



PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du :

Diplôme d'Ingénieur d'Etat
Spécialité : **Conception Mécanique et Innovation**

ETUDE ET CONCEPTION D'UN SYSTÈME MÉCANISÉ DE PEINTURE À L'ATELIER DE TRAITEMENT DE SURFACE

Effectué au sein de la société GENA

Département Technique

Soutenu le 22 Juin 2016

Par :

Mr. EL IDRISSI Youssef

Jury :

Pr. Mr. A. ABOUTAJEDDINE (FSTF)

Pr. Mr. A. JABRI (FSTF)

Pr. Mr. M. EL MAJDOUBI (FSTF)

Dr. Mr. M. AKDI (GENA)

Encadré par :

• Pr Mr. A. EL MAJDOUBI (FSTF)

• Dr. Mr. M. AKDI (GENA)

Année Universitaire : 2015-2016

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents, qu'à vrai dire aucune dédicace ne pourrait vous montrer ma gratitude et mon respect, et mon amour envers vous, qu'Allah vous bénisse.

A mes chères sœurs,

A mes chers frères,

A mes encadrants pour leur soutien, leur encouragement et leur support.

A mes amis, et à tous les personnes qui m'ont aidé à surmonter les difficultés et m'ont encouragé pour arriver jusqu'au bout,

Dans les meilleures conditions possibles...

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce rapport.

Je tiens à remercier vivement mon encadrant industriel, **M Mahmoud AKDI**, chef du département technique de **GENA**, pour son accueil ainsi que pour ses conseils et ses idées qui m'ont été d'une aide précieuse, le projet qui m'a confié m'a permis d'acquérir des connaissances et des compétences qui représentent un atout conséquent dans mon parcours professionnel.

Je tiens aussi à remercier mon encadrant pédagogique et mon professeur **M El Majdoubi Mohamed**, chef de département mécanique à la F.S.T de Fès pour ses remarques pertinentes son aimabilité et sa disponibilité tout au long de cette période de stage.

Mes remerciements s'adressent également à **M. EL ALLAoui**, le directeur général de la société pour m'avoir donné l'opportunité de passer mon stage PFE au sein de la société **GENA**, sans oublié **M Chebat**, **M Drissi** et **M Ourhejji** qui m'ont beaucoup aidé à s'intégrer au sein de l'entreprise et qui ont surtout créé une bonne atmosphère durant cette période.

Enfin, Je tiens à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail.

Résumé

Le secret derrière la réussite de chaque entreprise réside principalement dans sa volonté de le faire, de savoir créer la différence et se distinguer des autres surtout dans le milieu industriel ou la concurrence ne cesse d'augmenter.

Le développement évoque l'amélioration ce qui conduit tous simplement à la réussite, alors pourquoi se contenter de l'existant si on peut faire mieux ? Une question vitale qui nourrit les bons décideurs.

Dans cette perspective, ce rapport vient proposer une alternative à la technique de peinture suivi au sein de la société GENA, en cherchant toujours de tirer profit et à mettre en œuvre les qualités d'ingénieur mécanicien.

La recherche des solutions potentielles a permis de savoir quelle piste à suivre pour concevoir la solution qui répond au besoin de l'entreprise tout en respectant les différentes contraintes imposées.

Abstract

The secret behind the success of any business lies mainly in its will to achieve it, to know how to be different and create distinction from the others, essentially in industry where competition keeps increasing.

Development suggests improving which leads to success, so why settle for what we have available if we can do better? This remains a vital question that feeds good decision makers.

In this perspective, this report offers a technical alternative for painting to improve the current one used by GENA, by taking advantage from our Mechanical Engineering skills and the knowledge acquired during this experience.

Searching for potential solutions lead to find out the best way to design the solution with respect to the need expressed by the company

Table des matières :

Introduction	11
1. Présentation générale	12
1.1 Organisme d'accueil	13
1.1.1 Delta Holding	13
1.1.2 Organigramme de Delta Holding SA	13
1.1.3 GENA	14
1.1.3.1 Organigramme de GENA	15
1.1.3.2 Présentation de l'atelier et des procédés de fabrication	15
1.1.3.2.1 Atelier de fabrication	15
1.1.3.2.2 Procédés de fabrication des pièces et machines utilisées	16
1.1.3.3 Atelier de traitement de surface	21
2. Analyse Fonctionnelle	23
2.1 Analyse du besoin	24
2.1.1 Identification de la problématique	24
2.1.2 Le besoin	26
2.1.2.1.1 Identification du besoin : bête à cornes	26
2.1.2.1.2 Validation du besoin : risques d'évolution/disparition	26
2.1.3 Environnement du produit	27
2.1.3.1 Intérateurs en contact avec le Produit	27
2.1.3.2 Fonctions de transfert et fonctions de contraintes	28
2.1.3.3 Diagramme Pieuvre	29
2.1.4 Cahier de charge fonctionnel (CDCF)	29
3. L'étude de faisabilité	31
3.1 Définition	32
3.2 Benchmarking	32
3.2.1 Convoyeur aérien à simple voie	32
3.2.1.1 Conception	32
3.2.1.2 Balancelles et leurs attaches avec la chaîne	35
3.2.1.3 Conditions d'accrochage et charpentes	36
3.2.1.4 Sécurité des personnes	36
3.2.1.5 Sécurité de l'exploitation	37
3.2.1.6 Auxiliaires d'automatismes	37
3.2.1.7 Domaines d'utilisation	38

3.2.2	Convoyeur aérien à double voie (Power and Free)	38
3.2.3	Monorail électrique	41
3.2.3.1	Composition d'un monorail électrique	41
3.2.3.2	Construction du monorail électrique	43
3.3	Coûts	44
3.4	Normes. Sécurité	44
3.5	Analyse S.W.O.T et choix de la solution	44
4.	Dimensionnement et étude par ME	49
4.1	Données de départ	50
4.2	Dimensionnement	50
4.2.1	Circuit	50
4.2.2	Conditions de stabilité : structure portante	51
4.2.2.1	Solutions existantes	51
4.2.2.2	Solution proposée	52
4.2.3	Boulonnage	53
4.2.3.1	Méthodes	54
4.2.3.2	Modélisation	54
4.2.3.3	Application	55
4.2.4	Elément roulant	58
4.2.4.1	Types des Galets	59
4.2.4.2	Capacité de charge et durée de vie	60
4.2.4.1	Durée de vie	60
4.2.4.2	Facteur de sécurité statique	61
4.2.5	Trolley : Entraxe et dégagement	62
4.2.6	Optimisation du circuit initial	63
4.2.7	Système d'entraînement	65
4.2.7.1	Traction de la chaîne Cp (Chain pull)	65
4.2.7.2	Puissance moteur	66
4.2.8	Pannes et durée de vie du système	69
4.2.9	Emplacement de l'unité de rattrapage	70
4.2.10	Dimensionnement du Ressort	70
4.2.10.1	Définition	70
4.2.10.2	Principe et choix type de ressort	70
4.2.10.3	Dimensionnement	71
4.2.11	Dimensionnement Crochet :	74
4.2.11.1	Paramètres	74
4.3	Etude par élément fini	76

4.3.1	Etude statique rail	76
4.3.1.1	Hypothèses	76
4.3.1.2	Maillage	77
4.3.1.3	Propriétés du matériau	77
4.3.1.4	Résultat étude rail	78
4.3.2	Etude statique d'assemblage (rail/support)	78
4.3.2.1	Maillage	78
4.3.2.2	Informations sur le contact	79
4.3.2.3	Résultat étude assemblage	79
4.3.2.4	Interprétation des résultats	79
4.3.3	Etude flambement support	80
4.3.3.1	Maillage	80
4.3.3.2	Actions extérieures	80
4.3.3.3	Résultat	81
4.3.4	Aperçu final	82
	Conclusion	83
	Bibliographie	84
	Annexe 1 : Documentation boulonnerie	85
	Annexe 2 : Documentation galets	89
	Annexe 3 : Documentaion chaîne à cardan	90

Liste des Figures :

Figure 1: Organigramme de Delta Holding:	13
Figure 2: Filiales de Delta Holding	13
Figure 3: Organigramme GENA	15
Figure 4: Instructions de sécurité	15
Figure 5: Cisaille guillotine.....	17
Figure 6: Tronçonneuse.....	17
Figure 7: Scie à ruban.....	18
Figure 8: Chalumeau	18
Figure 9: Plieuse.....	19
Figure 10: Cintreuse à 4 axes	20
Figure 11: Cintrage d'un tôle.....	20
Figure 12: Perceuse	20
Figure 13: Soudage.....	21
Figure 14: Sablage.....	21
Figure 15: Peinture	22
Figure 16 : Circuit multiplan de convoyeur aérien à simple voie	33
Figure 17 : Convoyeur aérien simple voie à câble et voie tubulaire	33
Figure 18: Convoyeur aérien simple voie à chaîne à maillons détachables.....	33
Figure 19: Convoyeur aérien simple voie à chaîne et voie coaxiales	34
Figure 20: Convoyeur aérien simple voie à chaîne à axes cruciformes	34
Figure 21: Circuit de convoyeur aérien à double voie	39
Figure 22: Principe de débrayage des trolleys Free	39
Figure 23: Convoyeur aérien sélectif à câble	40
Figure 24: Convoyeur aérien à chariot transférable	40
Figure 25: Chariot motorisé d'un monorail électrique.....	42
Figure 26: Monorail électrique à voie en profilé acier.....	43
Figure 27: Monorail électrique en I à roulement supérieur.....	43
Figure 28: Monorail électrique à voie autoportante en aluminium extrudé.....	43
Figure 29: Profils de monorails électriques.....	44
Figure 30: Circuit de départ	50
Figure 31: Structure portante solution 1	51
Figure 32: Structure portante solution 2.....	52
Figure 33: Structure portante solution 3.....	52
Figure 34: Structure portante.....	53
Figure 35: Modélisation des efforts sur un rail	54
Figure 36: Diamètres d'un boulon	57
Figure 37: Galets de came	59
Figure 38: Galets supports.....	59
Figure 39: Galet de came avec axe.....	60
Figure 40: Déformation de la bague extérieure en cas d'appui sur un chemin de roulement ..	60
Figure 41: Chaîne à cardan.....	61
Figure 42: Entraxe et dégagement.....	62
Figure 43: Image représentative 1	63
Figure 44: Image représentative 2	63
Figure 45: Espace projet.....	64
Figure 46: Circuit optimisé	65

Figure 47: Caterpillar drive	67
Figure 48: Emplacement lubrification Caterpillar drive	67
Figure 49: Logement Sprocket drive.....	68
Figure 50: Courbe choix de système entrainant	68
Figure 51: Unité de rattrapage.....	71
Figure 52: Crochet.....	75
Figure 53: Rail maillé.....	77
Figure 54: Solution conçu sous Solidworks	82
Figure 55: Circuit final	82
Figure 56: Fiche technique chaine à cardan P360.....	90

Liste des Tableaux :

Tableau 1: Diamètre du fil selon Sodemann	72
Tableau 2: Choix de ressort gamme sodemann.....	73
Tableau 3: Informations sur le maillage 'rail'	77
Tableau 4: Résultats étude statique d'un rail	78
Tableau 5: Informations maillage 'rail + support'	78
Tableau 6: Informations contact 'rail + support'.....	79
Tableau 7: Résultats étude statique ' rail + support'	79
Tableau 8: Informations maillage support	80
Tableau 9: Actions extérieures support.....	80
Tableau 10: Résultat étude de flambement	81
Tableau 11: Choix diamètre des boulons	85
Tableau 12: Force de précharge et couple de serrage des boulons	85
Tableau 13: Coefficient γ en fonction du moyen de serrage.....	86
Tableau 14: Caractéristiques des écrous H	86
Tableau 15 : Face en appui boulon.....	86
Tableau 16: Pression admissible de quelques matériaux	87
Tableau 17: Longueurs des boulons.....	87
Tableau 18: Paramètres rondelles	87
Tableau 19: Ecrous hexagonaux	88
Tableau 21 : Espacement et dégagement conseillé pour courbures verticales.....	89
Tableau 22: Roulements à billes à contact oblique à une rangée.....	89
Tableau 20: Galets supports sans maintien axial	89

INTRODUCTION

La construction métallique est un domaine de la construction, mais aussi de la mécanique qui s'intéresse à la construction d'ouvrages en métal et plus particulièrement en acier. Elle concerne essentiellement le domaine de la fabrication et du montage des ossatures métalliques.

Etant un grand acteur dans ce domaine grâce à ses différents grands projets structurants réalisés ou en cours de réalisation, GENA vise encore plus haut en termes de qualité, coût et délai.

L'expansion du domaine de la structure métallique promet un grand avenir pour la société. C'est pourquoi, GENA a pour ambition de mettre la barre encore plus haut par rapport à la concurrence en renouvelant d'une manière générale certaines techniques actuellement utilisées au sein de la production. L'atelier de traitement de surface de sa part, concernée par l'activité de peinture consomme un temps précieux à l'entreprise.

Ainsi peut-on se demander quelle conception sera la mieux adaptée à ce contexte pour réduire, voire éliminer le gaspillage de temps durant cette opération ? Telle est la question qui ne cesse d'être posée et qui sera abordée dans le cadre de la présente étude.

Le rapport suivant est subdivisé en quatre chapitres, le premier contient une présentation de l'organisme d'accueil, le second chapitre analyse le besoin et introduit le cahier de charge, le troisième chapitre dénombre les solutions existantes et converge vers la solution optimale, et finalement le quatrième chapitre contient les calculs par élément fini et la validation de la conception.



1. Présentation générale

1.1 Organisme d'accueil

1.1.1 Delta Holding

Delta Holding est une entreprise de droit marocain créé en 1974 et cotée à la bourse de Casablanca, membre du MADEX (Moroccan Most Active Shares Index)

1.1.2 Organigramme de Delta Holding SA

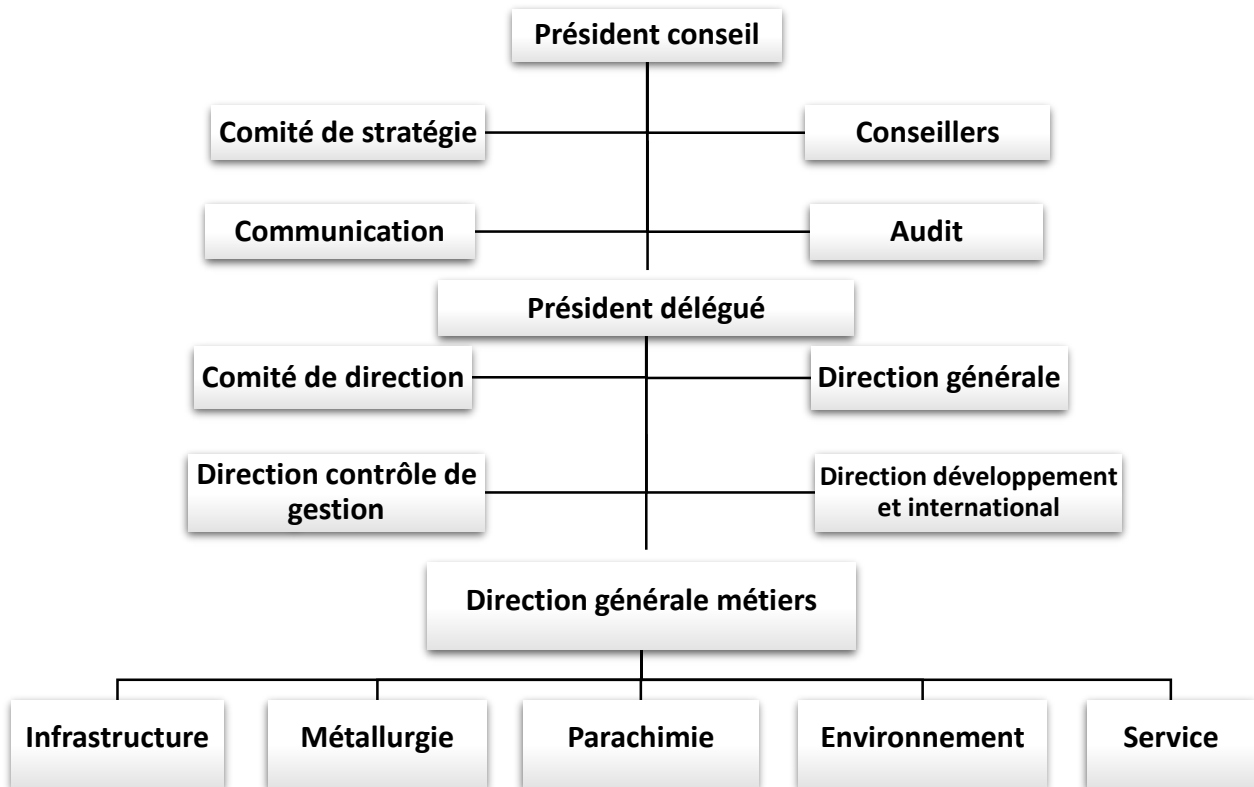


Figure 1: Organigramme de Delta Holding:

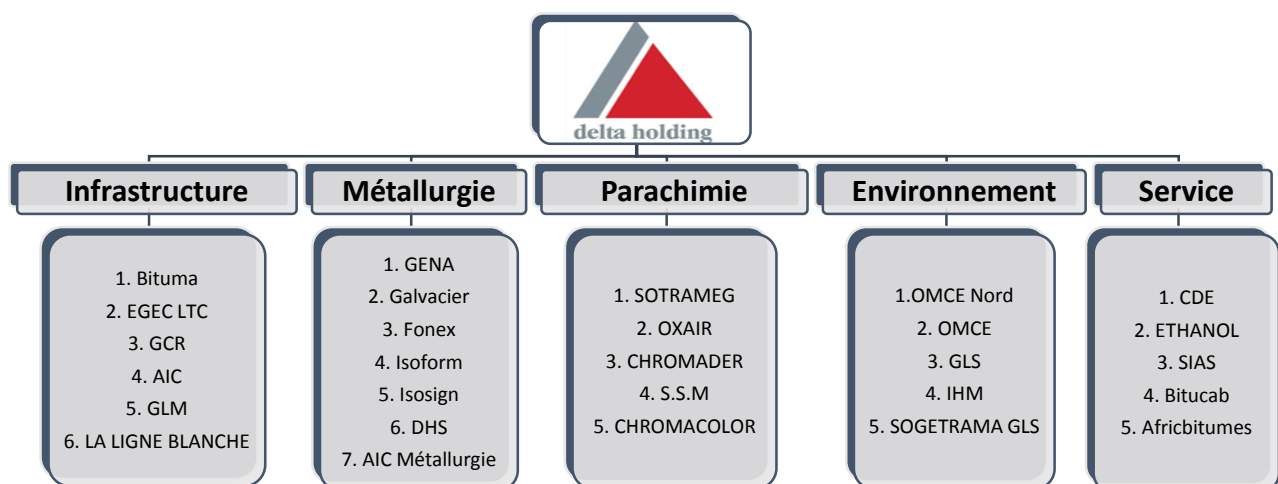


Figure 2: Filiales de Delta Holding

1.1.3 GENA

Société spécialisée dans le montage des équipements hydromécaniques et des structures métalliques, GENA intervient aussi dans l'aménagement des stations de pompage, l'installation des équipements portuaires ainsi que la réalisation des projets industriels. Parmi ses nombreux projets on peut citer à titre d'exemple :

✚ Le montage des équipements électromécaniques de plus d'une trentaine de nouveaux barrages, parmi ceux-ci on peut citer :

- Boukerkour (région de Ben Ahmad).
- Wirgane (région Marrakech).
- Oued Rmel (région Tanger Med).
- Mazer (région Ben Ahmed).
- Koudiat Al Garn (région Settat).
- Taskourt (région Chechaoua).
- Oued Martil (région Tetouan).

✚ L'entretien des unités industrielles.

- C'est le cas de la remise en état des réchauffeurs d'air de la centrale thermique de Mohammedia tranches N°3 et 4.

- L'installation du nouveau système de filtration de l'eau de mer à la raffinerie SAMIR.
- L'installation du système de filtration de l'eau de mer à Maroc Phosphore.
- La remise en état de l'usine Citruma à Kenitra.
- L'entretien des équipements électromécaniques des barrages (Al wanda, Idriss 1er, Allal fassi 9 avril, Mechraa Houmadi, Med V, ...).

✚ la fabrication et le montage des structures métalliques.

▪ Sur ce métier on trouve le montage de la charpente métallique de l'usine Fruit Of The Loom à Skhirat.

- Le montage des Racks pour pipes à Jorf Lasfar.
- Le montage de la structure métallique des unités 5&6 à la centrale thermique JLEC.
- Le montage de la structure métallique de la tribune et des mâts d'éclairage du nouveau stade de Tanger.
- Le montage de la structure métallique des Marjanes Fes II. Nador. Tanger.
- Les ponts roulants à l'usine Renault Tanger.

1.1.3.1 Organigramme de GENA

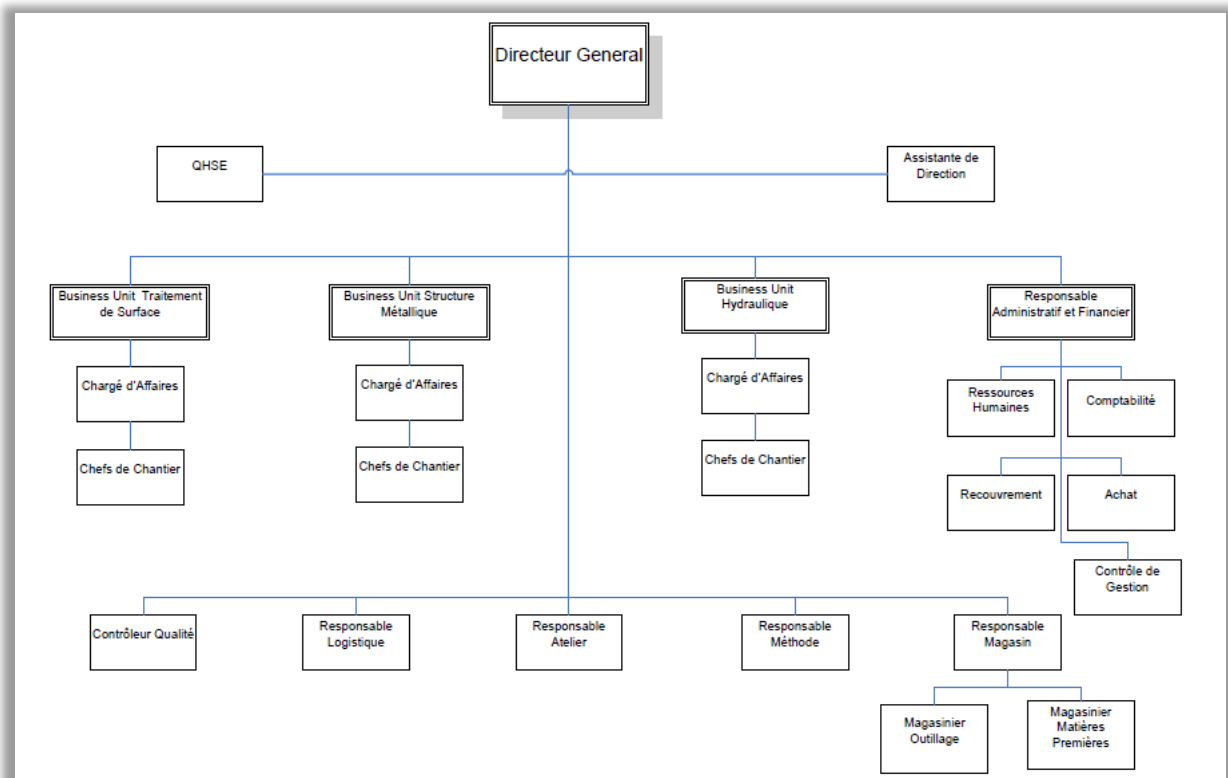


Figure 3: Organigramme GENA

1.1.3.2 Présentation de l'atelier et des procédés de fabrication

1.1.3.2.1 Atelier de fabrication

Instructions de sécurité :

En ce qui concerne la sécurité dans l'atelier, plusieurs précautions sont prises pour satisfaire la réglementation en vigueur sur les règles d'hygiène et de sécurité comme :



Figure 4: Instructions de sécurité

Parties essentielles de l'atelier :

L'atelier se divise en 2 parties essentielles, partie de débitage et partie de soudage, ces deux parties seront détaillées dans l'axe suivant.

