

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE INDUSTRIEL (PRODUCTIQUE)**

**Par: Christian Buist ing.**

**CONCEPTION OPTIMALE AUTOMATISÉE  
DES CHAÎNES DE CONVOYEUR ET D'ÉLÉVATEUR**

**MAI 2002**

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

# AVANT-PROPOS

La compagnie METALITE fabrique des chaînes industrielles depuis quelques années maintenant mais ce marché était relativement nouveau pour elle lorsqu'elle a approché l'Université en 1996. Elle s'est présentée comme une compagnie qui primait l'importance de faire un projet au niveau des chaînes industrielles afin d'augmenter ses connaissances, de fournir un meilleur service à la clientèle et de mettre au point un logiciel de conception automatisée et d'optimisation de la conception des chaînes.

Ce projet fait suite à deux projets réalisés antérieurement dont un était une étude de faisabilité du projet actuel. Le sujet de mon projet de synthèse en génie mécanique portait également sur les chaînes industrielles. Donc, avant de commencer ce projet, nous étions en mesure de savoir quels étaient les besoins précis de la compagnie et nous avons déjà amassé quelques connaissances au niveau des chaînes industrielles et de leurs applications.

Pour répondre aux attentes de la compagnie, il fallait donc se pencher sur plusieurs domaines en rapport avec les chaînes industrielles soit la programmation d'un logiciel, la cueillette d'expertise et de connaissances et l'élaboration d'équations de prévision de comportement en fonction de différents facteurs.

# SOMMAIRE

Afin d'apporter à la compagnie METALITE un niveau de compétence supérieur et d'assurer un meilleur soutien technique auprès de ses clients, les informations nécessaires au sujet des chaînes industrielles ont été recueillies et regroupées. La compagnie METALITE fabrique surtout des chaînes d'ingénierie qui ne sont pas normalisées, d'où le besoin de faire une étude sur ces chaînes.

À partir de l'expertise recueillie, nous avons été en mesure de déterminer les facteurs qui peuvent influencer le comportement de la chaîne au niveau de ses propriétés internes soit les facteurs internes et les facteurs externes qui sont les conditions d'utilisation de la chaîne en rapport avec le système et l'environnement. Chacun de ses facteurs est expliqué.

Certains facteurs internes ont été retenus pour calculer la résistance de la chaîne à la rupture par tension, à l'écoulement statique et à la fatigue de même que des facteurs externes ont été utilisés pour calculer la force induite dans la chaîne. Les équations théoriques ont alors été élaborées et ensuite programmées dans un logiciel d'optimisation au niveau de la conception des chaînes industrielles.

Les tendances de variation de comportement sont mises en évidence avec les paramètres à partir des relations établies entre les facteurs influents et la force induite dans la chaîne. La variation d'une plage de paramètre d'un facteur a été effectuée par itération avec le programme et son affectation des résultats est analysée par des graphiques illustrant bien les tendances de variation de comportement.

Le projet réalisé à travers ses différentes étapes, résulte en un outil complet sous forme de logiciel utilisé pour le développement et la conception de chaînes industrielles. Il permet de garder en mémoire des données comme les dimensions des pièces, les aciers utilisés, etc., d'élaborer une soumission, d'afficher le dessin des pièces, de choisir l'acier et le traitement approprié pour une chaîne et de connaître l'influence des facteurs influents sur la limite de rupture d'une chaîne donnée.



## Table des matières

<b>Avant-propos .....</b>	<b>ii</b>
<b>Sommaire .....</b>	<b>iii</b>
<b>Remerciements .....</b>	<b>vii</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>viii</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>x</b>

### Chapitre 1: INTRODUCTION

<b>1.1 Informations générales sur les chaînes.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.1 Classification et sélection.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Problématique.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Objectifs.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Composition du mémoire.....</b>	<b>8</b>

### Chapitre 2: CADRE THÉORIQUE

<b>2.1 Classification de l'expertise et des facteurs influents.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.1 Étude sur les propriétés des aciers et des traitements thermiques....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.2 Expertise sur la rupture.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.3 Regroupement des facteurs influents.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.4 Facteurs influents internes (paramètres de conception).....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.5 Facteurs influents externes (système).....</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Synthèse.....</b>	<b>26</b>

### Chapitre 3: PROCÉDURES DE CALCUL

<b>3.1 Détermination des facteurs influents.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 Résistance à la rupture statique.....</b>	<b>29</b>

<b>3.3</b>	<b>Résistance à l'écoulement statique.....</b>	<b>36</b>
<b>3.4</b>	<b>Résistance à la rupture par fatigue et limite d'endurance.....</b>	<b>37</b>
<b>3.5</b>	<b>Force induite par le système.....</b>	<b>42</b>
<b>3.6</b>	<b>Détermination des facteurs influents pour la force induite.....</b>	<b>43</b>
<b>3.7</b>	<b>Équation de base pour le calcul de la force induite.....</b>	<b>44</b>
<b>3.8</b>	<b>Équation théorique pour le calcul de la force induite.....</b>	<b>46</b>

## **Chapitre 4: LOGICIEL D'APPLICATION ET RÉSULTATS**

<b>4.1</b>	<b>Logiciel.....</b>	<b>50</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Généralités du programme.....</b>	<b>50</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Élaboration d'une structure de programmation.....</b>	<b>52</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Programmation des feuilles d'entrées de données et base de données..</b>	<b>54</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Création, modification et affichage des chaînes.....</b>	<b>54</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Soumissions.....</b>	<b>58</b>
<b>4.1.6</b>	<b>Programmation pour le calcul de rupture statique et d'écoulement...</b>	<b>61</b>
<b>4.1.7</b>	<b>Programmation du calcul en fatigue.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.8</b>	<b>Programmation de la force induite.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2</b>	<b>Résultats de simulation.....</b>	<b>63</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Calculs effectués sans le programme.....</b>	<b>63</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Exemple d'utilisation.....</b>	<b>67</b>

## **Chapitre 5: ANALYSE DES RÉSULTATS**

<b>5.1</b>	<b>Influence de la puissance moteur sur la force induite,.....</b>	<b>77</b>
<b>5.2</b>	<b>Influence de la force induite en fonction de la vitesse de la chaîne.....</b>	<b>79</b>

<b>5.3 Influence de la force induite en fonction de la longueur de chaîne.....</b>	<b>80</b>
<b>5.4 Influence de la force induite en fonction du poids de la chaîne.....</b>	<b>81</b>
<b>5.5 Influence de la force induite en fonction du nombre de dents du pignon.....</b>	<b>82</b>
 <b>Chapitre 6: CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS</b>	
<b>6.1 Récapitulation et interprétation.....</b>	<b>84</b>
<b>6.2 Discussion .....</b>	<b>86</b>
<b>6.3 Conclusion.....</b>	<b>86</b>
<b>6.4 Recommandation(s) .....</b>	<b>89</b>
 <b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	 <b>90</b>
 <b>ANNEXE A</b>	
<b>BASE DE DONNÉES .....</b>	<b>94</b>
 <b>ANNEXE B</b>	
<b>FENÊTRES DE DONNÉES .....</b>	<b>95</b>
 <b>ANNEXE C</b>	
<b>FENÊTRE "CATALOG" .....</b>	<b>98</b>
 <b>ANNEXE D</b>	
<b>FENÊTRE "GEOMETRY" .....</b>	<b>99</b>
 <b>ANNEXE E</b>	
<b>FENÊTRE "TREATMENT" .....</b>	<b>101</b>
 <b>ANNEXE F</b>	
<b>FENÊTRE "ADJUSTMENT" .....</b>	<b>102</b>
 <b>ANNEXE G</b>	
<b>FENÊTRE DESSIN.....</b>	<b>103</b>
 <b>ANNEXE H</b>	
<b>FENÊTRE DESSIN TECHNIQUE .....</b>	<b>105</b>
 <b>ANNEXE I</b>	
<b>FENÊTRE CARACTÉRISTIQUES .....</b>	<b>108</b>
 <b>ANNEXE J</b>	
<b>FENÊTRE COÛTS .....</b>	<b>109</b>

**ANNEXE K**  
**FENÊTRE BESOIN MATIÈRE PREMIÈRE ..... 110**

**ANNEXE L**  
**FENÊTRE TRAVAIL ..... 111**

**ANNEXE M**  
**FENÊTRE SOUMISSION ..... 112**

**ANNEXE N**  
**FENÊTRE CALCUL RUPTURE ..... 113**

**ANNEXE O**  
**FENÊTRE FORCE INDUITE ..... 114**

# REMERCIEMENTS

Je voudrais en premier lieu remercier le directeur de recherche du projet, Dr Demagna Koffi professeur au département de génie mécanique grâce à qui le projet a pu être réalisé et qui a donné tout son temps et son énergie pour ce projet d'envergure; le laboratoire de recherche en productique alors dirigé par M. Koffi qui m'a fourni un cadre de recherche, M. Mario Trudel responsable de la recherche et du développement pour la compagnie METALITE qui a fait appel au service de l'Université du Québec à Trois-Rivières et qui nous a fourni plusieurs informations indispensables; M. Gilles Pronovost, Président de la compagnie METALITE et M. Paul Meunier son associé qui nous ont fait confiance et ont accepté de fournir les ressources humaines et monétaires nécessaires à la réalisation du projet.

Le support financier pour la réalisation de cette recherche a été assuré en partie par le Conseil National de Recherche du Canada (CNRC) par deux subventions, soit le PARI AT et le PARI RDA. Le projet tel qu'il est n'aurait pas pu naître sans l'aide du CNRC.

Je voudrais remercier aussi les employés de la compagnie METALITE qui m'ont fourni informations et support, les étudiants chercheurs et professionnels oeuvrant à l'Université du Québec à Trois-Rivières au sein du laboratoire de recherche en productique de l'École d'ingénierie, les experts consultants au niveau de la programmation par Visual Basic et de l'analyse par éléments finis, mes proches qui m'ont procuré support et appui et tous les gens qui ont participé de près ou de loin à ce projet.

# LISTE DES TABLEAUX

<b>TABLEAU 2.1</b>	
ACIERS ET TRAITEMENTS À UTILISER SELON L'USAGE.....	12
<b>TABLEAU 2.2</b>	
PROBLÈMES RELIÉS AUX CHÂÎNES DE CONVOYEUR.....	13
<b>TABLEAU 2.3</b>	
PROBLÈMES RELIÉS AUX MAILLES.....	16
<b>TABLEAU 2.4</b>	
PROBLÈMES RELIÉS AUX RIVETS.....	17
<b>TABLEAU 2.5</b>	
PROBLÈMES RELIÉS AUX BAGUES ET ROULEAUX.....	18
<b>TABLEAU 2.6</b>	
RELATIONS ENTRE LES TYPES DE DÉTÉRIORATION ET LES FACTEURS INTERNES.	19
<b>TABLEAU 2.7</b>	
RELATIONS ENTRE LA FORCE INDUITE ET LES FACTEURS EXTERNES.....	24
<b>TABLEAU 3.1</b>	
RELATIONS ENTRE LES FACTEURS INTERNES ET LE TYPE DE RUPTURE.....	29
<b>TABLEAU 3.2</b>	
FACTEURS INTERNES.....	34
<b>TABLEAU 3.3</b>	
VALEURS DU COEFFICIENT DE CORROSION $K_{cor}$ .....	35
<b>TABLEAU 3.4</b>	
COEFFICIENT DE TEMPÉRATURE.....	35
<b>TABLEAU 3.5</b>	
DESCRIPTION DES FACTEURS.....	38
<b>TABLEAU 3.6</b>	
FACTEUR DE GROSSEUR DE PIÈCES.....	40
<b>TABLEAU 3.7</b>	
FACTEUR DE FIABILITÉ.....	41
<b>TABLEAU 3.8</b>	
FACTEUR POUR LA TEMPÉRATURE.....	41
<b>TABLEAU 3.9</b>	
FACTEURS EXTERNES.....	42

**TABLEAU 3.10**  
**ÉQUATIONS DE LA FORCE INDUITE..... 47**

**TABLEAU 3.11**  
**COEFFICIENT DE FROTTEMENT..... 47**

**TABLEAU 3.12**  
**FACTEUR DE SERVICE..... 48**

**TABLEAU 3.13**  
**COEFFICIENT DE BALANCEMENT..... 49**

**TABLEAU 4.1**  
**NOMS DES TABLES ET LEUR CONTENU..... 54**

## LISTE DES FIGURES

<b>FIGURE 1.1</b>	
PIÈCES DE LA CHAÎNE.....	3
<b>FIGURE 2.1</b>	
MAILLES À BOUTS RONDS.....	22
<b>FIGURE 2.2</b>	
MAILLES À BOUTS RONDS COUPÉS.....	22
<b>FIGURE 3.1</b>	
SECTION CRITIQUE EN TENSION D'UNE MAILLE VUE 1.....	30
<b>FIGURE 3.2</b>	
SECTION CRITIQUE EN TENSION D'UNE MAILLE VUE 2.....	30
<b>FIGURE 3.3</b>	
SECTIONS CRITIQUES EN TENSION DES MAILLES INTERNES ET EXTERNES.....	32
<b>FIGURE 3.4</b>	
SECTION CRITIQUE DE CISAILLEMENT D'UNE MAILLE.....	33
<b>FIGURE 3.5</b>	
FACTEUR DE CONCENTRATION DE CONTRAINTES.....	34
<b>FIGURE 3.6</b>	
FACTEUR DE FINI DE SURFACE VS LIMITE DE RUPTURE EN TENSION.....	39
<b>FIGURE 3.7</b>	
DIMENSION CARACTÉRISTIQUE $d$ .....	40
<b>FIGURE 3.8</b>	
INDICE $q$ .....	42
<b>FIGURE 3.9</b>	
FACTEUR DE VITESSE ET DU PIGNON.....	49
<b>FIGURE 4.1</b>	
ALGORITHME DU LOGICIEL.....	53
<b>FIGURE 4.2</b>	
PRÉSENTATION DU LOGICIEL "CAC".....	67
<b>FIGURE 4.3</b>	
FEUILLE D'ENTRÉE DE DONNÉES NOMMÉE "CATALOG" .....	68



<b>FIGURE 4.4</b>	
<b>FEUILLE DE DIMENSIONNEMENT DE LA CHAÎNE.....</b>	<b>69</b>
 <b>FIGURE 4.5</b>	
<b>FEUILLE DE SPÉCIFICATION DE LA MATIÈRE PREMIÈRE ET DES TRAITEMENTS...</b>	<b>70</b>
 <b>FIGURE 4.6</b>	
<b>FEUILLE DE TOLÉRANCES DES DIMENSIONS DE LA CHAÎNE.....</b>	<b>71</b>
 <b>FIGURE 4.7</b>	
<b>AFFICHAGE DES PIÈCES DE LA CHAÎNE.....</b>	<b>72</b>
 <b>FIGURE 4.8</b>	
<b>DESSIN D'UNE PIÈCE AVEC SA CARTOUCHE.....</b>	<b>73</b>
 <b>FIGURE 4.9</b>	
<b>FEUILLE DE CALCUL DE RUPTURE EN FONCTION DE L'ACIER ET DE SA DURETÉ...</b>	<b>74</b>
 <b>FIGURE 4.10</b>	
<b>FEUILLE DES CARACTÉRISTIQUES DE LA CHAÎNE.....</b>	<b>75</b>
 <b>FIGURE 4.11</b>	
<b>FEUILLE DE CALCUL POUR LES BESOINS EN MATIÈRE PREMIÈRE.....</b>	<b>75</b>
 <b>FIGURE 4.12</b>	
<b>FEUILLE DE SOUMISSION.....</b>	<b>76</b>
 <b>FIGURE 5.1</b>	
<b>FORCE INDUITE EN FONCTION DE LA PUISSANCE MOTEUR.....</b>	<b>78</b>
 <b>FIGURE 5.2</b>	
<b>FORCE INDUITE EN FONCTION DE LA VITESSE DE LA CHAÎNE.....</b>	<b>79</b>
 <b>FIGURE 5.3</b>	
<b>FORCE INDUITE EN FONCTION DE LA LONGUEUR DE LA CHAÎNE.....</b>	<b>80</b>
 <b>FIGURE 5.4</b>	
<b>FORCE INDUITE EN FONCTION DU POIDS DE LA CHAÎNE.....</b>	<b>81</b>
 <b>FIGURE 5.5</b>	
<b>FORCE INDUITE EN FONCTION DU NOMBRE DE DENTS DU PIGNON.....</b>	<b>82</b>

# Chapitre 1

## INTRODUCTION

### *1.1 INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR LES CHÂÎNES*

La chaîne à rouleau représente la majorité des chaînes et possède le meilleur design. L'histoire de la chaîne est relativement courte et est évaluée à environ 100 ans [ 1 ]. La chaîne a deux fonctions générales: La transmission de puissance et le transport sur convoyeur. La bicyclette serait la première machine à avoir utilisé une chaîne. Les principales industries utilisant la chaîne sont l'industrie automobile, électronique, de l'acier, chimique, environnementale, alimentaire, de bicyclette et de motos. Les qualités recherchées pour une chaîne sont:

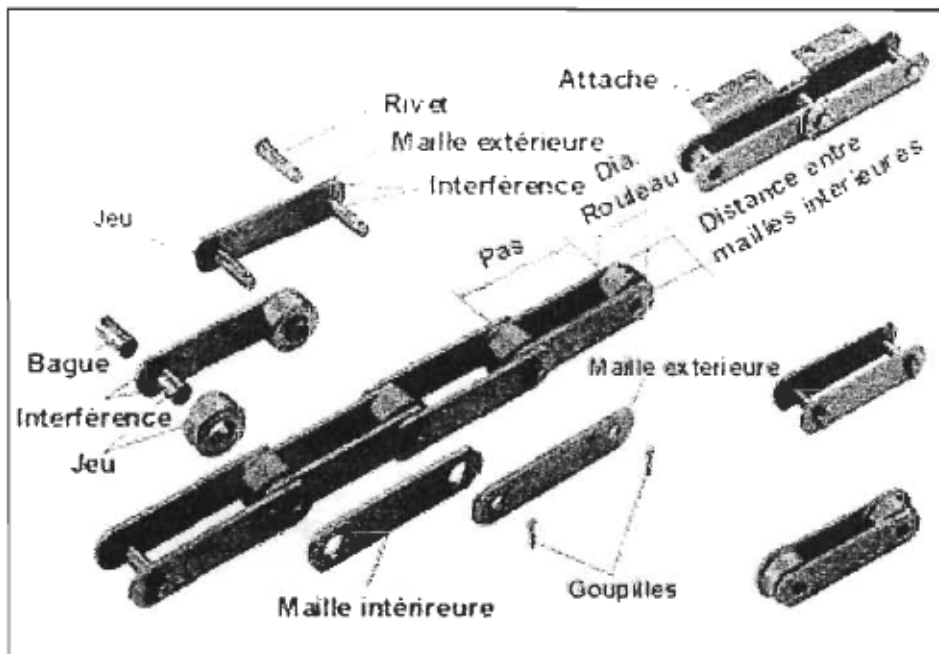
- La résistance à la tension;
- La résistance à la fatigue;
- La résistance à l'abrasion;
- La résistance à l'environnement;
- L'efficacité;
- La facilité de maintenance;

Particularités des chaînes de transmission:

- Vitesse se réduit ou s'augmente facilement jusqu'à un facteur de 7;
- Plus polyvalentes;
- Plusieurs engrenages peuvent être utilisés;

- Normes: American National Standards Institute (ANSI), National Standardization Organization (ISO), Japan Ind. Standards (JIS);
- Facile à couper et à raccorder;
- Les roues menées supportent moins de charge que les pignons à cause de la distribution de la charge sur plusieurs dents;

Les différentes pièces qui compose une chaîne sont généralement le rivet, la bague, le rouleau et les mailles. Le pas de la chaîne est la distance entre les axes de rotation vis-à-vis le rivet. Il doit s'agencer avec le pas de l'engrenage. Les mailles sont les composantes qui transmettent la tension appliquée dans la chaîne. Il y a les mailles intérieures et les mailles extérieures. Les mailles intérieures sont assemblées en interférence avec les bagues et les mailles extérieures sont assemblées en interférence avec les rivets. Elles doivent non seulement avoir une bonne résistance en tension statique mais aussi résister aux forces dynamiques de la charge et des chocs. De plus, les mailles doivent rencontrer les besoins de résistance à l'environnement comme l'abrasion, la corrosion, etc. Les rivets et bagues sont sujets aux forces de cisaillement et de flexion transmises par les mailles. Il existe toujours un jeu entre les rivets et les bagues. Il est particulièrement important d'utiliser les aciers et traitements adéquats pour ces pièces afin de réduire l'usure et ainsi l'allongement de la chaîne qui devra être remplacée éventuellement. Le rouleau est assemblé avec un jeu sur la bague. La longueur du rouleau doit être inférieure à la distance entre les mailles intérieures pour permettre sa rotation. La raison d'être du rouleau est de faire rouler la chaîne sur un convoyeur et/ou de diminuer l'usure entre les bagues et les dents de l'engrenage. À noter qu'il est optionnel selon le type de chaîne. Quant à eux, les goupilles empêchent les mailles extérieures de se désassembler et de sortir du rivet. Les chaînes peuvent aussi être munies d'attaches permettant d'entraîner ce qui lui est attaché. La figure 1.1 illustre toutes les pièces de la chaîne ainsi que les jeux et interférences entre elles.



**Figure 1.1 Pièces de la chaîne [ 1 ]**

Les chaînes représentent un marché important. Toutefois, il y a très peu d'études qui ont été faites dans ce domaine [ 2 ]. Les chaînes sont des éléments normalisés sur le plan international et fabriquées en série par des firmes spécialisées. Les fabricants publient des catalogues et autres documents destinés à guider le concepteur qui doit choisir le plus judicieusement possible les divers paramètres géométriques d'une transmission par chaîne. Les chaînes peuvent fonctionner dans des conditions d'utilisation très difficiles. Elles supportent des températures élevées, des charges importantes et subissent des chocs sévères. Bien sûr, elles ne sont pas infailibles, elles ont leurs limites. C'est justement de trouver ces limites qui constitue le problème, car il y a énormément de facteurs à considérer.

Avant le projet, le calcul de certaines valeurs caractéristiques de la chaîne se faisait à l'aide de données théoriques plus ou moins standardisées ainsi qu'avec le résultat d'analyses des diverses chaînes venant de la compétition. Des résultats précis découlant de ces procédures de travail sont très difficiles à obtenir.

En faisant une analyse plus approfondie des facteurs d'influence sur le comportement de la chaîne, on pourra facilement obtenir un rendement supérieur qui pourra garantir aux clients un degré de qualité supérieur sur les chaînes. La compagnie METALITE ne possédait aucune procédure qui puisse lui permettre de garantir la charge maximum ainsi que la limite de rupture de ses produits. Les mesures employées n'avaient rien de scientifique. Ces techniques sont essentiellement basées sur l'expérience acquise par le personnel ainsi que quelques expérimentations locales par tâtonnement qui génèrent des résultats plus ou moins satisfaisants. Les résultats obtenus s'avèrent imprécis et ils ne garantissent qu'une très faible protection contre les nombreux facteurs impondérables rencontrés tout au long du processus de fabrication et d'utilisation.

Cette situation est due au manque d'expertise scientifique et à l'inexistence d'un outil commercial, tout fait, approprié. De plus, aucun compétiteur ne divulgue ses recettes. Ce manque de technologie pour la conception et l'analyse des chaînes en fonction des conditions de fonctionnement, non seulement empêche la compagnie de se prononcer avec une certaine confiance sur la capacité réelle de ses produits auprès de ses clients mais, lui enlève aussi toute possibilité d'optimisation de forme, de dimension et de choix de matière première dans le processus de conception et de fabrication, empêchant la réalisation d'une quelconque économie sur le coût de la chaîne, liée à la conception et à la fabrication. Cette situation l'empêche aussi de s'intégrer au marché de la chaîne spécialisée ( faite sur mesure ) pour la clientèle qui est à la fine pointe de la technologie et qui développe des équipements qui sont sans cesse plus performants.

Les principales difficultés techniques anticipées pour ce projet de recherche résident au niveau de l'identification et de la modélisation des diverses sollicitations réelles engendrées dans les éléments de la chaîne au cours du fonctionnement : la collecte d'information existante et disponible sur le sujet, la sélection, le traitement et la validation de cette information, la réalisation d'expérimentations afin de comparer les résultats aux calculs théoriques pour leur validation [ 3 ].

