48\rho b^2} \quad (\text{II.15})$$

$$P(t) - \frac{v^2T}{3.6} = \varphi_1 T^2 v + \varphi_2 v + \varphi_3 \frac{T^2}{v} + \varphi_4 T \quad (\text{II.16})$$

## **II.5 Conclusion**

La méthode de contrôle de la vitesse du convoyeur à bande est une approche techniquement possible à réaliser ; sa réussite permet de réduire la consommation d'énergie des convoyeurs à bande.

Nous avons également conclu qu'il existe différentes périodes de variation de la vitesse pendant le fonctionnement des convoyeurs à bande, ces périodes sont :

- La période qui caractérise les régimes non stables à savoir : démarrage, freinage et arrêt des convoyeurs.
- La période du régime stationnaire à charge nominal,
- La troisième période lorsque le convoyeur fonctionne en régime surchargé.

De là on peut déduire que la nécessité de la régulation de la vitesse est importante ,et ce pour assurer un fonctionnement en charge nominale des moteurs électriques et rationaliser la commande des convoyeurs, tout en assurant une bonne force de traction accompagnée d'une réduction de la consommation énergétique du convoyeur à bande .C'est la raison pour laquelle on cherche un système de contrôle de la vitesse le plus convenable .Pour réussir un bon contrôle interviennent aussi les conditions d'emploi des convoyeurs à bande.

A la fin on propose un modèle de calcul énergétique modifié pour convoyeurs à courroie. Il devrait être utile dans l'optimisation de l'efficacité opérationnelle, du transfert de charge et de la planification des opérations des convoyeurs à bande. Ce modèle est proposé en reliant deux catégories existantes des modèles de calcul énergétique. Ce modèle sera utilisé soit pour la conception de convoyeurs à bande ou pour l'amélioration du fonctionnement efficacité du convoyeur à bande existant.

### *Chapitre III*

## *Solutions pour réduire la consommation énergétique d'un convoyeur à bande*

### **III.1.Introduction**

Avec l'augmentation du prix de l'électricité, le besoin croissant de gestion de l'énergie nécessite une meilleure compréhension des applications des modèles pour réduire les consommations de l'énergie des convoyeurs à bande, Ce chapitre propose trois approches pour réduire la consommation énergétique générique des convoyeurs à bande.

Les convoyeurs à bande sont généralement surdimensionnés lors de la conception pour prendre en compte les extensions de capacité prévues et parfois pour normaliser la taille des composants afin de réduire les coûts de maintenance. Dans les applications minières, les convoyeurs peuvent être chargés par une excavatrice, ce qui entraîne un chargement irrégulier de la bande, de sorte que le débit global du matériau se situe entre 50% et 70% de la capacité totale. La majorité de la littérature actuelle sur la modélisation des convoyeurs à bande porte sur la modélisation dynamique de la tension de la courroie, des propriétés élastiques du matériau de la courroie et de la modélisation de différents types de résistances [21].

Cependant, Les modèles proposés dans ce chapitre sont capables de capturer avec précision les quantités de matériau chargées sur chaque section de la bande transporteuse et, par conséquent, de calculer une valeur précise de la puissance requise par le transporteur.

### **III.2.Les méthodes d'amélioration de l'efficacité énergétique des convoyeurs à bande**

Au cours des dernières décennies, plusieurs approches d'économie d'énergie sont conçus pour réduire la consommation d'énergie des convoyeurs à bande, sur différents objets du convoyeur à bande, ces approches d'économie d'énergie sont classées en trois méthodes telles que ; La méthode d'ajustement de la vitesse du convoyeur à bande qui s'appelle aussi contrôle de la vitesse ; La méthode du modèle de puissance paramétrique basé sur les résistances, en particulier la résistance primaire ; La méthode de modélisation de la charge du produit transporter.

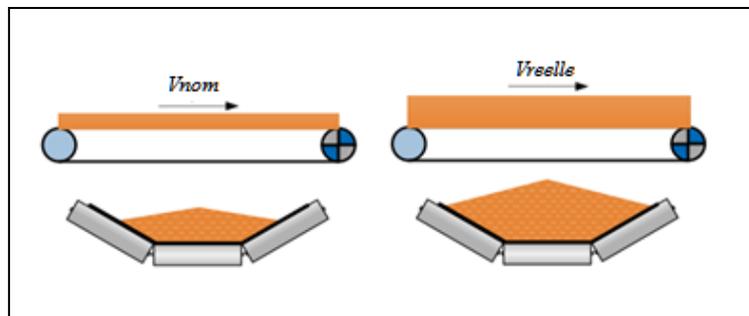
#### **III.2.1 Méthode d'ajustement de la vitesse**

En tenant compte des exigences économiques et écologiques, plusieurs solutions de réduction de puissance ont été proposées, selon la norme DIN 22101, une certaine réduction de la consommation d'énergie peut être obtenue en ajustant la vitesse du convoyeur en fonction du débit de matériau, la technique d'ajustement de la vitesse du convoyeur dans le but de réaliser des économies d'énergie est étroitement liée au contrôle de la vitesse.