1.1.3.2.2 Procédés de fabrication des pièces et machines utilisées

Débitage :

Cette étape consiste à réaliser à partir de la matière première (tôles, profilé) des pièces de forme spécifique avec des caractères bien déterminés à l'aide des machines disponibles dans l'atelier, tout en respectant le cahier des charges. Les étapes de débitage sont :

- Le réception du plan, les mesures et de la géométrie de la pièce demandée.
- Le traçage de la forme sur la matière première.
- le découpage.
- la mise en forme.

L'ensemble de ces procédés de mise en œuvre nécessite l'utilisation de machine spécifique qui assure l'obtention de la forme exigée. Le paragraphe suivant détaille les différents procédés de mise en forme et les machines disponibles dans l'atelier.

Découpage :

Le découpage des tôles se fait par la cisaille guillotine, alors que les profilés sont coupés par la tronçonneuse, la scie à ruban, le chalumeau ou encore l'oxycoupage.

Cisaille guillotine :

La cisaille guillotine sert à découper les tôles en métal. Agissant comme la lame d'une guillotine ou d'une paire de ciseaux, la lame supérieure va pénétrer le métal et le coincer sur une lame inférieure.

Il existe deux principaux types de coupe :

- ✓ Une coupe en forme de triangle rectangle, où la lame descend inclinée
- ✓ Une coupe en forme de rectangle, où la lame descend droite

La cisaille guillotine peut être à commande manuelle ou numérique. Elle s'actionne à l'aide d'un pédalier situé sur le sol. Ces machines sont en général hydrauliques, le système d'activation se faisant à l'aide d'huile sous pression.



Figure 5: Cisaille guillotine

- **Tronçonneuse :**

Il s'agit d'une scie circulaire que l'utilisateur peut déplacer de haut en bas et de gauche à droite au moyen d'une poignée, elle est utilisée pour la découpe droite transversale et longitudinale du profile.



Figure 6: Tronçonneuse

- **Scie à ruban :**

La scie à ruban est une machine-outil qui met en rotation une bande en acier fermée sur elle-même. Elle sert principalement au délignage de plateaux en menuiserie et elle permet le chantournage grâce à des lames de faible largeur.

Son action diffère de celle de la scie circulaire grâce à sa hauteur de coupe et à ses capacités de chantournage notamment.

▪ **Oxycoupage :**



Figure 7: Scie à ruban

L'oxycoupage ou chalumeau coupeur est un procédé de découpe des métaux, par oxydation localisée mais continue, à l'aide d'un jet d'oxygène pur. Il est nécessaire, pour cela, qu'il soit porté à une température d'environ 1300 °C, dite température d'amorçage.

Ce procédé nécessite :

- ✓ Une flamme de chauffe (oxy-gaz) pour l'amorçage et l'entretien de la coupe, où plusieurs types de gaz peuvent être utilisés.
- ✓ Un jet de coupe central d'oxygène pur, venant en milieu de buse, qui permet la combustion dans la saignée et sur toute l'épaisseur à couper.



Figure 8: Chalumeau

✚ Mise en forme des tôles/profilés :

Il y a plusieurs façons de faire la mise en forme des tôles et des profilés, par exemple le pliage, le cintrage, et perçage.

- **Pliage**

Le pliage est une opération de mise en forme qui a pour but de donner à la tôle un angle ou un profil recherché. Il se pratique manuellement ou mécaniquement à froid et occasionnellement à chaud pour des aciers spéciaux ou de fortes épaisseurs



Figure 9: Pliuse

- **Cintreuse :**

Le cintrage est un procédé mécanique de déformation d'un tube ou d'une barre, suivant un rayon et un angle avec une cintreuse. Le terme cintrage est aussi utilisé pour désigner globalement la transformation d'un produit cintré.

Il existe plusieurs techniques : par enroulement, par poussée, par roulage et par emboutissage. Il faut distinguer le cintrage "à chaud", méthode artisanale ou réalisée par induction, du cintrage "à froid", la méthode industrielle. Dans l'industrie mondiale, on utilise essentiellement le cintrage à froid. Cette opération de déformation est réalisée, soit avec des machines manuelles, soit avec des machines de très haute technologie, certaines étant équipées de 13 axes numériques



Figure 11: Cintrage d'un tôle



Figure 10: Cintreuse à 4 axes

▪ Perceuse :

Le perçage est un usinage consistant à faire un trou dans une pièce. Ce trou peut traverser la pièce de part en part ou bien ne pas déboucher.

On parle alors de trou borgne. Les outils de perçage comportent tous une machine tournante, un dispositif de couplage (mandrin), et un outil d'enlèvement de matière, le tout pouvant être libre ou affixé à un bâti avec des accessoires. Le plus souvent, la pièce à percer est fixé et l'outil mobile.



Figure 12: Perceuse

✚ Soudage :

Le soudage consiste à assembler deux pièces en réalisant la continuité de la matière qui les compose. Le joint qui en résulte est la soudure.

Le soudage est dit autogène lorsque les bords adjacents des pièces sont portés à fusion et participent à la formation du joint. Il est souvent nécessaire, pour former le joint soudé, d'ajouter au métal de base (celui qui constitue la matière des pièces) un métal d'apport, identique au précédent ou différent mais de toute façon étranger du métal de base. Métal d'apport et métal de base doivent pouvoir former un alliage.

1.1.3.3 Atelier de traitement de surface

Un traitement de surface est une opération mécanique, chimique, électrochimique ou physique qui a pour conséquence de modifier l'aspect ou la fonction de la surface des matériaux afin de l'adapter à des conditions d'utilisation données, parmi les opérations de traitement de surface effectué à GENA on cite le sablage et la peinture.

- **Sablage :**

Le sablage est une technique industrielle de nettoyage des grandes surfaces en utilisant un abrasif projeté à grande vitesse à l'aide d'air comprimé au travers d'une buse, sur le matériau à décaper, la projection de sable à grande vitesse sur une surface a plusieurs effets :

Il décape, désoxyde, enlève une couche superficielle fragile.



Figure 13: Soudage

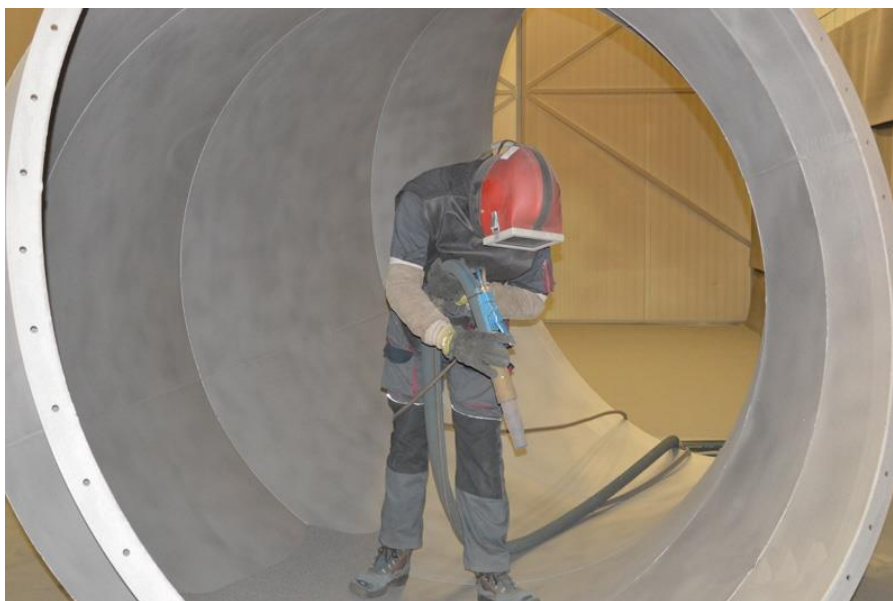


Figure 14: Sablage

- **Peinture :**

Une des solutions pour protéger l'acier contre la corrosion c'est d'appliquer une couche protectrice de peinture qui lutte contre la reformation d'oxyde de fer cette peinture est projetée via un pistolet de pression réglable et ce directement après l'opération de sablage.



Figure 15: Peinture

2. Analyse Fonctionnelle

2.1 Analyse du besoin

2.1.1 Identification de la problématique

La procédure de peinture suivie au sein de l'atelier de traitement de surface de GENA présente plusieurs contraintes, l'absence d'un support pour manutentionner les pièces à peindre oblige l'opérateur à positionner la pièce sur une de ses faces afin d'appliquer la peinture via un pistolet, chose qui réduit la qualité de peinture vu les points non atteints (points de contact avec le support), ce qui demande des retouches de la part de l'opérateur, sans oublier le temps qu'il doit attendre avant de pouvoir peindre l'autre face de la pièce, on parle ici de période de séchage qui peut être longue et qui dépend principalement de la peinture appliquée et de la température.

Voici à titre d'exemple la période de séchage nécessaire pour certaines gammes de peinture, on parle ici de la période « Sec au toucher¹ »

	<i>Température</i>	<i>Sec au toucher</i>	<i>Sec dur</i>
Interzone® 954	10°C	14 h	24 h
	15°C	10 h	18 h
	25°C	4 h	8 h
	40°C	90 min	3 h

	<i>Température</i>	<i>Sec au toucher</i>	<i>Sec dur</i>
Intertuf® 16	5°C	24 h	3 jours
	15°C	12 h	2 jours
	25°C	8 h	2 jours
	40°C	6 h	1 jour

¹ Après un temps donné, la peinture est sèche en surface et ne colle plus au doigt. Les poussières n'y adhèrent plus, mais l'intérieur est encore « mou » et il faut attendre plusieurs heures que la couche ait durci pour en passer une seconde

Interthane® 990

<i>Température</i>	<i>Sec au toucher</i>	<i>Sec dur</i>
5°C	5 h	24 h
15°C	150 min	10 h
25°C	90 min	6 h
40°C	60 min	3 h

Intergrad® 269

<i>Température</i>	<i>Sec au toucher</i>	<i>Sec dur</i>
5°C	45 min	24 h
10°C	40 min	16 h
25°C	30 min	8 h
35°C	20 min	3 h

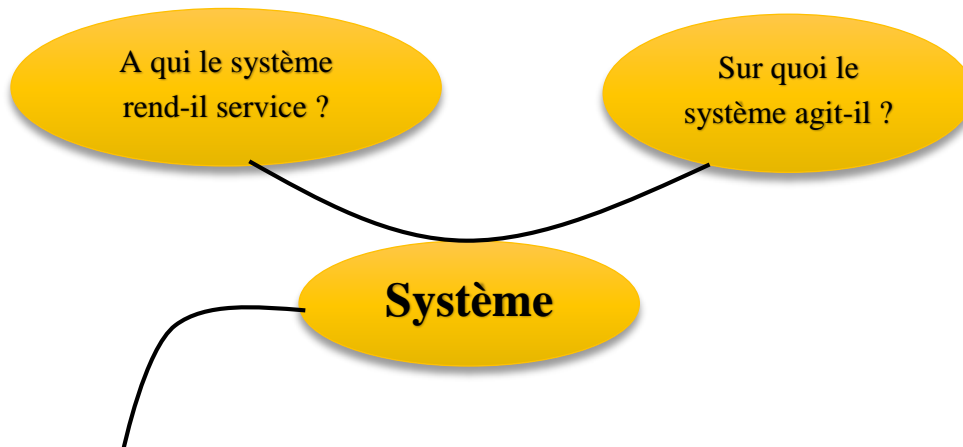
On effectue trois couches de peinture à chaque pièce, c'est-à-dire que chaque pièce sera positionnée sur une de ses faces pour que la 1^{ère} couche de peinture soit appliquée, puis on attend son séchage avant de la retourner pour appliquer la peinture au reste de la pièce. On répète cette opération 3 fois pour chaque pièce.

Une autre contrainte limitant le nombre de pièces à peindre, c'est la contrainte d'espace, le nombre de pièces important disponible au sein de l'atelier occupe un vaste espace limitant ainsi la zone opérative.

Par conséquent on est amené à chercher une solution qui respecte l'espace disponible et qui répond aux attentes de la société en terme de qualité, de cout et de délai.

2.1.2 Le besoin

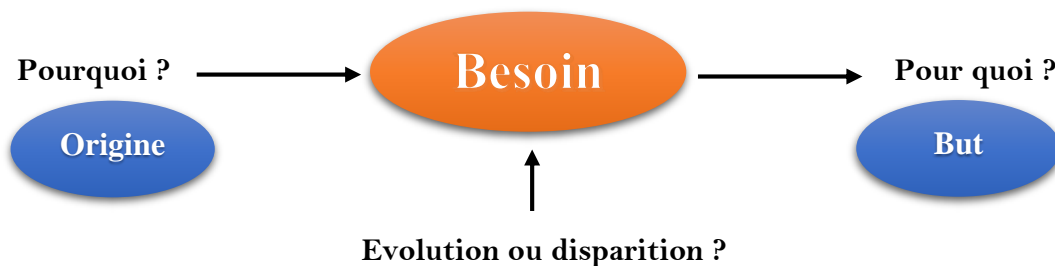
2.1.2.1 Identification du besoin : bête à cornes



Dans quel but ?

- ❖ *A qui le système rend-il service ?*
 - L'entreprise
- ❖ *Sur quoi le système agit-il ?*
 - Sur la durée, la qualité et le cout pour peindre les pièces mécaniques.
- ❖ *Dans quel but ?*
 - Permettre à l'entreprise de peindre un nombre important de pièces mécanique dans le moindre des délais avec une meilleure qualité et un cout plus bas.

2.1.2.1.2 Validation du besoin : risques d'évolution/disparition



- ❖ Le besoin existe *Pourquoi* (à cause de quoi) ?
 - **R₁** : L'espace alloué à l'opération de peinture.
 - **R₂** : Durée longue de séchage de peinture.
 - **R₃** : Obligation d'installer les pièces sur un support horizontal avant d'appliquer la peinture.
- ❖ Le besoin existe *Pour Quoi* (dans quel but) ?
 - **R₄** : Réduire la durée occupée par l'opérateur pendant l'opération de peinture.
 - **R₅** : Garantir une bonne gestion d'espace.

- **R₆** : Diminuer le temps de séchage de peinture.

❖ Risques d'évolution ou disparition du besoin :

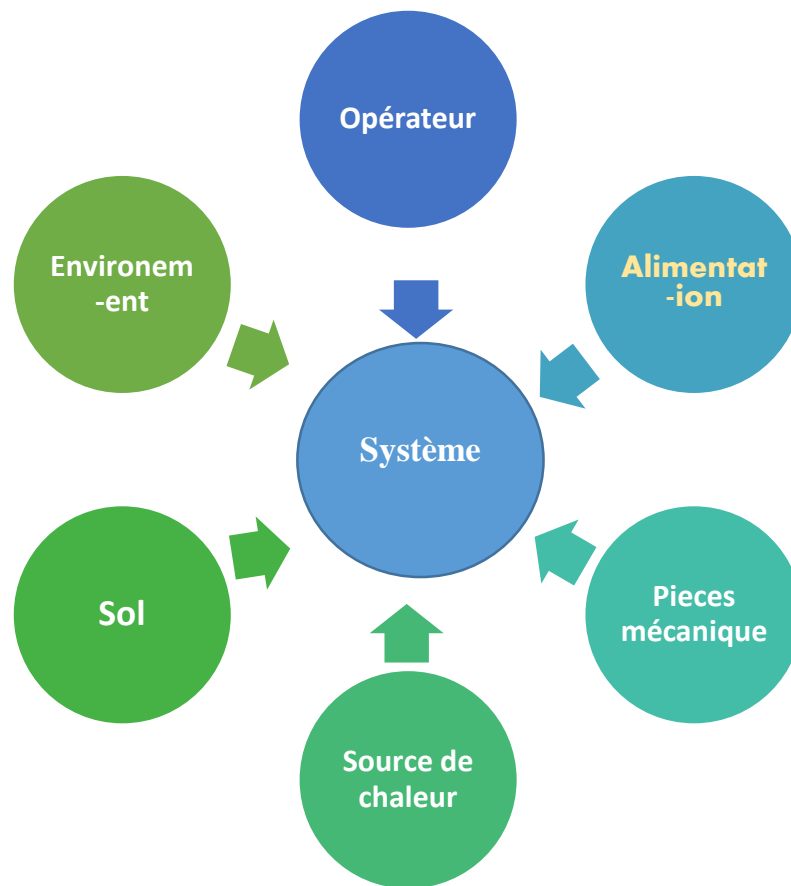
-On vient de citer un grand nombre de raisons justifiant l'existence du besoin mais avant de se lancer dans la conception d'un nouveau produit il faut s'assurer que ce besoin va persister, alors avant de valider le besoin on va identifier pour chacune des raisons ce qui peut la faire évoluer ou disparaître, le besoin sera validé si au moins une raison ne disparaît pas.

- **Non R₁** : L'espace alloué à l'opération de peinture devient grand (*La peinture n'est qu'une opération parmi plusieurs, l'augmentation de cet espace au détriment du reste des opérations n'est pas une option valable.*)
- **Non R₂** : La peinture commence à sécher plus vite (*ceci dépend de la composition chimique de la peinture, modifier la gamme de peinture utilisé entraînera un surcout et donc des pertes pour l'entreprise.*)
- **Non R₃** : Le support horizontal n'est plus nécessaire (*Solution alternative ?*)
- **Non R₄** : La gestion du temps n'est plus parmi les priorités de l'entreprise (*c'est plutôt le contraire.*)
- **Non R₅** : L'espace ne cause plus problème (*Malheureusement, si.*)
- **Non R₆** : Point déjà discuté (*Non R₄.*)

2.1.3 Environnement du produit

2.1.3.1 Intéracteurs en contact avec le Produit

- Le système est fixé au sol ce qui lui donne un équilibre et garantit sa stabilité.
- Le système interagit avec l'opérateur chargé de la peinture ou le technicien chargé de la maintenance.
- Le système aura besoin d'une alimentation appropriée pour assurer le fonctionnement demandé.
- Les pièces mécaniques sont manutentionnées par le système.
- Une source de chaleur intervient au séchage des pièces en manutention.
- Le système prendra en compte son environnement et s'adaptera avec lui



2.1.3.2 Fonctions de transfert et fonctions de contraintes

❖ Rappel :

- **FT : Fonction de transfert :**
- Correspond à une relation entre deux ou plusieurs « interacteurs » avec le produit.
- **FC : Fonction de contrainte :**
- Correspond à une relation directe d'un « interacteur » avec le produit.

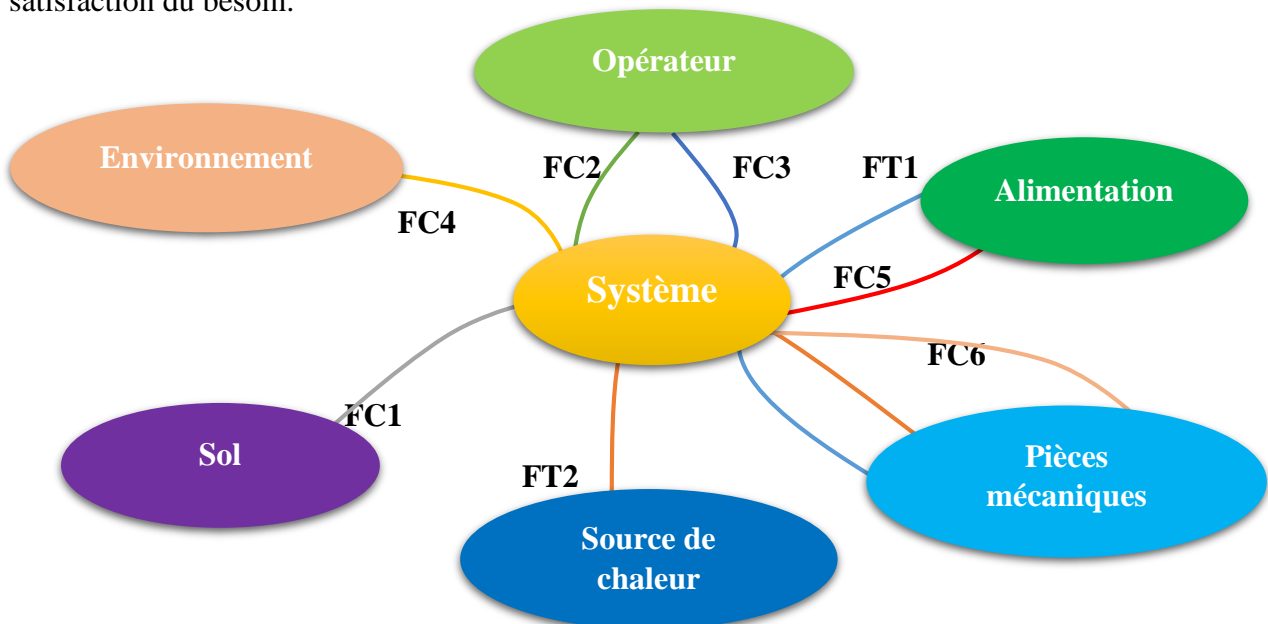
❖ Définition des fonctions :

- ✓ FT1 : Déplacer les pièces mécaniques à l'aide d'une source d'énergie (alimentation).
- ✓ FT2 : Sécher les pièces mécaniques par l'intermédiaire d'une source de chaleur.
- ✓ FC1 : Etre fixé au sol
- ✓ FC2 : Assurer la sécurité nécessaire pour l'opérateur.
- ✓ FC3 : Etre entretenu par le technicien de maintenance.
- ✓ FC4 : Respecter l'environnement cible.
- ✓ FC5 : Utiliser une énergie.
- ✓ FC6 : S'adapter au produit

2.1.3.3 Diagramme Pieuvre

L'outil "diagramme pieuvre" est utilisé pour analyser les besoins et identifier les fonctions de service d'un produit, il met en évidence les relations entre les différents éléments du milieu environnant et le produit.

Ces différentes relations sont appelées les fonctions de service qui conduisent à la satisfaction du besoin.



2.1.4 Cahier de charge fonctionnel (CDCF)

Le cahier des charges vise à définir et à faire valider par le client les spécifications d'un produit ou d'un service à réaliser. Ici il s'agit de cahier des charges fonctionnel, formulant le besoin au moyen de fonctions détaillant les services attendus et les contraintes auxquelles le produit à fournir est soumis.