Les problèmes techniques connus ou prévus peuvent être atténués considérablement à l'aide d'une meilleure compréhension de tous les facteurs qui peuvent influencer plus ou moins sérieusement le comportement ainsi que la résistance de la chaîne. Quelques uns de ces principaux facteurs sont les suivants :

- Les diverses limites de rupture à considérer lors de leur utilisation;
  - L'établissement et la certification des diverses contraintes induites;
  - L'amélioration des propriétés mécaniques par divers traitements thermiques;
  - L'influence de l'interrelation dimensionnelle des pièces (jeux et serrages);
- 
- Le choix de la matière première employée lors de la fabrication;
  - La détérioration des pièces due à l'usure, aux chocs et à l'environnement;

La réalisation de ce projet est d'une importance capitale pour METALITE sur les plans scientifique et économique. Le marché représente une occasion d'affaire très volumineuse qui ne demande qu'à être exploitée. De plus, les chaînes fabriquées chez METALITE représentent un secteur de plus en plus important aux yeux de la compagnie sur le plan économique et pour l'étendue de ses activités sur le marché.

L'étude de faisabilité effectuée en 1996 [ 3 ] a démontré des résultats très concluants face à la réalisation possible d'un projet d'envergure qui fournirait rapidement un outil de travail indispensable pour la conception et la fabrication de la chaîne.

La compagnie est amplement disposée à conduire le projet et à fournir toute l'énergie nécessaire afin de le mener à terme. Le projet va permettre à la compagnie d'atteindre des clients qu'elle ne pouvait se permettre d'approcher compte tenu de l'ampleur des contrats et des risques encourus par rapport à la fiabilité que possédaient leurs chaînes. La compétence, l'expérience et l'implication de tous les employés participant à ce projet seront un atout majeur pour sa réussite.

### ***1.1.1 Classification et sélection***

Chacune des chaînes possède des caractéristiques bien particulières. Certaines sont conçues pour transporter des objets, d'autres seulement pour transmettre une puissance mécanique d'un système à un autre. Il y en a qui sont changées à chaque année comme pour le camion à asphalte par exemple. D'autres, doivent posséder une durée de vie égale à quinze mille heures pour la majorité des chaînes standards. Le matériau et les traitements subis par la chaîne sont les deux éléments les plus importants reliés à sa résistance.

Alors, pour nous permettre d'effectuer une étude plus adéquate, nous classons les chaînes par groupe. Chaque groupe est déterminé à partir d'une mise en évidence de points particuliers que des chaînes ont en commun. La géométrie et l'utilité d'une chaîne sont de bons facteurs pour classer les chaînes en différents groupes.

#### ***Chaînes standards***

Suite à des études sur les chaînes standards, nous sommes parvenus à trouver un rapport constant qui caractérise chaque catégorie de ces chaînes. Ce rapport se définit comme étant la valeur du pas de la chaîne au carré par la valeur de la plus petite section de la maille multipliée par deux ( $p^2 / 2Ar$ ), [ 4 ] soit :

$$p^2/2Ar = \text{cte} \quad (1.1)$$

avec  $p$  = pas de la chaîne et  $Ar$  = plus petite section de la maille. En effet, ce qui est le plus particulier dans ces chaînes, c'est que leur épaisseur et leur largeur augmentent en fonction de leur pas pour un même matériau et pour les mêmes traitements. C'est avec ces chaînes que nous effectuons nos recherches pour éventuellement pouvoir étudier les chaînes d'ingénierie.

## ***Chaînes d'ingénierie***

Les chaînes qui sont classées dans la catégorie des chaînes d'ingénierie sont beaucoup plus difficiles à étudier. Elles consistent en une large variété de séries à haut rendement ( heavy-duty ) conçues pour supporter des charges élevées. Chaque pièce de la chaîne possède un design optimum ainsi qu'un matériau, une géométrie et un traitement donné pour rencontrer des exigences spécifiques. Ces chaînes sont souvent utilisées pour des applications sur convoyeur ou élévateur. Elles sont quelques fois utilisées aussi pour le dur travail dans des conditions difficiles et à basse vitesse comme sur les machines de la construction par exemple [ 5 ]. En résumé, elles ont une longue durée de vie et d'excellentes performances.

### ***1.2 PROBLÉMATIQUE***

La compagnie METALITE est reconnue pour fabriquer des produits de haute qualité. Cependant, le domaine des chaînes était relativement peu connu pour elle. La réalisation d'un projet était donc bienvenue pour lui permettre de garantir une certaine qualité au niveau de la résistance des chaînes qui est le produit le plus important pour METALITE.

Auparavant, elle utilisait les standards contenus dans des volumes pour déterminer les résistances maxima même si parfois les conditions et les facteurs d'utilisation étaient différents.

Étant donné que les fabricants de chaînes sont peu nombreux, un minimum d'étude a été effectué en profondeur dans ce domaine en Amérique. Bien qu'on retrouve plusieurs standards conçus pour les chaînes, le nombre de renseignements qu'ils apportent et leurs applications sur des chaînes diversifiées restent en dessous des exigences requises par les fabricants.



L'occasion pour METALITE de se démarquer et de devenir très compétitif en utilisant un programme capable de traiter un maximum de paramètres d'influence sur les chaînes était enfin arrivée. Plusieurs des clients achètent des chaînes qui ne répondent pas à leurs besoins en terme de performance, alors si on peut garantir une qualité supérieure sur celles-ci, conquérir ce marché devient plausible.

L'étude des chaînes est très complexe, alors la compagnie a eu recours à l'Université pour bénéficier de l'aide d'un professeur ayant un doctorat en génie mécanique et qui est spécialiste dans le domaine des éléments de machine. Bien que l'étude des chaînes peut paraître simple à priori, il n'en demeure pas moins que c'est une étude qui demande de tenir compte de tous les facteurs possibles pouvant influencer la résistance de la chaîne. De plus, ces facteurs sont difficiles à identifier et il est compliqué de savoir qu'elles sont leurs influences exactes sur les chaînes.

### ***1.3 OBJECTIFS***

Le premier objectif était d'identifier les paramètres d'influence. Pour ce faire, il était nécessaire de s'intégrer à la compagnie et de bien comprendre ensemble les contraintes avec lesquelles il fallait travailler pour fabriquer et utiliser ces chaînes. Après la rédaction du cahier des charges, il fallait se concentrer sur le début de la programmation. Cela renferme la paramétrisation des variables, les modèles théoriques et l'algorithme. L'élaboration du programme pilote et sa validation constituaient une autre étape qui permettrait alors à l'utilisateur d'obtenir des résultats à l'aide de formules construites pour répondre à son besoin d'information. Puis, pour terminer, des analyses nous ont permis d'acquérir des relations entre diverses formules créant ainsi la possibilité de prendre en considération certains paramètres d'influence comme le matériau, la dureté, la section de la maille, etc...

### ***1.4 COMPOSITION DU MÉMOIRE***

Au chapitre 1, les informations générales sur les chaînes sont fournies, incluant leur classification en groupes distincts. Ensuite la problématique y est présentée en

fonction de la situation de la compagnie avec laquelle le projet est réalisé. Les divers objectifs à réaliser au cours du projet sont énumérés en fin de chapitre.

Le chapitre 2 effectue une classification de l'expertise disponible en mettant en évidence les facteurs influents et se termine avec une synthèse de l'information au chapitre.

Pour le chapitre 3, les facteurs influents internes et externes sont déterminés afin de les inclure dans des formules et ainsi établir les relations entre ces facteurs et divers modes de détérioration menant à l'avarie de la chaîne.

Le chapitre 4 explique la réalisation d'un logiciel dans ses différentes utilisations telles que la conception, le dessin et le calcul des coûts de fabrication de chaînes. Aussi, toutes les formules montrées au chapitre 3 sont incorporées au logiciel et un exemple d'utilisation est fourni.

Le chapitre 5 analyse les résultats obtenus du logiciel par simulation en faisant varier une plage de paramètres d'un facteur influent donné en relation avec la force induite dans la chaîne.

Finalement, le chapitre 6 conclut en faisant ressortir les points critiques du projet et en révélant l'appréciation des résultats obtenus.

# Chapitre 2

## CADRE THÉORIQUE

### *2.1 CLASSIFICATION DE L'EXPERTISE ET DES FACTEURS INFLUENTS*

Les facteurs influents recueillis par l'expertise des gens participant au projet et dans de nombreux rapports spécialisés et livres traitant de chaînes industrielles sont classés et regroupés selon leurs influences.

#### *2.1.1 Étude sur les propriétés des aciers et des traitements thermiques*

Plusieurs types d'acier sont utilisés pour fabriquer les composantes d'une chaîne telles que les rivets, les bagues, les rouleaux et les mailles. Le matériel de ces composantes est sélectionné à l'aide de la recherche. Non seulement la fonction de chaque pièce doit être considérée mais aussi le champ normal d'application de la chaîne elle-même.

Les aciers peuvent être testés pour leur contenu chimique et leur propriétés physiques et métallurgiques.

Les traitements appliqués sur les pièces d'acier ont un rôle important dans l'augmentation de la qualité et de l'efficacité de la chaîne. Plusieurs types de traitements peuvent être utilisés selon l'acier des pièces [ 6 ]:

1) Cémentation: (traitement de surface)

Processus de traitement par chauffage pour les aciers à bas carbone procurant à la surface d'une pièce une dureté et une résistance à l'usure, et au cœur une bonne ductilité de dureté moins élevée.

2) Traitement par induction (traitement de surface)

Traitement par chauffage pour augmenter la résistance à l'usure des pièces à moyen carbone.

3) Traitement dans la masse (trempe à cœur)

Est utilisé pour augmenter la résistance du matériel pour la tension et aussi sa résistance à l'usure.

**TABLEAU 2.1: Aciers et traitements à utiliser selon l'usage [ 6 ]**

Matériel	Dureté de surface	Dureté à cœur	Usage général
acier à bas carbone	143-223 BHN	143-223 BHN	Pour milieu peu abrasif et une tension normale
acier à bas carbone, cémentation	58-65 Rc	20-40 Rc	Pour une dureté de surface maximum et une résistance modérée
acier allié à bas carbone, cémentation	58-65 Rc	30-50 Rc	Pour une dureté de surface maximum et une résistance élevée
acier à moyen carbone	143-241 BHN	143-241 BHN	Pour une bonne résistance et pour un milieu peu abrasif
acier à moyen carbone, traité dans la masse	241-341 BHN	241-341 BHN	Pour améliorer la résistance en tension et la résistance à l'usure
acier allié à moyenne teneur en carbone, traité dans la masse	331-514 BHN	331-514 BHN	Pour une résistance en tension additionnelle et une résistance à l'usure
acier à moyen carbone, traité dans la masse & traité par induction	50 Rc min.	241-341 BHN	Pour la tension et une résistance à l'usure accrue

### 2.1.2 Expertise sur la rupture

Afin de répondre aux besoins des clients et d'offrir un soutien technique adéquat, la compagnie METALITE se doit d'être en mesure de cerner les causes exactes des problèmes éventuellement rencontrés par ceux-ci. Certains facteurs externes dont seul le client a le contrôle, sont la source de problèmes fréquemment rencontrés. Il est donc important pour la compagnie METALITE de connaître ces facteurs pour éviter de mettre automatiquement en cause les facteurs internes à la chaîne qui reposent sur sa conception lorsqu'un problème survient avec l'utilisation de la chaîne. Un regroupement de divers causes et remèdes possibles pour expliquer un problème d'utilisation d'une chaîne de convoyeur est présenté au tableau 2.2. On retrouve les causes et remèdes pour les problèmes reliés aux mailles d'une chaîne au tableau 2.3 ou pour les problèmes reliés aux rivets, bagues et rouleaux dans les tableaux 2.4 et 2.5.

**TABLEAU 2.2: Problèmes reliés aux chaînes de convoyeur [ 1 ]**

Symptômes	Causes possibles	Remèdes
Chaîne se déplace sur l'engrenage	La chaîne et l'engrenage ne sont pas compatibles	Remplacer la chaîne ou l'engrenage avec la bonne dimension
	Charge excessive	Réduire la charge ou utiliser une chaîne plus grosse
	Allongement de la chaîne causé par l'usure de la chaîne ou des dents de l'engrenage	Remplacer la chaîne et l'engrenage
Bruit inhabituel	Mauvaise installation de l'engrenage	Inspecter et corriger
	Trop ou pas assez de jeu dans la chaîne	Ajuster la distance entre les deux arbres pour obtenir le bon jeu
	Usure excessive de la chaîne ou de l'engrenage	Remplacer la chaîne et l'engrenage

Symptômes	Causes possibles	Remèdes
Bruit inhabituel	Mauvaise lubrification	Procurer une lubrification adéquate selon les conditions d'opération.
Vibration excessive dans la chaîne	La chaîne vibre avec une force périodique externe	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ajuster la tension dans la chaîne</li> <li>- Remplacer la chaîne par une de qualité différente</li> <li>- Changer la vitesse de rotation de l'engrenage</li> <li>- Réévaluer le calibrage de la machine</li> <li>- Installer un guide pour ajuster la tension</li> </ul>
La chaîne s'enroule sur l'engrenage	Jeu excessif dans la chaîne	Ajuster la longueur de la chaîne ou la distance entre les deux engrenages
	Allongement de la chaîne causée par son usure et celle des dents de l'engrenage	Remplacer la chaîne et l'engrenage
	Distance entre les deux engrenages est trop élevée	Installer un appareil de tension
La chaîne rouille	Mauvaise lubrification ou environnement médiocre	Remplacer la chaîne et la protéger de l'environnement avec une protection en surface ou une lubrification adéquate
Usure excessive sur la surface interne des mailles et les côtés de l'engrenage	Mauvaise installation	Corriger l'installation de l'engrenage

Symptômes	Causes possibles	Remèdes
Usure excessive sur les côtés des mailles et sur les têtes de rivets	Mauvaise installation des guides	Vérifier les conditions des guides et augmenter la prise entre les guides et la chaîne
Pliage difficile de la chaîne, joints serrés	La chaîne n'est pas correctement installée	Inspecter l'installation et la corriger si nécessaire
	Contamination du métal par des impuretés causée par une lubrification inadéquate	Enlever la chaîne, la nettoyer en profondeur et appliquer une lubrification adéquate
	Charge excessive ou rivets tordus, pliés	Réduire la charge ou augmenter la grosseur de la chaîne. Remplacer la chaîne avec une largeur plus élevée.
	Corrosion ou rouille	Appliquer un revêtement protecteur sur la chaîne
	Blocage causé par une lubrification inadéquate	Procurer une bonne lubrification selon les conditions d'opération
	Blocage des rivets et des bagues causé par une vitesse d'utilisation élevée	Procurer les conditions d'application appropriées
Débarquement des mailles	Charge excessive causée par une installation inadéquate	Remplacer par une nouvelle chaîne et corriger l'installation



**TABLERAU 2.3: Problèmes reliés aux mailles [ 1 ]**

Symptômes	Causes possibles	Remèdes
Bris des mailles	Charges d'impact excessives	Réduire les charges d'impact en rendant le système plus doux d'utilisation
	Vibration dans la chaîne	Installer un appareil pour diminuer la vibration
	Moment d'inertie élevé dans le système	Augmenter la grosseur de la chaîne
	Corrosion	Remplacer avec une nouvelle chaîne. Appliquer un revêtement protecteur. Nettoyer la chaîne périodiquement
Fissures dans les mailles (fatigue) orientées perpendiculairement à la direction de la charge	Charges plus élevées que la valeur permise	Éliminer toutes ou en partie les charges répétées. Augmenter la grosseur de la chaîne. Remplacer la chaîne.
Déformation dans les trous de la maille	Charge excessive	Éliminer la cause de la charge excessive. Remplacer par une nouvelle chaîne.
Des fissures de contraintes de corrosion apparaissent	La chaîne est utilisée dans un milieu acide	Appliquer un revêtement protecteur sur la chaîne. Employer une chaîne avec une grande résistance aux fissures de concentration de contraintes. Remplacer la chaîne.

**TABLEAU 2.4: Problèmes reliés aux rivets [ 1 ]**

Symptômes	Causes possibles	Remèdes
Rupture des rivets	Charges d'impact excessives	Réduire les charges d'impact en rendant le système plus doux d'utilisation
	Sujet à une charge répétitive plus élevée que la limite de fatigue du rivet	Éliminer les charges répétitives élevées. Augmenter la grosseur de la chaîne.
	Corrosion	Appliquer un revêtement protecteur sur la chaîne. Nettoyer et lubrifier la chaîne périodiquement.
Les rivets tournent et commencent à sortir des mailles	Charge excessive ou lubrification inadéquate	Remplacer par une nouvelle chaîne. Améliorer la lubrification et les conditions d'application de la charge.
	Friction entre le rivet et la bague causant la rotation du rivet et sa sortie de la maille	Remplacer par une nouvelle chaîne. Vérifier l'installation si les têtes de rivets ou les surfaces des mailles sont usées.
L'usure ou la rouille se produit seulement sur le rivet d'attache pour une application en tension	Lubrification initiale inadéquate à l'installation	Remplacer la maille d'attache (connecting link). Si l'usure du rivet est excessive, remplacer aussi la chaîne.

**TABLEAU 2.5: Problèmes reliés aux bagues et aux rouleaux [ 1 ]**

Symptômes	Causes possibles	Remèdes
Rouleaux et bagues sont fendus et tombent	Charge ou vitesse excessive	Choisir une chaîne différente selon la table de capacité des transmissions.
	Lubrification inadéquate	Remplacer la chaîne. Procurer une lubrification adéquate selon les conditions d'utilisation
Rouleaux ne roulent pas	Les mailles se déplacent vers l'intérieur ou la bague est craquée	Remplacer la chaîne. Inspecter l'installation et les conditions d'application de la charge.
	Des impuretés se sont introduites entre le rouleau et la bague	Nettoyer la chaîne périodiquement. Appliquer un revêtement pour protéger la chaîne.
Les rouleaux s'ouvrent	Charge excessive	Réduire la charge. Procurer une lubrification adéquate.
Les rouleaux prennent la forme d'un sablier	Charge excessive ou lubrification inadéquate	Remplacer la chaîne. Améliorer la lubrification ou les conditions de la charge.

Certaines chaînes sont fabriquées avec des bagues formées à partir de languettes d'acier plates. Il se crée alors un joint sur la surface cylindrique de la bague. L'assemblage de ces bagues avec le joint orienté vers le centre de la maille permet l'augmentation de la capacité de la charge permise de la chaîne de 6 à 14% [ 7 ].

### 2.1.3 Regroupement des facteurs influents

Tous les paramètres de la chaîne et de son système d'utilisation qui ont été retenus pour évaluer la force de rupture sont classés selon deux catégories: les facteurs influents internes propres à la chaîne et les facteurs influents externes représentant la force induite dans la chaîne par le système. Chacun de ces facteurs sera évalué par un coefficient au moment de calculer la force de rupture ou la force induite. Aussi, les relations entre eux seront-elles approfondies.

### 2.1.4 Facteurs influents internes

Les facteurs influents internes ont été rassemblés dans un tableau mettant en relation ces facteurs avec les différents types de détérioration: la rupture statique, l'allongement, l'usure et la rupture par fatigue. Ces facteurs concernent la chaîne et ses éléments, sa capacité ou sa limite.

**TABLEAU 2.6: Relations entre les types de détérioration et les facteurs internes [ 8 ]**

CARACTÉRISTIQUES	Rupture	Élastique	Usure	Fatigue
Matière Première	X	X	X	X
Traitements	X	X	X	X
Serrage	X	X		
Jeux	?	?	X	
Géométrie: Section critique	X	X		
Géométrie: Forme maille	X	X		X
Géométrie: Forme des trous	X	X		X
Concentration de contraintes	X	X		X
Température	X	X	X	X
Milieu corrosif	X	X	X	
Milieu abrasif			X	
Fini de surface			X	X

- **Matière première:**

L'élément le plus important au niveau du calcul de la force de rupture est sans contredit la sélection de l'acier de la chaîne. On utilise sa limite de rupture (en psi) qui est fournie dans les manuels. On peut obtenir ces valeurs pour les états laminés ou avec un recuit sur l'acier. Plus les aciers possèdent une dureté élevée, plus ils sont résistants à l'usure. La matière première va donc influencer la détérioration fragile, élastique et par usure.

- **Traitements:**

Les traitements en masse améliorent la résistance à la traction de la chaîne. Selon la dureté demandée, des valeurs de limite de rupture sont fournies pour chaque acier. À partir de ces valeurs, on peut calculer l'influence des traitements thermiques sur la force de rupture de la chaîne. Comme le traitement est en relation directe avec les propriétés de l'acier, il aura les mêmes influences sur la détérioration que l'acier.

- **Serrage:**

Le serrage est réalisé lorsque les rivets ou les bagues sont de dimensions supérieures aux trous dans lesquels ils sont insérés. Cette façon d'assembler différentes pièces génèrent des concentrations de contrainte dans les pièces de la chaîne. La simulation du serrage sur un programme par éléments finis, pourra permettre d'établir une courbe de l'influence du serrage pour la force de rupture selon le niveau du serrage établi. Le serrage influencera la détérioration fragile et élastique. Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet mais en marge de ce mémoire [ 19 ].

- **Milieu abrasif:**

Un milieu abrasif ne sera évidemment pas bon pour l'usure de la chaîne. Il sera intéressant d'étudier son impact sur les autres types de détérioration.

- **Fini de surface:**

Un bon fini de surface sur les pièces est important pour diminuer l'usure entre elles. Il influencera du même coup la rupture par fatigue de la chaîne. Les aciers laminés à froid possèdent de bons finis de surface comparativement aux aciers laminés à chaud.

### ***2.1.5 Facteurs influents externes***

Les facteurs influents externes ont été rassemblés dans un tableau mettant en relation ces facteurs avec la force induite dans le système et la force de rupture par fatigue. Ce sont tous les facteurs qui sont de nature à influencer le couple résistant du système et qui sont propres à l'utilisation de la chaîne. C'est à partir de ces paramètres que les clients devront choisir leurs chaînes. Une recherche réalisée à une université technologique de Singapour [ 9 ] démontre que les éléments suivants sont nécessaires pour la faire la sélection d'une chaîne de transmission à rouleaux: la puissance du moteur, la longueur de la chaîne, le nombre de dents de l'engrenage, le pas de la chaîne, la vitesse angulaire de l'engrenage, le facteur de service, le rapport de vitesse et l'angle de contact entre la chaîne et l'engrenage.

**TABLERAU 2.7: relations entre la force induite et les facteurs externes [ 5 ]**

CARACTÉRISTIQUES	Couple résistant	Fatigue
Vitesse de la chaîne	X	
Vitesse cyclique	X	X
Vitesse/Excentricité	X	X
Engrènement	X	X
Force d'impact	X	X
Poids de la chaîne	X	
Dimensions du système	X	
Coefficient de friction	X	X

- **Vitesse de la chaîne**

Plus la vitesse de la chaîne est élevée, moins la chaîne va travailler en tension.

- **Vitesse cyclique**

On spécifie ici le facteur vitesse cyclique pour étudier la relation entre le cycle de vitesse de la chaîne et sa rupture par fatigue.

- **Vitesse/Excentricité**

L'excentricité est un phénomène observé, causé par la vitesse de la chaîne. Elle est présente lorsque le centre de masse n'est pas au centre du système pendant une rotation. Par exemple, le centre de masse du système chaîne/engrenage ne sera pas au centre de l'engrenage.

- **Engrènement (poulie/chaîne) – effet polygonal**

L'effet polygonal est la conséquence de l'utilisation d'une chaîne sur un engrenage due à la forme polygonale de cet engrenage. Cet effet entraîne une variation de vitesse à chaque fois que la chaîne est tirée par une dent. Une vibration dans la chaîne découle de cette variation de vitesse. La fluctuation de tension dans la chaîne durant son utilisation normale est vraisemblablement la cause principale de la fatigue dans les chaînes à rouleaux. Pour une chaîne utilisée à vitesse élevée où l'effet d'inertie est plus important, les modèles théoriques de distribution des charges doivent être modifiés [ 10, 11 ]. Une autre étude sur la vibration tenant compte des vitesses d'utilisation d'une chaîne [ 12 ] conclut qu'elle se comporte de façon différente selon que la chaîne est utilisée à vitesse faible et moyenne ou à vitesse élevée.