Actuellement les recherches relatives au contrôle de la vitesse dénotent une relation linéaire avec la capacité de transport, ainsi un système de contrôle de la vitesse nécessite l'utilisation d'un variateur de vitesse pour régler la vitesse de fonctionnement du convoyeur afin qu'elle corresponde au débit de la matière observé par un capteur de débit [4].

### III.2.1.1 Principe du contrôle de la vitesse

Les convoyeurs à bande sont conçus pour résister au transport à une valeur maximale du débit, la capacité volumétrique maximale demandée est proportionnelle à la valeur de la vitesse nominale de la bande et la valeur de la section nominale du matériau transporté, comme le montre la figure (III.1).



(a) Vitesse nominale      (b) Vitesse non nominale

Figure III.1 Principe du contrôle de la vitesse [19]

$V_{nom}$ : Vitesse nominale

$V_{reelle}$ : Vitesse réelle non nominale (inférieur à la vitesse nominale)

Le principe du contrôle de la vitesse ou le plus souvent le convoyeur tourne à une vitesse nominale, figure (III.1) indique que si le débit du matériau est inférieur à la capacité de transport nominale le convoyeur à bande est rempli partiellement.

La réduction de la consommation d'énergie, passe par la réduction de la vitesse du convoyeur pour suivre le taux d'alimentation réel, comme le montre la figure (III.1b) où le taux de remplissage de la bande est considérablement amélioré grâce au contrôle de la vitesse.

### III.2.1.2 Conditions préalables du système de contrôle de vitesse

Le contrôle de la vitesse est conçu pour réduire la consommation d'énergie des convoyeurs à bande, pour se faire le contrôle de la vitesse est basé sur deux conditions préalables :

- a) Le système de contrôle de la vitesse.
- b) Le contrôle du débit du matériau.

Le système de contrôle de la vitesse est un système de commande moderne intégré par un variateur de vitesse ayant pour but le réglage la vitesse de la bande pour qu'il soit synchronisé avec le débit du matériau selon le signal donné par le capteur de débit [4]

#### III.2.1.2a Les variateurs de la vitesse

Ils sont des outils du système de contrôle de la vitesse, sont largement utilisés pour réaliser des démarrages et des arrêts progressifs des convoyeurs à bande, il existe deux types de variateurs de vitesse : variateur de la vitesse mécanique ,variateur de la vitesse électronique

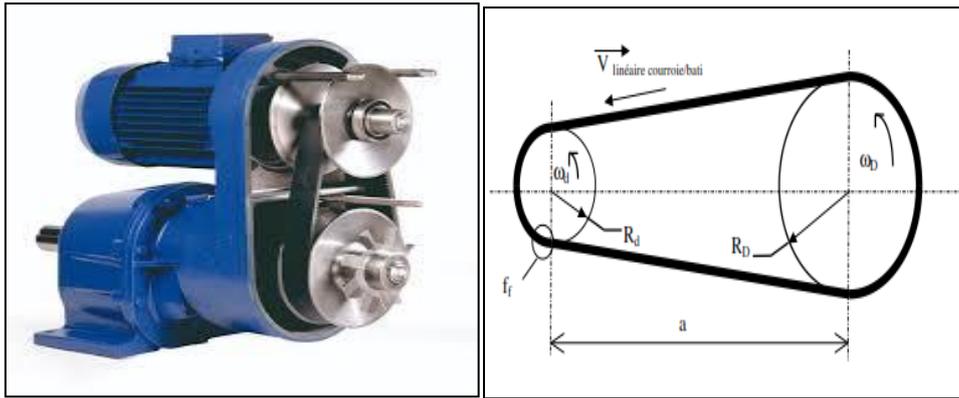
➤ **Variateur de la vitesse mécanique**

Selon l'association de « Conveyor Equipment Manufacturers (2005) », les méthodes mécaniques les plus utilisées pour obtenir une vitesse variable sont les suivantes :

➤ **Variateur de vitesse à bande trapézoïdale**

La transmission du mouvement par une bande trapézoïdale est constituée d'une petite poulie 1( $d, R_d, W_d$ ),une grande poulie 2 ( $D, R_D, W_D$ ) avec un coefficient de frottement  $f_f$  et une vitesse linéaire  $V$ , voir la figure (III.2)

Où  $V_1 = W_d \cdot R_d \rightleftharpoons V_2 = W_D \cdot R_D$



*Figure III.2 Variateur de la vitesse à courroie trapézoïdale*

➤ **Variateur de la vitesse à engrenage**

Les engrenages permettent de transmettre un mouvement de rotation suivant la dimension et le nombre de dent des engrenages, ils offrent la possibilité de réduire ou de multiplier les vitesses de rotation à l'entrée ou à la sortie de la machine, voir la figure (III.3)



*Figure III.3 Variateur de la vitesse à engrenage*

Le rapport de la transmission de mouvement entre le nombre des dents de la roue menante  $Z_{menante}$  et la roue menée  $Z_{menée}$  est  $R$  :

$$R = Z_{menée} / Z_{menante}$$

Ces variateurs mécanique présentent plusieurs inconvénients tels que l'entretien difficile, usure des éléments en contact, génère beaucoup de bruit, maintient difficile d'une vitesse constante lors des variations de la charge et pas de possibilité de commander à distance.