❖ Fonctions :

- ✓ FT1 : Déplacer les pièces mécaniques à l'aide d'une source d'énergie (alimentation).
- ✓ FT2 : Sécher les pièces mécaniques par l'intermédiaire d'une source de chaleur.
- ✓ FC1 : Etre fixer au sol
- ✓ FC2 : Assurer la sécurité nécessaire pour l'opérateur.
- ✓ FC3 : Etre entretenu par le technicien de maintenance.
- ✓ FC4 : Respecter l'environnement cible.
- ✓ FC5 : Utiliser une énergie.
- ✓ FC6 : s'adapter au produit

<i>Fonctions</i>	<i>Critères d'appréciation</i>	<i>Niveaux</i>	<i>Flexibilités</i>
<i>FT1</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vitesse déplacement. ▪ Charge maximal 	<p>≤ 10 m/min</p> <p>150kg/m</p>	F1
<i>FT2</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Température 	$\leq 40^{\circ}\text{C}$	F0
<i>FC2</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Liaison mécanique 	-	-
<i>FC3</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durée de réparation 	≤ 15 min	F1
<i>FC4</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensions de la solution 	$\leq 25*15$	F0
<i>FC5</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consommation 	-	-
<i>FC6</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solution technique 	-	-

○ Flexibilité :

F0 : Non négociable

F2 : Négociable

F1 : Peu négociable

F3 : Très négociable

3. L'étude de faisabilité

3.1 Définition

L'étude de faisabilité est le cœur de la conception. C'est aussi la tâche la plus délicate qui impacte directement le bon déroulement du projet. En termes de coût, de délai de réalisation et de performance du produit conçu.

Il n'est pas possible (ni souhaitable) de proposer une « recette » pour mener à bien une étude de faisabilité, mais il est possible de proposer une méthodologie s'appuyant toujours sur les concepts de l'assurance qualité et de préciser les travers vers lesquels il faut absolument éviter de s'aventurer.

A titre d'exemple on peut citer :

- Confondre vitesse et précipitation.
- Réinventer ce qui existe déjà.
- S'intéresser à des détails alors que l'étude globale n'est pas terminée.
- Vouloir absolument extrapoler une solution déjà existante.
- Ne pas se donner de temps de réflexion.
- Ne pas synthétiser régulièrement par écrit le travail réalisé.
- etc.

L'objectif de cette étape est de proposer un maximum de solutions exploitables comme avant-projet en un temps compatible avec le délai de l'étude.

3.2 Benchmarking

L'objectif principale de cette conception étant de manutentionner les pièces et les déplacer suivant une trajectoire qu'on définira par la suite, alors il est privilégié de chercher les solutions existantes à ce niveau avant de passer aux reste des fonctions.

3.2.1 Convoyeur aérien à simple voie

3.2.1.1 Conception

Il est constitué par un rail formant un circuit fermé (figure 16) porteur de petits chariots mobiles ou trolleys reliés entre eux par un câble (figure 17) ou plus souvent par une chaîne (figure 18). Les charges à transporter sont accrochées ou posées sur des plateaux ou portoirs solidaires des trolleys mobiles du convoyeur. Le câble ou la chaîne sont tractés par un ou plusieurs groupes moteurs.

Le circuit comporte généralement des changements de direction dans les plans horizontal et vertical (figure 16). Le déplacement est continu dans un seul sens, quelquefois à marche pas à pas.

Le convoyeur aérien se prête par principe aux implantations les plus difficiles. Il est souvent combiné avec d'autres appareils auxiliaires, notamment les transporteurs à rouleaux. Les petites flèches verticales indiquent les points de chargement et de déchargement.

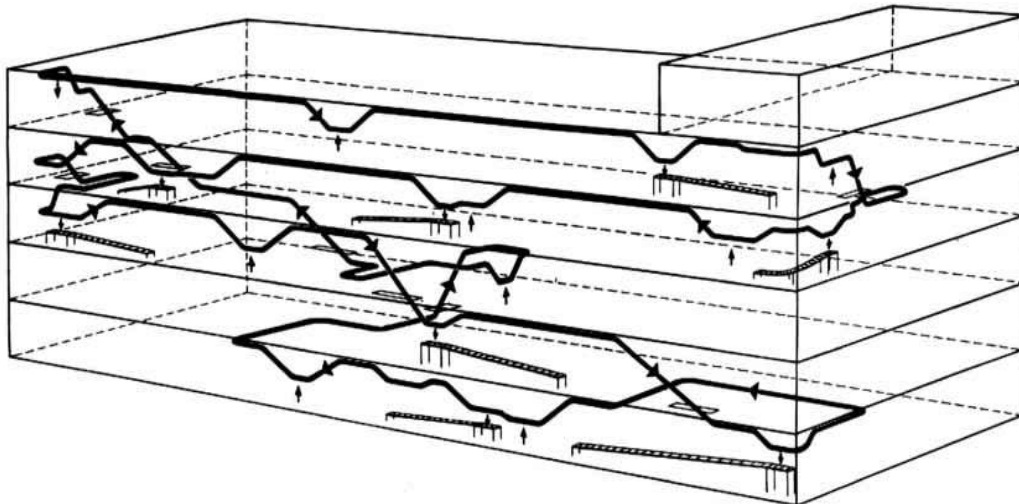


Figure 16 : Circuit multiplan de convoyeur aérien à simple voie

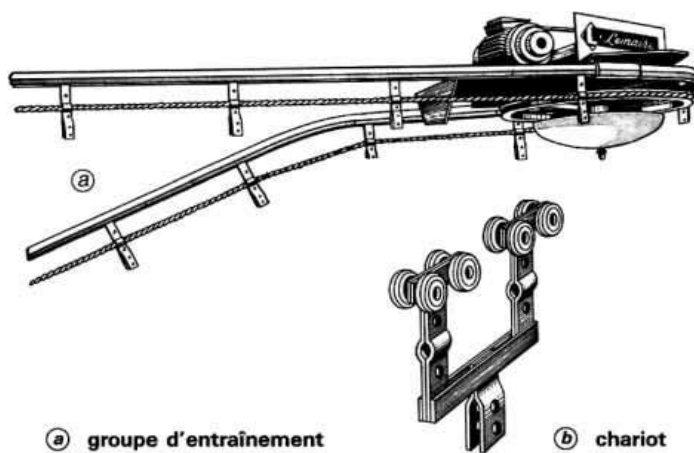
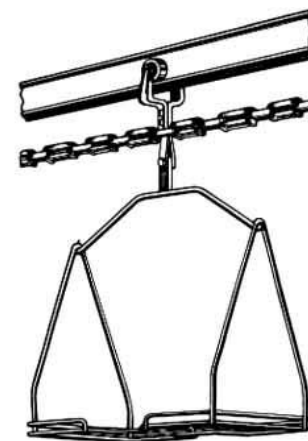


Figure 17 : Convoyeur aérien simple voie à câble et voie tubulaire



Les trolleys roulent sur un rail en profilé laminé

Figure 18: Convoyeur aérien simple voie à chaîne à maillons détachables

L'ensemble est suspendu soit directement aux superstructures du bâtiment, soit à un grill intermédiaire, soit à des potences. Sur ce schéma très général, les variantes d'exécution sont nombreuses :

- le rail en profilé laminé ou filé, le plus souvent en I sur les ailes inférieures duquel roulent les trolleys avec la chaîne ou le câble au-dessous (figure 20).

- le rail tubulaire en profil creux, à l'intérieur duquel roulent les trolleys avec la chaîne ou le câble au-dessous.
- le rail tubulaire en profil creux, ou composé, à l'intérieur duquel roule la chaîne équipée de galets (figure 19).

Dans les deux premiers cas, les changements de direction horizontaux exigent un appui pour la chaîne (roue ou galets jointifs).

Dans le troisième cas, la chaîne roule dans sa gaine et est autoguidée par ses propres galets. On dispose ainsi, d'une part, de trolleys à écartement variable en fonction des rayons des courbes et bien entendu de l'espacement des charges, d'autre part, d'une chaîne articulée avec de nombreux galets de guidage latéraux et verticaux.

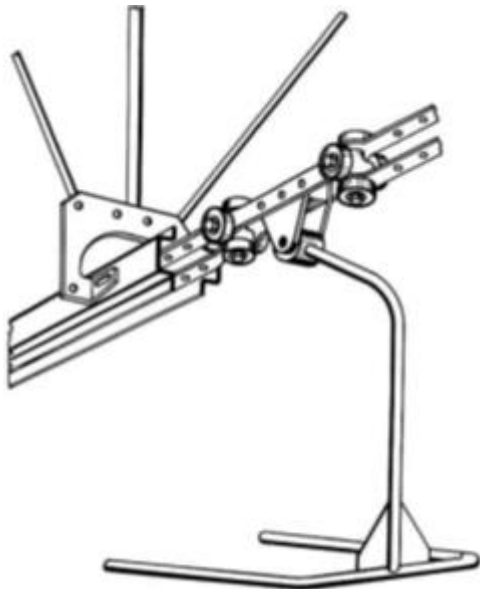
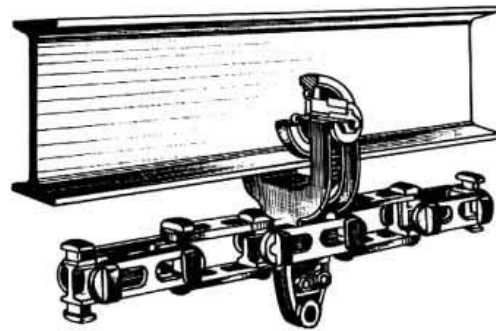


Figure 19: Conveyeur aérien simple voie à chaîne et voie coaxiales



Les trolleys roulent sur un rail en profilé laminé

Figure 20: Conveyeur aérien simple voie à chaîne à axes cruciformes

Ces deux conceptions, bien différentes avec leurs avantages et leurs inconvénients, subsistent et se concurrencent depuis très longtemps. L'utilisateur recherchera le matériel répondant le mieux à ses besoins, à ses possibilités financières et aux conditions d'amortissement.

Dans chacune des variantes énumérées précédemment, les catalogues des constructeurs proposent une gamme de puissances.

La détermination et le choix d'un convoyeur, dépendant de nombreux critères, il est prudent d'en laisser la responsabilité au constructeur qui assure la garantie de la fourniture.

L'étude préalable aboutissant à l'établissement d'un devis comprend toujours une collaboration fournisseur-client, qui est d'autant plus fructueuse que l'expérience du premier est grande et que le problème du second est bien défini.

Cette pré-étude porte surtout sur les points suivants :

- Choix de l'unité transportée.
- Définition des cadences de défilement.
- Conditions d'accrochages du convoyeur aux charpentes.
- Observations des règles de sécurité et de protection.
- Etude des postes de travail, des liaisons avec des machines, des tunnels de traitement, etc.

Des facteurs de service sont appliqués, en considérant :

- Le nombre quotidien d'heures d'utilisation.
- La définition du convoyeur le mieux adapté au problème.
- Le tracé du circuit optimal tenant compte des meilleures conditions de travail et de durée de vie du matériel.
- L'environnement atmosphérique (poussière, température, corrosion).
- La vitesse de fonctionnement.

Remarque :

La puissance consommée n'est généralement pas un facteur important, celui de l'entretien l'est beaucoup plus.

Lorsque plusieurs convoyeurs d'usages différents sont envisagés, on peut avoir intérêt à standardiser le matériel, notamment pour les rails et la chaîne. Cela laisse pour l'avenir une grande latitude de modification du circuit.

3.2.1.2 Balancelles et leurs attaches avec la chaîne

Le choix de l'unité transportée revient essentiellement à l'utilisateur : il est courant de dire qu'un convoyeur se dessine autour de son portoir ou balancelle.

Ceci n'a rien d'exagéré si l'on considère que son poids maximal en charge définit en grande partie le type de convoyeur à adopter, que son encombrement fixe les rayons et les pentes, et surtout que le choix du mode de transport du produit est déterminant dans le succès de l'installation.

La multitude des applications fait qu'il n'est pas possible d'énumérer les types de balancelles, portoirs, praticables, crochets, palonniers, etc., utilisés en convoyeurs aériens.

Chaque installation nécessite son étude particulière de balancelle.

Le chargement et le déchargement automatiques des charges, assez souvent utilisés, influent beaucoup sur la conception des portoirs.

Les attaches de liaison aux trolleys ou aux éléments porteurs de la chaîne sont presque aussi variées en formes, dimensions, répartitions et fonctions. Une forme appropriée en col de cygne permet d'intercaler un écran protecteur entre la chaîne et les balancelles (Chute de poussière, de graisse, etc.).

Il est même possible d'électrifier les charges sur tout ou partie du circuit pour les alimenter sous tension électrique.

3.2.1.3 Conditions d'accrochage et charpentes

La solution convoyeuse aérienne s'applique aux charges les plus légères comme aux plus lourdes.

On conçoit que les accrochages, les suspentes présentent la même plage d'importance, généralement en installation légère, des pendants soigneusement soutenus, consistant en fer rond de diamètre 20 à 25 mm ou en cornière, relie directement le circuit à la charpente du bâtiment.

Des charges plus lourdes ou une insuffisance de l'architecture des bâtiments obligent très fréquemment à prévoir un quadrillage complémentaire à la superstructure, pris par bridage aux points forts ou renvoyés au sol par poteaux. En extérieur, il est évident que la formule des poteaux et portiques s'impose.

Un soin très particulier doit être accordé à l'étude des charpentes et suspentes d'accrochage des convoyeurs.

C'est une question de sécurité, de prix, d'esthétique et de clarté dans les locaux. Pour ces dernières raisons, on recherche les portées maximales (10 m et plus) des points d'accrochage des voies de roulement en renforçant ces dernières par des poutres à la fois légères et très rigides. Une étude judicieuse des circuits permet aussi très souvent de grouper des longueurs de voie parallèlement, facilitant ainsi leur accrochage, de même que les groupes moteurs et autres points clés, en y joignant les exigences qu'imposent la liaison électrique et les passerelles d'accès pour l'entretien.

3.2.1.4 Sécurité des personnes

La faible vitesse de déplacement des charges (quelques mètres par minute), la permanence de leur parcours font que les convoyeurs aériens sont des appareils pratiquement sans danger quant au personnel d'exploitation.

Pour le personnel d'entretien, quelques consignes sont à observer, surtout pour éviter les mises en route intempestives. Outre l'observation des réglementations relatives aux installations électriques, on prévoit des boutons d'arrêt d'urgence en des points où les opérateurs peuvent être amenés à stopper momentanément le convoyeur.

Généralement, ces boutons d'arrêt ne peuvent effectuer la remise en marche mais seulement l'autoriser. Celle-ci est alors commandée depuis un point central, après annonce par avertisseur.

La précaution la plus notoire est celle contre les risques de chute de pièces ou produits au-dessus de zones ou d'allées de circulation.

Les protections grillagées ou filets constituent un écran protecteur, le grillage ou le métal déployé sont parmi les plus employés. Des dispositifs *antiretour* et *antidescente* existent dans les pentes montantes et descendantes pour retenir les charges en cas de rupture de chaîne.

Les locaux séparés par des cloisons avec portes coupe-feu peuvent être parcourus par des convoyeurs aériens. On prévoit, en cas d'incendie, un arrêt automatique du convoyeur en position, permettant la fermeture des portes entre deux balancelles.

3.2.1.5 Sécurité de l'exploitation

L'importance du convoyeur, la paralysie provoquée par un arrêt prolongé et les pertes de production font que des moyens parfois extrêmement importants sont prévus pour éviter, d'une part, et limiter, d'autre part, les pannes, surtout dans les systèmes complexes à double voie, type **Power and Free**.

Ces moyens sont, entre autres :

- **au groupe moteur** : des limiteurs d'effort de traction par coupleur centrifuge, goupille de cisaillement ou autre.
- **au tendeur** : des fins de course qui détectent un mou excessif de la chaîne.

3.2.1.6 Auxiliaires d'automatismes

❖ **Élément porteur de la charge** : sous la forme d'un crochet, d'une pince, d'un portoir rotatif, d'un plateau basculant, il peut, en des points prédéterminés du circuit, être actionné ou positionné de façon à assurer un transfert, un chargement, un déchargement automatique.

❖ **Profil du rail porteur** : par une inflexion, une courbe appropriée, un mouvement de montée, de descente, il peut amener le portoir ou sa charge au niveau voulu pour permettre une opération automatique, un trempé dans un bac, une présentation devant un poste de travail.

❖ **Appareils auxiliaires** : ils sont extérieurs au convoyeur, mais en étroite liaison automatique avec lui. On peut citer :

- ✚ Les dispositifs sélectifs des charges, allant du simple taquet mobile à plusieurs positions au porte-code magnétique ou optique, susceptible de recevoir et de mettre en mémoire des instructions venant d'un ordinateur.

✚ Les comes, basculeurs, tables à rouleaux, décrocheurs, sections monte et baisse, tous les dispositifs que l'imagination peut suggérer pour assurer la continuité des opérations sur le convoyeur et éviter les interventions de main-d'œuvre.

Remarque :

Le plus souvent la marche continue du convoyeur n'est pas affectée, dans certains cas, une marche pas à pas dicte la périodicité des interventions automatiques.

3.2.1.7 Domaines d'utilisation

Chaque constructeur présente plusieurs modèles dans ses catalogues et de plus se prête dans certains cas à des exécutions spéciales. Toutefois il en est qui sont plus orientés vers des unités légères (blanchisseries, teintureries), vers le traitement de surface, l'automobile, le tri postal, l'industrie lourde (la sidérurgie, les fonderies).

Les critères essentiels sont :

✚ les charges unitaires admissibles :

- minimales : quelques grammes,
- moyennes : 100 kg,
- maximales : 2 000 à 3 000 kg ;

✚ les vitesses :

- minimales : quelques centimètres par minute,
- moyennes : quelques mètres par minute,
- maximales : 30 à 35 m/min ;

✚ les longueurs des convoyeurs :

- minimales : 15 à 20 m,
- moyennes : 250 m,
- maximales : 2 500 à 3 500 m.

3.2.2 Convoyeur aérien à double voie (Power and Free)

Variante du convoyeur à simple voie, ce type d'appareil a donné à la manutention continue par circuits aériens des possibilités presque innombrables d'automatismes.

Maintes usines d'automobiles utilisent plus de 100 km de convoyeurs dont la plupart sont de type Power and Free.

Le principe est toujours à peu près le même, mais d'importantes particularités ont en fait imposé des modèles plus sûrs, au moins dans la grande industrie (figures 21, 22 et 23 et 24)

Les chaînes sont animées d'un mouvement continu, mais les charges roulantes entraînées par des taquets ou poussoirs n'en sont pas solidaires et sont même débrayables dans certaines conditions.

Comme pour les convoyeurs à simple voie, la gamme des Power and Free s'étend par type de chaînes et de rails, de quelques kilogrammes de charge unitaire à plusieurs tonnes, dans ce cas extrême, on fait appel à des rails porteurs renforcés en acier spécial.

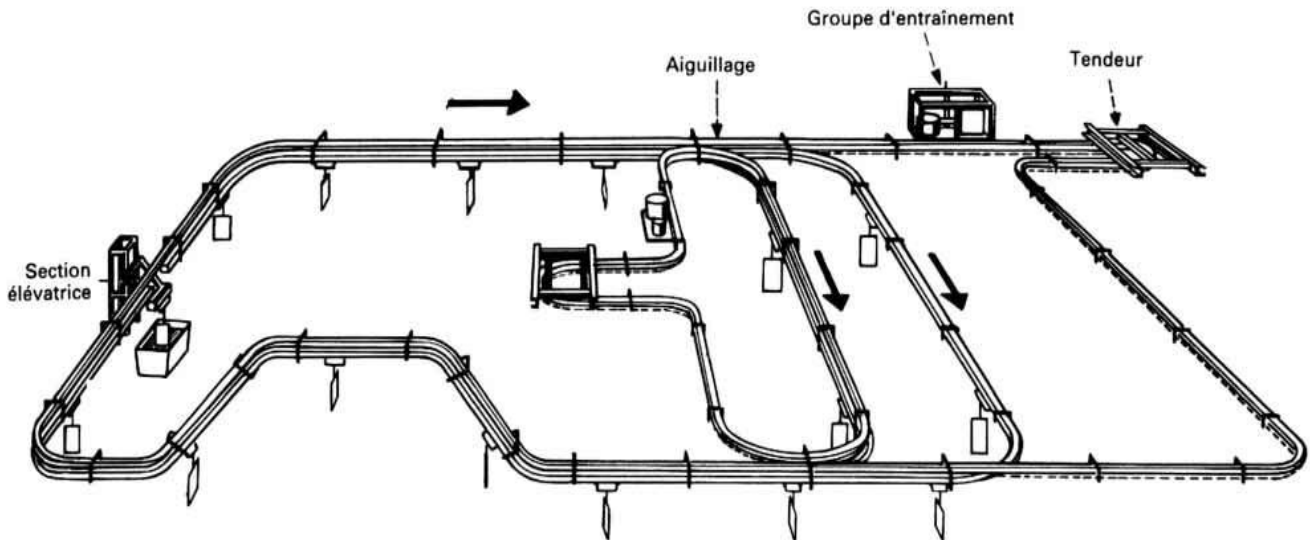
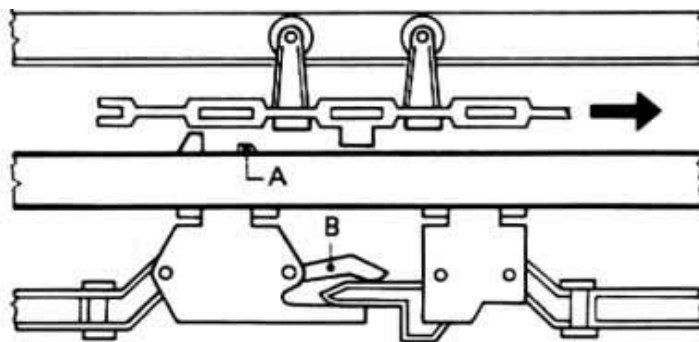


Figure 21: Circuit de convoyeur aérien à double voie



Le chien avant A est en position basse, débrayé par le contact du levier B avec l'arrière de la charge précédente.

Figure 22: Principe de débrayage des trolleys Free

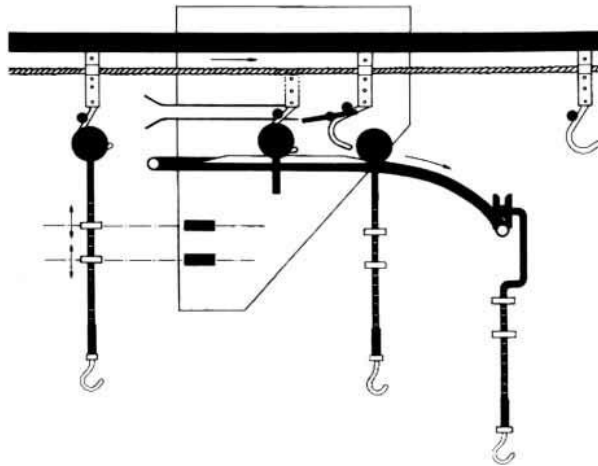
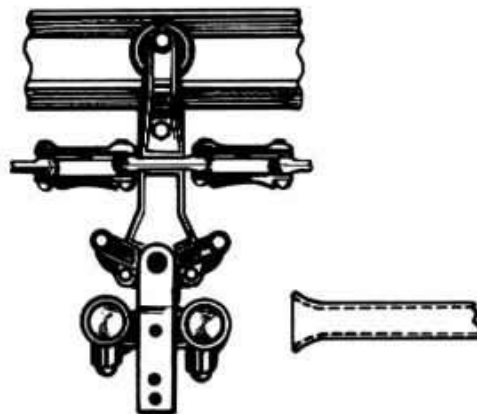


Figure 23: Convoyeur aérien sélectif à câble



A droite: deuxième voie de transfert et dérivation des chariots.

Remarque: ce matériel est un compromis entre le convoyeur simple voie et le convoyeur double voie. Le chariot inférieur n'est dissocié de l'élément porteur que dans les zones d'opération.

Figure 24: Convoyeur aérien à chariot transférable

Outre les fonctions courantes citées pour le convoyeur à simple voie, les constructeurs ont ajouté d'autres dispositifs souvent standards, permettant, notamment :

- ✓ Les aiguillages divergents et convergents.
- ✓ Les arrêts sur butées automatiques.
- ✓ Les stockages sélectifs.
- ✓ Les montées et descentes verticales des charges.
- ✓ Les transferts entre convoyeurs, etc.