- **Force d'impact**

La force d'impact qui se produit entre le rouleau et l'engrenage est intéressante à cause du fait qu'elle est reliée au bruit de la chaîne, à la vibration, à la charge supportée et d'autres phénomènes concernant la performance de la chaîne. La force d'impact tend à augmenter quand la tension dans la chaîne augmente et aussi quand la vitesse de la chaîne augmente [ 13 ]. Sous de forts impacts, ce sont les mailles extérieures qui sont brisés et sous de faibles impacts, les mailles intérieures [ 14 ]. Un mécanisme de guidage d'engagement existe à partir du principe que pour une chaîne à rouleau, si le rouleau s'engageant sur l'engrenage se déplace d'une façon tangente au cercle, aucun impact ne devrait se produire entre le rouleau et l'engrenage [ 15 ]. Une équation empirique a été obtenue par une étude pour calculer la force d'impact en fonction de la vitesse angulaire de l'engrenage  $\omega$  (radians/seconde) et de la tension dans la chaîne en livres [ 16 ].



$$\text{Force d'impact} = -0.00003\omega^3T + 0.012892\omega^2T - 1.37118\omega T + 47.43351T + 0.000746\omega^3 - 0.25491\omega^2 + 28.02622\omega - 989.466 \quad (2.1)$$

Avec  $\omega$  désignant la vitesse angulaire (radians/seconde) et T la tension dans la chaîne en livres.

- **Poids de la chaîne**

Le poids de la chaîne peut influencer l'effet d'inertie et aussi le coefficient de frottement.

- **Dimensions du système**

Le nombre de dents du pignon exerce une influence sur la variation de vitesse de la chaîne causée par la rotation. La distance entre les deux engrenages peut aussi avoir une influence dans le choix de la chaîne. Quand les deux engrenages sont éloignés, il faut prendre en considération de nouveaux facteurs. Il est nécessaire que la dent de l'engrenage ait une hauteur minimum pour éviter les contacts entre le rouleau et la partie supérieure ou le coin de la dent [ 17 ]. Si un engrenage non circulaire est utilisé, il faut installer un système de tension pour récupérer la partie non tendue de la chaîne [ 18 ].

- **Coefficient de frottement**

Pour les convoyeurs horizontaux à vitesse constante, la tension est altérée par le coefficient de frottement entre la chaîne et le convoyeur et, par le frottement entre le rouleau et le convoyeur s'il y a lieu.

## **2.2 SYNTHÈSE**

Les facteurs internes, c'est-à-dire ceux qui sont propres à la chaîne, sont représentés par son acier, son traitement thermique, le serrage entre certaines pièces, les

jeux, la section critique, la forme de la maille et du trou, le fini de surface et la température. Ces facteurs peuvent influencer la limite de rupture, la limite élastique, l'usure et la fatigue.

Les facteurs externes, c'est-à-dire ceux qui sont propres à l'environnement de la chaîne, sont représentés par sa vitesse, les charges non équilibrées, le nombre de dents du pignon, la force d'impact, la source de puissance, les remous dans la chaîne, l'acier du convoyeur, la lubrification, les types de rouleaux, la puissance et le facteur de réduction des moteurs, le type d'application, le milieu abrasif, le milieu corrosif, le poids de la chaîne et la distance des centres des engrenages. Ces facteurs peuvent influencer la force induite dans la chaîne par le système, l'usure et la fatigue.

Plusieurs facteurs sont déterminants dans la conception d'une chaîne, mais s'il y a une chose à retenir, c'est d'utiliser les bons aciers et traitements thermiques selon les besoins ou les conditions d'utilisation de la chaîne.

La relation entre ces facteurs et ces modes de rupture sera expliquée en détail au chapitre 3.

# Chapitre 3

## PROCÉDURES DE CALCUL

Suite à l'énumération des facteurs influents au chapitre précédent, ce chapitre suggère la sélection de ces facteurs afin de les insérer dans des équations théoriques pour calculer la résistance à la rupture d'une chaîne ou la force induite dans le système.

### ***3.1 DÉTERMINATION DES FACTEURS INFLUENTS***

Cette étape consiste à déterminer quels facteurs influents seront adoptés pour élaborer les modèles théoriques servant à calculer la limite de rupture, la force induite dans la chaîne, la rupture par fatigue et l'usure.

Certains facteurs liés aux concentrations de contrainte ne pourront être utilisés dans les équations théoriques. Ces facteurs devaient être déterminés par des analyses par éléments finis. Malheureusement, les analyses ne sont pas concluantes en ce qui a trait au serrage de pièces, aux jeux entre les pièces et à la forme des trous et des mailles pour des aciers avec traitements thermiques. Ceci est dû au logiciel dans le cadre de l'étude réalisée en marge du mémoire [ 19 ].

Après plusieurs études et remises en question, les facteurs influents par rapport au type de rupture et à la force induite dans la chaîne ont été déterminés.

Nous avons établi les différents facteurs pouvant influencer le comportement de la chaîne. Après avoir étudié ces facteurs, nous obtenons les relations entre eux et les types de rupture dévoilés dans le tableau 3.1.

**TABLEAU 3.1: Relations entre les facteurs internes et le type de détérioration**

Description	Rupture statique	Écoulement statique	Rupture par fatigue	Usure
Acier	1	1	1	3
Traitement	1	1	1	3
Serrage	3	3	3	5
Jeux	4	4	3	3
Section critique	1	1	1	5
Forme de la maille	3	3	4	3
Forme du trou	5	5	4	5
Température	1	1	1	3
Environnement corrosif	1	1	3	3
Environnement abrasif	5	5	3	3
Fin de surface	4	4	2	3

**1: considéré dans les équations et très influent**

**2: considéré dans les équations et influent**

**3: non considéré et très influent**

**4: non considéré et influent**

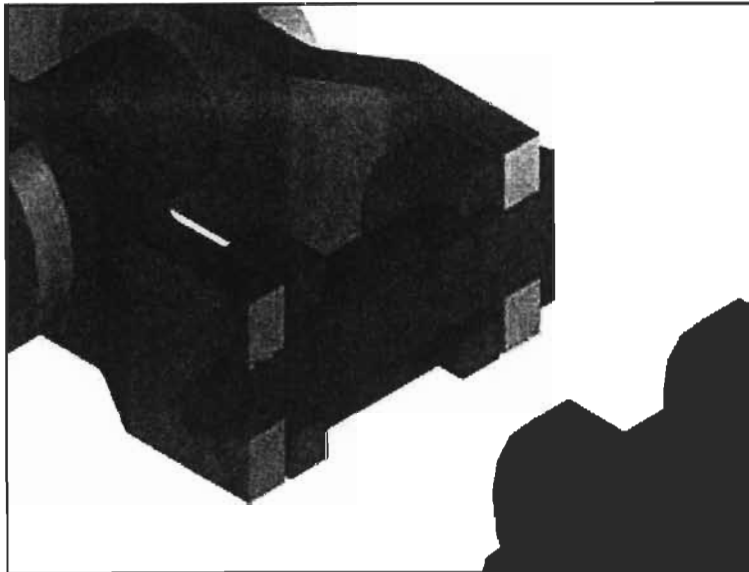
**5: non influent ou peu influent**

### ***3.2 RÉSISTANCE À LA RUPTURE STATIQUE***

Nous avons établi et validé une équation pour calculer la limite de rupture ( $F_{rup}$ ) de la chaîne tenant compte de l'acier utilisé avec la valeur de sa contrainte en tension ( $S_{ut}$ ) et du traitement thermique subi soit la valeur de ( $K_{tt}$ ). Aussi, elle nous permet de tenir compte de la géométrie de la chaîne par la valeur de la section critique de la maille, soit ( $A_{cr}$ ). Il ne faut pas oublier que cette section est la section critique de rupture, donc la plus petite section de la maille. Elle est située à l'emplacement du trou pour la bague sur la maille intérieure ou du trou pour le rivet sur la maille extérieure. Une représentation

de cette section est illustrée par la surface rouge d'une maille pliée du plan de coupe de la figure 3.1 et par la ligne pointillée de la figure 3.2. Une représentation graphique illustrant les variables de l'équation de la force de rupture est fournie au TABLEAU 3.2. L'équation obtenue est donc [ 20 ]:

$$F_{rup} = S_{ut} K_{tt} A_{cr} \quad (3.1)$$



**Fig. 3.1 Section critique en tension d'une maille vue #1**



**Fig. 3.2 Section critique en tension d'une maille vue #2**

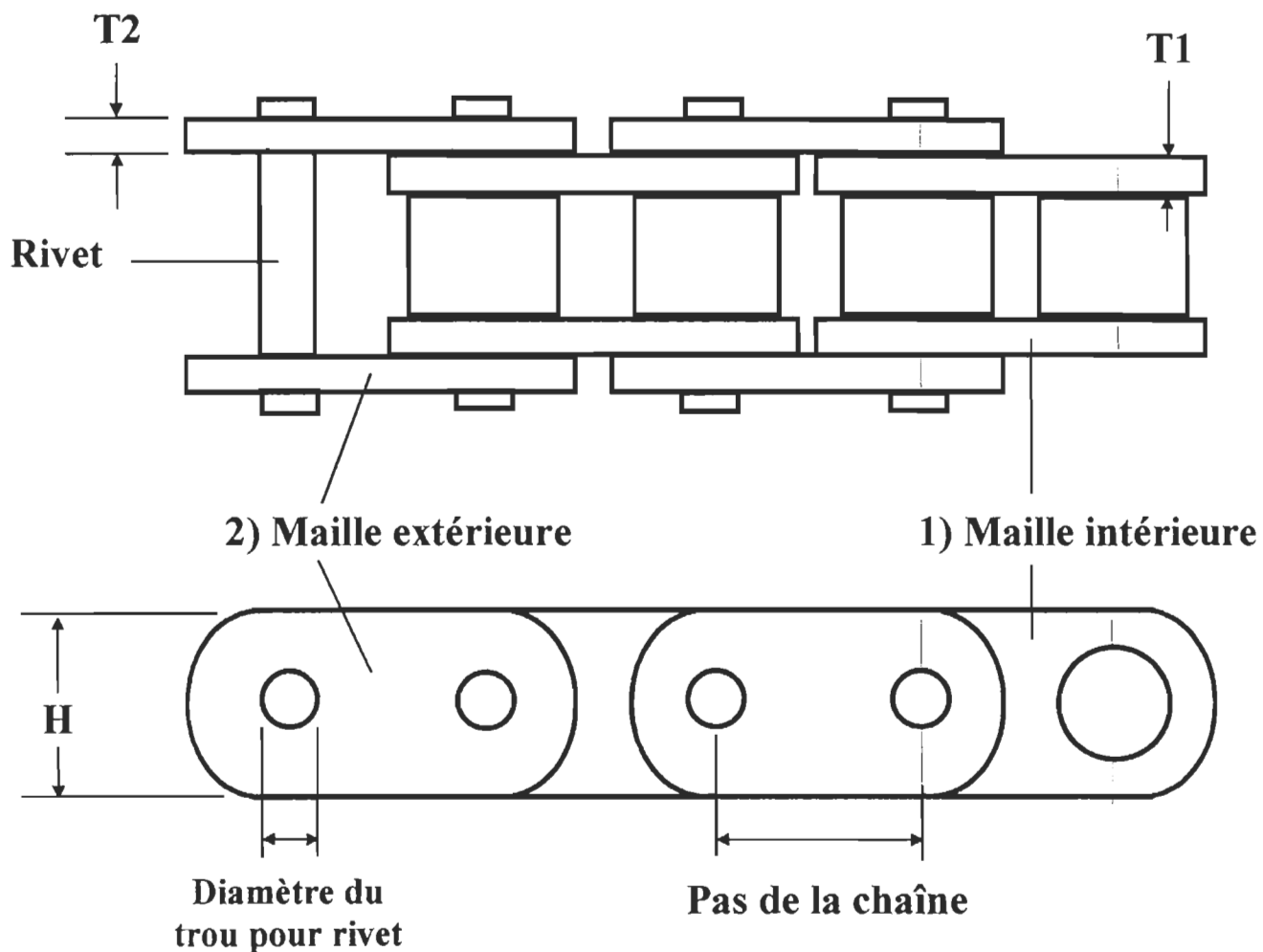
Toutefois, nous avons démontré que cette formule doit être modifiée pour pouvoir s'appliquer sur la chaîne en général et non pas seulement sur une maille de la chaîne. On

en a déduit qu'il fallait multiplier la section critique par deux pour impliquer deux mailles dans le calcul de la rupture de la chaîne avec cette dernière formule. Donc la formule pour le calcul de la force de rupture en tension en fonction du matériau et de la section critique devient [ 4 ]:

$$F_{rup} = S_{ut} K_{tt} 2 A_{cr} \quad (3.2)$$

Cette équation sera prise comme l'équation de base à laquelle des coefficients représentant les facteurs influents seront appliqués.

De plus, il faut s'assurer que ce n'est pas la maille extérieure qui représente la pièce la plus susceptible d'être menée à la rupture en premier même si sa section critique est habituellement plus grande que celle de la maille intérieure. La maille intérieure est toujours, en théorie, la pièce critique de rupture sauf pour deux exceptions: lorsqu'il y a deux plats sur le trou de la maille intérieure et lorsque les aciers ou traitements utilisés pour les mailles extérieures sont moins résistants. La figure 3.3 illustre par des lignes pointillées les sections critiques sur les mailles internes et externes. Il est à noter que pour le reste du projet, nous prenons comme hypothèse que ce sont les mailles internes qui sont les pièces critiques.



**Fig. 3.3** Sections critiques en tension des mailles internes et externes

La limite de rupture de la chaîne peut donc se calculer de la façon suivante [ 21 ]:

$$F_{rup1} = S_{ut1} K_{tt} 2 (( H_1 - \phi_1 ) T_1 ) \quad (3.3)$$

$$F_{rup2} = S_{ut2} K_{tt} 2 (( H_2 - \phi_2 ) T_2 ) \quad (3.4)$$

$$F_{rup} = \min ( F_{rup1}, F_{rup2} ) \quad (3.5)$$

Avec  $S_{ut1}$ : Contrainte de rupture en tension de l'acier des mailles intérieures

$S_{ut2}$ : Contrainte de rupture en tension de l'acier des mailles extérieures

$T_1$ : Épaisseur des mailles intérieures en tension

$T_2$ : Épaisseur des mailles extérieures en tension

$F_{rup1}$ : Limite de rupture en fonction des mailles intérieures de la chaîne

Frup<sub>2</sub>: Limite de rupture en fonction des mailles extérieures de la chaîne

$\phi_1$ : Diamètre du trou pour la bague

$\phi_2$ : Diamètre du trou pour le rivet

H<sub>1</sub>: Hauteur des mailles intérieures

H<sub>2</sub>: Hauteur des mailles extérieures

L'équation (3.2) peut être utilisée pour les chaînes qui respectent une longueur de maille égale au résultat de l'expression suivante:

$$(Hauteur\ de\ la\ maille - Hauteur\ du\ trou) / 2 * 1.25 * 2 + pas\ de\ la\ chaîne + 2 * Rayon\ des\ trous \quad (3.6)$$

En effet, les chaînes avec des mailles de longueur respectant la formule précédente sont plus longues et par le fait même sont menées à la rupture par tension plutôt que par cisaillement. Nous avons validé ce fait par des calculs et nous obtenons une marge de sécurité d'environ 20% selon la forme et les dimensions de la maille. Il est d'usage d'appliquer cette formule pour les chaînes à mailles avec bouts à rayons coupés seulement. Comme ce type de chaîne représente nettement le plus gros pourcentage de production pour la compagnie METALITE, c'est sur ce type que nous avons principalement axé nos études.

Cependant, nous avons malgré tout vérifié l'équation pour la résistance à la rupture par cisaillement d'une chaîne. La formule générale restera sensiblement la même sauf pour le calcul de la section critique qui se situe à l'endroit illustré sur la figure 3.4 suivante:

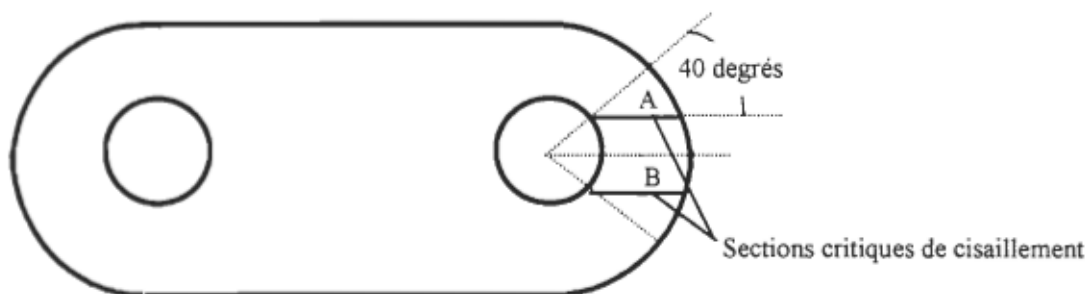


Fig. 3.4 Section critique de cisaillement d'une maille [ 22 ]



Donc, la formule pour le calcul de la force de rupture en cisaillement de la chaîne en fonction du matériau et de la section critique demeure l'équation (3.2) mais seule la section critique est modifiée selon l'équation suivante [ 22 ]:

$$Acr = \text{Épaisseur de la maille} \times (A + B) \quad (3.7)$$

Avec A la longueur de la section critique supérieure en cisaillement au niveau de l'intersection entre le trou et une droite à 40 degrés partant du centre du trou et B la longueur de la section critique en cisaillement au niveau inférieur tel qu'illustré sur la figure 3.4.

Le tableau 3.2 illustre bien chacun des facteurs choisis avec leur représentation utilisée dans la formule ainsi que sa plage de variation possible ou son facteur de correction par rapport à l'équation de base et l'équation pour un type de rupture.

**TALEAU 3.2: Facteurs internes**

Facteur influent	Représentation	Facteur de correction	Équation
Acier	Sut	1	$Frup = Sut Ktt 2 Acr \quad (3.2)$
Traitement thermique	Ktt	1	$Frup = Sut Ktt 2 Acr \quad (3.2)$
Section critique	Acr	1	$Frup = Sut Ktt 2 Acr \quad (3.2)$
Environnement corrosif	Kcor	Kcor (voir Tableau 3.3)	$Frup = Sut Ktt 2 Acr Kcor \quad (3.8)$
Température	Kt	Kt (voir Tableau 3.4)	$Frup = Sut Ktt 2 Acr Kcor Kt \quad (3.9)$

La corrosion et la température sont donc les seuls éléments ajoutés comme facteurs influents pour calculer la résistance à la rupture statique de la chaîne. Les autres

facteurs seront utiles pour calculer plutôt la résistance à la rupture par fatigue et par usure de la chaîne.

Quand une chaîne en métal est plongée dans l'eau ou à travers de la vapeur d'eau, les problèmes suivants peuvent survenir:

- Augmentation de l'usure due à une lubrification non adéquate ou insuffisante
- Diminution de la résistance en tension due à la corrosion
- Durée de vie écourtée due à la rouille ou à la corrosion de la chaîne

Le tableau 3.3 illustre les différentes valeurs que les coefficients de corrosion peuvent avoir.

**TABLEAU 3.3: Valeurs du coefficient de corrosion Kcor [ 1 ]**

Agents corrosifs	Acier inoxydable	Acier allié	Acier au carbone
eau	0.9	0.9	0.9
eau salée	0.6	0.35	0.35
eau chlorée	0.35	0.35	0.35

Certaines chaînes sont conçues spécialement pour résister aux basses températures comme les chaînes faites en acier inoxydable 304 ou d'acier ayant subi un traitement spécial. Le tableau 3.4 représente les valeurs du coefficient de température.

**TABLEAU 3.4: Coefficient de température [ 1 ]**

	Valeur coefficient (Kt)	Plage de température (°C)
<b>Chaînes standards</b>	1	-10 à +60
	0.5	-20 à -10
	0.33	-30 à -20
	0.25	-40 à -30

	Valeur coefficient (Kt)	Plage de température (°C)
<b>Chaînes spéciales résistantes au froid</b>	1	-40 à +60
	0.66	-50 à -40
	0.5	-60 à -50

L'équation finale pour calculer la limite de rupture en statique de la chaîne sera donc:

$$F_{rup} = S_{ut} K_{tt} 2 A_{cr} K_{cor} K_t \quad (3.10)$$

### **3.3 RÉSISTANCE À L'ÉCOULEMENT STATIQUE**

Pour calculer la limite d'écoulement (Féc.), on emploie sensiblement la même formule que celle pour la limite de rupture à l'exception qu'à la place de la contrainte en tension (Sut), on y insère la contrainte élastique de l'acier (Sy). Donc, l'équation donnera:

$$F_{éc.} = S_y K_{tt} 2 A_{cr} K_{cor} K_t \quad (3.11)$$

On n'utilise pas généralement les facteurs de concentration de contraintes pour calculer des pièces faites avec des matériaux ductiles, et ce, à cause de la redistribution locale des contraintes. Une déformation permanente locale est souvent tolérée quand elle ne change pas le comportement global des pièces; parfois, on l'utilise même pour créer une distribution des contraintes plus favorable. Toutefois, pour calculer la limite à l'écoulement, comme il n'y aura pas de déformation plastique donc pas de redistribution de contraintes, il faudra tenir compte du facteur de concentration de contrainte (Kcc). Pour évaluer la valeur de ce facteur, on doit utiliser l'équation du graphique illustrant Kcc en fonction du diamètre du trou (d) divisé par la largeur de la maille (w).

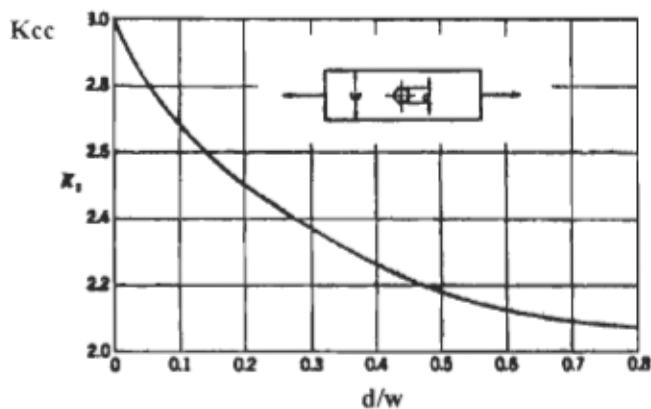


Figure 3.5 Facteur de concentration de contraintes [ 23 ]

On obtient alors l'équation suivante pour calculer la limite d'écoulement statique de la chaîne:

$$F_{éc.} = S_y K_{tt} 2 A_{cr} K_{cor} K_t K_{cc} \quad (3.12)$$

### 3.4 RÉSISTANCE À LA RUPTURE PAR FATIGUE ET LIMITE D'ENDURANCE

La charge maximum permise qui est une donnée fournie par les fabricants ou distributeurs de chaînes peut être déterminée soit par la résistance à la rupture par fatigue, soit à l'aide d'un facteur de sécurité pris sur la limite de rupture de la chaîne variant entre 6 et 10 habituellement.

Les valeurs des limites d'endurance, tout comme celles des résistances à la fatigue pour un nombre donné de cycles, ne sont pas toujours accessibles aux concepteurs. Les essais de fatigue sur les matériaux ont montré qu'il existe une relation entre la limite de rupture  $S_{ut}$  et la limite d'endurance  $S_e'$  dans le cas de l'essai Moore. Bien qu'elle soit approximative, cette relation permet néanmoins d'évaluer une limite de fatigue en utilisant une limite statique qui est relativement simple à obtenir expérimentalement. Les relations entre  $S_{ut}$  et  $S_e'$  sont les suivantes: [ 23 ]

- pour les aciers:  $Se' = 0.50 S_{ut}$
- pour les fontes et aciers coulés:  $Se' = 0.40 S_{ut}$
- pour les alliages d'aluminium et de magnésium:  $Se' = 0.40 S_{ut}$  (forgé, laminé, etc.)  
 $Se' = 0.30 S_{ut}$  (coulé)

Ces relations sont utilisées même si elles sont approximatives car il est impossible dû au manque de temps d'obtenir des valeurs plus exactes en laboratoire.

Les limites d'endurance des matériaux sont déterminées en général en faisant des essais, sur des éprouvettes dans des conditions idéales. Il est possible de tenir compte de différents facteurs en établissant, pour les pièces, des limites d'endurance plus faibles que celles des éprouvettes.

L'équation exprimant la limite d'endurance pour les pièces ( $Se$ ) est la suivante:

$$Se = K_{fs} K_g K_f K_t K_c {}^2 Se' \times A_{crit} \quad (3.13)$$

À noter que, comme le calcul de la limite de rupture, il faut multiplier la limite d'endurance de la chaîne par deux pour tenir compte que deux mailles résistent en même temps. La description des facteurs est résumée dans le tableau 3.5 suivant.

**TABEAU 3.5: Description des facteurs**

Facteurs influents	Nom coefficient
fini de surface	$K_{fs}$
grosueur de pièce	$K_g$
fiabilité	$K_f$
température	$K_t$
concentration de contraintes	$K_c$

### *Fini de surface:*

Les valeurs des coefficients de fini de surface sont trouvées à partir d'un graphique illustrant le facteur de fini de surface  $K_{fs}$  en fonction de la limite de rupture en tension  $S_{ut}$  en MPa (figure 3.6). Il y a cinq courbes à considérer soit celles pour des pièces polies, meulées, usinées ou écrouit, laminées à chaud et forgées.