➤ **Variateur de vitesse électronique**

C'est un mode performant utilisé pour le contrôle et la variation de la vitesse, il permet de démarrer des charges à forte inertie et d'optimiser la consommation d'énergie électrique en fonction de la vitesse surtout pour les installations puissantes.

Les variateurs électroniques les plus utilisés fournissent, à partir d'un réseau alternatif à fréquence fixe, une tension alternative triphasée de valeur efficace et de fréquence variable, comme l'illustré dans la figure (III.4).

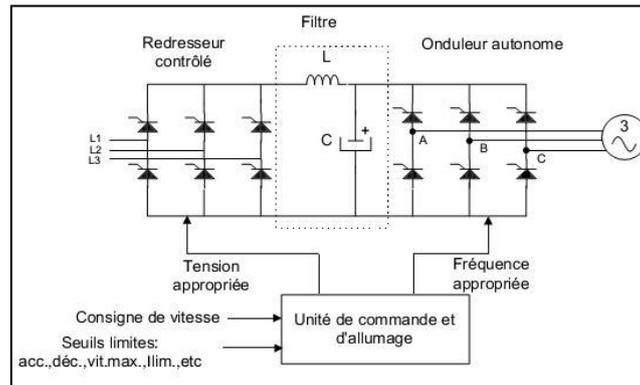


Figure III.4 Variateur de vitesse à fréquence variable

**III.2.1.2b-Dispositif de détection de débit du matériau**

La valeur du débit du matériau doit être prédéterminé pour garantir une vitesse de chargement synchronisée avec la vitesse de la bande autorisée afin d'éviter la surcharge de la bande, pour cette raison on utilise un capteur de débit installé à proximité de la bande transporteuse ou par un Profil- mètre laser comme le montre dans la figure (III.5)

La valeur réelle du débit de la matière permet le suivi de la consommation d'énergie des convoyeurs à bande et d'évaluer les économies d'énergie.



(a) Capteur de débit de matériau

(b) Profil mètre laser

Figure III.5 Les outils de mesures de débit du matériau [10]

### III.2.2 Méthode de puissance paramétrique basée sur les résistances

#### III.2.2.1 Modèle de convoyeur

Un convoyeur en auge est alimenté par un système à moteur électrique et supporté par un système de poulies, comme illustré à la figure III.6. Le convoyeur transporte le produit en vrac au-dessus de la surface en auge d'une courroie en caoutchouc.

La structure en auge de la courroie est maintenue par des jeux de rouleaux espacés (voir la vue en coupe transversale). Un espacement correct des pignons est déterminé lors de la phase de conception, conformément aux recommandations de l'industrie, afin d'éviter un affaissement excessif de la courroie et des fuites éventuelles.

Cela garantit que la section de la bande est relativement constante. La ceinture est généralement équipée d'accessoires, tels qu'une goulotte d'alimentation à l'arrière et un racleur sous la tête.

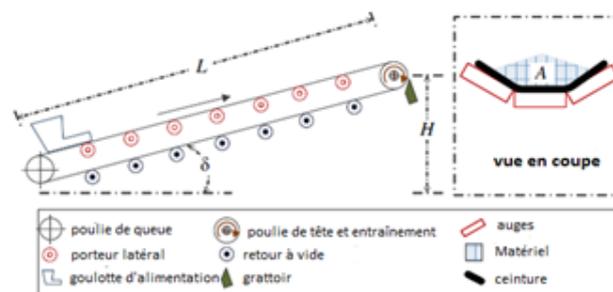


Figure III.6 Schéma simplifié d'un convoyeur à bande

#### III.2.2.2 Résistances des convoyeurs

La puissance mécanique nécessaire d'un convoyeur à bande  $P_m$  est déterminée par les forces d'entraînement  $F_d$  exercées sur le tambour d'entraînement et la vitesse de la bande transporteuse  $V$ .

$$P_m = F_d \cdot V \quad (III. 1)$$

En tenant compte du rendement de système du convoyeur à bande et les pertes de puissance dans le système d'entraînement, la puissance électrique nécessaire d'un convoyeur  $P_e$  est égale :

$$P_e = \frac{P_m}{\tau_{sys}} = \frac{F_d}{\tau_{sys}} \cdot V \quad (III. 2)$$

$\tau_{\text{sys}}$  : Le rendement de système du convoyeur à bande

Pendant le régime stationnaire, les forces motrices sont égales aux résistances au mouvement totales de  $F_f$  le long du trajet de transport.