Toutes ces opérations font appel à des techniques plus ou moins élaborées mais les cadences imposées, toujours plus élevées, et la fiabilité exigée par les utilisateurs font que les automatismes assez primitifs ont laissé place à l'électronique pour la logique, aux techniques pneumatique et hydraulique et, chez les plus grands constructeurs, à certains dispositifs spécifiques aux convoyeurs, tels que :

- Les procédés de synchronisation des chaînes qui permettent, par une régulation automatique, d'ajuster la vitesse et la position relative des convoyeurs pour rendre possibles des transferts entre chaînes aériennes, chaînes au sol, etc.
- Les dispositifs à mémoire centralisée, qui gèrent à distance la commande des aiguillages. Leur principe est celui des simulateurs mécaniques, électromécaniques ou électromagnétiques, animés d'un mouvement homothétique à celui des charges contrôlées.
- Les dispositifs à mémoire répartie, qui sont d'une infinie variété et consistent à faire supporter le code d'indexation par le chariot mobile lui-même.

Dans certains cas, notamment de gestion par ordinateur, les méthodes centralisées et réparties sont utilisées conjointement.

De grands ensembles ou systèmes de convoyeurs d'une valeur supérieure à 2 millions d'euro sont courants et l'on cite des exemples de circuits complexes de 8, 12, 15 km de chaîne.

Le *Power and Free* présente une telle variété de possibilités d'automation et a donné au processus continu une telle souplesse dans les opérations qu'on le retrouve dans tous les domaines.

3.2.3 Monorail électrique

Dans sa version classique, le monorail électrique est considéré comme un appareil de manutention discontinue. Le chariot mobile sur un rail est le plus souvent complété d'un palan électrique.

Son usage est très ancien et des plus répandus partout où des déplacements plus ou moins répétés de charges sont à effectuer sur des parcours assez limités à l'intérieur d'un atelier ou d'un garage par exemple.

Dans un autre type d'application, en fabrication de série dans des usines, des réseaux de monorails complexes avec aiguillages et plaques tournantes ont été utilisés avec succès, à condition toutefois que le nombre de chariots mobiles reste inférieur à un certain seuil pour que le coût de cette formule soit inférieur à celui des convoyeurs à chaînes.

3.2.3.1 Composition d'un monorail électrique

Le circuit proprement dit est composé d'un rail accroché à une superstructure. Des conducteurs électriques y sont fixés de manière à alimenter en énergie les moteurs des chariots mobiles à travers des capteurs de courant. Les chariots comportent les moyens de transport de la charge.



Figure 25: Chariot motorisé d'un monorail électrique

Les composants habituels des convoyeurs aériens permettent de réaliser l'implantation voulue :

- ✓ Courbes horizontales ;
- ✓ Aiguillages ;
- ✓ Plaques tournantes ;
- ✓ Transferts latéraux ;
- ✓ Sections monte et baisse ;
- ✓ Pentés.

Les fonctions d'arrêt s'opèrent de deux manières :

- Sur tronçons de rails isolés électriquement (cantons) ;
- Par accumulation en ligne des mobiles (avec ou sans contact direct).

Les chariots mobiles comportent un corps en un ou plusieurs éléments (trolleys) selon la capacité en charge unitaire. Les chariots multitrolleys forment un ensemble articulé de manière à pouvoir emprunter des courbes de faibles rayons et des pentes.

Les moteurs électriques sont à frein incorporé et intégré avec un réducteur dont l'arbre lent de sortie entraîne la roue motrice.

C'est l'adhérence de cette roue sur le rail de roulement qui assure l'entraînement du chariot et de sa charge. Pour le passage des pentes, cette adhérence peut être renforcée par des dispositifs mécaniques annexes.

3.2.3.2 Construction du monorail électrique

Nombreuses sont les firmes produisant des convoyeurs qui ont ajouté, à leur gamme traditionnelle à base de chaîne, le monorail électrique. Certaines, déjà axées sur un matériel analogue, l'ont adapté aux nouvelles conditions d'utilisation. L'attention s'est portée principalement sur :

- La partie courante du rail, son profil.
- Le chariot mobile et son équipement moteur et de contrôle.
- Les techniques d'alimentation électrique, de cantonnement, de transmission de signaux.

Le rail peut être conçu selon deux principes fondamentaux :

- Rail léger à faible moment d'inertie relié par des consoles adaptables, à écartement variable, à une poutre de renfort surplombant le rail lui-même, cette poutre est indispensable à la tenue du rail : on peut l'assimiler à l'ensemble de la voie où la considérer comme partie de la superstructure d'accrochage (figure 26).
- Rail à moment d'inertie élevé dit autoportant et autorisant des points d'accrochage d'autant plus écartés que la charge roulante est légère (figures 27 et 28).

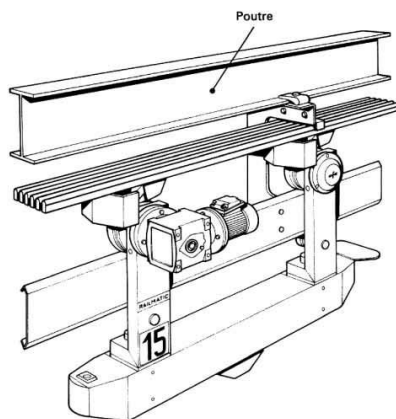


Figure 26: Monorail électrique à voie en profilé acier

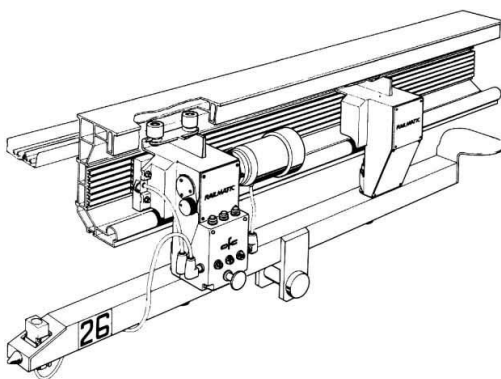


Figure 27: Monorail électrique en I à roulement supérieur



Figure 28: Monorail électrique à voie autoportante en aluminium extrudé

Autour de ces deux principes, faisant appel aux profils en laminés en I, en U, à la tôle pliée ou à l'aluminium extrudé, les constructeurs ont visé certains objectifs prioritaires :

- Hauteur minimale de l'ensemble rail-chariot mobile.
- Rayons minimaux en courbes horizontales.
- Aptitude à franchir des rampes.
- Légèreté.
- Facilité de montage
- Entretien et dépannage minimaux.
- Sécurité (basse tension et conducteurs)
- et, bien entendu, moindre coût.

Cela explique la très grande variété de modèles présentés sur le marché actuellement encore en pleine évolution (figure 29).

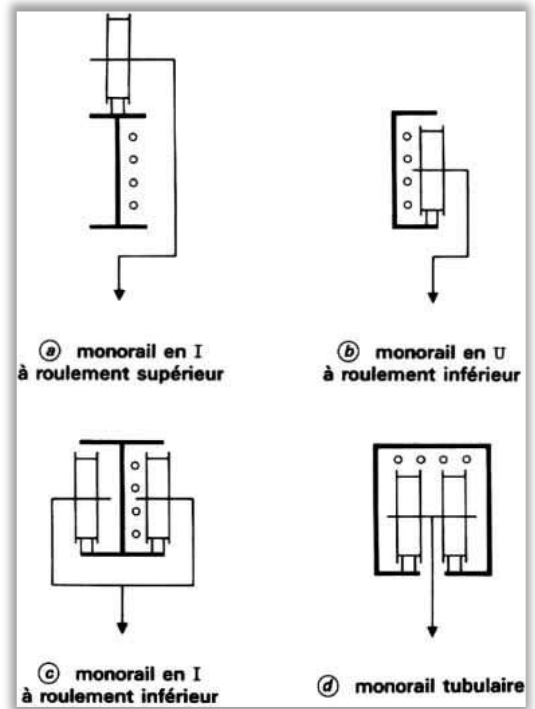


Figure 29: Profils de monorails électriques

3.3 Coûts

L'analyse des éléments de prix d'une installation montre que la voie proprement dite n'est pas l'élément le plus coûteux. Le nombre de mobiles et de cantons, le degré d'asservissement à des automatismes, les auxiliaires divers sont à considérer ainsi que la superstructure, les accrochages et les grillages de sécurité contre les chutes. Chaque cas est donc spécial ainsi d'ailleurs que tous les facteurs indirects influant sur le prix du matériel et de son montage.

3.4 Normes. Sécurité

Aucune norme d'ensemble n'est applicable à ce jour à ce type de matériel qui, comme on l'a déjà dit, se distingue par une très grande variété de modèles.

Les règles de sécurité à observer sont celles communes aux matériels de manutention à commande électrique et celles particulières aux convoyeurs pour charges isolées.

3.5 Analyse S.W.O.T et choix de la solution

Après avoir énuméré les solutions possibles et citer les caractéristiques de chacune, c'est l'heure de pointer le doigt sur celle qui répondra au mieux au besoin exprimé par l'entreprise, pour ce faire on a choisi de suivre une analyse S.W.O.T qui nous permettra de faire un choix en se basant sur les 4 axes : Forces, faiblesses, opportunités, menaces.

L'analyse SWOT structure l'analyse et la réflexion autour d'une situation existante ou d'un changement prévu pour aider à définir une stratégie de développement de cette situation vers un état favorable.

La méthode SWOT permet de :

- ✚ Structurer et organiser l'analyse et la réflexion autour des forces, faiblesses, opportunités et menaces, aussi bien internes qu'externes, d'une situation ou d'un changement, et réduit ainsi la probabilité d'oublier un élément pertinent.
- ✚ Participer à la définition de solutions efficaces et innovantes dans l'établissement d'une stratégie de développement ou d'une tactique de mise en place d'un changement.

On retrouve 4 briques élémentaires de la matrice SWOT à savoir :

- ✚ Forces : les facteurs internes positifs
- ✚ Faiblesses : les facteurs internes négatifs
- ✚ Opportunités : les facteurs externes positifs
- ✚ Menaces : les facteurs externes négatifs

Ici il est important de définir l'environnement de la solution, son environnement interne qui marquera ses points forts et faibles et son environnement externe qui est lié essentiellement aux conditions sous lesquelles cette solution va opérer, on définira donc la solution en elle-même comme environnement interne et ses interacteurs seront considérés comme environnement externe.



❖ Rappel des solutions :

Pour rappel le benchmarking nous a permis de faire une présentation des différentes solutions existantes et pouvant répondre à notre besoin.

- Convoyeur aérien monorail
- Convoyeur Power & Free
- Convoyeur aérien électrique

Chacune de ces solutions présentent des avantages et des inconvénients pour en juger de leur efficacité, on fera une étude comparative sous forme d'une matrice SWOT.

❖ Matrice SWOT

❖ Convoyeur aérien monorail

	Forces	Faiblesses
Environnement interne	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Faible Consommation ▪ Passage cabine de peinture et four ▪ Durée de vie ▪ Trolley ▪ Coût (209 \$ par mètre selon loknathengineering) ▪ Pentes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de support des grandes vitesses ▪ Pas de support pour les charges Lourdes ▪ Pas d'automatisme
	Opportunités	Menaces
Environnement externe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibilité ▪ Sécurité ▪ Installation ▪ Peu de maintenance ▪ Coût de maintenance ▪ Simple à maintenir ▪ Durée de la maintenance 	

Remarque : Les caractéristiques qui nous importe sont marquées en gras, la couleur noire marque les plus de la solution, la couleur rouge marque les moins.

Pour le cas du convoyeur monorail on remarque que la solution ne présente pas d'inconvénient lié à l'utilisation prévu, cependant il est encore tôt pour converger sur cette solution, car il est toujours probable qu'une des solutions restantes soit avantageuse en termes de forces ou d'opportunités.

❖ Convoyeur Power and Free

	Forces	Faiblesses
Environnement interne	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatisation ▪ Passage cabine de peinture et four ▪ Durée de vie ▪ Trolley ▪ Coût ▪ Aiguillages² ▪ Pentes ▪ Arrêts sur butées automatiques ▪ Transfert entre convoyeur ▪ Vitesse ▪ Charges supportés 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consommation ▪ Coût (456\$ par mètre selon loknathengineering)
	Opportunités	Menaces
Environnement externe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibilité ▪ Sécurité 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Installation ▪ Peu de maintenance ▪ Coût de maintenance ▪ Difficile à maintenir

Le Power & Free est une solution qui propose plusieurs avantages par rapport au Monorail, les possibilités sont très nombreuses et son côté automatisme et au service contre tout changement ou modification des conditions d'utilisation, cependant la consommation du convoyeur Power & Free est beaucoup plus importante que celle du Monorail, sans oublier la maintenance qui requiert une bonne expertise pour le remettre en état de marche en cas d'arrêt et qui coûtera un bras à l'entreprise.

² Changement de rail pour les convoyeurs à double voie, pour un circuit contenant deux boucles ou plus, ce genre d'installation est utilisé souvent par des entreprises qui prévoient plusieurs opérations indépendantes et situées dans des zones différentes.

❖ Convoyeur aérien électrique

Environnement interne	Forces	Faiblesses
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Passage cabine de peinture et four ▪ Durée de vie ▪ Pentes ▪ Aiguillages ▪ Automatisation ▪ Vitesse 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consommation ▪ Coût (dépend du nombre de chariots) ▪ Chariot motorisé
Environnement externe	Opportunités	Menaces
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibilité ▪ Sécurité 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Installation ▪ Peu de maintenance ▪ Coût de maintenance ▪ Difficile à maintenir

Le convoyeur électrique présente plus ou moins les mêmes opportunités et menaces que celles du convoyeur Power & Free vu le niveau d'automatisation associé à ce genre de solution, cependant on trouve une différence au niveau des facteurs internes, les chariots motorisés ne sont pas adaptés à notre besoin (peinture par pistolets) mais sont parfois utilisés pour les applications de peinture par immersion ou pour appliquer la peinture pour une zone précise de la pièce (logo, marque, etc ...)

✚ Conclusion :

De toutes les solutions ainsi citées on peut très bien se mettre d'accord que le convoyeur monorail est le plus adapté au besoin de l'entreprise, bien que le Power & Free présente plus d'avantage au niveau d'utilisation possible, mais le coût de l'installation et de la maintenance reste un critère à ne pas négliger.

4. *Dimensionnement et étude par MEF*

4.1 Données de départ

Il est essentiel de déterminer les paramètres affectant le fonctionnement de notre convoyeur avant de se lancer dans la conception, comme cité avant, les paramètres essentiels à déterminer sont les charges transportées, la vitesse du déplacement, la longueur du convoyeur.

Le convoyeur est supposé transporter des pièces mécaniques de masse moyenne 150 kg maximum pour une charge totale de 3500 kg le tout circulera avec une vitesse moyenne de 10 mètres par minute.

Pour la longueur on est limité à un espace de 25m*15m soit un périmètre de 80m.

4.2 Dimensionnement

4.2.1 Circuit

Le système doit agir en boucle fermée, la pièce fera le tour du convoyeur, elle passera d'abord par une zone de chargement ou elle sera manutentionnée par un Clark et fixé sur un crochet, le convoyeur sera bien entendu en arrêt à cette phase, puis elle passera par la zone de peinture, la faible vitesse définie au paravent permettra à l'opérateur d'appliquer la peinture sans aucun souci, de plus la vitesse et un paramètre réglable on pourra toujours diminuer celle-ci en fonction du besoin, « la vitesse donc définie est vue comme vitesse maximale on tiendra compte de celle-ci pour dimensionner le système d'entraînement », en suite les pièces passeront par un four pour diminuer leur temps de séchage et permettre leur déchargement par la suite.

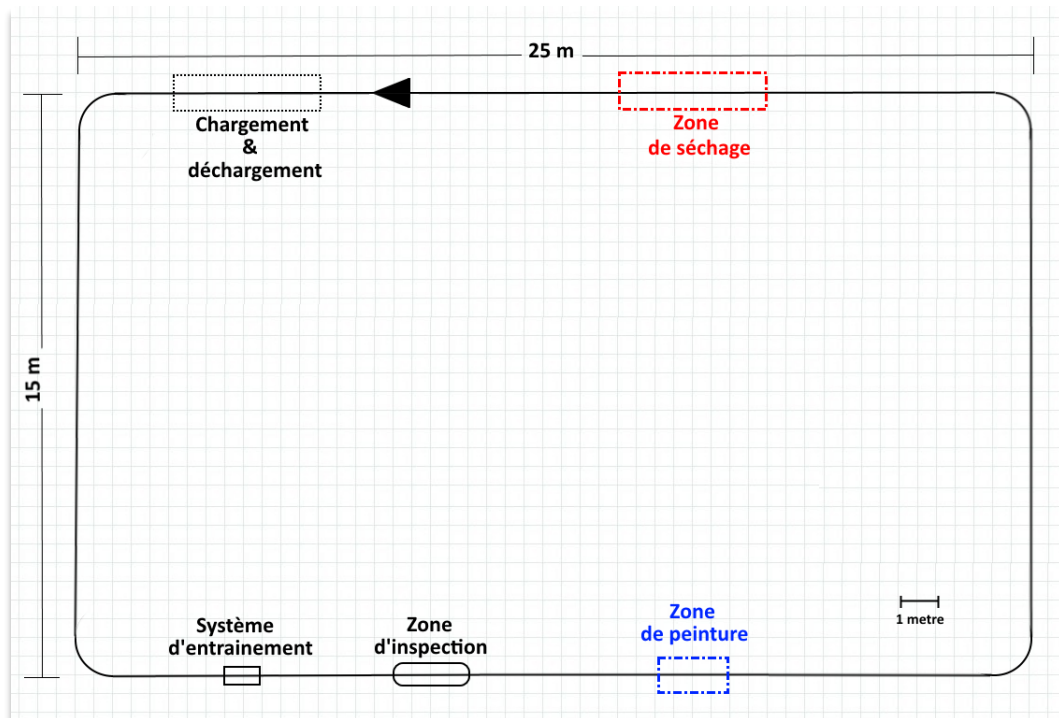


Figure 30: Circuit de départ

On dessinera dans un premier temps un circuit de base occupant tout l'espace disponible en mentionnant ses différents composants, ce circuit sera optimisé par la suite pour permettre de circuler un maximum de pièces mécanique dans des conditions idéales (pas d'encombrement ou de vibration) et dans un espace optimal.

Comme cité auparavant le système et sous forme de rails, une chaîne à cardan fait le tour des rails transportant des charges de 150 kg en respectant un entraxe E entre les pièces transportées, le dimensionnement des rails se fait à base des critères cités ci-dessous :

- Charges transportées/résistance : on vérifie par élément fini que les rails peuvent supporter les charges transportées.
- Entraxe entre les pièces/coudes : il faut prendre la rotation de la pièce au niveau du coude dans le choix de l'entraxe.
- Galets de guidage en translation/dimension : le profil choisit lors de la conception au rail doit permettre la translation des galets.

4.2.2 Conditions de stabilité : structure portante

Beaucoup de solutions sont valables, on a consulté plusieurs fournisseurs de convoyeurs aériens (Pacline, Conveynort, Hjort-conveyor...) et chacun propose des solutions d'accrochage différentes en se basant sur l'espace disponible, le produit à transporter, les obstacles rencontrés dans le milieu du travail, pour ce qui est de la société on a choisi la nôtre vu que l'installation s'effectuera par le soin de nos techniciens.

4.2.2.1 Solutions existantes

Un support de rails est assemblé par boulonnage ou par soudage permettant le maintien de ces derniers.



Figure 31: Structure portante solution 1

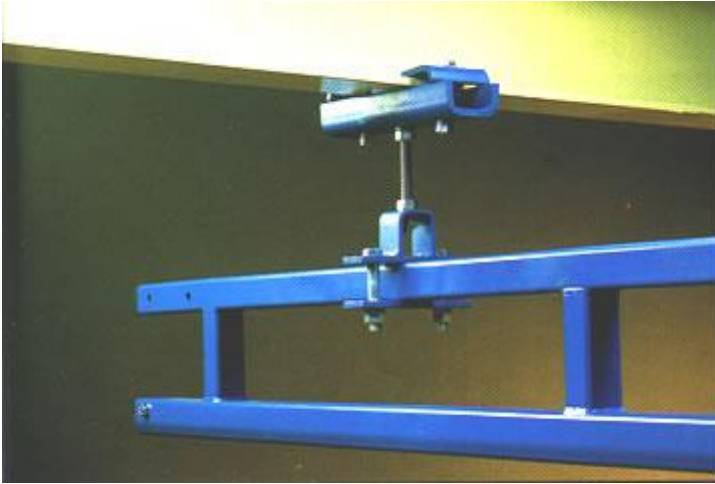


Figure 32: Structure portante solution 2

On prévoit un bras soudé aux rails chose qui facilite l'assemblage et évite tout contact entre les élément d'assemblage et la trajectoire des trolleys.

Assemblage pour convoyeur à rail en I prévu pour supporter des charges importantes d'où la présence d'un support pour profilé tube carré.



Figure 33: Structure portante solution 3

Source : fsindustries

4.2.2.2 Solution proposée

On ajoute entre chaque deux rails une tôle ayant le même profil que celui des faces à assemblé (arrangement des perçages et cotation) à la seule exception de la longueur qu'on allongera de quelques centimètres pour permettre l'assemblage des corniers.

Sur cette tôle on assemble deux corniers (70*70*7) dos à dos par deux boulons M18 qualité 8.8 (Annexe1 Tab 11), à leurs tour les corniers seront assemblé à un poteau HEB 100 encastré au sol on rajoute également une platine soudé pour renforcer la liaison entre les cornières et le poteau figure 34.

Remarque :

La résistance au cisaillement est déjà vérifiée par des boulons M10 utilisés pour assembler les rails (voir partie boulonnage), les boulons M18 assurent le contact (toiles-cornières), voir annexe 1 Tab 11.



Figure 34: Structure portante

4.2.3 Boulonnage

Le boulonnage est une méthode d'assemblage mécanique démontable. Les boulons servent à créer une liaison de continuité entre éléments ou à assurer la transmission intégrale des efforts d'une partie à l'autre d'une construction.

Les éléments à assembler sont serrés entre la face d'appui de la tête de vis et celle de l'écrou.

Dans le cas de l'assemblage par boulons ordinaires, on empêche le déplacement relatif des éléments de l'assemblage en amenant ces éléments au contact du corps de la vis. C'est alors la résistance au cisaillement de la vis qui assure la tenue de l'assemblage.

Les trous sont, en général, percés à un diamètre supérieur de 1 à 2 mm environ du diamètre nominal de la vis.

Les vis sont désignées selon leur « classe » par un symbole numérique à deux chiffres (**X.Y**) : **X** correspond au centième de la résistance à la traction **R_m** en MPa et **Y** est déduit de la résistance à la traction et de la limite d'élasticité (**Re = 10 * X * Y**) .

Ainsi une vis de classe **6.8** correspond à un acier de **600 MPa** de résistance à la traction et **480 MPa** de limite d'élasticité (600 X 0,8).

Avec les boulons à haute résistance, la transmission des efforts s'effectue par l'adhérence (solidarisation) des pièces en contact. Sous l'effort de serrage et grâce à la résistance au frottement des pièces en contact, les éléments assemblés ne peuvent pas glisser.

Dans ce type d'assemblage, le boulon travaille en traction et peut supporter des sollicitations élevées, car il est fabriqué en acier à haute limite d'élasticité. La pression exercée par le boulon est répartie sur la surface de contact à l'aide de rondelles en acier de nuance très voisine, de sorte que les efforts exercés sur les tôles passent par l'intermédiaire des rondelles et la présence des trous n'affaiblit pas la structure.