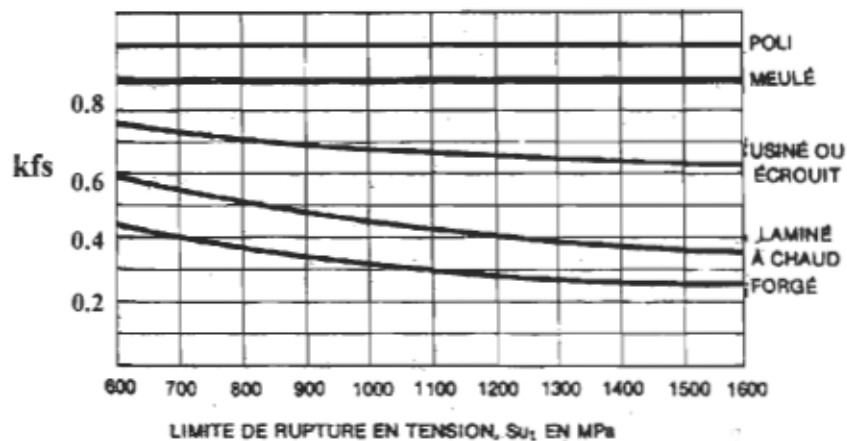


Figure 3.6 Facteur de fini de surface vs limite de rupture en tension. [ 23 ]

La conversion de la limite de rupture en système impérial se fait en utilisant la relation suivante :

$$1 \text{ psi} = 6894.76 \text{ Pa et } 1\,000\,000 \text{ Pa} = 1 \text{ MPa}$$

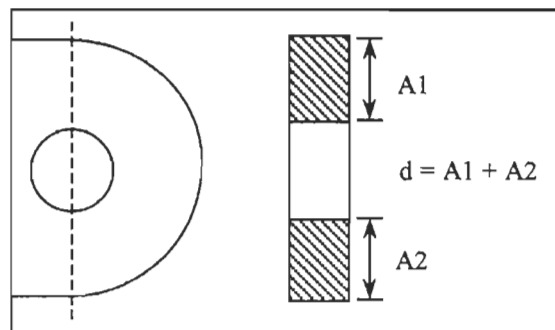
### *Grosueur de pièce:*

Des résultats expérimentaux (Tableau 3.6) suggèrent que les facteurs suivants s'appliquent à des barreaux en flexion:

**TABLEAU 3.6: Facteur de grosseur de pièce [ 23 ]**

Kg	Valeur coefficient	Condition
	1	$d \leq 0.3 \text{ po}$
	0.85	$0.3 \text{ po} < d \leq 1.969 \text{ po}$
	0.75	$d > 1.969 \text{ po}$

où la valeur  $d$  est une dimension caractéristique illustrée sur la figure 3.7 suivante.



**Figure 3.7 Dimension caractéristique  $d$**

*La fiabilité:*

Pour représenter une population de pièces en entier par un échantillonnage, il faut y associer un certain facteur de fiabilité. Des études sur de grandes séries de pièces ont révélé que la déviation standard de la limite d'endurance dépassait très rarement 8%. Ceci signifie qu'on peut obtenir la limite d'endurance, correspondant à une fiabilité donnée  $R$ , simplement en soustrayant un nombre d'écarts types de la limite d'endurance moyenne. Le facteur de fiabilité ( $K_f$ ) peut alors s'exprimer par la relation suivante: [ 23 ]

$$K_f = 1 - 0.08 Z_r \quad (3.14)$$

où  $Z_r$  est la variable normalisée correspondant aux fiabilités les plus fréquentes en design.

Le tableau 3.7 donne le facteur de fiabilité  $K_f$  correspondant aux fiabilités les plus fréquentes en conception.

**TABLEAU 3.7: Facteur de fiabilité [ 23 ]**

Fiabilité	Facteur de fiabilité ( $K_f$ )
0.50	1
0.90	0.897
0.95	0.868
0.99	0.814
0.999	0.753

*La température:*

Lorsqu'une pièce est soumise à des contraintes variables et à des températures élevées, elle peut faillir en raison d'une rupture de fatigue ou d'un fluage excessif. L'équation pour trouver le facteur fourni dans le tableau 3.8 peut être utilisée pour les aciers.

**TABLEAU 3.8: Facteur pour la température [ 23 ]**

$K_t$	Facteur influent	Condition
	$344 / (273 + T) \quad (3.15)$	température $> 71^\circ\text{F}$
	1	température $\leq 71^\circ\text{F}$

*Concentration de contrainte en fatigue:*

Lorsque les matériaux ductiles sont soumis à des charges statiques, on ne tient pas compte généralement de l'effet de changements brusques de section dans le calcul des dimensions d'une pièce. Il en va tout autrement d'une pièce soumise à des charges variables. Dans ce cas, il faut toujours prendre en considération l'effet des changements



brusques de section. En fatigue, la rupture résulte généralement d'une fissure qui a pris naissance en un point où il y a concentration de contrainte. Le facteur de fatigue dépend de la géométrie de la pièce, du mode de chargement et du matériau. Les facteurs de fatigue peuvent être calculés par la formule: [ 23 ]

$$K_{cf} = 1 / K_x ; \text{ où } K_x = q (K_{cc} - 1) + 1 \quad (3.16)$$

où  $K_x$  est le facteur de concentration de contrainte en fatigue

$K_{cc}$  est le facteur théorique de concentration de contrainte

$q$  est l'indice de sensibilité aux effets d'entaille déterminé à l'aide de la figure 3.8

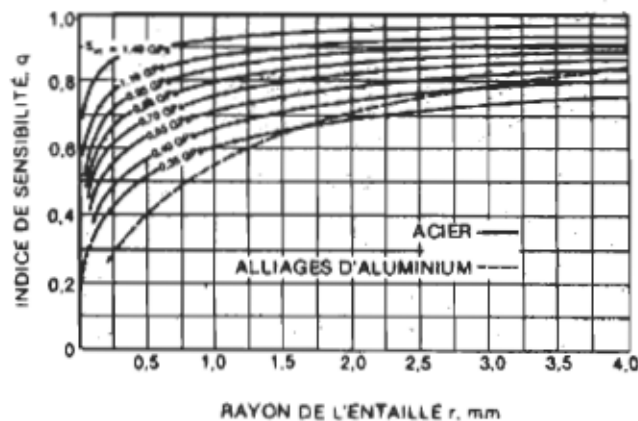


Figure 3.8 indice q [ 23 ]

### 3.5 FORCE INDUITE PAR LE SYSTÈME

La force induite par le système, est la force à laquelle la chaîne devra être en mesure de résister en pratique dans un système précis. Plusieurs facteurs influencent la valeur de cette force. Donc, pour vérifier si la chaîne choisie pour un système donné est la bonne, on compare la valeur de la force induite par le système qui doit être inférieure à la charge recommandée pour la chaîne.

### ***3.6 DÉTERMINATION DES FACTEURS INFLUENTS POUR LA FORCE INDUITE***

Les facteurs influents pour calculer la force induite dans la chaîne par le système se concentrent surtout sur les caractéristiques de ce système comme le moteur, le pignon, le convoyeur, l'environnement et des éléments généraux. Ces facteurs influents du système sont appelés les facteurs externes. Pour une conception optimale et pour obtenir des caractéristiques de bruits et d'usure, il est nécessaire d'avoir des connaissances détaillées sur la vibration de la chaîne, les forces de contact et d'impact [ 24 ]. La distribution de tension dans une maille de la chaîne dépend du nombre de dents en contact avec l'engrenage, des angles de pression de la dent, des propriétés de frottement et des propriétés élastiques [ 25 ]. Le tableau 3.9 illustre les relations entre les facteurs externes, la force induite et la rupture.

**TABEAU 3.9: Facteurs externes**

Description	Force induite	Rupture par usure	Rupture par fatigue
Vitesse chaîne	1	3	1
Balancement charge	1	5	2
Nombre de dents de l'engrenage	1	5	3
Force d'impact	1	5	3
Source du moteur	1	5	5
Chaîne bien tendu (effet caténaire)	1	5	4
Acier utilisé pour le convoyeur	1	3	5
Lubrification	1	3	4
Type de rouleaux	1	3	5
Puissance du moteur	1	5	5
Rapport réducteur	1	5	5
Type d'application	3	3	3
Distance entre les engrenages	3	5	4
Diamètre du pignon	1	3	1
Poids de la chaîne / pied	2	3	2

**1:** considéré dans les équations et très influent

**2:** considéré dans les équations et influent

**3:** non considéré et très influent

**4:** non considéré et influent

**5:** non influent ou peu influent

### ***3.7 ÉQUATION DE BASE POUR LE CALCUL DE LA FORCE INDUITE***

Une chaîne transmet la puissance par traction. Le brin tendu de la chaîne est soumis à un effort, appelé tension utile  $F_1$ , lorsqu'il y a transmission de puissance. Le

brin mou (tension  $F_2$ ), quant à lui, est soumis à un effort dû à l'effet caténaire causé par le poids de la chaîne. La tension  $F_2$  présente dans le brin mou a été évaluée à 10% de la tension utile  $F_1$  lors d'un projet effectué précédemment sur la chaîne [ 4 ]. Par ailleurs, les deux brins sont soumis à une tension  $F_c$  due à la force centrifuge. La force centrifuge se calcule par la formule suivante [ 23 ]:

$$F_c = \rho l v^2 \text{ [lbf]} \quad (3.17)$$

où  $\rho l$  est la masse linéique de la chaîne

$v$  est la vitesse de la chaîne en  $\text{pi/min}$

La vitesse de la chaîne, si elle est inconnue, peut-être calculée par l'équation suivante [ 23 ]:

$$v = \pi D_p n / 12 \text{ [pi/min]} \quad (3.18)$$

où  $D_p$  est le diamètre du pignon en  $\text{pi}$

$n$  est le nombre de dents du pignon

Le calcul de la tension utile se fait par l'équation suivante [ 23 ]:

$$F_1 = 33\,000 P / v \text{ [lbf]} \quad (3.19)$$

où  $P$  est la puissance du moteur en HP

La tension induite ( $F_{ind}$ ) peut donc être évaluée par l'addition des forces  $F_1$ ,  $F_2$  et  $F_c$  [ 3 ]:

Formule générale:  $F_{ind} = F_1 + F_2 + F_c \quad (3.20)$

Effet caténaire présent:  $F_{ind} = F_1 + F_2 + F_c = 1.1 F_1 + F_c \quad (3.21)$

Effet caténaire absent:  $F_{ind} = F_l + F_c$  (3.22)

Ces formules sont vérifiées pour les conditions d'utilisation suivantes:

- Montage parfait et lubrification adéquate;
- Effort uniforme sans chocs;
- Rapport de vitesse = 3 (  $R_v = n_1 / n_2$  );
- Service de 8 heures par jour;
- Durée de vie prévue de 15 000 heures, avec usure maximale probable de 3 % sur les rouleaux.

### ***3.8 ÉQUATION THÉORIQUE POUR LE CALCUL DE LA FORCE INDUITE***

L'équation de base précédente calcule une approximation de la force induite. Toutefois, pour tenir compte des différences qui existent entre les conditions réelles d'utilisation et les conditions normalisées, il faut corriger la valeur de la puissance donnée.

**TABLEAU 3.10: Équations de la force induite**

Facteur influent	Nom coefficient	Facteur de correction	Équation de la force induite
Coeff. frottement	f1	(voir Tableau 3.11)	$F1 + F2 + Fc$ (3.20)
Poids chaîne	M1	M1	$F1 + F2 + Fc + M1 g f1$ (3.23)
Facteur de service	Ks	(voir Tableau 3.12)	$F1 Ks + F2 + Fc + M1 g f1$ (3.24)
Coeff. de vitesse	Kv	(voir Figure 3.9)	$F1 Ks Kv + F2 + Fc + M1 g f1$ (3.25)
Coeff. dents/pignon	Kp	(voir Figure 3.9)	$F1 Ks Kv Kp + F2 + Fc + M1 g f1$ (3.26)
Coeff. balancement	Kb	(voir Tableau 3.13)	$F1 Ks Kv Kp Kb + F2 + Fc + M1 g f1$ (3.27)

*Coefficient de frottement:*

On peut catégoriser deux types de friction entre la chaîne et le convoyeur. Il y a les chaînes dont les mailles glissent directement sur le convoyeur et celles dont ce sont les rouleaux qui roulent sur le convoyeur. Voici le tableau 3.11 révélant les valeurs pour ces deux types de friction.

**TABLEAU 3.11: Coefficients de frottement [ 1 ]**

Matériau maille	Matériau convoyeur	Coefficient de frottement	
		Non lubrifié	Lubrifié
Acier inoxydable ou acier carbone	Acier inoxydable ou acier carbone	0.35	0.20
Acier inoxydable ou acier carbone	Polymère "UHMW"	0.25	0.15

Type de chaîne	Type de rouleau	Coefficient de frottement	
		Non lubrifié	Lubrifié
RF Chaîne à pas double	Acier	0.12	0.08
	Plastique d'ingénierie	0.08	0
Chaîne de convoyeur à large pas	Acier	0.14	0.08
	Plastique d'ingénierie	0.08	0
	Roulement à rouleau	0.03	0

*Facteur de service:*

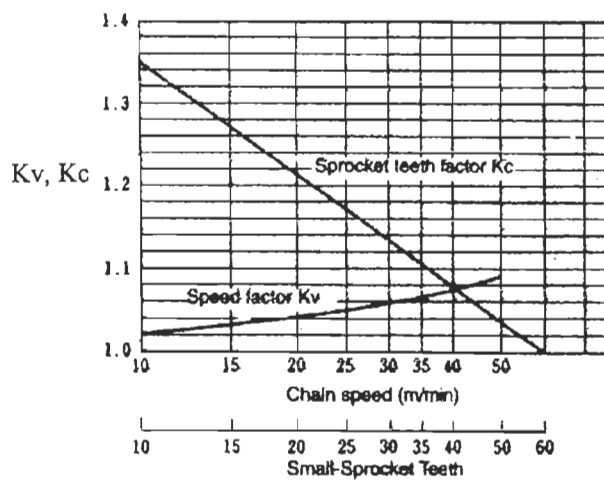
La capacité de transmission de la chaîne est réduite s'il y a de fréquentes ou de sévères fluctuations de charges. L'on doit utiliser le facteur approprié basé sur le type de machine ou de moteur (Tableau 3.12).

**TABLEAU 3.12: Facteur de service [ 1 ]**

Type d'impact	Machines			
		Moteur électrique ou turbine	Engin à combustion interne	
			acti. hydr.	acti. non hydro
faible	machines standards avec de légères fluctuations de charge	1.0	1.0	1.2
quelques impacts	convoyeurs avec quelques fluctuations de charge, machines à outils générales	1.3	1.2	1.4
gros impacts	presses, machines standards avec des charges réversibles ou à gros impacts	1.5	1.4	1.7

### *Coefficient de vitesse et du nombre de dents de l'engrenage:*

Ces facteurs servent à l'ajustement de la capacité de transmission selon la vitesse de la chaîne et le nombre de dents pour les petits engrenages (Figure 3.9).



**Figure 3.9 Facteur de vitesse et du pignon [ 1 ]**

### *Coefficient de balancement:*

Quand deux ou quatre chaînes sont utilisées pour des applications où les chaînes sont suspendues ou sont reliées entre elles, la tension de chacune est différente. On peut tenir compte de cela en utilisant les coefficients du tableau 3.13.

**TABLEAU 3.13: Coefficient de balancement [ 1 ]**

Nombre de chaînes	Coefficient
2	0.6
4	0.36



# Chapitre 4

## LOGICIEL D'APPLICATION ET RÉSULTATS

### ***4.1 LOGICIEL***

Le but ou le livrable du projet étant de fournir un outil facile d'utilisation pour la compagnie METALITE, nous devons réaliser un logiciel renfermant chaque équation et les formules pertinentes élaborées jusqu'à présent.

#### ***4.1.1 Généralités du programme***

Le logiciel est créé sous Visual Basic version 5 et est en liaison avec le gestionnaire de base de données Access pour l'enregistrement de données pour fonctionner avec le système d'exploitation Windows 95 ou plus récent. L'ergonomie et la convivialité sont considérées comme des éléments importants et optimisent ce logiciel par les trois points suivants:

- Adaptation de l'utilisateur avec le programme en rapport avec ce qu'il connaît;
- Connaissance scientifique par l'automatisation des calculs;
- Accroissement de l'efficacité pour faire les dessins et les soumissions.

L'identification des commandes est un élément clef pour simplifier l'apprentissage du logiciel par l'utilisateur. Les boutons de sortie sont plus imposants dans le logiciel et ceux pour valider, imprimer, créer et supprimer sont plus petits pour éviter les activations

accidentelles. La forme, la localisation, le mode d'opération, la couleur et le type de légende pour les commandes sont également pris en considération.

La grosseur, la rapidité, la facilité d'utilisation et d'identification sont les points étudiés dans le choix du type de commande.

La compatibilité a été respectée : le logiciel affiche le sablier pour justifier une attente, la disposition du menu est standard, le langage utilisé principalement est l'anglais et le français est en option pour ce qui est des soumissions.

L'information a été regroupée le plus possible pour permettre d'afficher le plus d'information en même temps tout en permettant à l'utilisateur de se retrouver facilement.

Plusieurs calculs sont automatisés dans le logiciel tels ceux pour certaines dimensions géométriques, pour le nombre de pièces à fabriquer, pour le poids de la matière première et des pièces, pour les temps d'assemblage, pour les coûts et profits, pour la limite de rupture en tension, en fatigue et à l'usure, pour la force induite dans la chaîne, pour le tonnage nécessaire pour une opération, etc.

Aussi, certaines valeurs sont mises par défaut selon les standards de la compagnie METALITE et peuvent être modifiées et sauvegardées. Ces valeurs sont les rebuts de coupe, les ajustements de la chaîne, les tolérances, les prix de matière première, les taux horaires, etc.

La création de la chaîne, c'est-à-dire le transfert des données disponibles d'une chaîne en données requises pour les dessins, se fait en utilisant les mêmes données que dans le catalogue, ce qui diminue substantiellement les pertes de temps et de calculs. De plus, les schémas de plusieurs chaînes ont été numérisés du catalogue pour permettre à l'utilisateur de se retrouver rapidement dans le logiciel à partir du catalogue.

Lorsque la chaîne est créée, un aperçu du dessin de la chaîne est immédiatement affiché pour s'assurer qu'il n'y a pas d'erreur et que s'il y en a une, qu'elle soit rapidement détectée.

#### *4.1.2 Élaboration d'une structure de programme*

L'algorithme servant à la création du logiciel doit contenir les grandes lignes de la structure de celui-ci afin de faciliter ou de simplifier la programmation subséquente.

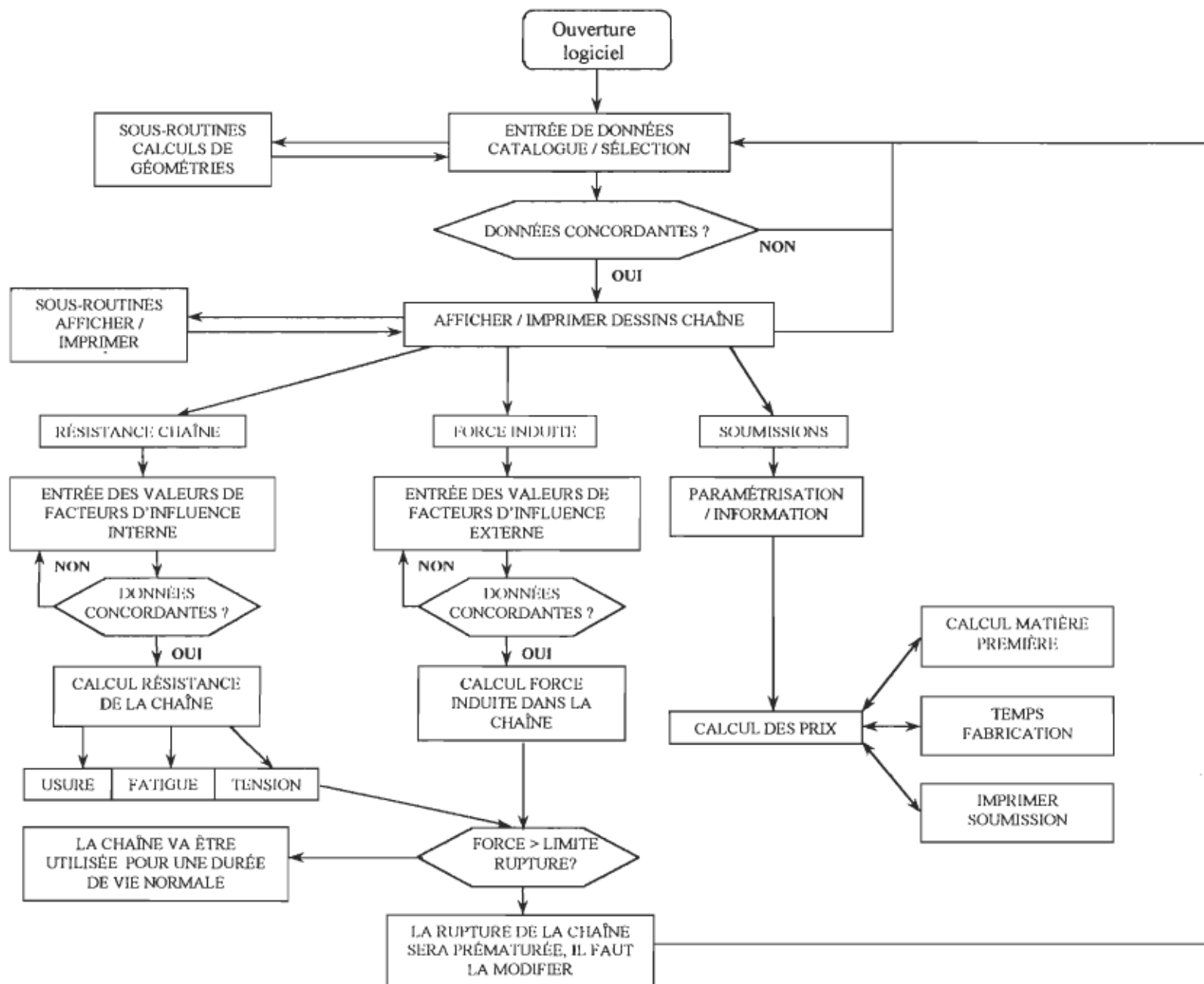


Figure 4.1 Algorithme du logiciel

#### **4.1.3 Programmation des feuilles d'entrées de données et base de données**

La base de données utilisée avec le logiciel est la base de données Access. Il y a 9 types de base de données utilisées dans le logiciel appelées "tables". Ces tables ainsi que chacune de leurs variables appelées "champs" sont créés et définies à l'aide du programme Access. L'utilisateur n'a pas à se préoccuper de l'enregistrement des données, chaque donnée entrée est enregistrée automatiquement par le logiciel. La base de données chaîne.mdb renferme les sections illustrées dans le tableau suivant.

**TABLEAU 4.1: Noms des tables et leur contenu**

<b>Tables de la base de données (Access)</b>	<b>Contenu</b>
<b>Catalog</b>	<b>Données entrées à partir du catalogue (création de chaînes)</b>
<b>Chaîne</b>	<b>Géométrie et tolérances de la chaîne</b>
<b>MatierePre</b>	<b>Matière première et traitement thermique</b>
<b>Ajustement</b>	<b>Jeux, serrages et modifications de la chaîne</b>
<b>Client</b>	<b>Liste complète des clients incluant adresses, #tél., etc.</b>
<b>Soumission</b>	<b>Tous les prix, temps et quantités nécessaires pour la soumission</b>
<b>Travail</b>	<b>Temps requis pour chaque opération</b>
<b>Répertoire</b>	<b>Liste de toutes les soumissions effectuées</b>
<b>SpecSteel</b>	<b>Propriétés pour différents aciers</b>

L'annexe A illustre différents éléments de la base de données sous Access.

#### **4.1.4 Création, modification et affichage des chaînes**

La feuille de données s'affiche automatiquement lorsque le logiciel est lancé. Pour modifier ou entrer dans un dossier déjà existant, on n'a qu'à sélectionner la chaîne

dans le menu déroulant en haut à gauche de la feuille intitulée "Chain file". Pour créer une nouvelle chaîne, on appuie sur le bouton "NEW". À partir de là, on inscrit le nom de la chaîne et on valide; on choisit le type de chaîne, le type d'attache et le type de rivetage.