$$F_d = F_f \quad (\text{III. 3})$$

Selon la norme DIN 22101 les résistances au mouvement totales sont réparties en quatre groupes et elles sont :

- a) Résistance principale (primaire)  $F_H$ ,
- b) Résistances secondaires  $F_N$ ,
- c) Résistances due à l'inclinaison  $F_{St}$ ,
- d) Résistances spéciales  $F_S$ ,

$$F_f = F_H + F_N + F_{St} + F_S \quad (\text{III. 4})$$

Toute résistance dépend de la quantité de matériau que transporte la bande transporteuse.

Par convention, cette quantité est spécifiée en masse par unité de longueur,  $q(x, t)$ .

Ainsi,  $q(x, t)$  est la masse de matériau par unité de longueur d'une section de courroie de transporteur à la position  $x$  pendant le temps  $t$  en  $\text{kg} / \text{m}$ . laissez:

$$q(t) = \frac{1}{L} \int_0^L q(x, t) dt \quad (\text{III. 5})$$

La masse moyenne par unité de longueur sur la longueur totale,  $L$  de la bande transporteuse.

Lorsque le flux de matière sur le gilet stabilisateur est stable,  $q(x, t)$  est uniforme et constant.

En d'autres termes,  $q(t) = q(x, t)$  e0t  $q = q(t)$ .

Afin de déterminer la valeur du matériau, nous déterminerons la valeur du matériau utilisé dans l'équation (III.4).

### **III.2.2.2(a) Résistance principale (primaire) $F_H$**

On Considère une ceinture de  $L$  mètres de longueur avec un coefficient de frottement artificiel  $f$  (la valeur exacte de  $f$  varie d'une installation à l'autre, pour les

convoyeurs longs,  $f$  est inférieur à 0,016), incliné d'un angle  $\delta$ , avec la gravitationnelle de la Terre  $g$ .

Les unités sont respectivement  $q_B$ ,  $q_{RO}$  et  $q_{RU}$ .

Ensuite, la résistance primaire est donnée par,

$$F_H = C_1 + C_2 \cdot q, \quad (III.6)$$

où  $C_1 = f L g [q_{RU} + q_{RO} + 2q_B \cos \delta]$  et  $C_2 = f L g \cos \delta$ .

$$F_{St} = C_7 \cdot q, \quad \text{où } C_7 = g_H \quad (III.7)$$

La résistance due à l'inclinaison dans l'équation (III.7) dépend de la différence de hauteur,  $H$ , entre les extrémités de la queue et de la tête du convoyeur.

### III.2.2.2(b) Résistance spéciale $F_S$

Ces résistances sont :

- résistance de pincement due à la position inclinée des rouleaux porteurs dans le sens de marche de la courroie ;
- résistance due au frottement des bavettes de goulottes ou de guidages, lorsque ceux-ci agissent sur toute la longueur de la courroie.
- résistance due au frottement des dispositifs de nettoyage des tambours et de la courroie ;
- résistance due au retournement du brin inférieur de la courroie ;
- résistance due aux chocs lors du déversement des matériaux ;
- résistance due aux chariots verseurs.

Les résistances totales  $F_S$  d'un convoyeur à bande sont la somme des résistances individuelles mentionnées, ces résistances spéciales individuelles ne se produisent pas sur tous les convoyeurs à bande,  $F_S$  est décrit par,

$$F_S = C_4 \cdot q + C_5 q^2 + C_6 \quad (III.8)$$

Où

$$C_4 = C_e \mu_0 L_e g \sin \delta \cos \delta.$$

$$C_6 = \mu_0 L_e g \sin \delta \cos \delta (C_e + \cos \gamma) q_B + A_s p \mu_3 + B K_a.$$

La résistance due à la position inclinée des rouleaux porteurs dans le sens de marche de la courroie est donnée par  $C_4 q$ .

$C_4$  dépend du facteur de durcissement

$C_e$  de la longueur de la courroie avec les roues inclinées

$L_e$  et de l'angle d'inclinaison de la roue libre.  $L_e$  est égal à  $L$  moins la longueur de la transition au niveau de la queue et des extrémités de la tête du convoyeur où la courroie est guidée vers / depuis une poulie. Habituellement, la longueur de la transition est petite, et donc,  $L \approx L_e$ .

La résistance due au retour et au transport des roues libres, du racleur et du contact avec les plaques de skit est de  $C_6$ .  $C_6$  dépend de la surface de contact du racleur  $A_s$ , de la pression appliquée par le racleur  $p$ , du facteur de raclage  $K_a$  et de l'angle de trempe  $l$ , comme indiqué dans l'équation (III.8).