Les boulons à haute résistance sont de classes **8.8**, **10.9**, **12.9** et **14.9** (R_m de 800 à 1 400 MPa, R_e de 640 à 1 260 MPa).

Les performances de l'assemblage dépendent de l'effort de serrage (mise en précontrainte) et du coefficient de frottement entre les pièces assemblées. Le serrage doit être effectué au moyen de clés dynamométriques. Si le couple de serrage est correct, les boulons à haute résistance résistent bien au desserrement dû aux vibrations. Il existe des boulons spéciaux qui peuvent être serrés d'un seul côté de l'assemblage à l'aide de clés dynamométriques spéciales.

4.2.3.1 Méthodes

Les méthodes de dimensionnement des assemblages boulonnés à choisir sont selon deux cas :

- ❖ Pas ou peu d'efforts et peu de sollicitations extérieures :
Surdimensionnement systématique (Méthode A : non optimisé)
- ❖ Effort moyens ou importants, nécessité d'analyser : (Méthode B : optimisation)

4.2.3.2 Modélisation

Pour un flux de 3 pièces de 150 kg chacune équidistantes d'un mètre passant par un rail de 3 mètres de longueur.

Le rail est sollicité à son propre poids est aux différentes charges générées par les pièces.

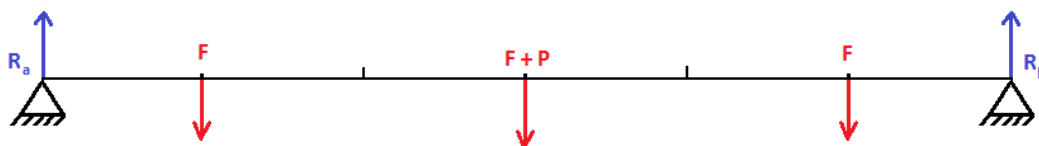


Figure 35: Modélisation des efforts sur un rail

Données :

$$g = 9.81 \text{ m.s}^{-2} \quad M_{rail} = 22.88 \text{ kg} \quad M_{piece} = 150 \text{ kg}$$

$$F = 150 * 9.81 = 1471,5 \text{ N} \quad ; \quad P = 22.88 * 9.81 = 224.45 \text{ N}$$

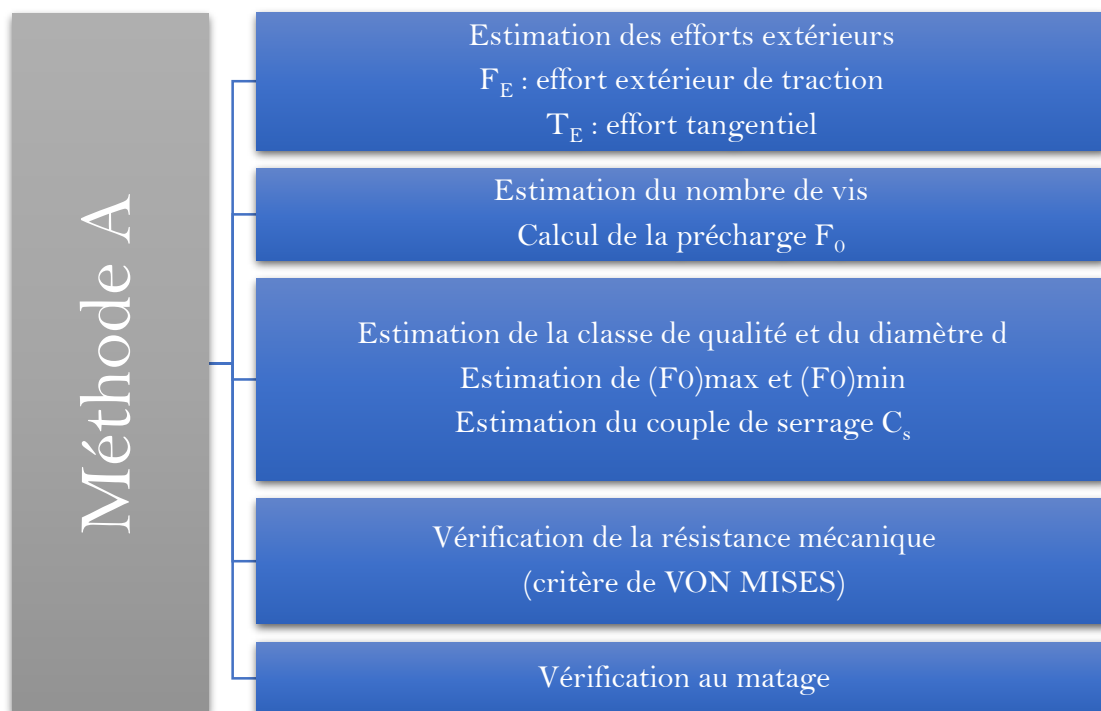
D'après la symétrie du problème on peut déduire que : $R_a = R_b = \frac{1}{2}(3F + P)$

Pour des raisons de souplesse dans la conception et pour ne pas avoir à redimensionner notre boulonnage suite à des simples modifications dans la conception des rails.

On prend $F = 1500 \text{ N}$ et $P = 300 \text{ N}$

$$R_a = R_b = 2400 \text{ N}$$

Vu les efforts appliqués au système on peut appliquer la méthode A afin de dimensionner le boulonnage approprié.



4.2.3.3 Application

Le nombre de vis est prédéterminé en tenant compte des solutions existantes, de la configuration des pièces à assembler, de leur géométrie, de l'expérience. On suppose que les efforts se répartissent uniformément sur chaque vis :

- F_E : effort extérieur de traction sur chaque vis
- T_E : effort tangentiel sur chaque vis

On détermine la précharge F_0 qui garantit le non décollement et le non glissement des pièces assemblées : $F_0 > F_E + T_E/\tan(\phi)$ avec $\tan(\phi)$ coefficient de frottement entre pièces assemblées.

- **On adopte une visserie noir zingué** $\longrightarrow \tan(\mu)=0.15$

On a $R=1650$ N or d'après le fonctionnement du système « des chariots à 4 galets en translation supportant des charges radiales ».

Les boulons sont sollicités uniquement en cisaillement, on se basant sur la géométrie des rails on propose un assemblage à 4 boulons.

$$\text{Alors } T_E = \frac{R}{4} = \frac{2400}{4} = 600 \text{ N}$$

- **Calcul de la précharge F_0 :**

$$F_0 > F_E + T_E/\tan(\mu) \text{ or } F_E = 0 \text{ et } T_E = 600 \text{ N}$$

$$F_0 = 4000 \text{ N}$$

- **Classe et qualité :**

On choisit des boulons M10 de qualité 4.6 :

$$R_m = 4 \cdot 100 = 400 \text{ MPa et } R_e = 4 \cdot 6 \cdot 10 = 240 \text{ MPa}$$

D'après le tableau (Annexe1 Tab 12) on a $F_{0max} = 9.10$ KN et $C_s = 17.2$ Nm

$$\text{Calcul de } F_{0min} : F_{0min} = \frac{F_{0max}}{\alpha_A}$$

$$\text{Pour } \alpha_A = 4 \text{ (Annexe1 Tab13) on a } F_{0min} = \frac{F_{0max}}{\alpha_A} = 2275 \text{ N}$$

Donc il faut bien veillez à vérifier une précharge minimal de 4000 N vu que $F_{0min} < F_0$

- **Vérification de la résistance mécanique : (Von Mises)**

$(\sigma_{eq}) < 0,9 \cdot Re_{min}$ avec Re_{min} limite d'élasticité minimale de la classe de qualité du boulon.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\phi^2} \quad \sigma = \frac{F_{0max}}{A_s} \quad \phi = \frac{16C'}{\pi d_{eq}^3} \quad C' = C_s - C_f$$

$$C_f = F_{0moy} \cdot r_{moy} \cdot \tan(\mu) \quad F_{0moy} = \frac{F_{0max} + F_{0min}}{2} \quad d_{eq} = d - 0.9382p$$

$$r_{moy} \text{ (Annexe1 Tab14)}$$

Avec C_s : couple de serrage et C_f (couple de frottement sous tête)

$$\text{On a } d_{eq} = d - 0.9382p \text{ avec } p = 0.8 \text{ alors } d_{eq} = 10 - 0.9382 \cdot 1.5 = 8.59$$

✓ **$d_{eq} = 8.59$ mm**

$$\text{On a } C_f = F_{0moy} \cdot r_{moy} \cdot \tan(\mu) \text{ avec } F_{0moy} = \frac{F_{0max} + F_{0min}}{2} = \frac{9100 + 4000}{2} = \frac{13100}{2}$$

✓ $F_{0moy} = 6550 \text{ N}$

Avec $\tan(\mu) = 0.15$ et $r_{moy} = 6.5 \text{ mm}$ alors $C_f = 6550 * 6.5 * 10^{-3} * 0.15$

✓ $C_f = 6.40 \text{ N.m}$

$C' = C_s - C_f = 17.2 - 6.40$

✓ $C' = 10.80 \text{ N.m}$

$\sigma = \frac{F_{0max}}{A_s} = \frac{9100}{58} = 156.90 \text{ MPa}$; $\phi = \frac{16C'}{\pi d_{eq}^3} = \frac{16 * 10.80 * 10^3}{\pi * 8.59^3} = 84.77 \text{ MPa}$

$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\phi^2} = \sqrt{156.90^2 + 3 * 84.77^2}$

✓ $\sigma_{eq} = 214.88 \text{ MPa}$

Vérification pour la classe de qualité 4.6 :

$R_e = 4 * 6 * 10 = 240 \text{ MPa}$ la condition $(\sigma_{eq}) < 0,9 * R_{e_{min}}$ est vérifié.

▪ **Vérification de la tenue au matage**

Critère : $P < P_{adm}$ avec $P = \frac{F_{0max}}{A_m}$

et $A_m = \frac{\pi(D_e^2 - D_b^2)}{4}$

D_e : diamètre extérieur d'appui sous tête ou sous écrou ou sous rondelle (Annexe 1 Tab15).

D_b : diamètre du trou de passage de la vis.

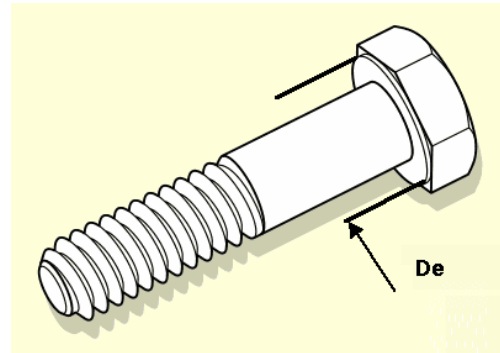


Figure 36: Diamètres d'un boulon

$A_m = \frac{\pi(D_e^2 - D_b^2)}{4} = \frac{\pi(14.6^2 - 10^2)}{4} = 72.38 \text{ mm}^2$

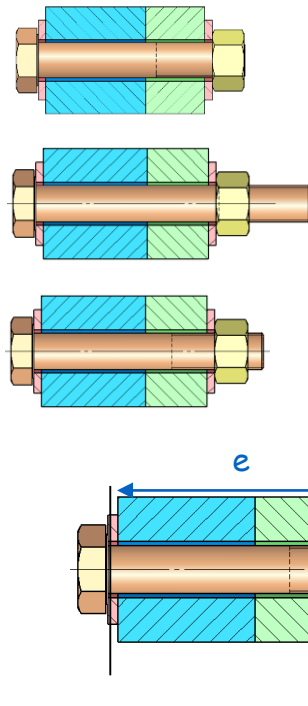
✓ $P = 125.72 \text{ MPa} < 600 \text{ MPa}$ (Annexe1 Tab 16)

▪ **Longueur de la vis :**

Afin de garantir une bonne tenue des vis il faut veiller à choisir la bonne longueur afin d'assurer l'assemblage

▪ **Dépassement de la vis**

C'est la longueur du filetage de vis qui dépasse de l'écrou, afin d'éviter l'arrachement ou le desserrage de l'écrou, il faut prévoir un dépassement de la vis suffisant.



- Dépassement **insuffisant** : l'écrou risque de se dévisser
- Dépassement **surdimensionné** et encombrant
 - Dépassement correct
(~ 2 filets soit 2 x pas)

$$L_{\text{théorique}} = D_p + e$$

e = épaisseur tôle + épaisseur rondelles (Annexe1 Tab 18) + épaisseur faces des rails à assemblé + écrou (Annexe1 Tab 19)

- ✓ Épaisseur tôle : 6 mm
- ✓ Épaisseur faces des rails : 12 mm

Or le diamètre des boulons utilisé est $d = 10$ mm alors on a les valeurs normalisé suivante :
 $p = 1.5, t=2$.

$$\text{Alors : } e = 6 + 4 + 18 + 8.4 = 36.4$$

$$\text{Et } L = 39.4$$

On prend la longueur normalisé la plus proche à la valeur calculée (Annexe1 Tab 17)
donc la longueur de la vis sera $L = 40$ mm.

4.2.4 Élément roulant

Les galets sont des roulements à bague extérieure épaisse conçus pour supporter des charges élevées et des chocs, contrairement aux roulements, dont la bague extérieure est soutenue entièrement dans la longueur, la bague extérieure d'un galet est en contact, avec la piste conjuguée- rail ou came par exemple, que sur une surface très réduite, dont la taille dépend de la forme de la bande de roulement et de la charge, les galets sont également caractérisé par une mise en œuvre simple, ils conviennent dans tous types de mécanismes à cames, convoyeurs... etc

4.2.4.1 Types des Galets

✚ Galets de came :

✓ Galets de came type étroit :

Les galets de came étroits, dérivent du roulement rigide à billes. Ils ont une bande de roulement bombée et sont protégés par des joints.

✓ Galets de cames, type large :

Les galets de cames du type large ont été développés à partir des roulements à billes à contact oblique à deux rangées, mais leur angle de contact est de 25°.



Figure 37: Galets de came

✚ Galets supports :

Les galets - supports sont dans le principe des roulements à aiguilles ou à rouleaux cylindriques à bague extérieure épaisse, ils peuvent supporter de plus fortes charges que les galets de cames dérivés de roulements à billes mais n'ont pas les mêmes possibilités de vitesse.

✓ Galets supports sans maintien axial :

- Galets supports RSTO et STO
- Galets supports NAST-2Z

✓ Galets supports avec maintien axial :

- Galets supports NATR
- Galets supports NATV
- Galets supports NUTR



Figure 38: Galets supports

✚ Galets de came avec axe :

Les galets de came avec axe sont des galets -supports non séparables, prêts au montage, dans lesquels la bague intérieure est remplacée par un axe.

Celui-ci est fileté, ce qui permet une fixation facile et rapide du galet sur un élément de machine approprié, au moyen d'un écrou six-pans.

✓ **Types des Galets de came avec axe :**

- Galets de came avec axe KR
- Galets de came avec axe KRV
- Galets de came avec axe NUKR



Figure 39: Galet de came avec axe

4.2.4.2 Capacité de charge et durée de vie

Les bagues extérieures renforcées des galets de roulement supportent des charges radiales élevées. Si ces galets viennent s'appuyer sur un arbre utilisé comme chemin de roulement, les bagues extérieures subissent une déformation élastique, figure 40.

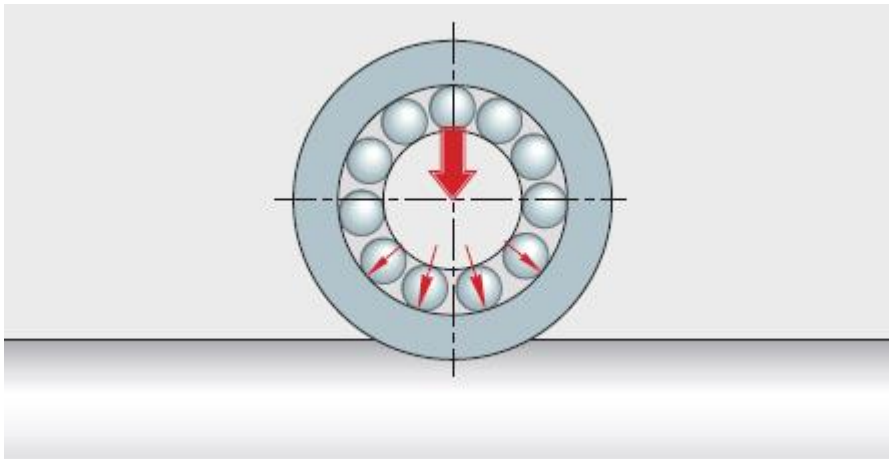


Figure 40: Déformation de la bague extérieure en cas d'appui sur un chemin de roulement

Pour les galets sous charge statique (à l'arrêt ou avec de rares mouvements), on applique la charge statique de base effective C_0 .

Remarque : C_0 est utilisé pour calculer le facteur de sécurité statique S_0 .

4.2.4.1 Durée de vie

Un bon dimensionnement des éléments roulant garantit une longue durée de vie au système et réduit les intervalles de maintenance consacré pour le remettre en service, pour le cas d'un convoyeur aérien la charge est supportée par la chaîne à cardan qui comporte N galets cependant seuls 4 galets support la charge (galets supportant le Trolley), figure 41.

Le dimensionnement d'un galet et similaire à celui d'un roulement à aiguilles ou à rouleaux cylindriques mais pour un trolley à 4 galets on applique les formules suivantes :

$$L_n = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \quad \text{et} \quad L_h = \frac{1666}{v} L_n$$

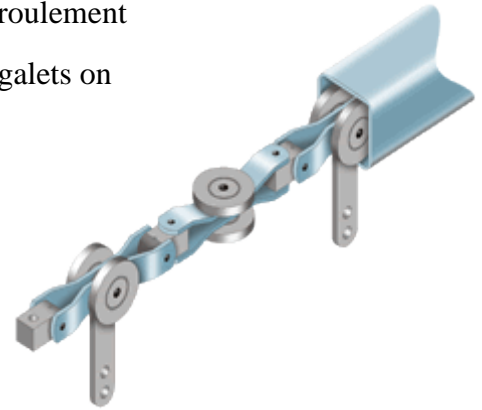


Figure 41: Chaîne à cardan

Pour un poids de **150 kg** soit une charge de $150 \cdot 9,81 = 1471,5 \text{ N}$

Une vitesse de **10 m/min** et un chariot à 4 galets on a les résultats suivant :

Il faut tenir compte de deux chose lors du dimensionnement d'un galet : la durée de vie minimal souhaité et le facteur de sécurité statique.

Pour RSTO 15 (Annexe2 Tab 21) on a :

$$L_n = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} = 438,90 * 10^5 m \quad \text{et} \quad L_h = \frac{1666}{v} L_n = 73120 h = 8.34 \text{ ans}$$

Avec :

C : Charge dynamique effective de base.

P : Charge dynamique équivalente (charge radiale).

V : vitesse linéaire de déplacement.

L_n : Durée de vie nominale en 10^5 mètres.

L_h : Durée de vie nominale en heures de fonctionnement.

4.2.4.2 Facteur de sécurité statique

C'est une valeur utilisée pour désigner la contrainte statique est le facteur de sécurité statique S_0 . Il indique la marge de sécurité vis-à-vis d'une déformation permanente inadmissible dans le roulement et peut être déterminé selon l'équation suivante : $S_0 = \frac{C_0}{F}$

Chargement :

- ✓ Les galets de roulement sont considérés comme fortement chargés lorsque le facteur de sécurité statique $S_0 < 4$.
- ✓ Pour les applications dans des conditions d'utilisation normales, $S_0 > 4$.
- ✓ Les facteurs de sécurité statique $S_0 < 1$ provoquent des déformations plastiques au niveau des éléments roulants et du chemin de roulement, qui peuvent affecter la douceur de fonctionnement. Ils ne sont tolérés

que pour les galets effectuant peu de mouvements de rotation ou dans les applications de moindre importance.

$$S_0 = \frac{C_0}{F} = \frac{10600}{1471.5} = 6.64 > 4$$

4.2.5 Trolley : Entraxe et dégagement

Afin d'éviter tout encombrement entre les pièces, il est essentiel de choisir le bon entraxe entre les trolleys, sinon on sera obligé à démarrer avec un système à moitié chargé c'est-à-dire qu'on sera forcé à alterner les charges sur les crochets (crochet chargé, crochet libre ...), cela engendre plusieurs pertes pour l'entreprise : perte d'espace (installation plus grande pour un nombre de pièces limité), surtout, perte de temps.

Alors pour choisir un entraxe correct pour l'installation il faut tenir compte des dimensions des pièces, des courbures des rails et de la distance (crochet – support latérale).

Le système qu'on a défini ne contient pas de courbures verticales, ces courbures génèrent des encombrements dû à l'angle de la pente qui rapproche les pièces manutentionnées, plus l'angle est important plus la distance entre pièces augmente dans ce genre de cas on se réfèrent au (Annexe2 Tab 20) pour choisir le bon dégagement entre les pièces.

Données :

- ✓ Dimension maximale : 2m*1m*2m (L*I*H)
- ✓ Courbure de 90° de rayon 1m.
- ✓ Poteau distant de 1.3m

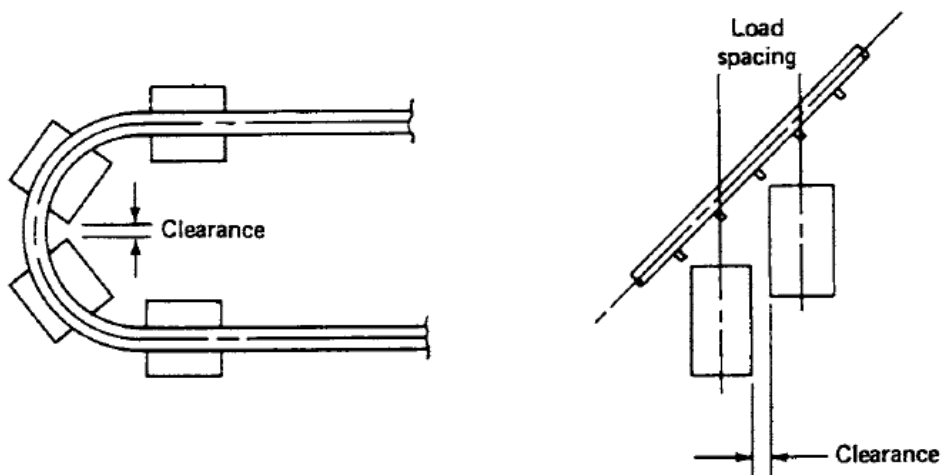


Figure 42: Entraxe et dégagement

Notre installation comporte uniquement des courbures horizontales de 90°, les courbures verticales sont prévues pour éviter des obstacles (colonnes, murs, machines...) donc on va déterminer l'entraxe initial **E** pour un dégagement nul (contact ponctuel) puis on recalculera l'entraxe corrigé en fonction de la distance de dégagement conseillé.