Types de chaîne disponibles:

- Chaîne à rouleau "Straight";
- Chaîne soudée "Offset".

Types d'attaches disponibles:

- Sans attache;
- Attache "A";
- Attache "K";
- Attache "SA";
- Attache "SK";
- Attache soudée.

Types de rivetage:

- Tête chauffée;
- Rivetage à froid;
- Rivetage Plat;
- Rivetage "Cottered";
- Rivetage "Double cottered";
- Rivet soudé.

Il y a quatre fenêtres disponibles pour les informations sur une chaîne. Les noms de ces quatre fenêtres sont affichés dans la section en haut avec à leur gauche une case à cocher. Pour activer l'une de ces fenêtres, il suffit de cliquer sur son nom ou sur la case à cocher correspondante. Ces quatre fenêtres soit en "Geometry", "Treatment", "Catalog" et "Tolerance" sont illustrées dans l'annexe B par un exemple incluant la fenêtre d'ouverture du programme.

### *Fenêtre "Catalog":*

Suite à la sélection des types de chaîne, d'attache et de rivetage, il faut entrer les informations requises pour les dimensions de la chaîne, disponibles dans les catalogues en commençant par le pas de la chaîne et sa largeur intérieure "W". Par la suite, il faut fournir les dimensions demandées selon le type de chaîne et les valider en cliquant sur le bouton à cet effet. En annexe C, deux exemples différents de cette fenêtre sont illustrés pour une chaîne à mailles pliées et une chaîne avec attaches.

### *Fenêtre "Geometry":*

Après avoir validé ces données, on peut vérifier et modifier les valeurs calculées dans la fenêtre "Geometry" en l'activant. On peut modifier le style ou la forme de chacune des pièces ainsi que la forme des trous dans la maille. De plus, un aperçu de la chaîne nous permet de voir rapidement si les données entrées sont vraisemblables. Dans l'annexe D, on retrouve un exemple d'une chaîne soudée et un autre d'une chaîne d'attache.

### *Fenêtre "Treatment":*

En actionnant la fenêtre "Treatment", on peut identifier les aciers utilisés, les traitements thermiques subi, les rebuts de coupe, etc. "Largeur" représente la largeur de la barre de la matière première avec l'option de couper les mailles de trois façons, "Épaisseur" identifie l'épaisseur de la matière première et de la pièce, "Rebut / coup" est le rebut de coupe par pièce calculé automatiquement selon l'épaisseur de la pièce, "Larg. barre/attache" est la largeur de la barre lorsqu'il y a une attache avec l'option de couper les mailles d'attache de deux façons et "Hauteur maille d'attache" est la hauteur d'une maille d'attache avant pliage et où le surplus de matériel à cause du pliage est calculé. Les cases à cocher tube pour les bushings et les rouleaux représente la matière première achetée en tube ou en barre ronde pleine. Tous ces paramètres sont pris en considération pour le calcul des prix et des poids dans les soumissions. L'annexe E représente en exemple une maille d'attache avec les menus pour la "Hauteur maille d'attache" appelé "Bend allowance" et l'option de coupe en longueur ou en largeur pour la "Larg. barre / attache".

### *Fenêtre "Tolerance":*

Finalement, la fenêtre "Tolerance" illustre les tolérances des dimensions pour chacune des pièces. Des tolérances standards selon les dimensions sont automatiquement insérées lorsqu'une chaîne est créée et peuvent être modifiées.

Pour voir les modifications apportées aux dimensions, il faut cliquer sur "Manuel Redraw".

Le bouton "Ajustment" permet de voir les serrages, les jeux et les ajustements donnés à la chaîne et qui sont utilisés pour les calculs de géométrie de la chaîne. Cette fenêtre d'ajustement est illustrée en annexe F.

Le bouton "Close Files" permet de sortir de la base de données et de se retrouver dans la fenêtre d'affichage et d'impression.

L'option à cocher "Automatic calc." sert à calculer automatiquement les valeurs de dimension affichées en rouge.

La fenêtre d'affichage des dessins est la fenêtre principale où le menu donne accès à toutes les autres fenêtres ou parties du logiciel. Les pièces affichées sont les pièces de la chaîne sélectionnée précédemment dans la fenêtre de la base de données. On peut voir ces pièces tous à la fois à l'écran ou séparément. Un cartouche peut être également affiché avec une pièce pour donner des informations sur celle-ci. Si la grosseur de la pièce excède le cadre de la fenêtre ou si la pièce est trop petite pour être bien visualisée, un zoom est à la disposition de l'utilisateur pour faire un ajustement sur le dessin de la pièce. L'échelle en pourcentage est également disponible pour nous informer sur la grosseur de la pièce en réalité. Il est à noter que les dimensions de la pièce à l'écran sont à grandeur réelle tout comme sur les impressions des pièces. Un autre zoom est également disponible, celui pour la grosseur des cotes si jamais elles sont devenues trop petites après que le zoom de la pièce a été réduit. Pour positionner les pièces à l'écran, il



suffit de déplacer le centre de la pièce à la position voulue ou d'utiliser les flèches mises à cet effet dans le menu en bas.

On peut imprimer les pièces de deux façons. Soit, on imprime une pièce seule ou on imprime plusieurs pièces simultanément. Pour imprimer une pièce seule, il suffit de cliquer sur l'icône de l'imprimante dans le menu du haut ou d'aller cliquer sur "Files/Print" dans le menu standard en haut complètement de l'écran. L'utilisateur peut aussi imprimer plusieurs pièces en cliquant sur l'option à cocher "Memory Printing". Le zoom de la pièce doit d'abord être réduit et par la suite, on positionne notre pièce à l'endroit désiré en sachant qu'il faut garder de l'espace pour les autres pièces. Une fois la pièce positionnée, on appuie sur le bouton "Add" et le logiciel indique "1 in memory", ce qui signifie que cette pièce est en mémoire et que l'on peut placer une autre pièce. Le processus se répète pour toutes les pièces jusqu'au moment où l'on appuie sur le bouton "Print". À ce moment, toutes les pièces en mémoire vont être imprimées. Le bouton "Reset" sert à remettre à zéro la mémoire des pièces à imprimer. L'annexe G illustre cette fenêtre pour l'affichage des pièces en trois exemples différents, soit une chaîne standard, une chaîne "Offset" et une chaîne d'attache. Des dessins techniques imprimés à partir du logiciel constituent l'annexe H.

#### ***4.1.5 Soumissions***

Toutes les données de la géométrie de la chaîne entrées sont utilisées dans les calculs de coûts, de quantités, de poids et autres pour les soumissions. Pour accéder à la section des soumissions, il faut cliquer sur "Planning/Cost" dans le menu en haut.

##### *Fenêtre caractéristiques:*

La fenêtre des caractéristiques apparaît alors. Dans cette fenêtre, l'information sur les clients, le pourcentage de rebut et de profit, la quantité de mailles d'attache et plusieurs autres options pour les chaînes non standards sont disponibles. L'annexe I illustre cette fenêtre.

### *Fenêtre coûts:*

La fenêtre des coûts est la fenêtre principale pour les soumissions. Elle est divisée en colonnes représentant les pièces et les lignes représentent les différentes étapes de fabrication.

#### Étapes de fabrication (lignes):

- Fabrication: quantité requise / à fabriquer;
- Matières premières: poids total matière première / prix acier / coût matière première;
- Travail: coût total / 1000 pièces;
- Traitements: poids total pièces / prix traitement (\$/lb) / coût traitement;
- Montage (assembler les mailles intérieures avec les rouleaux et les bagues & assembler les mailles extérieures avec les rivets): nombre de pièces par heure / coût de montage;
- Temps Rivetage: temps en minutes / coût rivetage;
- Assemblage (assembler les mailles extérieures avec les mailles intérieures): temps en minutes pour 10 pieds de chaîne / coût d'assemblage;
- Qualité & Maintenance: inspection / entretien matrices / coût total;
- Set-Up: temps de set-up / coût total;
- Sous-traitance: usinage rivet / bague / rouleau / autres;
- Frais fixes: emballage / huile / mèches / gaz / matrices / fil soudure / transport / dessin / conception / visite / chauffage / divers;
- Soudure: nombre de soudures / temps par pièce : coût des soudures.

Il faut premièrement entrer la longueur de la chaîne dans l'espace réservé à cet effet en haut de l'écran. À partir de cette longueur de chaîne, plusieurs calculs de quantités, de coûts et de poids sont effectués automatiquement en utilisant des valeurs standards préétablies et modifiables. Cette fenêtre affiche aussi les taux horaires, les coûts totaux et les profits. Un exemple est illustré en annexe J.

### *Fenêtre matière première:*

En cliquant sur le bouton "Matière première", une fenêtre apparaît indiquant des informations sur les quantités à connaître pour acheter la matière première. Par exemple, le nombre de pièces par barre d'acier, le volume et le poids des barres selon leurs longueurs, le nombre de barres à acheter selon le pourcentage de rebut choisi et le surplus de pièces. Aussi, toutes les dimensions ainsi que les serrages et les jeux sont-ils indiqués dans la moitié du bas de la fenêtre. Ces dimensions sont de plus illustrées sur un schéma et permettent à l'utilisateur de vérifier si les données entrées précédemment sont correctes car tous les calculs en rapport avec la matière première sont effectués à partir des données affichées sur cette fenêtre. À noter que les dimensions de la chaîne ne peuvent être modifiées dans cette fenêtre sauf pour la longueur de la barre. Pour ce faire, il faut retourner dans la fenêtre principale d'affichage en cliquant sur le bouton "Fermer" et par la suite, cliquer sur l'icône de fichier en haut de l'écran. En modifiant la longueur de la barre directement dans la fenêtre "Matière première", les calculs pour le nombre de barres requises et pour le poids total de la matière première sont effectués instantanément. Comme le poids total de la matière première est affiché dans la fenêtre coût, la fenêtre "Matière première" peut être minimisée pour visualiser toute l'information nécessaire en même temps en cliquant sur le bouton "Minimiser fenêtre". L'annexe K présente un exemple de cette fenêtre.

### *Fenêtre Travail:*

Cet écran définit toutes les opérations possibles pour chacune des pièces et laisse un espace pour que l'utilisateur puisse entrer les temps de fabrication correspondants. Les temps sont additionnés et le total pour chaque pièce est reporté sur la fenêtre des coûts dans la section Travail. Ces temps doivent être donnés pour mille pièces. Plus tard, ils seront divisés par mille et multipliés par le nombre de pièces. La puissance de tonnage nécessaire pour faire les trous des mailles intérieures est affichée pour nous guider dans le choix de la presse à utiliser. L'annexe L présente cette fenêtre.

#### *Fenêtre Soumission:*

Toute l'information nécessaire pour le client est résumée dans cette fenêtre. Ces informations sont générées automatiquement dans cette fenêtre à partir des données entrées précédemment et peuvent être modifiées. Le texte peut être converti en anglais ou en français en cliquant sur le bouton indiquant la langue. Cette page pourrait être envoyée par modem directement au client par l'intermédiaire de son télécopieur. Une image de la soumission est en annexe M.

#### ***4.1.6 Programmation de la limite de rupture statique et d'écoulement***

Pour calculer la limite de rupture de la chaîne en tension, on utilise le menu de la fenêtre principale en cliquant sur "Analyses/Maximum tensile strength". Une fenêtre apparaîtra contenant toutes les données nécessaires pour calculer la limite de rupture. Une base de données Access a été créée pour cette page. Elle sera utilisée pour garder en mémoire tous les paramètres spécifiques aux aciers utilisés pour les chaînes. On peut aussi créer de nouveaux aciers si nécessaire. La contrainte de rupture des aciers ainsi que leur résistance à l'écoulement sont trouvés dans les livres pour être inscrits sur cette feuille. Pour tenir compte de l'effet du traitement sur la limite de rupture, il faut entrer les paramètres des contraintes obtenues en fonction des duretés des aciers. Un graphique représente l'influence de la dureté sur la limite de rupture et d'écoulement. Ce graphique illustre bien les propriétés des aciers à savoir leur capacité de trempe, la sécurité entre l'écoulement et la rupture, etc. Il ne suffit que de choisir la dureté désirée et la contrainte de rupture de l'acier ainsi que sa limite d'écoulement seront calculées automatiquement par interpolation puis affichées sur cette feuille. La section critique est calculée à partir des données entrées pour la géométrie de la chaîne. L'utilisateur doit alors choisir parmi les agents corrosifs suivants: "none", "water", "sea water" et "chlorine water". Le logiciel fournira automatiquement la valeur du coefficient correspondant. La plage de température peut aussi être sélectionnée pour finalement obtenir toute l'information nécessaire pour que le logiciel calcule la limite de rupture et d'écoulement de la chaîne.

Ces deux éléments sont affichés sous les titres "Maximum tensile strength" et "Maximum Yield". L'annexe N illustre cette fenêtre contenant les facteurs ainsi que les résultats de calculs.

#### ***4.1.7 Programmation de la limite de fatigue***

Les données pour le calcul de fatigue de la chaîne sont mises sur la même feuille que celle utilisée pour les calculs de limite de rupture et d'écoulement de la chaîne car certaines données comme les contraintes de rupture et d'écoulement de l'acier et l'influence du traitement thermique sont nécessaires aussi pour ce calcul.

Les cinq facteurs influents pour la fatigue sont affichés. Il faut soit choisir un paramètre, soit entrer une donnée pour que le logiciel trouve la valeur du coefficient correspondant et calcule automatiquement la charge recommandée (Recommended load). Celle-ci est déterminée par la résistance à la fatigue de la chaîne ou par un facteur de sécurité appliqué sur la limite de rupture.

La charge recommandée est beaucoup plus petite que la limite à l'écoulement de la chaîne. Le client doit donc choisir la chaîne nécessaire au système selon sa charge recommandée s'il veut que la chaîne garde une durée de vie normale.

L'annexe N représente l'ajout des paramètres de fatigue à la fenêtre du calcul des limites de rupture et d'écoulement.

#### ***4.1.8 Programmation de la force induite***

Une nouvelle fenêtre a été créée pour entrer les facteurs relatifs à l'environnement de la chaîne. On peut y avoir accès par le menu de la fenêtre principale dans "Analyses/Induce tension". L'utilisateur n'a qu'à sélectionner ou entrer une valeur

représentant un facteur influent sur la force induite dans la chaîne. Des valeurs sont mises par défaut et n'ont pas besoin d'être modifiées si elles correspondent bien à l'environnement du système. Le logiciel trouve instantanément la valeur des coefficients correspondant aux facteurs et qui est utilisée pour calculer la force induite dans la chaîne. Les équations formulées sont programmées pour faire ces calculs. L'utilisateur n'a pas à se soucier de connaître ces équations pour obtenir les résultats souhaités, raison pour laquelle ils ne sont pas affichés dans le logiciel. L'annexe O présente ces éléments.

## ***4.2 RÉSULTATS DE SIMULATION***

Les résultats de simulation comparent le travail à effectuer au niveau de la conception d'une chaîne avec et sans le logiciel créé à cet effet. Les avantages à utiliser le logiciel sont ainsi mis en évidence.

### ***4.2.1 Calculs effectués sans le programme***

Les premiers calculs à effectuer sont pour les dimensions de la chaîne. Bien que dans le catalogue certaines mesures soient identifiées, il nous faut calculer plusieurs dimensions de pièces qui sont essentielles à la conception de la chaîne. Les calculs qui sont démontrés ici sont utilisés pour tous les types de chaîne. Cependant, pour les chaînes à mailles pliées et pour les chaînes avec des attaches de tous genres, d'autres calculs seront nécessaires.

***Calcul de la longueur d'une maille =***

$$\begin{aligned} & (Hauteur\ de\ la\ maille - Hauteur\ du\ trou) \cdot 2 \cdot 1.25 \cdot 2 + pas\ de\ la\ chaîne \\ & + 2 \cdot Rayon\ des\ trous \end{aligned} \quad (4.1)$$

Note: Habituellement, on calcule la longueur d'une maille selon les dimensions des mailles intérieures et on applique cette même longueur aux mailles extérieures.

**Calcul de la longueur de l'axe =**

$$\text{Distance entre les 2 mailles intérieures} + 2 * \text{Épaisseur des mailles intérieures} \quad (4.2)$$

**Calcul de la longueur des rivets =**

$$\begin{aligned} &\text{Distance entre les 2 mailles int.} + 2 * \text{Épais. des mailles int.} + 2 * \text{jeu entre les mailles} \\ &+ 2 * \text{Épais. mailles ext.} + 2 * \text{bout du rivet dépassant de la chaîne} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Note: Bien que cette mesure soit fournie habituellement dans les catalogues, nous devons la calculer pour différents types de rivetage de la chaîne.

**Calcul de la longueur du rouleau =**

$$\text{Distance entre les 2 mailles intérieures} - \text{jeu entre le rouleau et les mailles} \quad (4.4)$$

**Calcul du diamètre intérieur de l'axe =**

$$\text{Diamètre du rivet} + \text{jeu entre le rivet et l'axe} \quad (4.5)$$

**Calcul du diamètre intérieur du rouleau =**

$$\text{Diamètre de l'axe} + \text{jeu entre l'axe et le rouleau} \quad (4.6)$$

Avant de calculer les coûts, il faut bien sûr savoir comment et avec quels aciers on va fabriquer la chaîne. Pour sélectionner un acier, il faut d'abord calculer la limite de rupture de la chaîne à partir de la contrainte de rupture de l'acier. Ensuite, nous pouvons choisir l'acier en fonction de sa résistance à la rupture et des facteurs influents.

**Calcul de la limite de rupture de la chaîne =**

$$(\text{Hauteur de la maille intérieure} - \text{Hauteur du trou}) * 2 * \text{Contrainte de rupture de l'acier} \quad (4.7)$$

Note: La contrainte de rupture de l'acier varie selon la trempe effectuée. Certaines valeurs de contraintes de rupture sont indiquées dans le « Machinery Handbook » [ 26 ] pour des duretés différentes. Parfois, il faut interpoler pour obtenir une valeur non fournie.

Les dimensions et les propriétés de la chaîne étant définies, on peut effectuer les calculs des coûts de la chaîne.

**Calcul du nombre de pièces requises =**

$$\text{Longueur de la chaîne en pieds} * 12 / \text{pas de la chaîne} * (100\% + x\%) \quad (4.8)$$

Avec x% représentant le nombre de pièces fabriquées en surplus pendant la production pour prévoir les pièces en rebuts.

**Calcul du nombre de pièces par barre de matière première =**

$$\text{Longueur d'une barre en pieds} * 12 / (\text{longueur de coupe d'une pièce} + \text{rebus de coupe}) \quad (4.9)$$

Note: On arrondit à la valeur inférieure

**Calcul du nombre de barres de matière première requises =**

$$\text{Nombre de pièces requises} / \text{nombre de pièces par barre} \quad (4.10)$$

Note: On arrondit à la valeur supérieure.

**Calcul du poids de matière première =**

$$\text{Volume de matière première d'une pièce} * 0.2836 \text{ (densité de l'acier)} \quad (4.11)$$

**Calcul du coût de matière première =**

$$\text{Poids de matière première de la pièce} * \text{prix de l'acier (\$/lb)} \quad (4.12)$$

**Calcul du poids d'une pièce =**

$$\text{Volume d'une pièce} * 0.2836 \text{ (densité de l'acier)} \quad (4.13)$$

**Calcul du coût pour le traitement thermique =**

$$\text{Poids de la pièce} * \text{prix du traitement thermique (\$/lb)} \quad (4.14)$$



***Calcul du coût total de la chaîne:***

Additionner les coûts de matière première, de main d'oeuvre directe et indirecte, de traitement thermique, de sous-traitance et de frais divers. Diviser le coût total par le nombre de pieds de la chaîne pour obtenir le coût par pied de chaîne qui est le format standard pour fournir un prix.

#### 4.2.2 Exemple d'utilisation

Dans l'exemple qui suit, le dimensionnement, les dessins, la limite de rupture et les coûts de la chaîne nommée X seront générés par le logiciel CAC. Les spécifications fournies par le client sont: Pas = 3.937 po, Distance entre mailles intérieures = 1.125 po, Diamètre rivet = 0.938 po, Diamètre bague = 1.313 po, Diamètre rouleau = 1.781 po, Hauteur maille = 2.5 po et Épaisseur maille = 0.5 po.

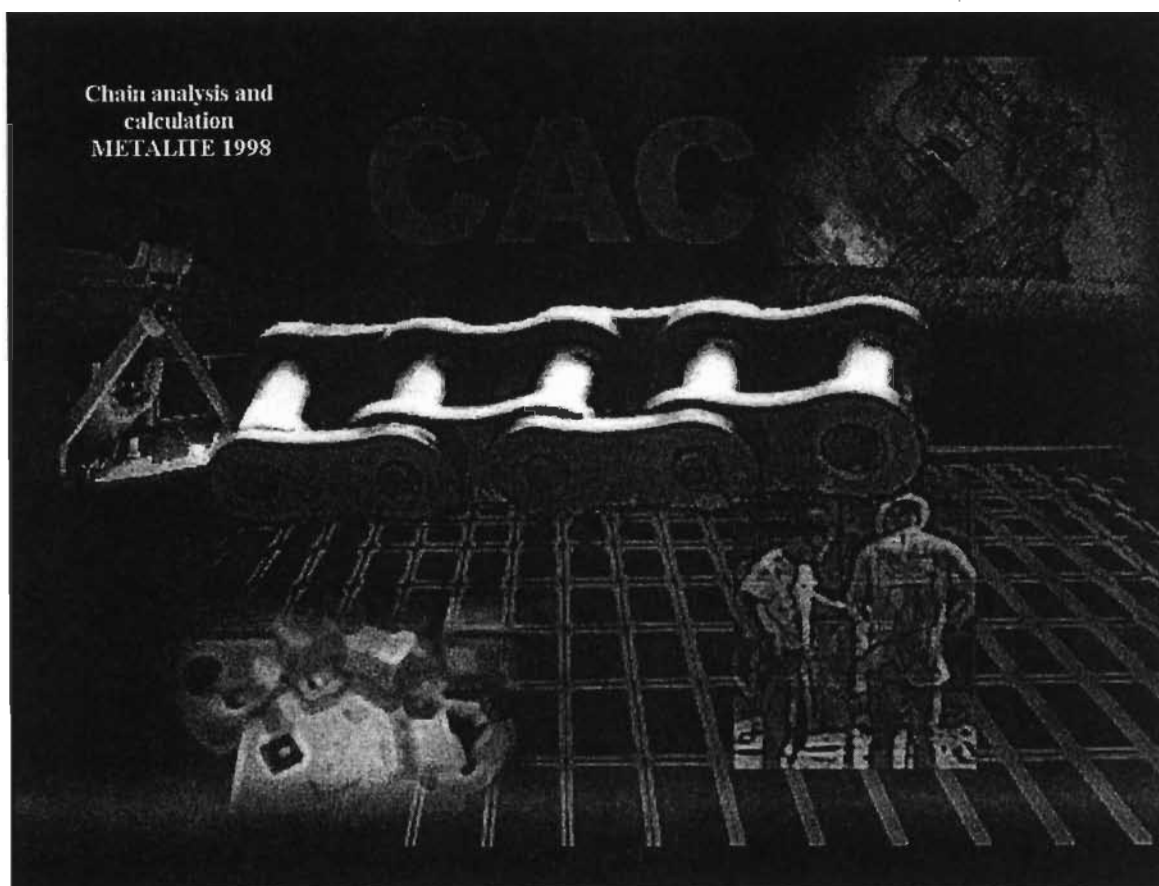


Figure 4.2: Présentation du logiciel "CAC"

Ces données sont entrées par l'utilisateur dans la feuille "Catalog" tel qu'illustré à la figure 4.3.

Files - Edit - Control

Chain file

X < Valider Last file Print Close Files

Pitch 3.337 File # 10 File Number

W 1.125 Total files 21 Search

Adjustment Geometry Treatment Catalog Tolerance Automatic calc. Manual Redraw

Chain à rouleau

Dimensions:

Pin diameter [D] 0.938 Rollers diameter [H] 1.781

Bushings diameter [B] 1.313

Height sidebar int. [F] 2.5 Thickness sidebar int. [T] 0.500

Height sidebar ext. [F] 2.5 Thickness sidebar ext. [T] 0.500

Valider

Dessin

Dessiné par :

Approuvé par :

Bushings simplification

Bushing Style

1

2

3

4

5

Figure 4.3: Feuille d'entrée de données nommée "Catalog".