#### **III.2.2.2(c) Résistance secondaire $F_N$**

La résistance secondaire comprend les résistances apparaissant au niveau de la poulie, du côté de la queue en raison de l'accélération du matériau et des plaques de jupe en raison de l'accélération du matériau.

$$F_N = F_H (C_M - 1) \quad (III.9)$$

ISO [15] indique que, pour les convoyeurs de plus de 80 m, la résistance secondaire est liée à la résistance primaire par un facteur de résistance principal  $C_M$ , comme indiqué dans l'équation (III.9).

#### **III.2.2.3 Modélisation de la consommation énergétique (puissance) du convoyeur à bande**

En substituant la résistance secondaire et les résistances des équations (III.6) à (III.8) à l'équation (III.4), on obtient:

$$F_U = C_M C_1 + C_6 + (C_M C_2 + C_4 + C_7) \cdot q + C_5 \cdot q^2. \quad (III.10)$$

Soit :

$$\varphi_1 = C_M C_1 + C_6$$

$$\Phi_2 = C_M C_2 + C_4 + C_7,$$

Respectivement, les paramètres de charge à vide et de densité.

Du fait de l'influence de  $C_1$  et  $C_2$ , les valeurs des paramètres  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$  augmentent rapidement avec  $L$ . En revanche,  $C_5$  est indépendant de la longueur de la courroie et sa valeur est beaucoup plus petite que  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$ , car  $c$ 'est un composant de  $F_s$ .

En conséquence,  $C_5$  est beaucoup plus petit que  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$ , pour les convoyeurs longs. Ainsi, pour les convoyeurs longs, la résistance totale est donnée par :

$$F_U = \varphi_1 + \varphi_2 \cdot q + C_5 \cdot q^2 \approx \varphi_1 + \varphi_2 \cdot q \quad (\text{III.11})$$

Pour les convoyeurs longs, l'approximation dans l'équation (III.11) est possible car toutes les composantes non linéaires proviennent de  $F_s$ , dont la contribution est très faible et peut donc être ignorée. Cela signifie que pour les ceintures longues, la résistance totale peut être estimée comme dépendant linéairement de la masse moyenne par unité de longueur avec une précision suffisante.

De plus, la  $F_s$  ne se produit pas dans toutes les installations de la bande transporteuse. Cependant, le modèle de puissance de l'équation (III.11) est générique et s'applique à tous les convoyeurs longs, car les coefficients de  $F_s$  ( $C_4$  et  $C_6$ ) dépendants de la longueur sont incorporés dans les paramètres  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$ , de sorte que la présence ou l'absence de  $F_s$  serait facilement pris en compte par une procédure d'identification de paramètres.

Pour une charge variable,  $q(x, t)$  varie sur toute la longueur de la courroie. Par conséquent, selon les équations (III.5) et (III.11), la quantité de puissance requise pour conduire un long convoyeur est (**Tabello Mathaba 2015**);

$$P(t) = \frac{1}{\eta} \left( \varphi_1 + \frac{\varphi_2}{L} \int_0^L q(x, t) dx \right) \cdot v(t) \quad (\text{III.12})$$

Pour la vérification (comparaissent entre le model proposé dans l'équation (III.12) avec le model de ZX), l'exemple de convoyeur de 325 m de long donné dans est utilisé, mais avec des longueurs différentes commençant de 500 m à 3 km par pas de 500 m.

La puissance maximale requise par le convoyeur fonctionnant à pleine capacité de charge est calculée analytiquement, à la fois pour le modèle linéaire proposé de l'équation (III.12) et le modèle de ZHANG SHIRONG et XIAHUA XIA, appelé ZX.

Le model d'énergie ZX est montre que L'amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de convoyeurs à bande est réalisée aux niveaux de l'équipement et du fonctionnement.

Plus précisément, une commande à vitesse variable, une intervention au niveau de l'équipement, est recommandée pour améliorer l'efficacité du fonctionnement des convoyeurs à bande.

Un modèle énergétique analytique, issu de l'ISO 5048, est d'abord proposé, qui décompose tous les paramètres en quatre coefficients.

Le model analytique d'énergie **ZX (Shirong Zhang et Xiahua Xia)** est déterminé par :

$$P(t) - \frac{v^2 T}{3.6} = \varphi_1 T^2 v + \varphi_2 v + \varphi_3 \frac{T^2}{v} + \varphi_4 T \quad \text{(III. 13)}$$

La principale hypothèse du modèle de puissance paramétrique de l'équation (III.12) est que les composantes non linéaires de la résistance sont suffisamment petites pour les longs convoyeurs.

Le modèle de ZX et le model de l'équation (III.12) sont tous deux basés sur l'ISO 5048, même si l'équation (III.12) est linéaire avec deux paramètres en moins.