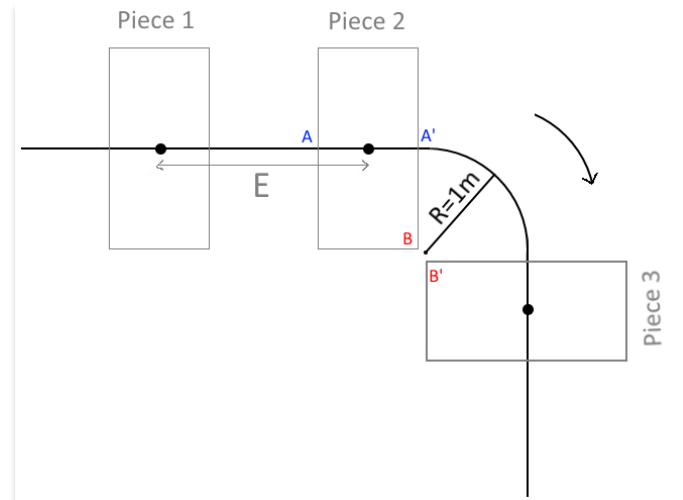


Figure 43: Image représentative 1

$$E_{min} = 2 * \frac{\overline{AA'}}{2} + R\theta \quad \text{ou} \quad \overline{BB'} = 0$$

Équation contact ponctuel entre B et B' Avec $R=1$; $\theta = \frac{\pi}{2}$; $AA' = 1m$

$$E_{min} = 2 * \frac{\overline{AA'}}{2} + R\theta = 2.57 m$$

La valeur de E_{min} correspond à l'entraxe minimale admissible pour éviter tout encombrement entre pièces mécaniques de dimensions inférieures aux dimensions limite, cependant pour des pièces ou les dimensions sont égales aux dimension maximale on aura un contact ponctuel (Points B et B') au niveau du coude pour éviter ce contact on définit une distance minimale entre ces points et on calcul l'entraxe corrigé.

Pour $\overline{BB'}_{min} = \frac{L}{10} = 0.3 m$ on a :

$$E' = 2 * \frac{\overline{AA'}}{2} + R\theta + 2x$$

$$\sin\alpha = \frac{x}{\overline{BB'}} ; x = \overline{BB'} * \sin\frac{\pi}{4} =$$

$$0.3 * 0.71 = 0.21m$$

$$E' = 2.99 m$$

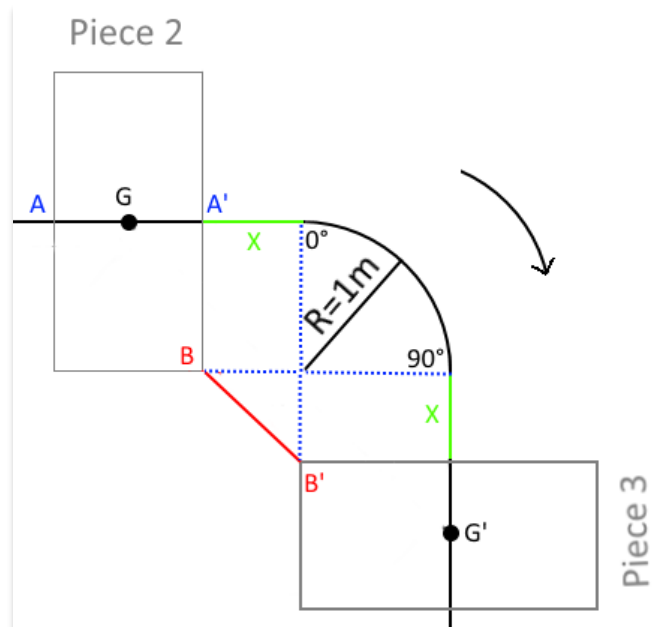


Figure 44: Image représentative 2

4.2.6 Optimisation du circuit initial

Maintenant qu'on connaît l'entraxe entre les pièces et la charge totale à être supporter on peut déterminer la longueur du convoyeur.

Pour un entraxe E de 3 mètres et une charge total de 3500 kg répartie sur des pièces de 150 kg, on aura une longueur de 72 mètres or il est toujours conseillé d'ajouter au moins 3% de la longueur total on prendra alors $L = 75$ m.

L'espace disponible offre un périmètre de 80 mètres si on adopte une forme rectangulaire, figure 45.



Figure 45: Espace projet

Toutefois il est possible d'assurer un périmètre de 80 mètres ou plus avec moins d'espace si on adopte d'autre forme par exemple une forme U, S, E ou plus généralement une forme serpentine.

On prend des nœuds équidistants de $E=3$ mètres et on trace notre serpent in jusqu'à atteindre la longueur voulu puis en ferme le contour (figure 46).

Les nœuds dans le contour présentent les points d'assemblage du système comme vous pouvez le remarquer il y a 24 rails de 3 mètres soit un périmètre de 72 mètres, or il faut ajouter entre chaque deux rails formant un angle de 90° un coude pour casser l'angle alors il y a 8 coudes à ajouter.

Les coudes ont un rayon de 1 mètre donc un périmètre de 1.57 m, ainsi la longueur totale du convoyeur devient 84 mètres pour une surface de $17\text{m} * 11\text{m} = 187\text{m}^2$ au lieu de $25\text{m} * 15\text{m} = 375\text{m}^2$ donc on a économisé 50.13% de l'espace initial.

Résultat :

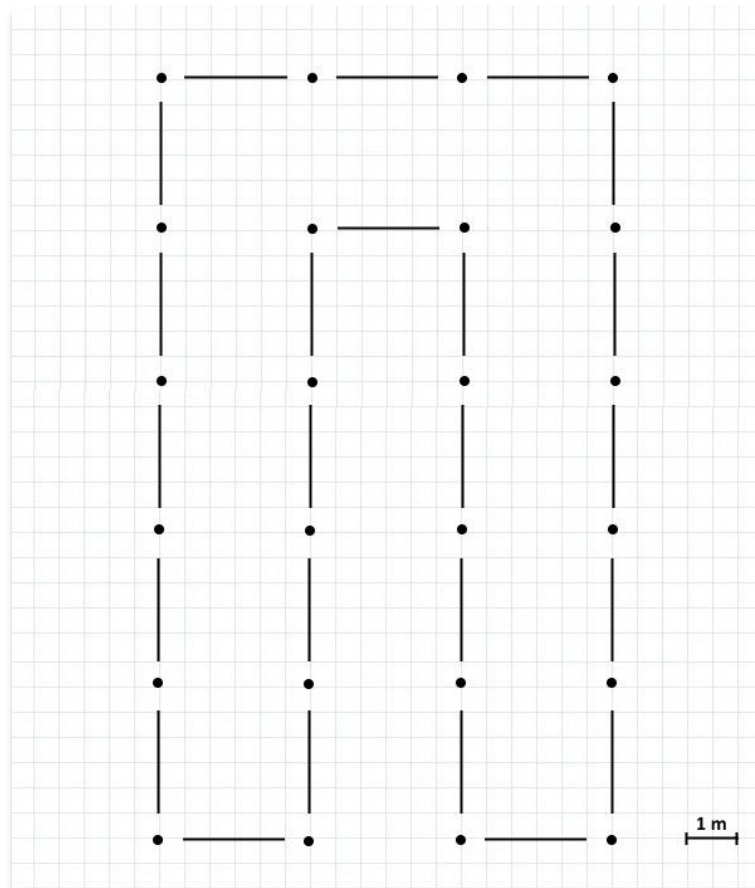


Figure 46: Circuit optimisé

4.2.7 Système d'entraînement

4.2.7.1 Traction de la chaîne Cp (Chain pull)

La vitesse et la traction de la chaîne sont les deux paramètres permettant de choisir le système d'entraînement approprié au convoyeur en termes de puissance.

$$C_p = L * P_L * f$$

L : longueur de la chaîne

P_L : chargement de la chaîne (masse linéaire de la chaîne, des crochets et des pièces manutentionnées)

f : Facteur de friction (Contact acier-acier f=0.1)

La société s'en chargera de la fabrication des rails à la mise en place du convoyeur et de l'installation de la structure portante mais au niveau des trolleys on a un problème.

Si on dimensionne les galets de façon à supporter la charge des pièces en choisissant un assemblage propre à nous (géométrie de la chaîne et distance entre galets), on aura réduit le coût de l'installation avec un risque de ne pas trouver un système d'entraînement à notre chaîne, ce qui posera un grand problème.

Alors on a deux solutions soit on cherche un fournisseur pour nous fournir un système d'entraînement et on choisit l'entraxe des galets à base de la fiche technique du système et donc on pourra générer toutes les données de la chaîne à partir du logiciel CAO (dont la masse linéaire) soit on choisit l'ensemble du système d'entraînement et la chaîne.

Après quelques recherches sur internet on a constaté que les fournisseurs proposent trois gammes de chaîne P180, P270 et P360 pour un entraxe respectif de 180mm, 270mm et 360mm.

Il n'y a aucune différence entre les charges supportées (125 Kg support simple et 250 kg support double) par contre on trouve une différence dans la masse linéaire de chaque chaîne (plus l'entraxe est petit plus il y a de galets) et des rayons de coude supportés par la chaîne (un grand entraxe limitera le nombre de galets de guidage dans les coudes), dans notre cas la conception favorise le choix : les trois chaînes sont valables, pour diminuer C_p on choisit celle avec la masse linéaire la plus petite cela correspond à P360.

Pour ce qui suit on prendra la chaîne P360 du fournisseur **Hjort-conveyor** pour calculer la traction de la chaîne mais on reste toujours ouvert pour la 1ère solution proposée (décision à prendre par l'entreprise)

- Remarque : Hjort-conveyor n'est qu'un fournisseur entre plusieurs.

$$\text{Pour } L=84 \text{ m ; } PL= 5,3 \text{ kg/m} + 50 \text{ kg/m} + 0,57 \text{ kg/m} = 55,87 \text{ kg/m ;}$$

$$f=0,1$$

$$C_p=84 \text{ m} * 56 \text{ kg/m} * 0,1=470,4 \text{ kg} = 1037,05 \text{ lbs}$$

Pour plus de détails sur le modèle utilisé de la chaîne (P360), voir (Annexe3 fig 56)

4.2.7.2 Puissance moteur

Les systèmes d'entraînement représentent la composante la plus importante du convoyeur ils sont répertoriés sous deux catégories.

- Caterpillar drive
- Sprocket drive

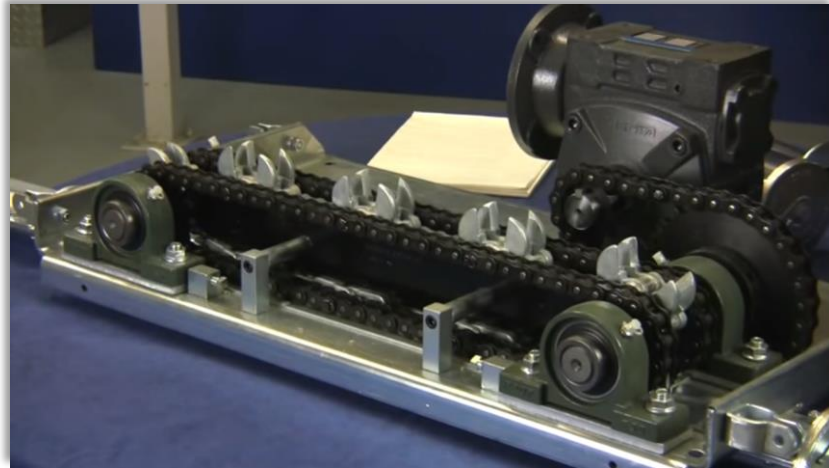


Figure 47: Caterpillar drive

- **Caterpillar drive** : les systèmes d'entraînement Caterpillar sont les plus répandues dans l'industrie des convoyeurs aériens, ils ont la possibilité d'être logé n'importe où dans le système à l'encontre des systèmes Sprocket, de plus ils sont le seul recours en cas des installations lourdes qui demandent une traction de chaîne Cp importante.

La lubrification du système se fait également par l'intermédiaire de celui-ci, la chaîne ne nécessitant que peu de lubrification dû à la faible vitesse de cette dernière les fournisseurs prévoient une lubrification interne au système entraînant.



Figure 48: Emplacement lubrification Caterpillar drive

- **Sprocket drive** : son utilisation est beaucoup plus limitée, contrairement au Caterpillar l'installation du Sprocket n'est pas flexible il doit impérativement être logé sur une courbure horizontale coude de 90° ou 180°, sa capacité bien inférieure à celle du Caterpillar le Sprocket garantie une protection contre surcharge et encombrement.

▪ Formule et application

numérique :

$$P = \frac{C_p * v}{0.6 * 33000} = \frac{1038 * 33}{0.6 * 33000}$$

$$= \frac{34254}{19800} = 1.73 \text{ hp}$$

$$= 1.29 \text{ Kw}$$

Avec Cp (lb) ; v(ft/min) ; P(Hp)

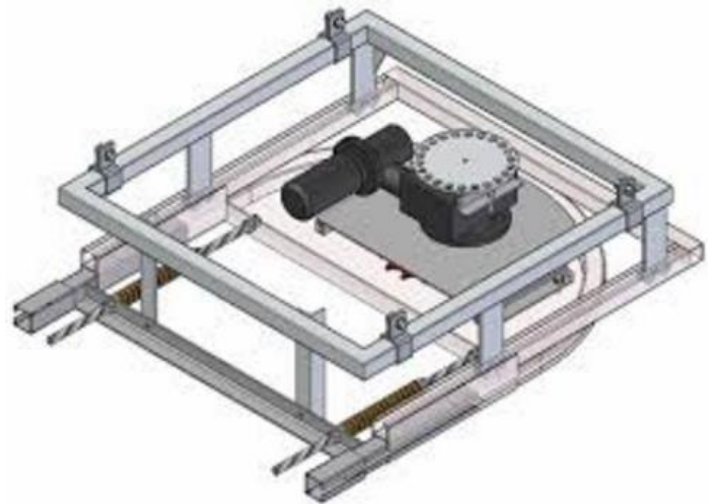


Figure 49: Logement Sprocket drive

Maintenant qu'on connaît la puissance moteur ainsi que la vitesse de déplacement linéaire, on peut faire le choix du système d'entraînement, on tient toutefois à mentionner que chaque fournisseur propose ses propres modèles qui assurent une compatibilité avec la gamme des chaînes à cardan qu'il propose. En se basant ici sur la courbe fournie par **Rapidindustries** on choisit un Caterpillar drive série 1500.

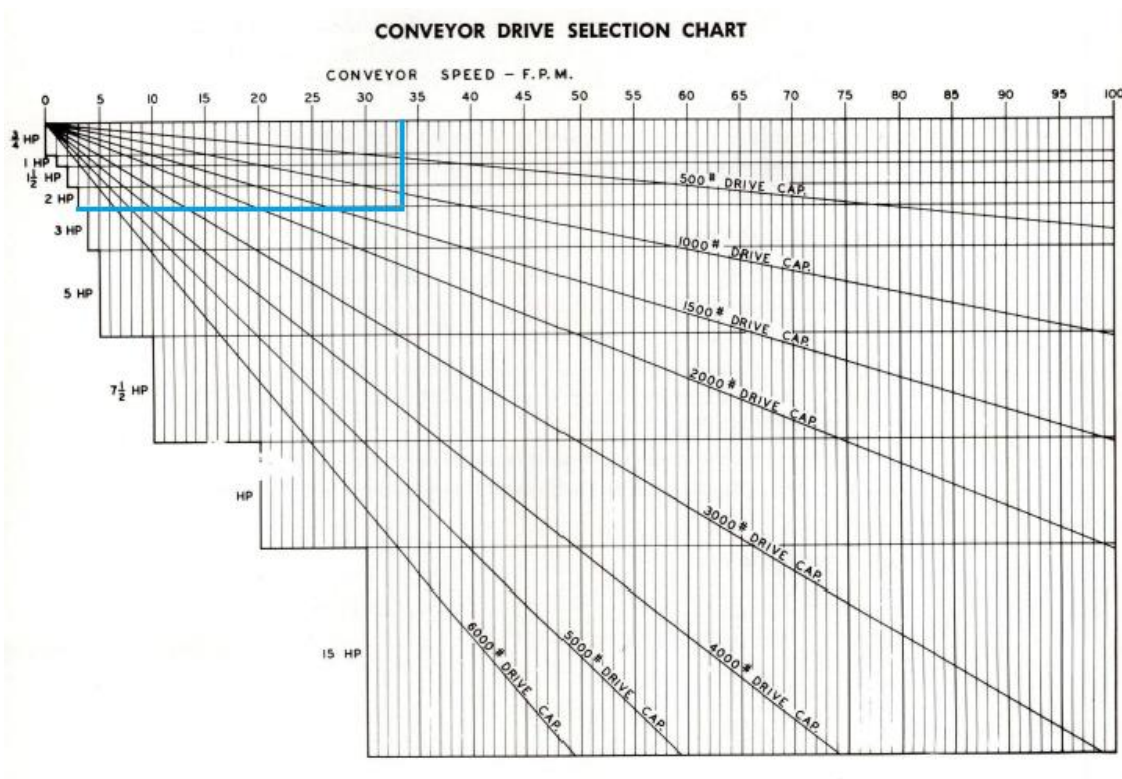


Figure 50: Courbe choix de système entrainant

4.2.8 Pannes et durée de vie du système

Plusieurs facteurs entrent en considération lors de la conception, on essaye d'éviter au maximum d'éventuelles pannes pouvant survenir lors du fonctionnement du système, dans le cas d'un convoyeur aérien il faut veiller à bien dimensionner la chaîne à cardan pour éviter que celle-ci se rompe au cours de son entraînement, pour cette raison on prend toujours une grande marge de sécurité pour s'assurer que la limite d'élasticité du matériau n'est pas dépassée et que toutes les déformations restent dans le domaine élastique. Cependant si on peut éviter une rupture brutale de la chaîne, le fluage reste un phénomène physique à ne pas négliger, en effet le fluage est un phénomène qui provoque la déformation irréversible d'un matériau soumis à une contrainte constante, inférieure à la limite d'élasticité du matériau, pendant une durée suffisante.

Donc en d'autres termes vous avez un système fermé d'une longueur L le système d'entraînement entraîne la chaîne qui maintient la charge suspendue, le tout circule avec une vitesse constante, alors si on a un allongement de 1% de la chaîne sur une période T , cet allongement entraînera un encombrement, la chaîne sera coincée à l'intérieur du track (chaîne plus longue que prévu) chose qui peut entraîner l'arrêt du système d'entraînement, ou pire son endommagement.

Donc il faut prévoir une unité de rattrapage d'allongement, c'est-à-dire une unité permettant d'allonger la longueur du track pour rattraper la longueur supplémentaire de la chaîne due au fluage.

Cette unité devra permettre un allongement du track supérieur à l'entraxe de la chaîne sinon la solution permettra de rattraper l'allongement pour une période limitée, en effet quand la limite d'allongement du track sera atteinte la chaîne quant à elle continuera son allongement et il ne sera plus possible de résoudre le problème.

A titre d'exemple on suppose qu'après une période T la chaîne a connu un allongement de 0.1% de sa longueur initiale $L=84$ mètres donc $\Delta L = 0.084m = 84mm$ l'unité de rattrapage permet un allongement du track de 300 mm si on suppose que l'allongement est linéaire alors cette unité permettra de rattraper un allongement maximal de 300 mm donc après $3T$ la solution deviendra obsolète.

Par contre si on prévoit un allongement du track supérieur à l'entraxe de la chaîne (Pitch), alors il suffit d'enlever un maillon quand l'allongement de la chaîne dépasse cet entraxe « dans notre cas 360 mm ».

On peut alors exprimer l'allongement de la chaîne par la relation suivante :

$$\Delta L = 360X + \Delta l \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Pour } X = 0 : \text{Ajustement de l'unité de rattrapage} \\ \text{Pour } X = 1 : \text{Enlèvement d'un maillon + ajustement} \end{array} \right.$$

4.2.9 Emplacement de l'unité de rattrapage

L'installation d'une unité de rattrapage présente un problème, le fait que celle-ci doit s'allonger pour rattraper l'allongement de la chaîne crée une contrainte au niveau de la structure portante.

En effet les poteaux supportant le convoyeur sont situés aux extrémités des rails leurs positions et fixe et ne peut être modifier ou ajuster (aucun degré de liberté), en d'autres termes si on installe une unité de rattrapage sur un des rails droits cette unité n'aura pas la possibilité de s'allonger car elle sera bloquée par les poteaux aux deux extrémités.

Une solution à ce problème c'est d'installer cette unité au niveau d'un coude de 180°, l'allongement se fera au niveau de la zone libre sans l'intervention d'un technicien toutefois lorsque on atteint la limite de course de cette unité il est nécessaire de remettre celle-ci son état initial.

4.2.10 Dimensionnement du Ressort

4.2.10.1 Définition

Le ressort est un composant mécanique élastique destiné à se déformer. Chaque fois qu'il est soumis à l'action d'une force, il absorbe une énergie en se déformant progressivement tout en amortissant le mouvement et/ou en filtrant des vibrations.

En fin de course, il restitue l'énergie emmagasinée jusqu'à la reprise de sa forme initiale.

Les fonctions principales des ressorts sont :

- Amortissement et réduction des chocs (ex : suspensions de voitures).
- Emmagasinement de l'énergie (ex : Horloge).
- Contrôle de mouvement (ex : Ressort de soupape).
- Mesure de charge (ex : Balance).

4.2.10.2 Principe et choix type de ressort

Le ressort est un élément optionnel dans la conception de l'unité de rattrapage, il donne un avantage précieux au système 'il permet l'allongement automatique de l'unité sans aucune intervention de la part d'un technicien ou autre' mais on peut aussi l'enlever si on veut effectuer le réglage manuellement.

Le ressort applique une tension supplémentaire au track donnant à celui-ci la possibilité de translater en fonction de l'allongement de la chaîne, le ressort est guidé par une tige filetée et réglé par deux écrou un premier pour augmenter la tension et un deuxième pour définir la limite d'allongement voir figure 51.

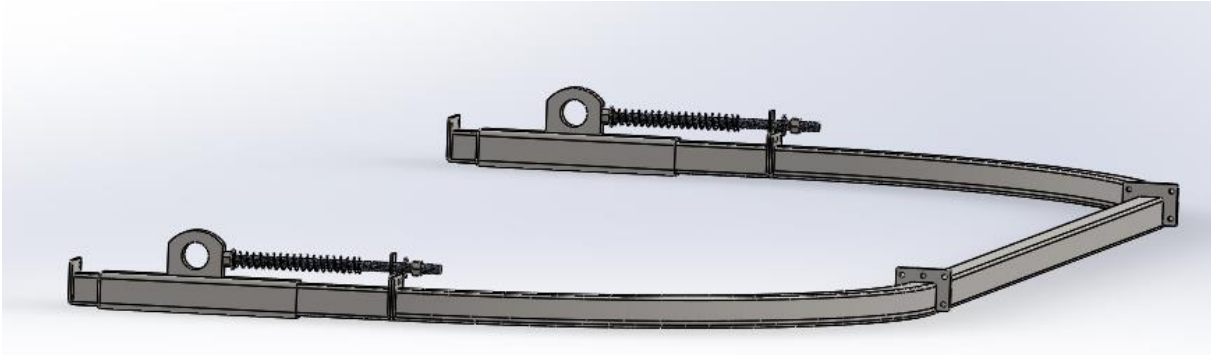


Figure 51: Unité de rattrapage

On choisira un ressort de compression car ce type de ressort est fait pour supporter la charge de compression, le critère sur lequel on se basera pour dimensionner ce ressort c'est la force maximale F qu'il doit supporter, c'est-à-dire la force qui amènera la déformation maximale de celui-ci.

4.2.10.3 Dimensionnement

Le principe est de dimensionner le ressort à partir de la force maximale F qu'il doit supporter, F est donc la donnée principale de calcul.

On conçoit un ressort à spires serrées pour tenir compte des hypothèses de calcul et des contraintes. D'une manière classique, le pas vaut 0.3 fois le diamètre moyen ($p = 0.3 D$).