À partir des données entrées dans la feuille "Catalog", le dimensionnement de la chaîne est généré automatiquement par le logiciel. Les dimensions calculées se font aussi à partir des jeux et serrages mis par défaut. Toutefois, ceux-ci sont modifiables en tout temps en appuyant sur le bouton "Adjustment". De plus, le type de rivetage influence la longueur de l'axe ainsi que le type de maille qui lui influence la longueur de la maille. Toutes les dimensions nécessaires pour la chaîne sont affichées dans la fenêtre "Geometry" tel qu'illustré à la figure 4.4.

File Edit Control

Chain file:  < Validate

Rollers Straight  Pitch 3.937

No attachment  W 1.125

Cold Hk  Adjustment ☐ Geometry ☐ Tolerance ☐

Collecting link Geometry

Length 6.734 Ext. Dia 4 G 0

Pitch 3.922 E 0 H 0

Height 2.5 F 0 I 0

Block link Geometry

Length 6.734 Ext. Dia 3.75 G 0

Pitch 3.937 E 0 H 0 K 0 L 0

Height 2.5 F 0 I 0

Bushing Geometry

Outside Dia [A] 1.313 Length 2 [D] Style = 3

Length [B] 2.125 Outside Dia [E]

Inside Dia [C] 0.953 Outside Dia [F]

Pin Geometry

Length [A] 3.545 Dia Hole [D] 0 Style = 1

Dia [B] 0.938 Head Tick [E]

Dist Hole [C] 0 F G

Roller Geometry

Length [A] 1.095 D 0 G 0 Style = 1

Inside Dia [B] 1.328 E 0 H 0

Outside Dia [C] 1.781 F 0

Jeux et serrages:

Jeu (total) entre rouleau et mailles: 0.03 po

Jeu entre maille int. et extérieure: 0.01 po

Jeu entre bushing et pin: 0.015 po

Jeu entre bushing et rouleau: 0.015 po

Serrage pin et maille intérieure: 0.004 po

Serrage bushing et maille extérieure: 0.004 po

Ajustement du pitch des block link: 0 po

Ajustement du pitch des collecting link: -0.015 po

Validate

Block link

Bushing

Pin

Roller

Dessin

Dessiné par:

Approuvé par:

Collecting link modification

Collecting link style

1

2

3

Add on

Figure 4.4: Feuille de dimensionnement de la chaîne

Les spécifications des aciers et traitements utilisés sont présentées sur la feuille nommée "Treatment" (voir la figure 4.5). Il suffit de choisir l'acier et le traitement à l'aide d'un menu déroulant. Les rebuts de coupe, la largeur de la matière première utilisée selon le mode de fabrication, l'épaisseur de la matière première ainsi que d'autres spécifications sur les traitements sont illustrés. Ces informations seront utiles pour calculer la limite de rupture et les coûts de fabrication.

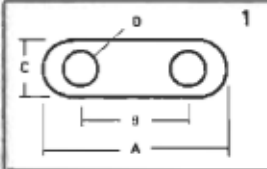
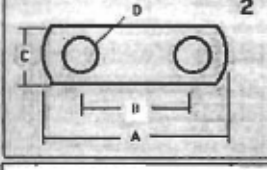
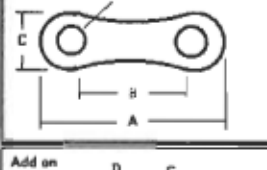
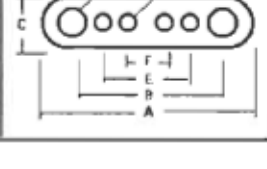
File Edit Control				Dessin	
Chain file				Dessiné par : _____	
<input type="button" value="X"/> < Valider <input type="button" value="Last file"/> <input type="button" value="Print"/> <input type="button" value="Close Files"/>				Approuvé par : _____	
Reclench Straight <input type="button" value="H"/> Pitch 3.937 <input type="button" value="New"/> File # 19 File Number 01 No attachment <input type="button" value="H"/> W 1.125 <input type="button" value="Delete"/> Total files 21 <input type="button" value="Search"/> 83 Cold file <input type="button" value="H"/> <input type="checkbox"/> Automatic calc. <input type="button" value="Manual Refrizer"/>					
Adjustment <input type="checkbox"/> Geometry <input checked="" type="checkbox"/> Treatment <input type="checkbox"/> Catalog <input type="checkbox"/> Tolerance					
Collectlink link raw material			Collectlink link Traitements		
Matériau Hot roll 44W Carbon Steel Cold roll C12L14 Cold roll C1018 Entaille Forde Hot roll Hot roll 44W Mechanical tubing Matériau 316 108 44W			Rebus / coupe 0.520 po Type Épaisseur po Dureté HRC Larg. barre / attache Hauteur maille d'attache po		
Block link			Block link Traitements		
Matériau Hot roll 44W Carbon Steel Cold roll C12L14 Cold roll C1018 Entaille Forde Hot roll Hot roll 44W Mechanical tubing Matériau 316 108 44W			Rebus / coupe 0.520 po Type Épaisseur po Dureté HRC Larg. barre / attache Hauteur maille d'attache po		
Bushing raw material			Bushing Traitements		
Matériau Cold roll C1018 R. Tube Diamètre 1.313 po Rebus / coupe 0.2 po Shallow Épaisseur po Long. / Bushing po			Type Case hardening Épaisseur 0.010 po Dureté 48 HRC		
Pin raw material			Pin Traitements		
Matériau 4140 Diamètre 0.938 po Rebus / coupe 0.140 po			Type Thru hardening Épaisseur po Dureté 45 HRC		
Roller raw material			Roller Traitements		
Matériau Poudre Inrtée Tube Diamètre 1.781 po Rebus / coupe 0 po			Type Case hardening Épaisseur 0.010 po Dureté 45 HRC		
				Collecting link modification	
				Collecting link style	
					
					
					
					

Figure 4.5: Feuille de spécification de la matière première et des traitements.

La feuille intitulée "Tolerance" illustrée la figure 4.6 regroupe les tolérances pour chaque dimension existante. Ces tolérances n'étant utilisées que pour les dessins de pièces, le remplissage de cette feuille est facultatif.



File Edit Control

Chain file

Review Straight

No attachment

Cold Riv

Adjustment

Pitch 3.937

W 1.125

Geometry Treatment Catalog Tolerance

Last file

New

File # 19

Total files 21

File Number

Search

Automatic calc.

Manual Refresh

Collecting link Tolerance

Length 0.01

Pitch 0.002

Height 0.01

E 0.005

F 0.005

G 0.005

H 0.001

I 0

J 0

K 0

L 0

Block link Tolerance

Length 0.01

Pitch 0.002

Height 0.01

E 0.005

F 0.005

G 0.005

H 0.001

I 0

J 0

K 0

L 0

Bushing Tolerance

Outside Dia (A) 0.001

Length 2 (B) 0.005

Length (B) 0.01

Outside Dia (E) 0.002

Inside Dia (C) 0.001

Outside Dia (F) 0.002

Pin Tolerance

Length (A) 0.01

Dia Hole (D) 0.002

G 0.002

Dia (B) 0.001

Head Tick (E) 0.01

Dist Hole (C) 0.002

F 0.002

Roller Tolerance

Length (A) 0.01

Inside Dia (B) 0.001

Outside Dia (C) 0.001

D 0.005

E 0.005

F 0.005

G 0.005

H 0.005

Style = 2

Attachment

Hole Style

Geometry

Collecting link

Block link

Bushing

Pin

Roller

Style = 3

Style = 1

Style = 1

Dessin

Dessiné par :

Approuvé par :

Collecting link modification

Collecting link style

1

2

3

Add on

Figure 4.6: Feuille de tolérances des dimensions de la chaîne.

Une fois le dimensionnement de la chaîne terminé, nous pouvons passer à l'étape de l'affichage des pièces de la chaîne. Ici, plusieurs options s'offrent à nous: affichage de toutes les pièces ou d'une pièce à la fois, affichage d'un cartouche standard avec les spécifications de la chaîne, ajustement du zoom d'une pièce, ajustement du zoom des cotes d'une pièce, affichage plein écran, déplacement facile d'une pièce dans un cartouche, imprimer une pièce ou plusieurs, etc. À noter que les dessins sont tous à l'échelle et que toutes les cotes sont automatiquement placées. L'affichage de plusieurs pièces à l'écran est illustré à la figure 4.7.



Voici un exemple de l'affichage d'une pièce plein écran avec ses spécifications (voir figure 4.8).

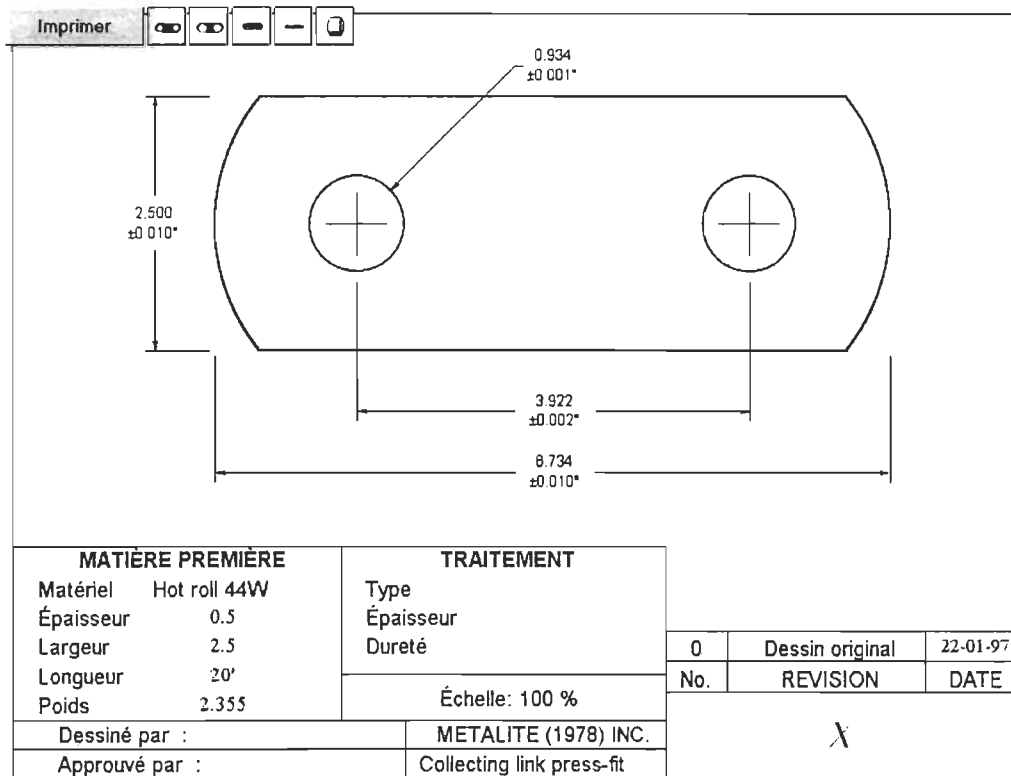


Figure 4.8: Dessin d'une pièce avec cartouche



À partir du menu principal, nous pouvons obtenir la limite de rupture en tension, la limite d'écoulement ainsi que la charge recommandée de la chaîne selon un acier et une dureté de traitement choisis (voir figure 4.9).

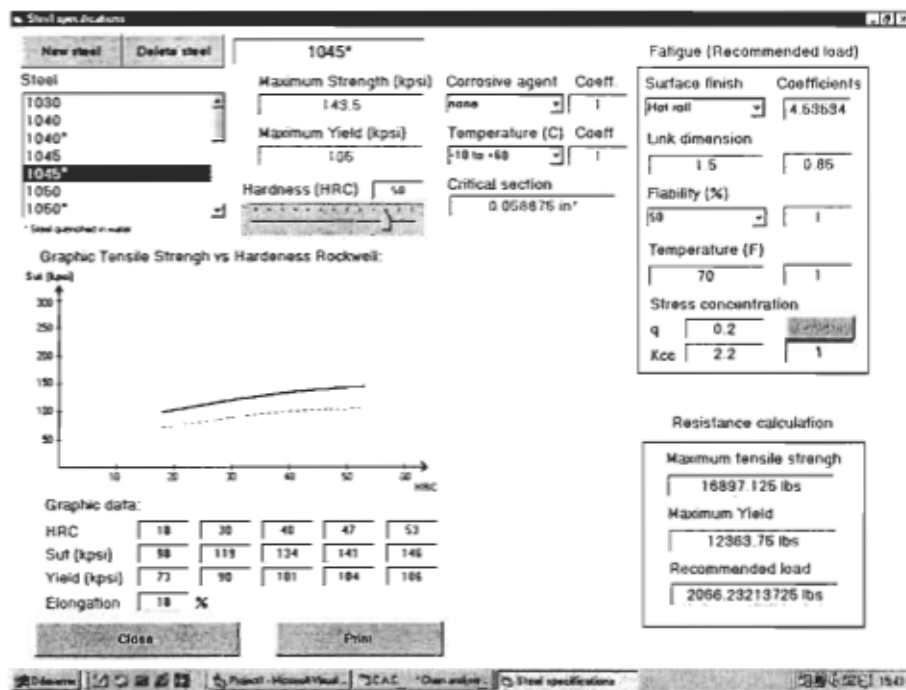


Figure 4.9: Feuille de calcul de rupture en fonction de l'acier et de sa dureté.

Note: les valeurs illustrées sont données à titre d'exemple et ne représentent pas les données réelles afin de protéger les données de METALITE.

Nous pouvons maintenant calculer les coûts associés à la chaîne. La figure 4.10 représente la feuille des caractéristiques. Nous pouvons choisir le client, la longueur de la chaîne, le pourcentage de rebus, les profits et d'autres caractéristiques de la chaîne. Aussi, dans la feuille de la matière première (voir figure 4.11), nous retrouvons toutes les dimensions de la chaîne entrées précédemment. Nous pouvons sélectionner la longueur des barres de la matière première et tous les calculs se génèrent automatiquement pour fournir la quantité de barres d'acier à acheter.

**Figure 4.10: Feuille des caractéristiques de la chaîne.**

Figure 4.11: Feuille de calcul pour les besoins en matière première.

Dans la feuille de soumission (voir figure 4.12), toutes les valeurs des calculs de poids et des coûts sont réunies pour donner le coût et le prix de vente de la chaîne. On inscrit tout d'abord la quantité ou la longueur de chaîne désirée et toutes les quantités de pièces requises et à fabriquer se calculent et s'affichent dans la colonne appropriée de la pièce.

Ainsi, il ne reste plus qu'à inscrire les prix d'acier, de traitement thermique et de sous-traitance, les coûts de main d'oeuvre, les taux horaires et les frais divers.

Nom du client: Tech-Pro Longueur de la chaîne: 1000 pieds et 0000 pouces ☒ Calculs automatiques

Caractéristiques	Collecting link	Collecting link/attache	Block link	Block link/attache	Connecting link	Rouleaux	Bushing	Pin d'assemblage	Pin attache	Cotter pins riveted
Fabrication										
Quantité requise	3049		3049		100	3049	3049	3049	200	203
Quantité à fabriquer	3080	0	3080	0	102	3080	3080	3080	203	
Matières premières										
Poids total lbs	8814.6	0	9274.8	0	354	2539.88	1415.27	2319.03	195.694	
Coût matériel \$/lb										
Coût \$										
Travail										
Coût total / 1000 pcs \$	0		0					0	0	0
Traitements										
Poids total pièces lbs	7595.28		6988.52		251.532	1081.08	1216.60	2094.40	138.040	
Coût traitements \$/lb										
Coût traitements \$		0		0						
Montage										
Nombre pièces / hre						Temps riv. / 10 pi. min				
Coût de montage \$		0		0		Coût rivetage / cotter \$			0	
Assemblage										
Temps d'assemblage / 10 pi. min										
Coût d'assemblage \$										
Soudures bushing / mailles										
Nombre de soudures	3049									
Temps par pièce min										
Coût des soudures \$	0									
Attache soudée										
Coût mat. première	0									
Coût d'usage/pièce \$										
Nombre de pièces										
Temps soudure / pièce min										
Coût des attaches \$	0									
Qualité / Maintenance										
Inspection hrs										
Entretien matrices hrs/mat.										
Coût total \$										
Set-Up										
Temps de Set-up hrs										
Coût de Set-up \$										
Sous-traitance										
Usage Pin \$/pièce										
Usage Bushing \$/pièce										
Usage Rouleaux \$/pièce										
Collecting link \$/pièce										
Block link \$/pièce										
CL Att BL Att \$/pièce										
Total \$										
Frais Fixes										
Emballage (mat. + main.) \$										
Huile \$										
Gaz (fluo. chauffée) \$										
Nouvelles matrices \$										
Fil solide (soudures) \$										
Transport \$										
Dessin \$										
Conception / Analyse \$										
Visite \$										
Electricité / Chauffage \$										
Divers \$										
Total \$										
Profit: X %										
Profit Usinage: X % Trait: X %										
Poids linéaire: 18.8 lbs/pied										
Taux horaire Set-up. \$/hre										
Taux horaire Montage/Ass. \$/hre										
Taux horaire Rivetage \$/hre										
Taux horaire Soudage \$/hre										
Coûtant \$										
Coûtant \$/pièce										
Vendant \$										
Vendant X \$/pi										
Profit \$/hre de travail:										
Profit net total: \$										

☒ Fermer ☐ Imprimer ☐ Soumission ☐ Répertoire

Figure 4.12: Feuille de soumission

Note: Toutes les valeurs inscrites sont fictives

# Chapitre 5

## ANALYSE DES RÉSULTATS

Cette étape consiste à faire ressortir les tendances de variation de comportement avec les paramètres à partir des relations établies entre les facteurs influents et la force induite dans la chaîne. La variation d'une plage de paramètre d'un facteur a été effectuée par itération avec le programme et son affectation des résultats est analysée par des graphiques illustrant bien les tendances de variation de comportement. Un exemple est utilisé pour ces analyses.

### ***5.1 ANALYSE DE L'INFLUENCE DE LA PUISSANCE DES MOTEURS SUR LA FORCE INDUITE***

Pour effectuer les calculs, on a utilisé la chaîne #80 avec les spécifications suivantes:

Largeur de maille intérieure = 0.949"

Épaisseur de maille intérieure = 0.156"

Diamètre trou de maille intérieure = 0.496"

Pas = 1"

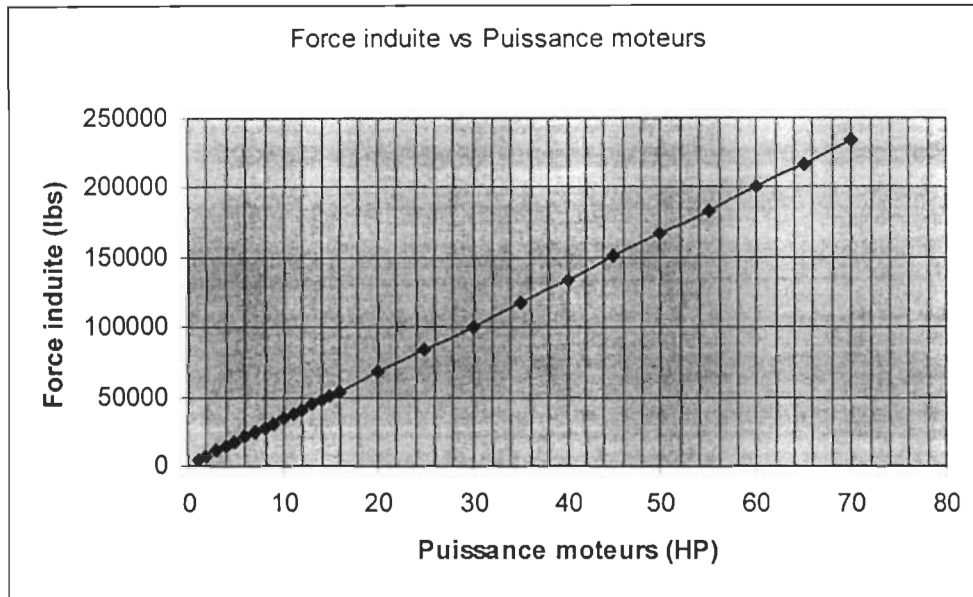
Pignon de 1' de diamètre (6" de rayon et 37,7" de circonférence)

Nombre de dents du pignon = 38 dents

Vitesse de la chaîne = 9.94 pieds/min

Longueur de la chaîne = 100 pieds

La figure 5.1 illustre la variation de la force induite en fonction de la puissance des moteurs utilisés.



**Figure 5.1 Force induite en fonction de la puissance moteur**

Le graphique montre que la force induite augmente très rapidement selon la puissance des moteurs des systèmes. Ces résultats peuvent être utilisés pour choisir un type de chaîne selon un système donné ou pour aider un concepteur ou un fabricant de système utilisant une chaîne à choisir la puissance du moteur. Un fabricant de chaîne peut utiliser les résultats du graphique aussi pour évaluer la puissance du moteur à utiliser pour construire un système menant à la rupture une chaîne à des fins d'analyse ou de validation. Un fabricant pourrait aussi utiliser ces valeurs pour avoir une idée de la puissance du moteur à utiliser pour appliquer une tension initiale à la chaîne nécessaire pour la mesure d'une longueur afin d'éviter que la mesure de la longueur ne soit faussée à cause des pièces qui ne sont pas complètement appuyées les unes sur les autres.

## 5.2 ANALYSE DE L'INFLUENCE DE LA FORCE INDUITE EN FONCTION DE LA VITESSE DE LA CHAÎNE

Pour effectuer les calculs, on a utilisé la chaîne #80 avec les spécifications précédentes pour un système non lubrifié avec et sans effet caténaire.

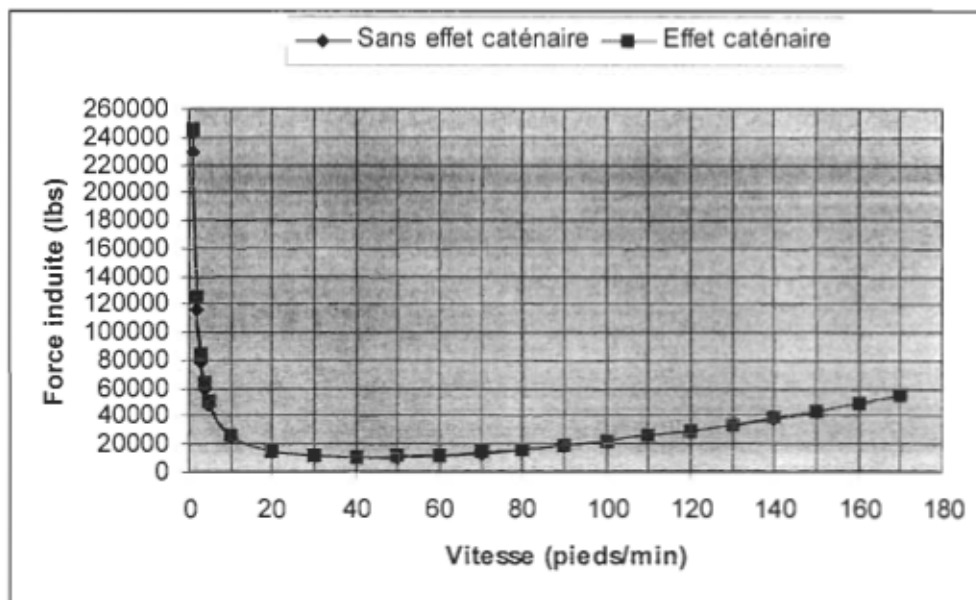
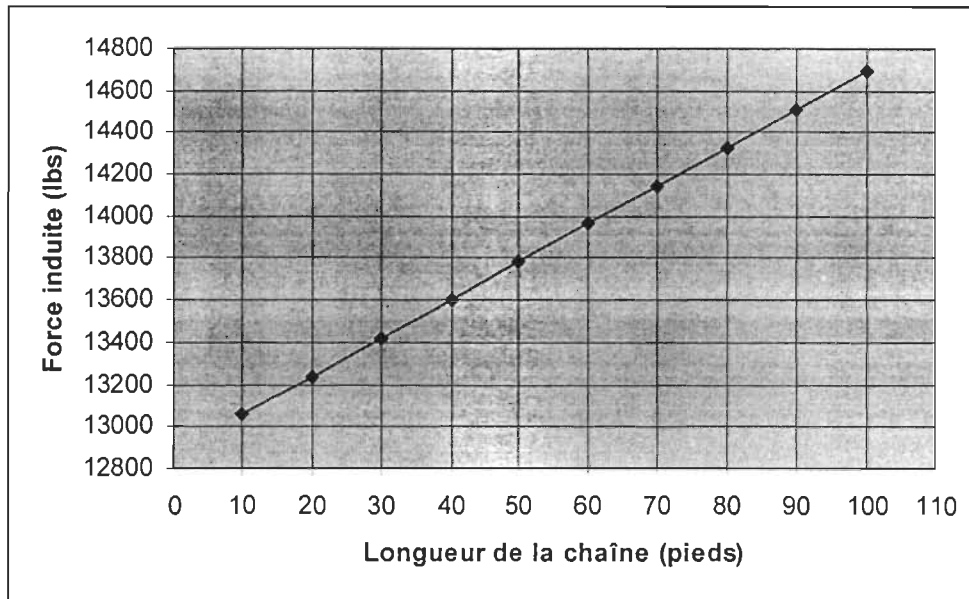


Figure 5.2 Force induite en fonction de la vitesse de la chaîne

Le graphique démontre bien que la vitesse optimale à utiliser pour réduire au maximum la force induite dans la chaîne est d'environ 40 pieds par minutes. On peut remarquer aussi que dans la plage de 10 pieds par minute à 100 pieds par minute, la force induite se trouve en bas de 20 000 lbs. On pourrait donc recommander aux utilisateurs de cette chaîne d'utiliser des vitesses comprises dans cette plage. Ce graphique illustre aussi que l'effet caténaire est plus important pour de faibles vitesses. Les résultats de ce tableau indiquent clairement qu'une chaîne plus résistante doit être utilisée pour un système à vitesse élevée. Ces résultats peuvent donc être utilisés pour choisir un type de chaîne selon la vitesse d'utilisation.