Afin de vérifier l'hypothèse de linéarité, les valeurs de résistance de chaque somme de l'équation (III.11) sont calculées et leur contribution à la consommation totale d'énergie évaluée, pendant deux semaines. Ceintures d'une longueur de 500 m et 2 km.

**Tableau1** : Contribution à la consommation totale d'énergie

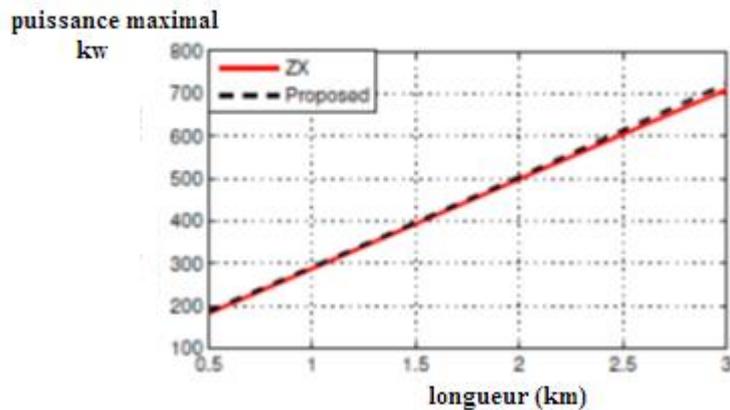
Unit	Component			
	Total	$\varphi_1$	$\varphi_2 \cdot \eta$	$C_5 \cdot \eta^2$
<i>L = 500 m</i>				
kW	191.3	41.7	145.7	3.9
%	100.0	21.8	76.1	2.1
<i>L = 2 km</i>				
kW	508.1	123.7	380.4	3.9
%	100.0	74.9	24.3	0.8

**III.2.2.4 algorithme de model d'énergie propose: (Tabello Mathaba 2015)**

```

Input:  $v(n)$ 
Output:  $\sum_{i=1}^n M_{out}(i)$  and  $\bar{q}(n)$ .
1 Distance traveled by the belt,  $D_1(n) \leftarrow \Delta t \cdot \sum_{i=1}^n (v_i)$ .
2 if  $D_1(n) \leq L$  then
3    $\bar{q}(n) \leftarrow \frac{\Delta t}{L} \sum_{i=1}^n (q_0 \cdot v_i)$  and  $\sum_{i=1}^n M_{out}(n) \leftarrow D_1(n) \cdot q(0,0)$ 
4 else
5   Initialize,  $j \leftarrow 1$  and  $D_j(n) \leftarrow \Delta t \cdot \sum_{i=j}^n (v_i)$ .
6   while  $D_j(n) > L$  do
7      $j \leftarrow j - 1$  and  $D_j(n) \leftarrow \Delta t \cdot \sum_{i=j}^n (v_i)$ .
8   end
9   Length of the last mass per unit length  $\bar{L}_{j-1} \leftarrow L - D_j(n)$  and
 $\bar{q}(n) \leftarrow \frac{1}{L} \left\{ \Delta t \sum_{i=j}^n (q(0,i) \cdot v_i) + q(0,j-1) \cdot \bar{L}_{j-1} \right\}$ .
10  if  $j > 2$  then
11    Length of the last mass per unit length that has been spilled,  $\bar{L}_e \leftarrow D_{j-1}(n) - L$ .
12     $\sum_{i=1}^k M_{out}(n) \leftarrow \bar{L}_e \cdot q(0,j-1) + \Delta t \cdot \sum_{i=1}^{j-2} (q(0,i) \cdot v_i) + L \cdot q_0$ .
13  else
14    Length of the last mass per unit length that has been spilled,  $\bar{L}_e \leftarrow D_1(n) - L$ .
15     $\sum_{i=1}^k M_{out}(n) \leftarrow \bar{L}_e \cdot q(0,1) + L \cdot q_0$ .
16  end
17 end

```



*Figure III.7. Puissance maximal calculé dans les deux model*

La figure III.7 montre que les valeurs de calcul de la puissance maximale du modèle linéaire proposé sont proches de celles du modèle ZX pour les bandes transporteuses de courte et moyenne longueur.

### III.2.3 Méthode de modélisation de la charge

La masse de matériau par unité de longueur est limitée par la capacité de charge maximale de la courroie,  $q_{\max}$ .

Il ressort de la vue en coupe transversale du gilet stabilisateur de la figure 1 que l'augmentation de  $q(x, t)$  sur une section de la courroie augmente la hauteur du matériau au-dessus de la surface inférieure de la courroie jusqu'à ce que le matériau se renverse -plus longtemps être contenue par l'auge.

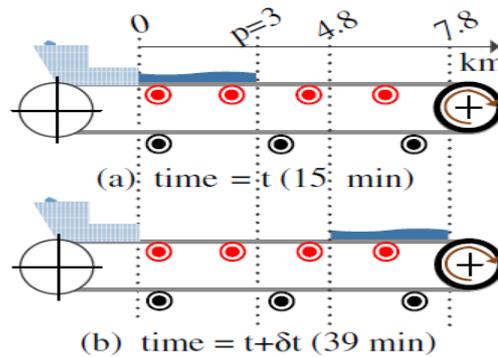


Figure III.8 Propriété en forme de vague du flux de matériau sur le convoyeur à bande (BC).