Pour une spire d'un tel ressort la déformation maximale vaut : $\Delta = p - d = 0.3 D - d$

On souhaite au départ que la force F amène la déformation maximale soit : $F = K' * \Delta$

On prendra une F égale un dixième de la charge d'une pièce : $F = 150N$

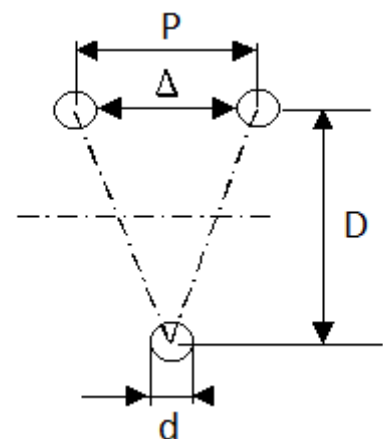
K' est la raideur d'une spire donnée par l'équation :

$$K' = \frac{G * d^4}{8D^3}$$

Avec :

- Acier : $G = 81500 \text{ N/mm}^2$
- Inox : $G = 70000 \text{ N/mm}^2$

On obtient ainsi la relation : $F = \frac{G * d^4 * (0.3D - d)}{8D^3}$



On peut remplacer D par $\omega * d$

Avec ω est le rapport d'enroulement du ressort.

- $\omega = 6$ est la limite minimale (fil très resserré sur lui-même, ressort " très épais ")
- $\omega = 10$ est la valeur courante pour obtenir un ressort équilibré et facile à fabriquer
- $\omega = 16$ est la limite supérieure (ressort " très fin ")

Notons que ces valeurs sont à titre indicatif chaque fournisseur propose des rapport d'enroulement propre à lui.

$$\text{On obtient ainsi la relation : } F = \frac{G * d^2 * (0.3\omega - 1)}{8\omega^3}$$

En fixant ω pour un ressort classique : $\omega = 10$ et G (inox), il est alors possible de déterminer d :

$$d = \sqrt{\frac{8 * F * \omega^3}{G(0.3\omega - 1)}} = \sqrt{\frac{8 * 150 * 10^3}{70000(3 - 1)}} = 2.92 \text{ mm}$$

Il faut ajuster d en fonction des valeurs disponible auprès des fournisseurs vus qu'il n'y a pas une norme qui contrôle le diamètre du fil, la valeur trouvée permet de choisir le d réel appliqué en prenant le diamètre de fil acceptable le plus proche qui reste supérieur à la valeur indiquée.

0.15	0.41	0.63	0.97	1.19	1.70	2.34	3.43
0.18	0.45	0.66	0.99	1.22	1.73	2.44	3.60
0.20	0.46	0.70	1	1.24	1.80	2.49	3.76
0.25	0.50	0.74	1.02	1.25	1.83	2.50	4
0.28	0.51	0.76	1.07	1.30	1.88	2.67	4.11
0.30	0.53	0.80	1.09	1.40	2	2.80	4.50
0.32	0.56	0.81	1.10	1.50	2.06	2.84	4.88
0.36	0.58	0.89	1.14	1.60	2.16	3.18	5.26
0.40	0.61	0.90	1.17	1.65	2.20	3.20	-

Tableau 1: Diamètre du fil selon Sodemann

✓ $d=3.20 \text{ mm}$

Remarque :

- On n'a pas choisi $d=3.18$ car il est utilisé pour les ressort à petite longueur.

Le diamètre extérieure dépend principalement de d et ω on peut calculer D_e à partir de la relation suivante : $D_e=(\omega +1)*d=(10+1)*3.20$

✓ $D_e=35.20$

Pour la suite on fixe un des paramètres suivant selon le besoin : la raideur K , la longueur L_0 où la déformé f , dans notre cas on cherche un ressort de longueur moyenne proche de celle de l'entraxe de la chaîne à cardan offrant une déformé importante.

Pour f imposé on calcul L_0 comme suit :

Le nombre de spires utiles du ressort est calculé suivant la relation : $n = f K' / F$.

$$K' = \frac{G * d^4}{8D^3} = 21 \text{ N/mm}$$

Pour une déformé de 180 mm on aura $n=26$, maintenant, la longueur libre du ressort peut être définie en respectant l'espace minimal entre les spires au cours du fonctionnement :

$$L_0 = n (\Delta + 1.15 d) + n_i * d$$

Avec $n_i = 1.5$ pour les extrémités rapprochées et meulées et $n_i = 3$ pour les extrémités rapprochées.

$$\text{Et } \Delta = \frac{F}{K'} = 7.14 \text{ mm} \text{ donc } L_0 = 286 \text{ mm}$$

D'après le tableau on a le choix entre deux ressort **23470** et **23510**, car $f > 180$ mm et $F > 150$ N les valeurs sont légèrement différentes car le matériau utilisé par le fournisseur est un acier inoxydable « *DIN 17224 AISI 302, numéro de matériau : 1.4310* » son module de cisaillement est $G = 79000 \text{ N/mm}^2$ ce qui explique la différence, le ressort 23510 tend à être plus fin vu son rapport d'enroulement supérieur à 10.

d	De	Di	L0	Ln	Sn	Fn	R	Référence
Fil mm	Diamètre ext. mm	Diamètre int. mm	Longueur libre mm	Longueur sous charge max. mm	Course max. mm	Force Max. N	Constante de ressort N/mm	
1,60	21,60	18,40	240,00	51,80	188,20	70,66	0,38	22590
2,00	27,00	23,00	290,00	63,00	227,00	106,30	0,47	22840
2,50	27,50	22,50	240,00	70,80	169,20	194,42	1,15	23130
2,50	34,50	29,50	245,00	58,10	186,90	151,94	0,81	23170
2,50	34,50	29,50	360,00	83,90	276,10	151,94	0,55	23180
3,20	35,20	28,80	280,00	77,00	203,00	300,62	1,46	23470
3,20	43,20	36,80	275,00	59,20	215,80	240,17	1,11	23510
4,00	36,00	28,00	250,00	93,60	156,40	554,67	3,58	23670
4,00	44,00	36,00	235,00	69,80	165,20	443,57	2,71	23710
4,00	44,00	36,00	340,00	99,60	240,40	443,57	1,83	23720
4,00	54,00	46,00	335,00	77,80	257,20	355,35	1,39	23760
5,00	45,00	35,00	300,00	116,00	184,00	816,90	4,46	23920

Tableau 2: Choix de ressort gamme sodemann

4.2.11 Dimensionnement Crochet :

Pour peindre une pièce manutentionnée, il faut appliquer la peinture à toute ses faces, or notre solution présente un système mécanisé et non automatisé alors l'intervention d'un opérateur est nécessaire pour son application.

On veut que l'opérateur garde une position fixe, c'est-à-dire qu'on ne souhaite pas qu'il fait le tour de la pièce afin de la peindre, au lieu de ça la pièce est supposée tourner une fois qu'elle atteint la zone de peinture ce qui lui facilitera la tâche.

Pour ce faire, on peut assurer une liaison pignon-crémaillère, le crochet héritera donc une forme d'engrenage ce qui nous permettra d'obtenir une rotation suite à son déplacement le long de la crémaillère fixe. Les paramètres à définir ici sont le module **m**, le diamètre **D** de l'engrenage et la longueur L de la crémaillère.

4.2.11.1 Paramètres

Pour des raisons d'assemblage on choisit L=3 m soit la longueur d'un rail, le module de la crémaillère m est égale au module du pignon pour permettre l'engrènement entre les deux, le nombre de dents ne pose pas de problème car il y a pas de rapport de réduction entre engrenage et crémaillère par contre le rapport de vitesse est un paramètre essentiel car la vitesse angulaire doit donner à l'opérateur un temps suffisant pour appliquer la peinture.

$$V = R * \omega \quad \text{et} \quad \omega = \frac{\pi * N}{30}$$

On fixe N à 0.5 tr/s une faible vitesse de rotation pour déterminer le diamètre de l'engrenage correspondant.

Pour N= 30 tr/min on a $\omega = 3.14$ rd/s et $R = V / \omega = 52$ mm on peut aussi diminuer la vitesse linéaire si on se trouve obligé de diminuer N, et pour $m=3$ on retrouve le nombre de dent $Z = d/m = 35$.

Vérification engagement pignon crémaillère

$$f(z) = 2z * \sin^2\phi - 4 \geq 0 \quad \text{avec} \quad \phi = 20^\circ \text{ angle de pression usuel}$$

$$\checkmark \quad f(35) = 4.18$$

- Solution d'accrochage

Le crochet doit être constitué de deux parties, une partie fixe accrochée à la chaîne à cardan cette partie sera entraînée par la chaîne par un mouvement de translation et une partie en rotation où est suspendue la pièce.

Pour assurer ces fonctions on se trouve obligé d'ajouter un élément roulant pour permettre la rotation de la roue, les charges sont purement axiales vu que la vitesse de déplacement est trop faible et l'engrènement pignon crémaillère engendra une force radiale négligeable.

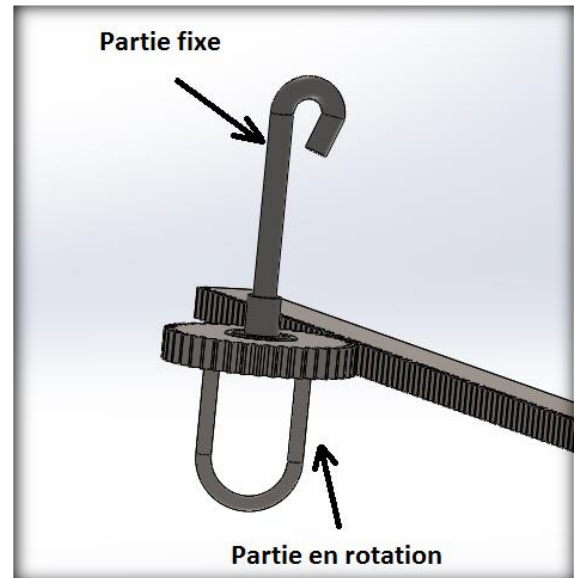


Figure 52: Crochet

Le type de roulement qui supporte mieux les charges axiales sont les roulements à contact oblique (angle de contact de 40°), la bague intérieure sera montée serrée à la partie fixe (figure 52), pour permettre la rotation du pignon.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \left(\frac{C}{0.93F_a}\right)^3$$

On fera un choix préliminaire d'un roulement vérifiant la condition statique $S > 4$ puis on calculera la durée de vie correspondante à ce choix. (Annexe2 Tab 22)

Pour un roulement (Série 02 ; d= 25 mm) : $S = \frac{C_0}{F} = \frac{7650}{1471.5} = 5.20$

✓ $L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \left(\frac{C}{0.93F_a}\right)^3 = \left(\frac{11400}{1368.49}\right)^3 = 578$

✓ $L_{10h} = \left(\frac{L_{10} \cdot 10^6}{60 \cdot N}\right) = 321111 h = 36 \text{ ans}$

4.3 Etude par élément fini

Après avoir dimensionné l'ensemble du système, il est crucial d'évaluer la stabilité de celui-ci, si la résistance des éléments roulant a été vérifié avec une grande marge de sécurité $s=6$ la stabilité du système, quant à elle, pose toujours problème. On parle ici non seulement de la structure portante mais également des rails du convoyeur, pour ce faire on fera d'abord une étude statique initiale sur les rails seuls, en admettant comme conditions aux limites une liaison encastrement aux deux extrémité puis on refera l'étude sur l'assemblage afin de tirer une conclusion sur le déplacement total.

Dans une deuxième partie on fera une étude statique et une autre de flambement sur la structure portante.

4.3.1 Etude statique rail

4.3.1.1 Hypothèses

Avant de faire une étude il est légitime de bien définir un modèle proche de la réalité c'est-à-dire qu'il faut prendre en considération les conditions de chargement de la pièce, les conditions aux limites, définir le matériau de la pièce, bien répartir les forces et choisir un maillage approprié au corps voulu.

Pour notre cas on choisira comme conditions aux limites une liaison de type encastrement aux deux extrémités du rail, cette modélisation ne reflète pas la réalité tout simplement parce que les corniers fléchiront une fois le système chargé ce qui engendra un déplacement différent, mais la raison derrière cette modélisation c'est d'évaluer le comportement du rail seul avec une grande précision puis de comparer ce déplacement à celui généré par l'assemblage qui sera moins précis vue la complexité du maillage et le nombre d'opération à effectuer.

On arrive à la partie modélisation des forces d'après les calculs précédent (Calcul d'entraxe on a conclu que le flux admissible sera une pièce tous les trois mètres soit une pièce par rail. La charge appliquée par une pièce est connu $F=1500$ N cette charge est transmise par l'intermédiaire des éléments roulants (galets), la chaîne à cardan comprend un grand nombre de galets mais la charge est transmise par 4 galets uniquement ceux du Trolley or le contact entre chaque galet et le rail est une ligne, alors on répartira la charge sur 4 lignes, la distance longitudinale entre ces ligne et 360 mm valeur de l'entraxe de la chaîne voir modèle P360.

4.3.1.2 Maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage standard
Transition automatique:	Désactivé(e)
Points de Jacobien	16 Points
Taille d'élément	11.9526 mm
Tolérance	0.597631 mm
Qualité de maillage	Haute
Nombre total de nœuds	66229
Nombre total d'éléments	32525

Tableau 3: Informations sur le maillage 'rail'

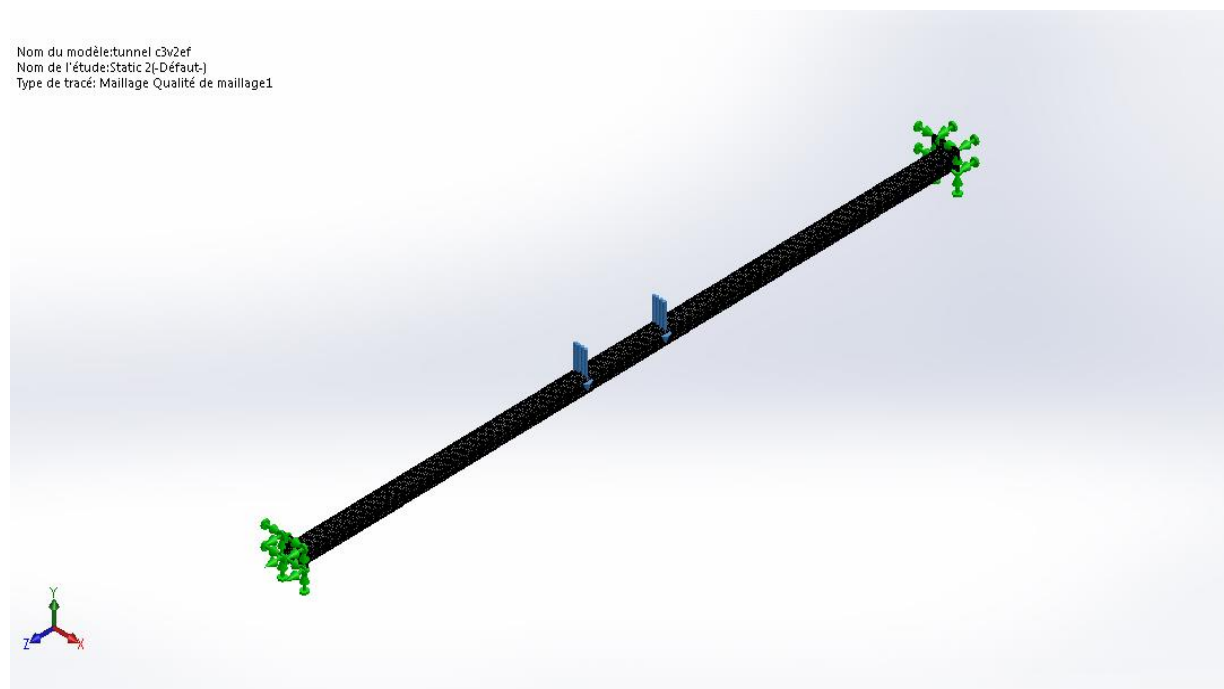
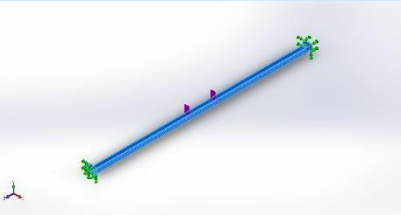
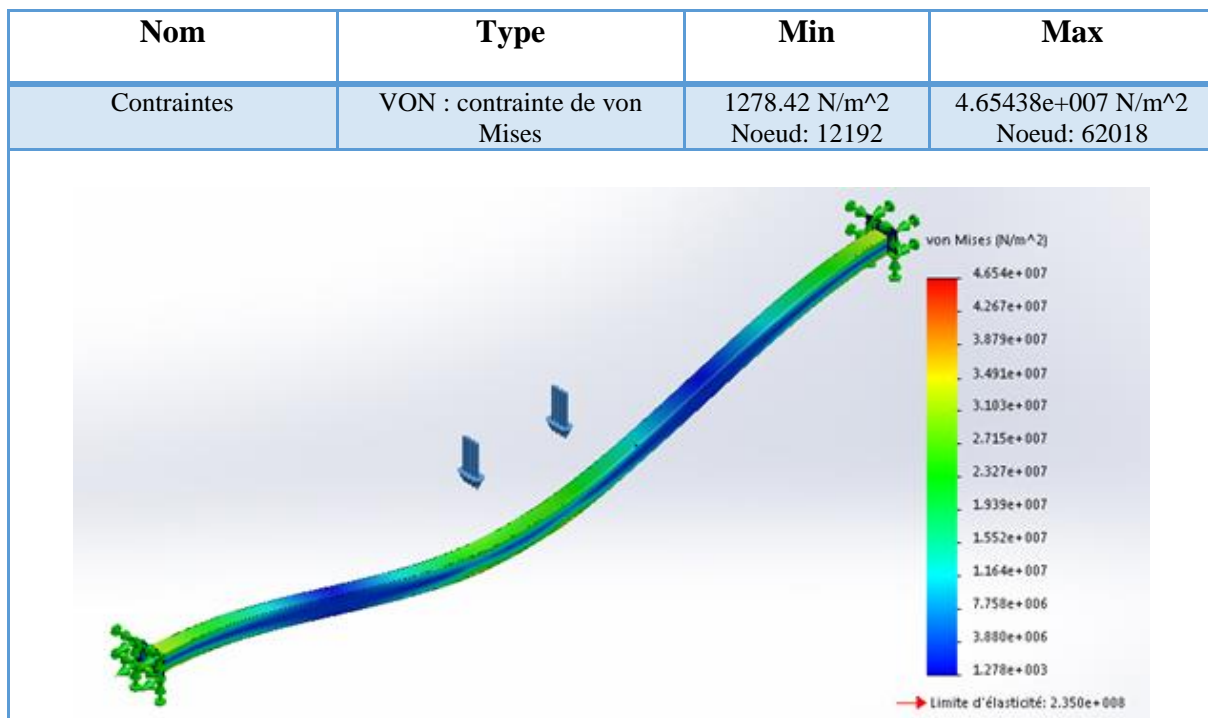


Figure 53: Rail maillé

4.3.1.3 Propriétés du matériau

Référence du modèle	Propriétés	Composants
	Nom: 1.0114 (S235J0)	Rail convoyeur
	Type de modèle: Linéaire élastique isotropique	
	Critère de ruine par défaut: Contrainte de von Mises max.	
	Limite d'élasticité: 2.35e+008 N/m ²	
	Limite de traction: 3.6e+008 N/m ²	
	Module d'élasticité: 2.1e+011 N/m ²	
	Coefficient de Poisson: 0.28	
	Masse volumique: 7800 kg/m ³	
	Module de cisaillement: 7.9e+010 N/m ²	
	Coefficient de dilatation thermique: 1.1e-005 /Kelvin	

4.3.1.4 Résultat étude rail



Contraintes	<i>Re</i>	235 MPa	<i>Vm</i>	46.5 MPa		
Déplacement	<i>Min</i>	0	<i>Max</i>	1.89 mm		
Déformation	<i>Min</i>	4.811e-009	<i>Max</i>	0.0001		
Facteur de sécurité	<i>Vm</i>	5	<i>Tresca</i>	4.7	$\sigma_N \text{ max}$	4.4

Tableau 4: Résultats étude statique d'un rail

4.3.2 Etude statique d'assemblage (rail/support)

On a conservé les mêmes charges par contre les conditions aux limites et le maillage ont changé, ici on a un encastrement au niveau du contact poteau sol.

4.3.2.1 Maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	207.722 mm
Tolérance	41.5443 mm
Qualité de maillage	Haute
Nombre total de nœuds	53207
Nombre total d'éléments	25572

Tableau 5: Informations maillage 'rail + support'

4.3.2.2 Informations sur le contact

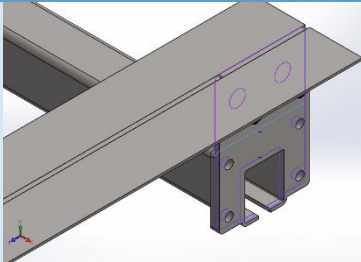
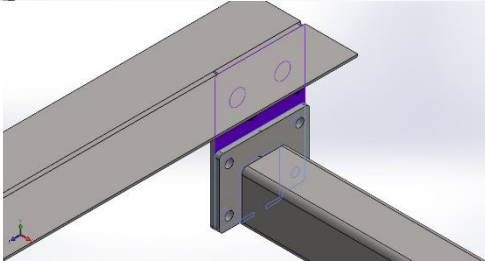
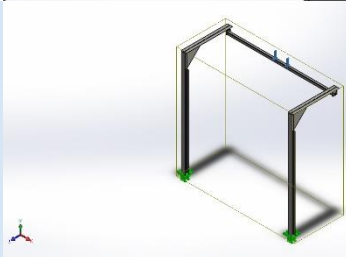
Contact	Image du contact	Propriétés contact
Contact entre ensembles-1		Type: Contact entre paire solidaire Entités: 2 face(s)
Contact entre ensembles-2		Type: Contact entre paire solidaire Entités: 2 face(s)
Contact global		Type: Solidaire Composants : 1 Options: Maillage compatible

Tableau 6: Informations contact 'rail + support'

4.3.2.3 Résultat étude assemblage

Contraintes	<i>Re</i>	235 MPa	<i>Vm</i>	15.17 MPa		
Déplacement	<i>Min</i>	0	<i>Max</i>	2.075 mm		
Déformation	<i>Min</i>	2.223e-008	<i>Max</i>	0.00005		
Facteur de sécurité	<i>Vm</i>	15	<i>Tresca</i>	14	$\sigma_{N \max}$	12

Tableau 7: Résultats étude statique 'rail + support'

4.3.2.4 Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus de l'étude par élément fini on peut dire que le modèle est bien vérifié, la contrainte de Von Mises représenté est loin de la limite d'élasticité, les deux modèles ont une flèche plus ou moins égale $f=2\text{mm}$, on constate par contre un grand écart au niveau de la déformation et du facteur de sécurité cela revient à la répartition des charges sur tout le système ce qui réduit la sollicitation des rails.

4.3.3 Etude flambement support

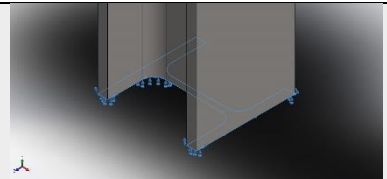
Après avoir effectué une étude statique sur un rail seul dans un premier temps puis un rail assemblé à la structure portante dans un deuxième temps, on va maintenant faire une étude de flambement pour voir si cette structure est sécurisée contre la ruine ou non, donc on déterminera la charge causant le flambement et le mode du flambement.

4.3.3.1 Maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage standard
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	33.1899 mm
Tolérance	1.6595 mm
Qualité de maillage	Haute
Nombre total de nœuds	82638
Nombre total d'éléments	46472

Tableau 8: Informations maillage support

4.3.3.2 Actions extérieures

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé
Fixe-1		Entités: 1 face(s) Type: Géométrie fixe

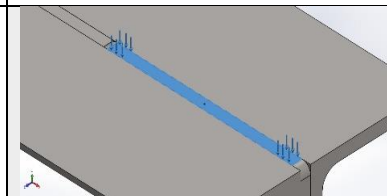
Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Force-1		Entités: 1 face(s) Type: Force normale Valeur: 1 N

Tableau 9: Actions extérieures support

On impose une liaison encastrement au pied du poteau afin d'assurer le maintien latéral, en ce qui concerne le chargement on applique une force de 1 N au niveau supérieur de la platine qui assemble les corniers avec les rails.