### 5.3 ANALYSE DE L'INFLUENCE DE LA FORCE INDUITE EN FONCTION DE LA LONGUEUR DE LA CHAÎNE

L'exemple suivant démontre la relation entre la longueur de la chaîne et la force induite lorsque la chaîne est une chaîne de convoyeur.

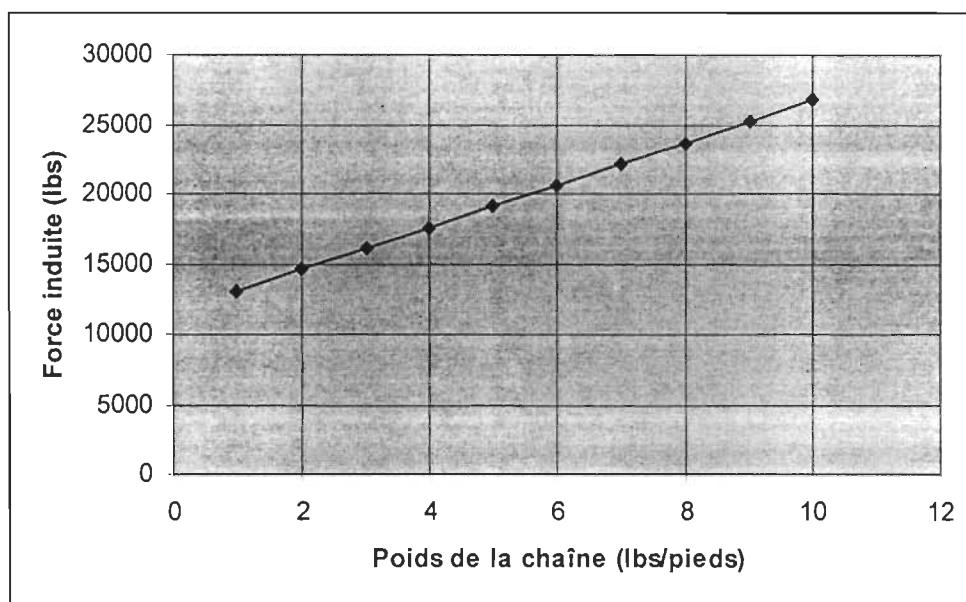


**Figure 5.3 Force induite en fonction de la longueur de la chaîne**

On remarque à partir de ce graphique que la force induite augmente légèrement selon la longueur de la chaîne. Plus la longueur de la chaîne augmente, plus le poids total de la chaîne s'élève et la tension du même coup par la friction avec le convoyeur. Les résultats de ce graphique peuvent être utilisés pour déterminer la longueur maximum d'un convoyeur à concevoir ou pour choisir un type de chaîne à utiliser avec ce convoyeur en comparant la force induite et la charge recommandée pour une chaîne.

#### 5.4 ANALYSE DE L'INFLUENCE DE LA FORCE INDUITE EN FONCTION DU POIDS DE LA CHAÎNE

L'exemple suivant est démontré la relation entre le poids de la chaîne et la force induite lorsque la chaîne est une chaîne de convoyeur.



**Figure 5.4 Force induite en fonction du poids de la chaîne**

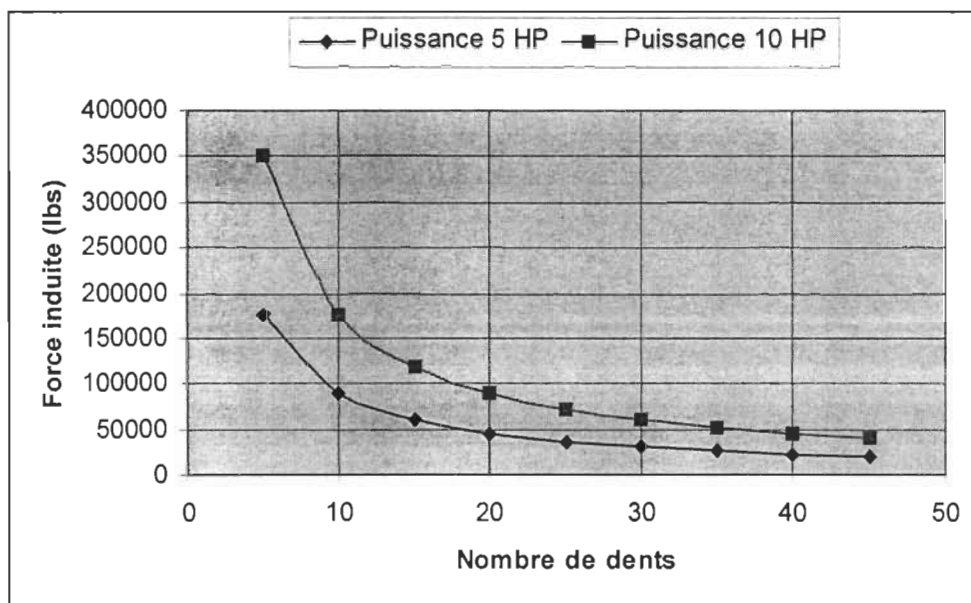
Selon le graphique, on peut tirer la relation suivante: plus la chaîne est lourde, plus il sera nécessaire qu'elle soit résistante pour être efficace. On remarque de plus que le passage de 1 lbs / pied à 10 lbs / pied, double la force induite dans la chaîne. Tout comme pour l'analyse de la force induite en fonction de la longueur de la chaîne, les résultats de ce graphique peuvent être utilisés pour choisir un type de chaîne à utiliser avec ce convoyeur en comparant la force induite et la charge recommandée pour une chaîne. Il apparaît important pour le concepteur d'une chaîne de convoyeur, qu'il ne faut pas miser seulement sur l'augmentation de la grosseur d'une chaîne pour augmenter sa résistance mais plutôt sur l'acier utilisé et le traitement appliqué pour fabriquer les mailles. Donc, la chaîne idéale pour un système avec convoyeur, serait une petite chaîne fabriquée avec des aciers de qualité et des traitements thermiques qui procurent non



seulement une résistance accrue à la tension mais aussi à l'usure qui survient entre les mailles et le convoyeur.

### **5.5 ANALYSE DE L'INFLUENCE DE LA FORCE INDUITE EN FONCTION DU NOMBRE DE DENTS DU PIGNON**

En recueillant les résultats du logiciel au niveau de la force induite en fonction du nombre de dents de l'engrenage, nous obtenons les relations illustrées à la figure 5.5



**Figure 5.5 Force induite en fonction du nombre de dents du pignon**

Plus le nombre de dents du pignon est élevé, moins la force induite dans la chaîne sera grande. Le graphique nous montre bien aussi que le pignon utilisé pour un type de chaîne doit posséder un minimum de dents pour éviter une augmentation rapide de la force induite. De plus, un nombre de dents supérieur réduit l'écart entre les forces induites résultantes de moteurs de puissances différentes. Par exemple, pour cette chaîne #80, on pourrait suggérer au client d'utiliser un pignon possédant au moins 15 dents. Les résultats de ce graphique sont très pratiques pour le choix d'une chaîne car non seulement il montre bien l'importance du nombre de dents du pignon mais aussi celle de la

puissance du moteur sur la force induite. Beaucoup de systèmes utilisent des pignons avec un petit nombre de dents, il serait donc avantageux pour les concepteurs de systèmes de tenir compte si possible de ce facteur pour minimiser la force induite dans la chaîne et peut-être ainsi réduire nombre de problèmes comme l'allongement ou l'usure de la chaîne.

# Chapitre 6

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

### *6.1 RÉCAPITULATION ET INTERPRÉTATION*

Au chapitre 1, les informations générales sur les chaînes sont fournies, incluant leur classification en groupes distincts. On peut déjà comprendre à cette étape qu'il y a des chaînes standards et d'autres appelées chaînes d'ingénierie qui sont utilisées dans des conditions plus difficiles. Ensuite la problématique y est présentée nous disant que la compagnie METALITE a besoin d'un projet en association avec l'Université du Québec à Trois-Rivières pour améliorer la qualité et le service de leur produit qu'est la chaîne industrielle. Les divers objectifs à réaliser au cours du projet en commençant par l'identification des facteurs influents jusqu'aux analyses des résultats sont énumérés en fin de chapitre.

Le chapitre 2 effectue une classification de l'expertise recueillie sur les aciers et traitements, les problèmes d'utilisation des chaînes et les solutions puis, sur chaque facteur influent susceptible d'être utilisé dans les équations et formules pour calculer la rupture et la force induite de la chaîne. Le chapitre se termine avec une synthèse de l'information.

Pour le chapitre 3, les facteurs influents internes et externes sont déterminés afin de les inclure dans des formules pour calculer la rupture statique, l'écoulement statique, la rupture par fatigue et la force induite dans la chaîne.

Le chapitre 4 explique la réalisation d'un logiciel dans ses différentes utilisations telle que la conception, le dessin et le calcul des coûts de fabrication de chaînes. Aussi, toutes les formules montées au chapitre 3 sont incorporés au logiciel. Une comparaison met en évidence les avantages d'utiliser le logiciel pour la conception d'une chaîne. Un exemple d'utilisation du logiciel est fourni en fin de chapitre.

Le chapitre 5 analyse les résultats obtenus du logiciel par simulation en faisant varier une plage de paramètres d'un facteur influent donné en relation avec la force induite dans la chaîne. Ces analyses font ressortir l'importance de chacun des facteurs et leurs limites d'utilisation. L'information fournie par ce type d'analyse est requise pour permettre à la compagnie METALITE de communiquer à ces clients les bons paramètres d'utilisation d'une chaîne afin qu'elle soit efficace.

Finalement, le chapitre 6 conclue en faisant ressortir les points critiques du projet et révélant l'appréciation des résultats obtenus.

La limite de rupture réelle de la chaîne s'obtient en exécutant un test destructif pour une longueur de chaîne par traction. Ainsi, tous les éléments de cause de rupture possibles sont pris en considération. La rupture peut survenir par cisaillement sur le rivet et sur les mailles ou par d'autres façons. Le logiciel prend comme hypothèse que les rivets seront assez résistants, que les mailles intérieures sont les pièces critiques et que les mailles ne briseront pas en cisaillement mais en tension. Selon nos études et après vérification, ces hypothèses sont acceptables puisque dans la grande majorité des cas, elles sont justifiées. À l'origine du projet, un système pour mener des longueurs de dix pieds de chaîne à la rupture avait été prévu et devait normalement être réalisé pour ainsi valider toutes les équations et formules théoriques élaborées au cours du projet. Malheureusement, certaines circonstances hors de notre contrôle ont fait que cette partie non moins importante du projet n'a pu être réalisée et a dû être abandonnée en espérant que cela sera partie remise pour un autre projet éventuel. Cependant, dans le cadre du travail, des tests préliminaires ont été effectués sur une petite presse hydraulique menant à la rupture des mailles de chaîne. Bien que ces tests ne soient pas exhaustifs, ils ont

révélé des valeurs de rupture pour la chaîne très proches de ceux théoriques calculées par le logiciel CAC. Cela nous permet du moins de croire que nos résultats et que le logiciel créé pendant le projet sont validés en partie et qu'ils peuvent être utilisés en pratique. Nous espérons que dans un avenir rapproché, nous puissions effectuer les tests de rupture prévus et ainsi garantir avec une grande précision l'exactitude des valeurs théoriques obtenues avec le logiciel CAC.

## ***6.2 DISCUSSION***

Étant donné la quantité de modèles de chaînes qui sont sur le marché et le nombre impressionnant de facteurs à considérer, il a été nécessaire de faire certains regroupements pour nous aider à étudier les cas. Certains facteurs tels que le serrage, le jeu entre les pièces, la forme des mailles et l'environnement abrasif n'ont pas été utilisés dans les formules en raison du manque de temps alloué pour le projet mais leurs influences sont connues et comprises.

Les quatre principaux modèles théoriques programmés sont la limite de rupture, la limite d'écoulement, la limite de fatigue et la force induite.

Le livrable du projet étant un logiciel, plusieurs heures ont été consacrées à la programmation sous Visuel Basic. Beaucoup d'accent a donc été mis sur l'élaboration d'une structure solide de programme et sur la convivialité du logiciel.

## ***6.3 CONCLUSION***

Le projet réalisé à travers ses différentes étapes, résulte en un outil complet sous forme de logiciel utilisé pour le développement et la conception de chaînes industrielles. Il permet de garder en mémoire des données comme les dimensions des pièces, les aciers

utilisés, etc., d'élaborer une soumission, d'afficher le dessin des pièces, de choisir l'acier et le traitement approprié pour une chaîne et de connaître l'influence des facteurs influents sur la limite de rupture d'une chaîne donnée.

Le premier objectif du projet qui était d'identifier les paramètres d'influence, a été atteint dans un premier temps par l'élaboration d'un tableau illustrant les relations entre les types de détérioration et les facteurs internes. Nous avons déterminé que les facteurs internes tels que la matière première et le traitement thermique vont influencer la détérioration fragile, élastique et par usure. D'autres facteurs sont mis en relation tels que les serrages et les jeux entre les pièces, la géométrie, les concentrations de contraintes, la température, le milieu corrosif, le milieu abrasif et le fini de surface. Le même processus a été réalisé pour mettre en relation les facteurs qui influencent la force induite à la chaîne. Ainsi, nous avons établi la liste des facteurs externes pouvant être en relation avec la force induite dans la chaîne. Ces facteurs externes sont: la vitesse de la chaîne, la vitesse cyclique, l'engrènement, la force d'impact, le poids de la chaîne, les dimensions du système et le coefficient de friction.

Le deuxième objectif du projet qui était principalement d'obtenir des modèles théoriques permettant le calcul de la limite de rupture de la chaîne et de la force induite a été réalisé. L'équation permettant de calculer la limite de rupture de la chaîne est fonction de l'acier utilisé, du traitement appliqué, de la section critique de la maille, de l'environnement corrosif et de la température. Les deux premiers éléments qui sont le type d'acier et le traitement, sont représentés par la résistance de l'acier en fonction du traitement appliqué qui est fourni dans les livres en unité de livres par pouce carré. La section critique utilisée dans la formule est la section vis-à-vis le trou de la maille interne. Étant donné qu'il y a une maille de chaque côté, on multiplie par deux cette section dans l'équation. Les agents corrosifs qui sont l'eau, l'eau salée ou l'eau chlorée sont représentés par des coefficients de corrosion soit respectivement 0.9, 0.35 et 0.35 selon l'acier utilisé pour la fabrication de la chaîne. Finalement, pour de basses températures, on applique un coefficient de 1, 0.5, 0.33 et 0.25 en partant du plus chaud en allant vers le plus froid. Pour ce qui est du calcul de la force induite dans la chaîne, l'équation de base est élaborée

à partir de la force dans le brin tendu de la chaîne plus la force dans le brin mou additionnée à la force centrifuge. À cette équation de base, on ajoute des facteurs de correction tel que le coefficient de frottement, le poids de la chaîne, le facteur de service, le coefficient de vitesse, le coefficient du nombre de dents de l'engrenage et le coefficient de balancement.

L'élaboration du programme pilote permet donc à l'utilisateur de travailler, à plusieurs niveaux, plus efficacement. L'utilisateur entre d'abord les dimensions principales de la chaîne fournies dans les catalogues. Les calculs de dimensions manquantes se font automatiquement. L'utilisateur est alors en mesure d'obtenir la limite de rupture d'une chaîne standard simplement en choisissant l'acier des mailles dans une liste affichée à cet effet et la dureté s'il y a un traitement appliqué. Il peut alors comparer les valeurs obtenues pour la résistance à la rupture de la chaîne avec la charge maximum induite dans la chaîne pour valider son choix. Si la charge maximum appliquée n'est pas connue, on peut calculer à l'aide du logiciel la force induite dans la chaîne en affichant la feuille appropriée et en sélectionnant les caractéristiques à chacun des facteurs influents externes. Donc, l'utilisateur peut sauver beaucoup de temps et éviter de faire certaines erreurs s'il utilise un logiciel tel que celui-ci pour travailler au niveau de la conception et du design d'une chaîne. De plus, le logiciel est capable d'afficher et d'imprimer à l'échelle les dessins de pièces d'une chaîne.

L'objectif de validation des résultats n'a malheureusement pas été accompli entièrement. En effet, sauf pour un essai qui n'était pas prévu au projet et qui a été réalisé dans le cadre du travail, les tests prévus initialement pour la validation des modèles théoriques n'ont pas été effectués.

Les analyses des tendances de variation de comportement entre les facteurs influents et la force induite dans la chaîne nous ont fourni plusieurs résultats intéressants. La force induite augmente très rapidement selon la puissance des moteurs des systèmes. Les résultats indiquent clairement qu'une chaîne plus résistante doit être utilisée pour un système à vitesse élevée. Plus la longueur de la chaîne augmente, plus le poids total de la

chaîne s'élève et la tension du même coup par la friction avec le convoyeur. Plus la chaîne est lourde, plus il sera nécessaire qu'elle soit résistante pour être efficace. Plus le nombre de dents du pignon est élevé, moins la force induite dans la chaîne sera grande. Dans tous les cas, les informations sont pertinentes pour choisir un type de chaîne ou pour la conception d'une chaîne ou d'un système à convoyeur ou non.

Finalement, le projet dans l'ensemble répond aux attentes que la compagnie avait au moment où elle a fait appel aux services de l'école d'ingénierie.

## **6.4 RECOMMANDATION**

Certaines sections du logiciel ont été conçues pour satisfaire aux besoins et aux exigences de la compagnie METALITE à ce moment. Cependant, il est possible que certains standards tels que les jeux et serrages, les rapports de dimensionnement, les prix fixes recommandés par le programme soient désuets d'ici quelques temps et devront être modifiés pour les rendre conformes à ceux en cours lors de l'usage du logiciel.

Les informations permanentes importantes telles que les spécifications de résistance des aciers en fonction de leur dureté en "Rockwell C" devront être protégées et être intouchables par l'utilisateur.

La partie soumission du logiciel, est très fonctionnelle pour les chaînes standards, les chaînes avec attaches et les chaînes soudées "offset". On pourrait cependant le rendre plus flexible pour soumissionner des chaînes incluant des pièces non conventionnelles. Le choix de la matière première pourrait s'élargir pour permettre le calcul des prix de pièces découpées dans des plaques ou des feuilles d'acier.

Finalement, l'affichage des coûts par pièce et par pied de chaîne serait un atout pour visualiser rapidement l'importance des coûts associés à une pièce, le prix de la chaîne étant toujours évalué en dollars par pied.



## ***BIBLIOGRAPHIE***

- [ 1 ] Kanehira M., Otani T., Yoshikawa M., Takahashi T., 1997 "The complete guide to chain", Tsubaki, pp. 1-25, 34, 57-61, 74-78, 81-84, 191
  
- [ 2 ] Buist C., "Étude de faisabilité de la conception optimale automatisée des chaînes de convoyeur et d'élévateur", Rapport de stage, Département de génie mécanique, école d'ingénierie, UQTR, 1996
  
- [ 3 ] Koffi D., "Étude de faisabilité de la conception optimale automatisée des chaînes de convoyeur et d'élévateur", Rapport d'étude PARI-AT du CNRC, 1996
  
- [ 4 ] Buist C., "Analyse de prévision du comportement mécanique des chaînes sous diverses conditions de fonctionnement", Rapport du projet de synthèse en génie mécanique, École d'ingénierie, UQTR, 1996
  
- [ 5 ] Buist C., "Conception optimale automatisée des chaînes de convoyeur et d'élévateur", Rapport de synthèse pour le PARI-RDA du CNRC, Décembre 1999
  
- [ 6 ] Auteur inconnu, "Chain materials", Link-Belt, 1993, pp. B3-B4
  
- [ 7 ] Skripkin S. P., "Imbalance of wear of the outer and inner links of drive chains and its dependence on the orientation of rolled sleeve joint", Vestnik Mashinostroneiya, Volume 70, No. 4, 1990, pp. 17-18
  
- [ 8 ] Uchaev N., "Principles of improving the quality of driving chains", Khimicheskoe, No. 6, 1990, pp. 306-308

- [ 9 ] Low K. H., "Computer-aided selection of roller chain drives", *Computer & Structures*, Volume 55, No. 5, 1995, pp. 925-926
- [ 10 ] Shik Kim M., E. Johnson G., "A general, multi-body dynamic model to predict the behavior of roller chain drives at moderate and high speeds", *ASME Advances in Design Automation*, Volume 1, 1993, pp. 257-258
- [ 11 ] C. Conwell J., E. Johnson G., Peterson S. W., "Experimetal investigation of the forces in a link side plate during normal operation of a roller chain drive", *ASME International Power Transmission and Gearing Conference*, Volume 2, 1992, pp. 711, 714-715
- [ 12 ] Choi W., E. Johnson G., "Vibration of roller chain drives at low, medium and high operating speeds", *ASME Vibrations of Mechanical Systems and the History of Mechanical Design*, Volume 63, 1993, pp. 29-30, 38
- [ 13 ] Uchaev N. & Tsyganov S., "Comparision of the strength of drive roller chains in transmission units and couplings", *Vestnik Mashinostroeniya*, Volume 69, No. 7, 1989, pp. 50-53
- [ 14 ] Nakagome M., "Effects of number of links on repeating impact strength of roller chains", *Bull, Japan Soc. of Prec. Eng.*, Volume 23, No. 4, 1989, pp. 298-300
- [ 15 ] Kong L., Sabbaghian M., "Design of an engagement guiding mechanism for roller chain drives", *ASME Engineering Systems Design and Analysis*, Volume 6, 1996, pp. 191-192
- [ 16 ] C. Conwell J., E. Johnson G., Peterson S. W., "Experimetal investigation of the impact force that occurs when a roller seats on the sprocket during normal operation of roller chain drive", *ASME International Power Transmission and Gearing Conference*, Volume 2, 1992, pp. 717-719

[ 17 ] Y. Jin and M. Carpino, "Theoretical analysis of link length errors in large guided chain systems", ASME Advances in Design Automation, Volume 1, 1993, pp. 341-343.