(a) temps =  $t$  (15 min); (b) temps =  $t + dt$  (39 min).

La figure III.8 représente une vue longitudinale du matériau se déplaçant à  $v = 3,33 \text{ m/s}$  sur une bande transporteuse de 8 km, où la hauteur du matériau au-dessus de la surface inférieure de la bande représente la grandeur de  $q(x, t)$ . La figure 2a montre le BC après  $t_1 = 15 \text{ min}$ , juste au moment où la sortie de la goulotte est arrêtée. La figure 2b montre l'état de la même masse,  $M$ , de matériau sur la ceinture après 39 min.

(C'est-à-dire à l'instant  $t_2 + dt$ ). Le matériau en vrac sur le convoyeur s'écoule de la queue à la tête avec une quantité de diffusion négligeable. Donc,

$$q(t) = \int_0^P q(x, t) dx = \int_{v\delta t}^{p+\delta t} q(x, t + \delta) dt \quad (11)$$

C'est-à-dire qu'après 39 min, toute la masse du matériau qui se trouvait avant la position  $p$  ou dans l'intervalle  $[0,3] \text{ km}$  se trouve maintenant dans l'intervalle  $[4.8, 7.8] \text{ km}$ . Cela implique que le matériau sur la bande se comporte comme une onde se déplaçant à une vitesse constante jusqu'à ce qu'il se déverse à la tête du convoyeur.

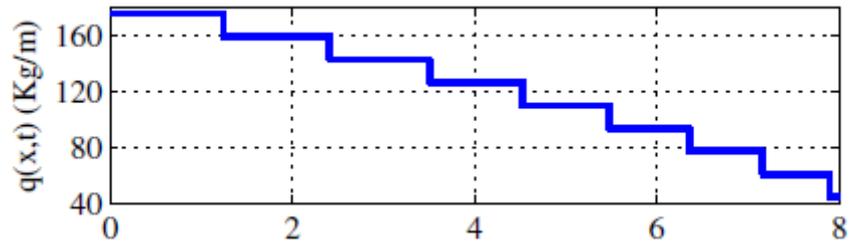


Figure III.9 Déplacement de la charge sur le convoyeur (Km)

Figure III.9 montre les positions des différentes masses par longueurs sur les 8 km. Par exemple, la masse par longueur à 4 km correspond aux entrées  $v = 1,70$  m / s et  $I = 216$  kg / s appliquées de 50 à 60 min après avoir couru la ceinture. Ainsi,  $q(4 \text{ km}, 1,5 \text{ h}) = 216 / 1,70 = 127$  kg / m, comme illustré à la figure 6.

### **III.3 Conclusions**

Ce chapitre a proposé un modèle énergétique avec deux paramètres basés sur les résistances de courroie, pour les convoyeurs à courroie longs avec des courroies creuses. Le modèle utilise une équation différentielle partielle pour capturer les quantités variables de masse par unité de longueur sur la bande afin de donner une représentation plus précise du matériau en vrac transporté.

Le modèle proposé fournit des calculs de puissance en régime permanent proches des modèles de la littérature actuelle.

On montre que le modèle proposé permet d'estimer la consommation d'énergie d'une longue bande transporteuse avec plus de précision que les modèles actuels de régime permanent.

La capacité du modèle proposé à comptabiliser avec précision la quantité de matériau transféré par le convoyeur le rend plus utile dans la pratique que les modèles à l'état d'équilibre actuellement disponibles dans la littérature.

Une configuration d'identification en ligne permettant d'estimer les vraies valeurs des paramètres du modèle est proposée et simulée pour un convoyeur de 8 km de long. Les résultats d'identification montrent que des mesures précises.

L'équipement est nécessaire pour une identification rapide et qu'il est plus facile d'estimer la valeur réelle du paramètre de densité du modèle que celle du paramètre à vide.

Le modèle proposé est appliqué dans une simulation d'application d'étude de cas pour démontrer sa supériorité par rapport à l'approche en régime permanent.

## *Conclusion Générale*

### **Conclusion général**

Le convoyeur à bande tient une place très importante dans le monde industriel d'aujourd'hui grâce à sa robustesse de construction. Actuellement, la structure complexe intéresse aussi bien le monde de la recherche que celui de l'industrie car, bien que plus coûteuse, il présente plus de fiabilité de manutention des produits solides en vrac.

*Le chapitre I* présente l'architecture et les concepts des convoyeurs à bande. Plus particulièrement, le système de convoyeur par bande transporteuse qui est utilisé principalement pour assurer le déplacement des matériaux solides en vrac à un point d'un autre, d'une manière continue. Également, les différents composants et leurs dénominations et dimensions sont présentés en détails et sous forme de figures, ainsi que les différents types de produit transporté.