4.3.3.3 Résultat

Donc une fois qu'on a défini tous les paramètres de cette étude correctement on a accès à la partie résultat :

La charge appliquée à la structure est de 1N, le facteur de chargement résultant est $F=15078$ or la charge de flambage de la structure suit la relation suivant :

- Charge de flambage = Charge appliqué * Facteur de chargement

Alors on peut en déduire que la charge de flambement pour la structure définit pour supporter le système est $C_f = 15078$ N (au point d'application de la force 1N), une fois cette charge atteinte on aura un flambement mode 1 mais c'est loin d'être le cas car la masse des pièces manutentionnés ne dépasse pas 150 kg.

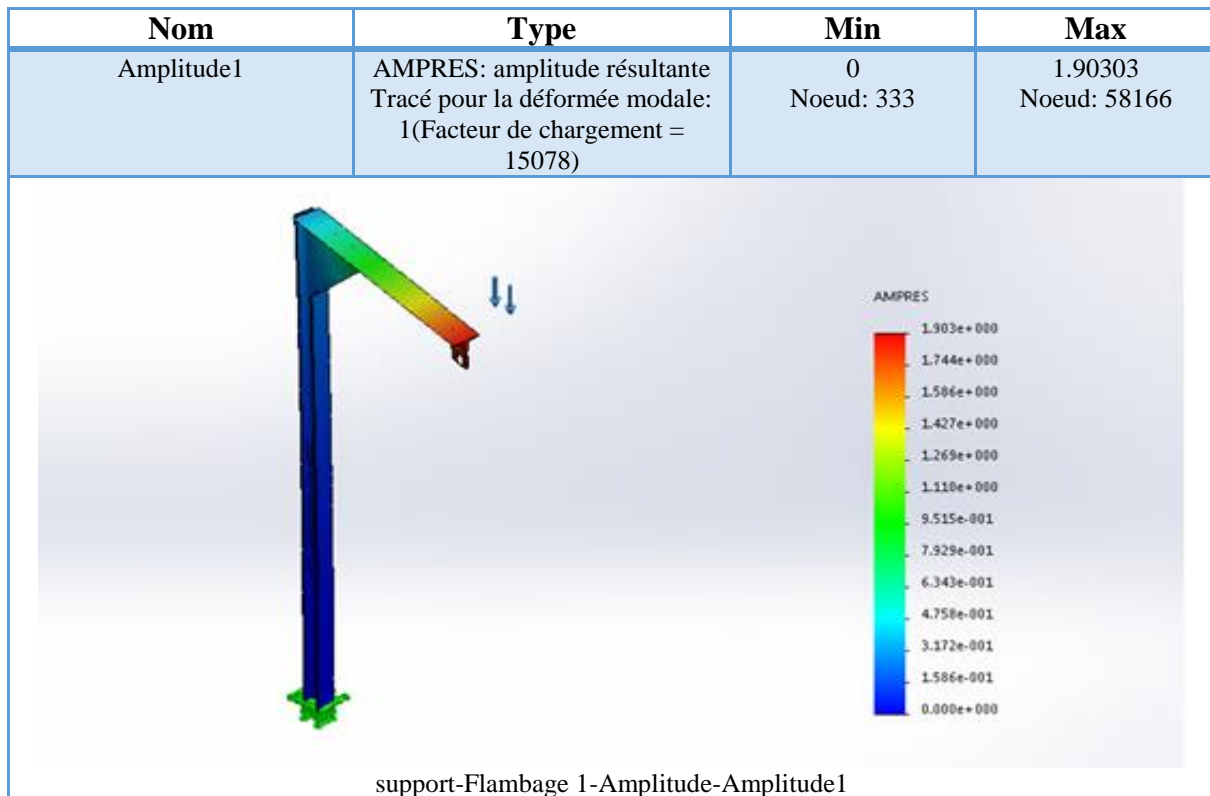


Tableau 10: Résultat étude de flambement

4.3.4 Aperçu final

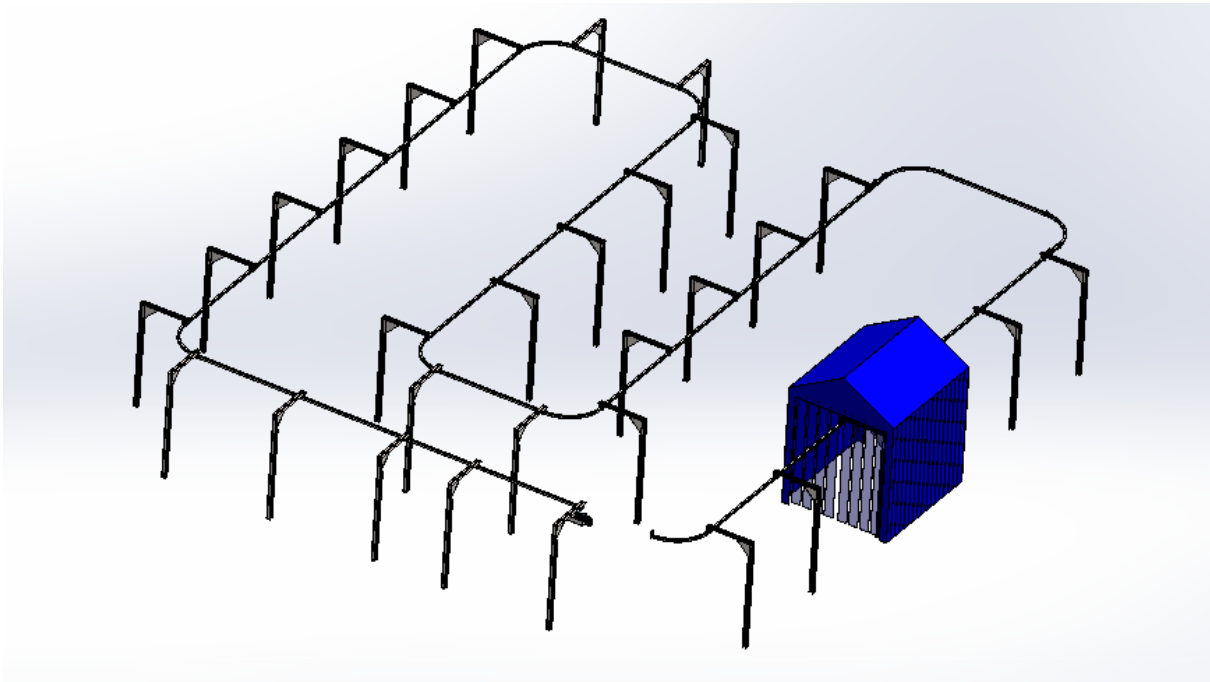


Figure 54: Solution conçu sous Solidworks

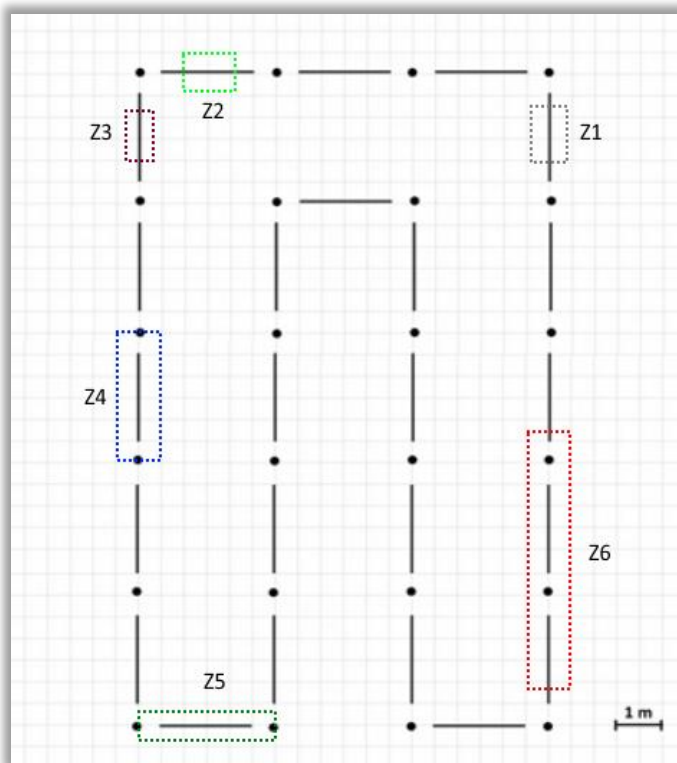


Figure 55: Circuit final

Z_1 : Zone chargement déchargement

Z_2 : Système d'entraînement

Z_3 : Zone d'inspection

Z_4 : Zone de peinture

Z_5 : Unité de rattrapage (Takeup unit)

Z_6 : Zone de séchage.

CONCLUSION

Le succès technologique et industriel est le fruit d'un processus d'une conception et d'un développement continu, si aujourd'hui on est bon demain on sera excellent.

Répondre au besoin du client n'est plus suffisant de nos jours, il faut gagner sa confiance et sa fidélité, la recette réside dans ces trois ingrédients ' qualité, coût et délai' qui créent la différence entre gagnant et perdant. Dans le cadre de ce stage PFE on a traité un problème toujours présent dans le domaine de peinture pour les applications industrielles qui consomme à la fois beaucoup de temps et d'espace.

Dans ce rapport on a énuméré les solutions possibles avant de converger vers celle qui répond au mieux au besoin de l'entreprise. Ce choix a été basé sur une analyse S.W.O.T. Ensuite on a dessiné un schéma de base où on a cité les différentes composantes de la solution. Cette étape nous a permis de fixer de nouveaux objectifs et de définir celui qui est prioritaire à savoir l'optimisation de ce circuit en terme d'espace.

Après avoir dimensionné l'ensemble du système une étude par élément fini a également été faite pour s'assurer de sa stabilité une fois chargée et évaluer sa résistance contre le phénomène de flambement.

A cet effet, les résultats obtenus, suite à la présente étude ainsi présentée, permettent de déduire que la solution retenue est jugée concluante.

BIBLIOGRAPHIE

- ❖ La conception mécanique : méthodologie et optimisation, Philippe Boisseau [Dunod].
- ❖ Handbook of Mechanical Engineering Calculations 2nd Ed, Tyler G. Hicks [Mcgraw-Hill Handbooks].
- ❖ Techniques de l'ingénieur 'Convoyeurs aériens et au sol' référence A 9260.
- ❖ Overhead conveyor design guide.
- ❖ Formulaire de mécanique Pièces de constructions, Youde Xiong [Eyrolles].
- ❖ WEB-STILES Manyfacturers of engineered conveyors and systems design catalog.
- ❖ Guidages à galets, Schaeffler KG
- ❖ Guide du dessinateur industriel, Chevalier André [Hachette]

ANNEXE 1 : DOCUMENTATION

BOULONNERIE

CHOIX DU DIAMÈTRE DES BOULONS				
Diamètre du boulon d (mm)	Tôles pour profilés d'épaisseur (mm)	Cornières de largeur d'aile (mm)	Ailes de U de hauteur (mm)	Ailes de profilé en H de dimensions nominales (mm)
8	2	30		
10	3	35		
12	4	40-45	80	
14	5	50	100 à 130	100 et 120
16	6	60	140 à 160	140
18	7	70	175 et 180	150 et 160
20	8	80-90	200 et 220	180
22	10 à 14	100-120	240 à 300	200 à 240
24	> 14	> 120		> 240

Tableau 11: Choix diamètre des boulons

Diamètre x Pas mm	Section résistante nominale As nom. mm ²	4.6						4.8						5.6						5.8					
		Fo max KN			Cs Nm			Fo max KN			Cs Nm			Fo max KN			Cs Nm			Fo max KN			Cs Nm		
		μ moyen			μ moyen			μ moyen			μ moyen			μ moyen			μ moyen			μ moyen					
3 x 0,5	5,03	0,9	0,8	0,7	0,35	0,45	0,52	1,2	1,1	1,0	0,5	0,64	0,75	1	0,97	0,87	0,44	0,57	0,66	1,5	1,36	1,22	0,62	0,80	0,92
4 x 0,7	8,78	1,5	1,35	1,20	0,82	1,04	1,21	2,1	1,9	1,7	1,17	1,48	1,71	1,86	1,68	1,51	1,03	1,30	1,51	2,61	2,35	2,12	1,44	1,83	2,11
5 x 0,8	14,2	2,44	2,20	1,98	1,62	2,07	2,40	3,4	3,1	2,8	2,3	2,93	3,4	3,05	2,75	2,48	2,03	2,59	3,00	4,27	3,86	3,47	2,85	3,62	4,20
6 x 1	20,1	3,45	3,11	2,80	2,83	3,59	4,16	4,8	4,4	3,9	4,01	5	5,9	4,31	3,89	3,49	3,53	4,49	5,2	6,03	5,44	4,89	4,95	6,2	7,2
8 x 1,25	36,6	6,32	5,70	5,14	6,8	8,7	10,1	8,9	8,0	7,2	9,7	12,3	14,3	7,90	7,14	6,42	8,5	10,9	12,6	11,06	10	8,99	11,9	15,2	17,7
10 x 1,5	58	10	9,10	8,20	13,5	17,2	20	14,2	12,9	11,6	19,1	24	28	12,5	11,37	10,23	16,8	21	25	17,61	15,93	14,33	23	30	35
12 x 1,75	84,3	14,70	13,30	11,95	23	29	34	20,7	18,8	16,9	33	42	49	18,33	16,60	14,93	29	37	43	25,67	23,23	20,90	40	52	60

Tableau 12: Force de précharge et couple de serrage des boulons

Moyen de serrage	Précision sur la précharge	γ
<ul style="list-style-type: none"> Clé dynamométrique Visseuse rotative avec étalonnage périodique sur le montage (mesure d'allongement de la vis ou mesure à la clé dynamométrique du couple de serrage) 	$\pm 20 \%$	1,5
<ul style="list-style-type: none"> Clé à chocs avec adaptation de rigidité et étalonnage périodique sur le montage (au moins aux mesures à la clé dynamométrique du couple de serrage par lot) 	$\pm 40 \%$	2,5
<ul style="list-style-type: none"> Clé à main Clé à chocs sans étalonnage 	$\pm 60 \%$	4

Tableau 13: Coefficient γ en fonction du moyen de serrage

Caractéristiques des écrous H					
Diamètre nominal (mm)	ρ_1 (mm)	s (mm)	ρ_2 (mm)	ρ_m OU r_m ($(\rho_1 + \rho_2) / 2$) (mm)	ρ (mm)
1.6	0.8	3.2	1.6	1.2	1.24
2	1	4	2	1.5	1.56
2.5	1.26	5	2.5	1.88	1.94
3	1.5	5.5	2.75	2.13	2.19
4	2	7	3.5	2.75	2.82
5	2.5	8	4	3.25	3.31
6	3	10	5	4	4.08
8	4	13	6.5	5.25	5.35
10	5	16	8	6.5	6.62
12	6	18	9	7.5	7.60
14	7	21	10.5	8.75	8.87
16	8	24	12	10	10.13
20	10	30	15	12.5	12.67
24	12	36	18	15	16.20
30	15	46	23	19	19.28

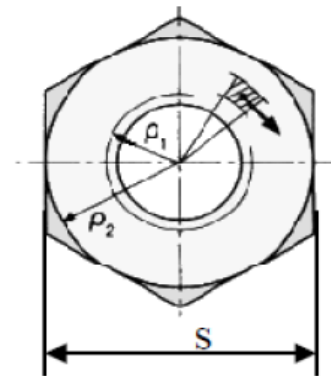


Tableau 14: Caractéristiques des écrous H

diamètre nominal iso M	pas	diamètre face en appui	largeur sur plat	hauteur tête de vis	hauteur écrou
1,6	0,35	2,4	3,2	1,225	1,3
2	0,4	3,1	4	1,525	1,6
2,5	0,45	4,1	5	1,825	2
3	0,5	4,6	5,5	2,125	2,4
3,5*	0,6	5	6		2,8
4	0,7	5,9	7	2,925	3,2
5	0,8	6,9	8	3,65	4,7
6	1	8,9	10	4,15	5,2
7	1	-	-		-
8	1,25	11,6	13	4,65	6,8
10	1,5	14,6	16	7,18	8,4

Tableau 15 : Face en appui boulon

	E N/mm ²	ν	P_{adm} (statique) N/mm ²
acier	200000	0,3	600 à 700
alu	80000	0,35	350
fonte	100000	0,3	500
bronze	130000	0,35	100
téflon	130000	0,35	10

Tableau 16: Pression admissible de quelques matériaux

d	Longueurs l et longueurs filetées x**																											
	Longueurs l																											
	6	8	10	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	
3						12	12	12																				
4							14	14	14	14																		
5							16	16	16	16	16	16	16															
6								18	18	18	18	18	18	18	18													
8									22	22	22	22	22	22	22	22	22	22										
10										26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26								
12											30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30						
(14)												34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34			
16													38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
20														46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46

Tableau 17: Longueurs des boulons

52.1 Rondelles plates

Type	S			N		L	
d	t	D	t	D	t	D	
1,6	0,5	3,5	0,5	5	0,5	6	
2	0,6	4,5	0,6	5	0,6	6	
2,5	0,6	5	0,6	6	0,6	8	
3	0,6	6	0,6	7	0,8	9	
4	0,8	8	0,8	9	1	12	
5	1	9	1	10	1	15	
6	1,6	11	1,6	12	1,6	18	
8	1,6	15	1,6	16	2	24	
10	2	18	2	20	2,5	30	
12	2	20	2,5	24	3	37	
16	3	30	3	32	3	40	
20	3	36	3	40	3	50	
24	4	45	4	50	4	60	
30	4	52	4	60	4	70	
36	-	-	5	70	5	80	

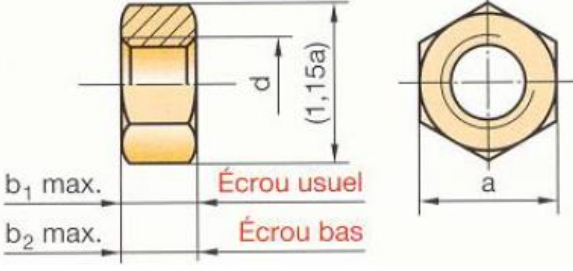
NF E 25-514 pour d = 1,6 et d ≥ 16.

Série	Étroite	Normale	Large
Type	S	N	L

Tableau 18: Paramètres rondelles

d	a	b ₁	b ₂
M1,6	3,2	1,3	1
M2	4	1,6	1,2
M2,5	5	2	1,6
M3	5,5	2,4	1,8
M4	7	3,2	2,2
M5	8	4,7	2,7
M6	10	5,2	3,2
M8	13	6,8	4
M10	16	8,4	5

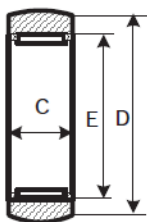
Écrous hexagonaux
Écrous bas hexagonaux



NF EN ISO 4032
NF EN ISO 4035

Tableau 19: Écrous hexagonaux

ANNEXE 2 : DOCUMENTATION GALETS



Diamètre <i>D</i>		Dimensions <i>mm</i>		Charge de base en <i>N</i>		Limites de fatigue en <i>N</i>		Charges radiales maximales en <i>N</i>	
		<i>C</i>	<i>E</i>	Dynamique <i>C</i>	Statique <i>C₀</i>	Roulement <i>P_R</i>	Galets de came <i>P_u</i>	Dynamique <i>F_r</i>	Statique <i>F_{0r}</i>
16	RSTO 5	7,8	10	2510	2500	290	270	3550	5000
19	RSTO 6	9,8	13	3740	4500	630	500	4250	6100
24	RSTO 8	9,8	15	4130	5400	695	600	7500	10800
30	RSTO 10	11,8	20	8250	8800	1250	1040	8500	12200
32	RSTO 12	11,8	22	8800	9800	1500	1180	8300	12000
35	RSTO 15	11,8	26	9130	10600	1960	1270	7100	10000
40	RSTO 17	15,8	29	14200	17600	3050	2080	12000	17300
47	RSTO 20	15,8	32	16100	21200	3350	2500	18600	26500
52	RSTO 25	15,8	37	16500	22800	4000	2700	18000	26000
62	RSTO 30	19,8	46	22900	34500	6950	4250	23600	33500
72	RSTO 35	19,8	50	25500	40500	7350	5000	36000	51000
80	RSTO 40	19,8	58	23800	39000	7650	4750	34500	49000
85	RSTO 45	19,8	63	25100	43000	9150	5300	34500	50000
90	RSTO 50	19,8	68	26000	45500	10600	5700	34500	50000

Tableau 22: Galets supports sans maintien axial

TABLE 2 Selected Load Clearance on Inclined Track for Overhead Conveyors

Load spacing, in	Incline angle, deg					
	10	20	30	40	50	60
	Horizontal centers, in					
12	11 ⁷ / ₈	11 ¹ / ₄	10 ³ / ₈	9 ¹ / ₄	7 ³ / ₄	6
16	15 ³ / ₄	15 ¹ / ₈	13 ⁷ / ₈	12 ¹ / ₄	10 ³ / ₈	8
18	17 ³ / ₄	17	15 ⁵ / ₈	13 ⁷ / ₈	11 ³ / ₈	9
24	23 ³ / ₈	22 ⁵ / ₈	20 ⁷ / ₈	18 ³ / ₈	15 ¹ / ₂	12
	Horizontal centers, cm					
30.5	29.9	28.6	26.4	23.5	19.7	15.2
40.6	40.0	38.7	35.2	31.1	26.4	20.3
45.7	45.1	43.2	39.7	35.2	28.9	22.9
60.9	60.0	57.5	53.0	46.7	39.4	30.5

Tableau 20 : Espacement et dégagement conseillé pour courbures verticales

Série 02						
<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	Charge de base <i>daN</i>		Vitesse = <i>n*1000</i>	
			Statique <i>C₀</i>	Dynamique <i>C</i>	graisse	huile
20	47	14	640	1020	11	16
25	52	15	765	1140	9,5	14
30	62	16	1100	1560	8,5	12
35	72	17	1500	2080	7,5	10

Tableau 21: Roulements à billes à contact oblique à une rangée

ANNEXE 3 : DOCUMENTATION CHAÎNE

A CARDAN

OVERHEAD CHAIN CONVEYOR – Cardan chain P=360 1000 Series	Page 1000 - 07
	Ver. 08-07



Specifications

The cardan chain for the overhead chain conveyor 1000 Series is equipped with guide and load rollers of hardened steel running on ball bearings. The standard version of the chain is lubricated for a working temperature of 250°C.

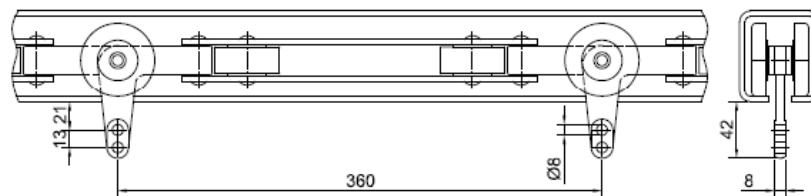
The guide and load rollers are also available in plastic with moulded-in ball bearings. For loads from 125 to 250 kg the cardan chain must be equipped with load bars. See example on page 1000-20.

Technical data

UTS min.	40,000 N
Max. load	125 kg per carrier
Load pitch	<u>360 mm</u>
Weight	<u>5.3 kg per m</u>
Horizontal curves	radius 700, <u>1000 mm</u>
Vertical curves	radius 2000 mm

Order number

102040



Hjort-conveyor ab

Figure 56: Fiche technique chaîne à cardan P360