*Le chapitre II* nous a permis de situer l'importance de contrôle de la vitesse des convoyeurs à bande pendant les processus transitoires, et les risques provenant dans ces processus et son influence sur les performances des convoyeurs à bande dans la logique industrielle actuelle dominée par la recherche permanente de l'amélioration des systèmes de production.

*Le chapitre III* nous a permis de situer l'importance de contrôle de la vitesse des convoyeurs à bande pendant les processus transitoires, et les risques provenant dans ces processus et son influence sur les performances des convoyeurs à bande, et les méthodes de calcul de puissance et on propose un modèle énergétique avec deux paramètres basés sur les résistances de courroie et on montre que le modèle proposé permet d'estimer la consommation d'énergie d'une longue bande transporteuse avec plus de précision que les modèles actuels de régime permanent.

## *Bibliographie*

- [1] *Benidiri Khoudir et Amghar Aghilas «Etude et dimensionnement d'un convoyeur à bande», thèse de master, université Abderrahmane Mira Bejaia ,2012*
- [2] *Shirong Z, Xiaohua X. «modeling and energy efficiency optimization of belt conveyors», Applied Energy, Elsevier, Vol. 88, 3061–3071, 2011*
- [3] *Informations Technique «paramètres à prendre en compte pour l'étude et la conception des convoyeurs à bande»,<https://www.yumpu.com/fr/document/view/17207122/informations-techniques-rulmeca>*
- [4] *Djouema Naima «surveillance et diagnostic des convoyeurs à bande», thèse de doctorat, université Badji Mokhtar Annaba, 2019*
- [5] *Meziane Ridha et Mouhli Toufik «Etude mécanique et électrique d'un convoyeur à bande afin d'augmenter sa charge », thèse de master, université Abderrahmane Mira Bejaia 2013*
- [6] *Khelfa Imad et Otmani Ridha «Etude électromécanique d'un convoyeur à bande afin d'optimiser son débit », thèse de master, université Abderrahmane Mira Bejaia, 2015*
- [7] *Stanislav Gramblicka, Robert Kohar, Marian Stopka «Dynamic analysis of mechanical conveyor drive system», International scientific conference on sustainable, modern and safe transport , Procedia Engineering 192 ( 2017 ) 259 – 264, Slovakia*
- [8] *Daniel Roessner « Contribution à l'étude du comportement mécanique des carcasses textiles de bandes transporteuses : optimisation de la jonction » thèse de doctorat, université de haute alsace, 2010*
- [9] *Daijie He, Yusong Pang, Gabriel Lodewijks «Belt Conveyor Dynamics in Transient Operation for Speed Control» international Journal of Civil and Environmental Engineering, Vol: 10, No: 7, 2016*
- [10] *Yusong Pang, «Intelligent Belt Conveyor Monitoring and Control», these doctorat, universities delft, china, 2010*
- [11] *Daniel Clénet, Jan, «Optimizing energy efficiency of conveyors», these doctorat, 2010*
- [12] *Hiltermann, J., Jul. 2008. Reducing the electrical power consumption of troughed belt conveyor by speed control. Masters Thesis, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands.*

- [13] Lodewijks, G., Pang, Y., 2013. *Energy saving options for continuous transport systems, an exploration* pp.214–217.
- [14] Graaf, M. d., Jan. 2013. *Viability study of an energy-recovery system for belt conveyors*. Research assignment 2013.TEL.7747, Delft University of Technology, Delft.
- [15] Daijie He «Energy saving for belt conveyors by speed control» these doctorat ,université delft, chine 2017
- [16] Sébastien Charlemagne «Modélisation et commande d'un système de transport de bande textile» thèse doctorat, université de Lille, France 2003
- [17] You-fu H, Meng Q. «Dynamic characteristics of conveyor belts», *Journal of china University of Mining and Technology, Elsevier, Vol 18, 0629–0633, 2008*
- [18] Lodewijks, G. and Ottjes, J.A. *Intelligent belt conveyor monitoring and control: Theory and applications. In Proceedings of the International Materials Handling Conference (Beltcon) 13, Johannesburg, South Africa, 2005a.*
- [19] Goto, K., Yogo, K., Higashii, T., Nov. 2013. *A review of efficiency penalty in a coal-fired power plant with post-combustion CO2 capture*. *Applied Energy* 111, pp. 710–720.
- [20] Shirong Z, Xiaohua X. «A new energy calculation model of belt conveyor», *Applied Energy, Elsevier, Vol.978-1-4244-3919-5, 2009*
- [21] Tebello Mathaba \* and Xiaohua Xi a. « A Parametric Energy Model for Energy Management of Long Belt Conveyors» , *Energies*, 8, 13590–13608 (2015)