[ 18 ] Freudenstein F., Chen C.-K., "Variable-Ratio Chain Drives With Noncircular Sprockets and Minimum Slack-Theory and Application", Journal of Mechanical Design, Volume 113, No. 3, 1991, pp. 253-262

[ 19 ] François V., Koffi D., Lefebvre F., "Étude de faisabilité du calcul de rupture d'un maillon de chaîne par éléments finis à l'aide du logiciel ALGOR", Rapport d'étude, Laboratoire de recherche en productique, École d'ingénierie, UQTR, Décembre 1999

[ 20 ] Dorlot J-M., Baïlon J-P, Masounave J., "Contraintes et Déformations", Des matériaux, Édition de l'École polytechnique de Montréal, 1986, pp. 1-3

[ 21 ] Buist C., "Rapport de projet pour le cours de méthodologie de recherche", Rapport de stage, 1997

[ 22 ] C. Y. Niu M., 1997, "Lug Analysis", Airframe stress analysis and sizing, pp. 321-331

[ 23 ] Drouin G., Gou M., Thiry et Vinet R., Éléments de machines, Édition de l'École polytechnique de Montréal, 1986

[ 24 ] Fritz P., Pfeiffer F., "Dynamics of high speed roller chain drives", ASME Design Engineering Technical Conferences, Volume 3, Part A, 1995, pp. 573-574

[ 25 ] R. Naji M., M. Marshek K., "The effects of the pitch difference on the load distribution of a roller chain drive", Mechanism & Machine Theory, Volume 24, No. 5, 1989, pp. 351-355, 361-362

[ 26 ] Oberg E., Jones Franklin D., Horton Holbrook L., Ryffel Henry H., "Properties of materials", Machinery's Handbook 25, 1996, pp. 434-441

[ 27 ] Dishan H., Fan Q., Tan C. A., "Experimental active vibration control of automotive chain drive systems", ASME Active Control of Vibration and Noise, 1996, pp. 101-107

## **AUTRES RÉFÉRENCES:**

[ 28 ] C. Conwell J., E. Johnson G., Peterson S. W., "Design and construction of a machine to evaluate the forces in roller chain drives", ASME International Power Transmission and Gearing Conference, Volume 2, 1992, pp. 703-709

[ 29 ] Freudenstein F., Chen C.-K., "Variable-Ratio Chain Drives With Noncircular Sprockets and Minimum Slack-Theory and Application", Journal of Mechanical Design, Volume 113, No. 3, 1991, pp. 253-262

[ 30 ] J. Baranyi S., "Estimating roller-chain loads", Machine Design, 11 juin 1992

[ 31 ] John L. W., "Getting the most from roller chain drives", Machine Design, 26 novembre 1993

[ 32 ] Roberts. J., "How to make chain live longer", Machinery & Equipment MRO, 1998

[ 33 ] Bouillon, G. and Tordion, G. V., 1965, "On polygonal Action in Roller Chain Drives", ASME Journal of Engineering for Industry, Vol.87B, pp. 243-250.

[ 34 ] Elmanov I. M., "Computer calculation of dimension chains", Vestnik Mashinostroeniya, Volume 69, No. 3, 1989, pp. 22-25

## ANNEXE A : BASE DE DONNÉES

Microsoft Access - [Chaine : Base de données]

Fichier Edition Affichage Insertion Outils Fenêtre

Tables Requêtes Formulaires États Macros Modules

Ajustement Catalog Chaine Client  
MatierePrs Répertoire Soumission SpecSteel  
Table des erreurs Travail

Microsoft Access - [Chaine : Table]

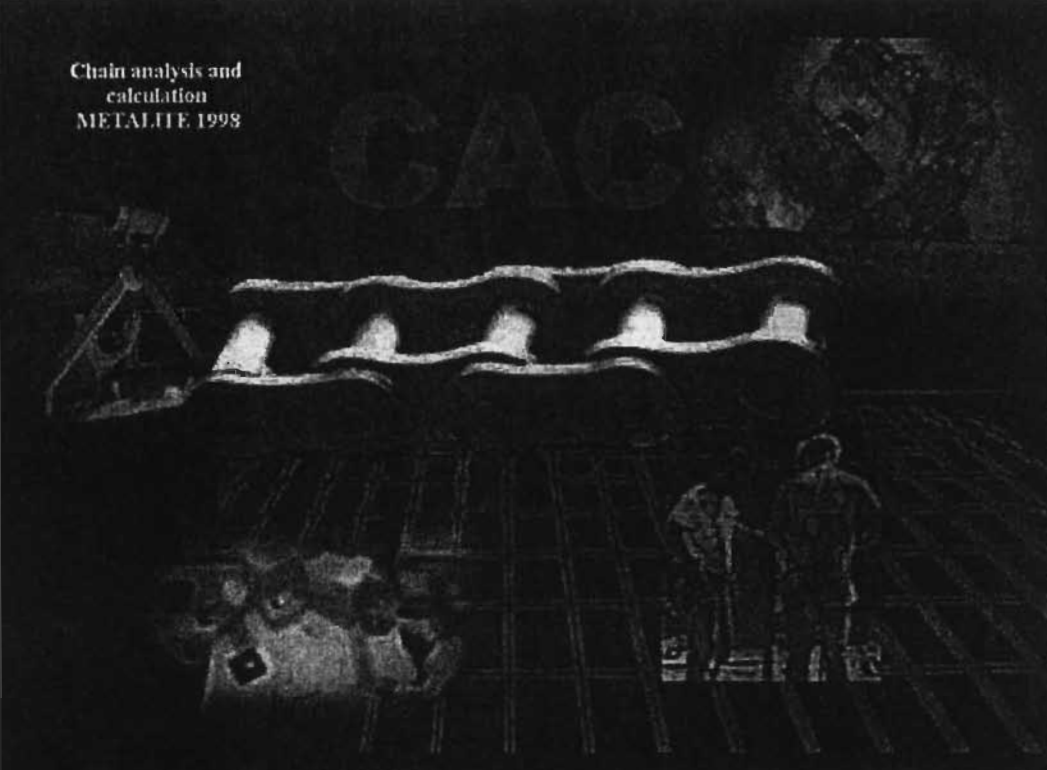
Fichier Edition Affichage Insertion Outils Fenêtre

Propriétés du champ

Nombre	Nom_chaine	Type_chaine	Rivetage	Long_chaine	Pitch	W	Style	Attache	JeuxMailles	Rivetage
1	????		Cold Riv	0		0.89	Drag Chain	No attachment		0.125
2	????		Cold Riv	0.15		0.5	Rouleau Straight	K attachment		0
3	????		Cottered	0.6		1.5	Rouleau Straight	K attachment		0
4	????		Riv Flat	0.4		1	Rouleau Straight	K attachment		0
5	????		Cold Riv	0.4		0.9394	Drag Chain	No attachment		0
6	????		Cottered	0.605		3.31	Rouleau Straight	K attachment		0
7	????		Riv flat	0.6		0.975	Rouleau Straight	Sans Attache	0.01	0.125
8	????		Cottered	0.4		0.6	Rouleau Straight	K attachment		0
9	????		Cold Riv	0.2		0.725	Drag Chain	No attachment		0.125
10	????		Hot Riv	0.3937		1.125	Rouleau Straight	No attachment		0.25
62	????		Riv Flat	0.2609		2	Soudée Offset	No attachment		0
63	????		Cold Riv	0.8		1.062	Drag Chain	No attachment		0
64	????		Cold Riv	0.1		0.625	Rouleau Straight	No attachment		0
65	????		Cold Riv	0.2609		1.060	Drag Chain	No attachment		0
66	????		Cold Riv	0.1		0.625	Drag Chain	No attachment		0
72	????		Hot Riv	0.12		1	Soudée Offset	No attachment		0
80	????		Riv Flat	0.2		0.6	Rouleau Straight	No attachment		0
81	????		Riv Flat	0.2609		1.060	Rouleau Straight	K attachment		0
82	????		Riv Flat	0.6050		2	Soudée Offset	No attachment		0
83	????		Cold Riv	0.3937		1.125	Rouleau Straight	No attachment		0
84	SOUDÉE		Riv Flat	0.3075		1.39	Soudée Offset	No attachment		0
85	????		Riv Flat	0.3075		0	Soudée Offset	No attachment		0
(NuméroAuto)	????		Riv Flat	0			Rouleau Straight	No attachment		

## ANNEXE B : FENÊTRES DE DONNÉES

Chain analysis and  
calculation  
METALITE 1998



**Chain file**

X << Valider

Relevé Straight

No attachment

Cold Riv

Adjustment

Pitch 3.937

W 1.126

Geometry Treatment Catalog Tolerance

Lost file

New

Delete

Print

File # 10

File Number 5

Total files 21

Search 83

Automatic calc.

Manual Redress

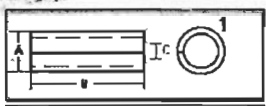
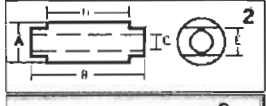
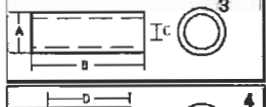
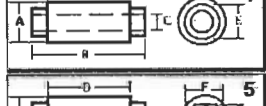
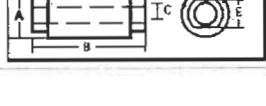
**Dessin**

Dessiné par :

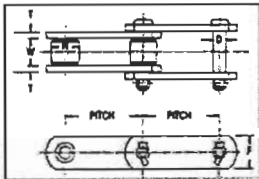
Approuvé par :

Bushing modification

Bushing Style

**Chaine à rouleau**



**Dimensions:**

Pin diameter [D] 0.939

Bushings diameter [B] 1.313

Height sidebar int. [F] 2.5

Height sidebar ext. [F] 2.5

Rollers diameter [H] 1.781

Thickness sidebar int. [T] 0.500

Thickness sidebar ext. [T] 0.500

Valider

[illegible]

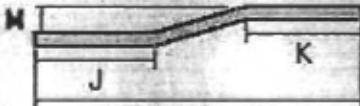
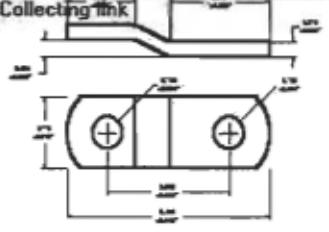

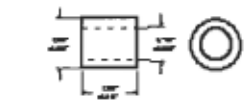


97



## ANNEXE C : FENÊTRE "CATALOG"

[illegible]

## ANNEXE D : FENÊTRE "GEOMETRY"

Files Edit Control			
<b>Chain file</b> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">SOUDÉE</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 100px;">Soudée Offset</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 100px;">Pitch 3.075</div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 100px;">No attachment</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 100px;">W 1.39</div> </div> <div style="text-align: right;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Riv Flat</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 100px;">Adjustment</div> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">&lt; Validate</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Last file</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">New</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Delete</div> </div> <div style="text-align: right;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Print</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Close Files</div> </div> </div>		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">File # 20</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Total files 21</div> </div> <div style="text-align: right;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">File Number 24</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Search 24</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Automatic calc.</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Manuel Redraw</div> </div> </div>	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Geometry</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Treatment</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Catalog</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Tolerance</div> </div> </div>			
<b>Offset Sidebar</b> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 45%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Straight Length 5.53136</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Offset Length 5.11 +/- 0.005</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Adjust Pitch 3.06 +/- 0.005</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Height 1.77 +/- 0.01</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Pin Hole Dia 0.755 +/- 0.001</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Bush Hole Dia 0.765 +/- 0.001</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Ext. chain width 3.0075</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Ext. Sidebar Dia 2.655</div> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <div style="margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">J 2.5 +/- 0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">K 1.75 +/- 0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">M 0.43125 +/- 0</div> </div> </div> </div>			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Collecting link</div>  </div> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Block link</div>  </div> </div>			
<b>Bushing Geometry</b> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 60%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Description</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Outside Dia [A] 1.25</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Length [B] 1.395</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Inside Dia [C] 0.765</div> </div> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Length 2 [D]</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Outside Dia [E]</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Outside Dia [F]</div> </div> </div> </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Style = 3</div> </div> </div>			
<b>Pin Geometry</b> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 60%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Description</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Length [A] 3.2575</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Dia [B] 0.75</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Dist Hole [C] 0</div> </div> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Dia Hole [D] 0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Head Tick [E]</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">F 6</div> </div> </div> </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Style = 1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Pin 4 attachment</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Longueur 0.89</div> </div> </div>			
<b>Roller Geometry</b> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 60%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Description</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Length [A] 0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Inside Dia [B] 0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Outside Dia [C] 0</div> </div> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">D 0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">E 0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">F 0</div> </div> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">G 0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">H 0</div> </div> </div> </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Style = 0</div> </div> </div>			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Bushing</div>  </div> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Pin</div>  </div> </div>			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Roller</div>  </div> </div>			

Files Edit Control

Chain file: X

Reuleau Straight  File # 2 File Number 3  
 Attachment  Total files 21 Search 3  
 Cottered ☐ Automatic calc.  
 Adjustment ☒ Geometry ☐ Treatment ☐ Catalog ☐ Tolerance

**Collecting link Geometry** Description

Lenght [8.25] Ext. Dia [3] G [1.77] J [0.56] Style = 8  
 Pitch [5.985] E [-1.135] H [5.375] K [0] Attachment  
 Height [2] F [1.055] I [3] L [2.625] ☐ Hole Style ☒ Geometry

**Block link Geometry** Description

Lenght [8.25] Ext. Dia [3] G [1.77] J [0.56] Style = 8  
 Pitch [6] E [-0.75] H [5.375] K [0] Attachment  
 Height [2] F [1.44] I [3] L [2.625] ☐ Hole Style ☒ Geometry

**Bushing Geometry** Description

Outside Dia [A] [1] Lenght 2 [D] Style = 3  
 Lenght [B] [1.75] Outside Dia [E]  
 Inside Dia [C] [0.765] Outside Dia [F]

**Pin Geometry** Description

Lenght [A] [3.323] Dia Hole [D] [0] Style = 1  
 Dia [B] [0.75] Head Tick. [E] Pin d'attache  
 Dist Hole [C] [0] F Longueur [0.89]  
 G

**Roller Geometry** Description

Lenght [A] [1.47] D [0] G [0] Style = 1  
 Inside Dia [B] [1.015] E [0] H [0]  
 Outside Dia [C] [2.75] F [0]

**Collecting link**

**Block link**

**Bushing**

**Pin**

**Roller**

## ANNEXE E : FENÊTRE "TREATMENT"

Files Edit Control			
Chain file			
X	< Validate	Last file	Print
Reuleau Straight	Pitch 4	New	Close Files
K attachment	W 1	Delete	File # 3
Riv Flat			File Number 4
Adjustment			Search 4
			<input type="checkbox"/> Automatic calc.
			Manual Redraw
		C Geometry C Treatment C Catalog C Tolerance	
Bend allowance		Collectink link Traitements	
Rayon de pliage 0.125 po		Type	
Angle de pliage 90 degrés		Épaisseur	
Haut Tot.: X 1.062 + Y 1.04		Dureté	
+ Bend Allow. 0.343 = 2.4455 po			
Largeur / attache		Block link Traitements	
A B	Validate	Type	
	Cancel	Épaisseur	
A: rebus / côté 1.5 x épais		Dureté	
B: rebus / côté 1.5 x épais			
Bushing raw material		Bushing Traitements	
Matériel Cold roll C1018	<input type="checkbox"/> Tube	Type	
Diamètre	Rebus / coupe 0.2 po	Épaisseur	
<input type="checkbox"/> Slotted	Long. / Bushing	Dureté	
Épaisseur			
Pin raw material		Pin Traitements	
Matériel 4140		Type	
Diamètre	Rebus / coupe 0.14 po	Épaisseur	
		Dureté	
Roller raw material		Roller Traitements	
Matériel Cold roll C1018	<input type="checkbox"/> Tube	Type	
Diamètre	Rebus / coupe 0.2 po	Épaisseur	
		Dureté	

## ANNEXE F : FENÊTRE "ADJUSTMENT"

File Edit Control

Chain file:  < Validate

Roller: Straight  File # 19 File Number   
 Attachment: Pitch 3.337  Total files 21    
 Roller Flat: W 1.125

Adjustment: ☐ Geometry ☐ Treatment ☐ Catalog ☐ Tolerance

Collecting link Geometry:  Style = 2

Length 6.73375 End Dia 4 G 0 J 0 Attachment

Pitch 3.337

Height

-Jeux et serrages:-

Block link: Jeu (total) entre rouleau et mailles: 0.03 po  
 Jeu entre maille int. et extérieure: 0.01 po  
 Jeu entre bushing et pin: 0.015 po  
 Jeu entre bushing et rouleau: 0.015 po  
 Serrage pin et maille intérieure: 0.004 po  
 Serrage bushing et maille extérieure: 0.004 po  
 Ajustement du pitch des block link: 0 po  
 Ajustement du pitch des collecting link: 0.015 po

Pin Geometry: Length [A] 3.395 Dia Hole [D] 0   
 Dia [B] 0.838 Head Tick [E]   
 Dist Hole [C] 0 F 6

Roller Geometry: Length [A] 1.095 D 0 G 0   
 Inside Dia [B] 1.328 E 0 H 0  
 Outside Dia [C] 1.781 F 0

Dessin: Dessiné par:   
 Approuvé par:

Collecting link modification: Collecting link style

1

2

3

Add on

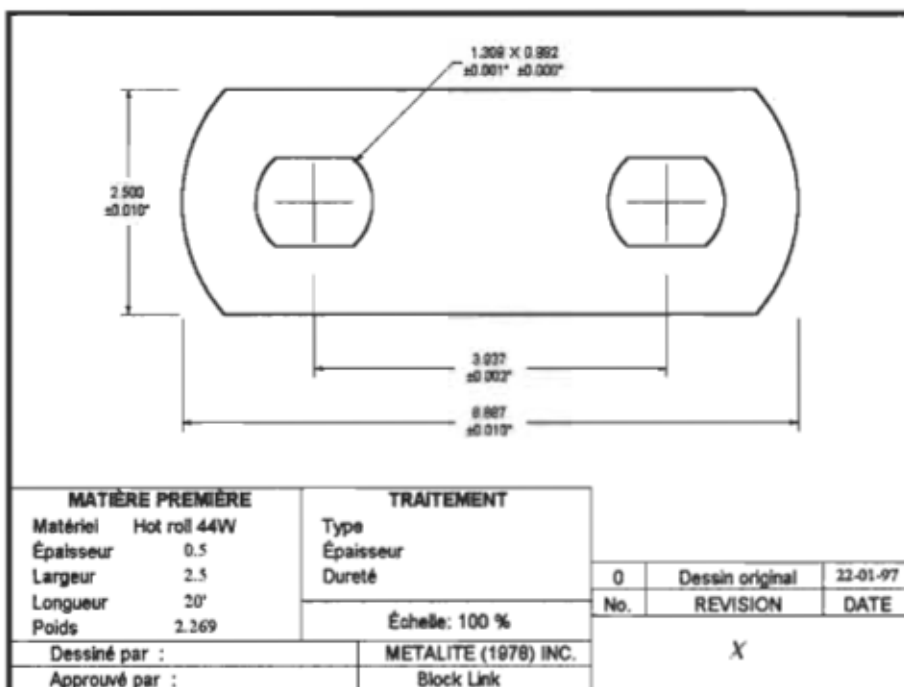
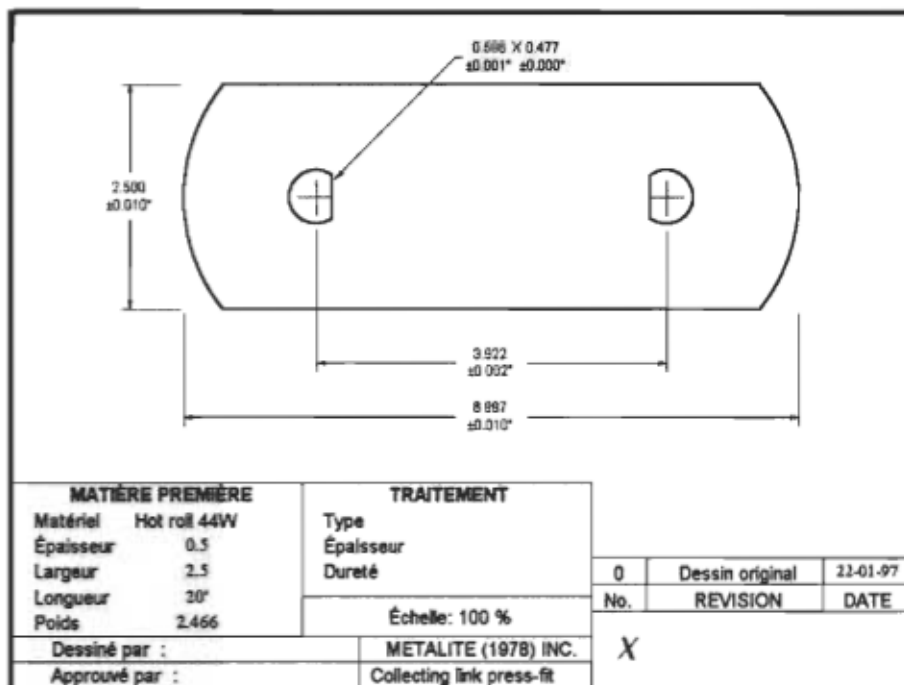
Roller

1

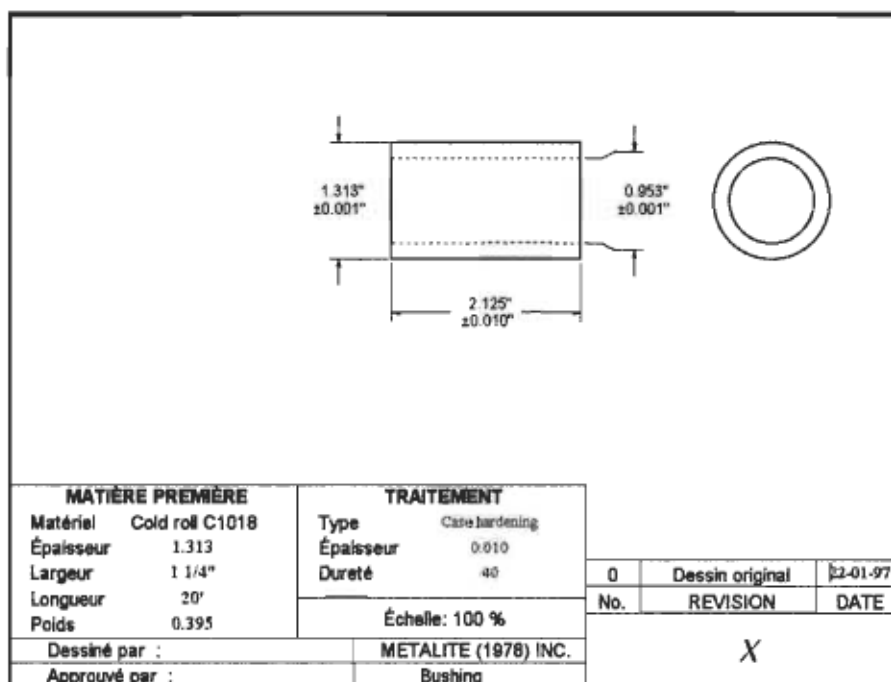
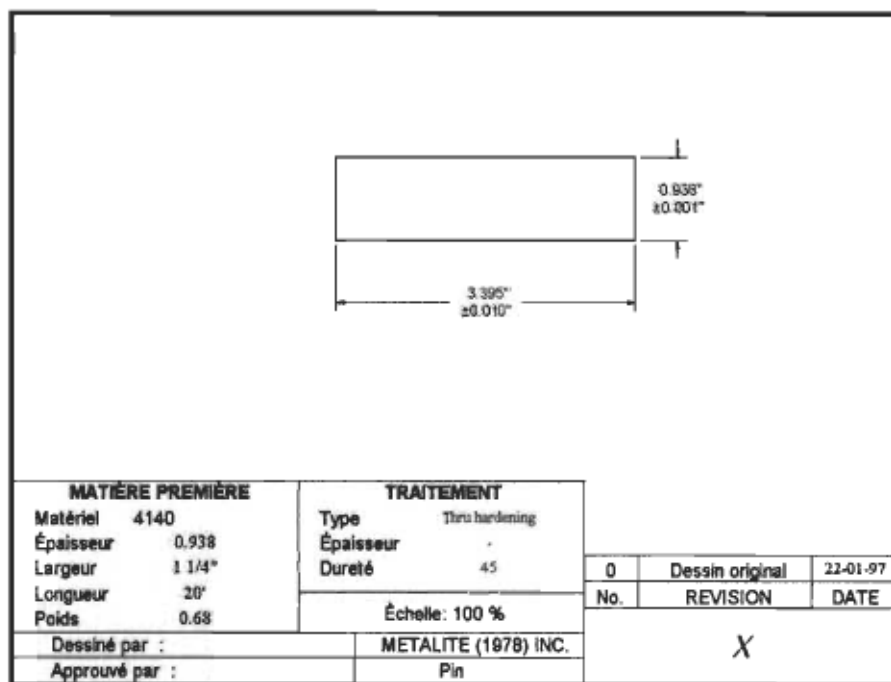


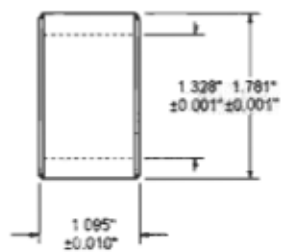


## ANNEXE H : FENÊTRE DESSIN TECHNIQUE









MATIÈRE PREMIÈRE		TRAITEMENT				
Matériel	Poudre frittée	Type	Case hardening			
Épaisseur	1.781	Épaisseur	0.010			
Largeur	1 1/4"	Dureté	45	0	Dessin original	22-01-97
Longueur	20"	Échelle: 100 %		No.	REVISION	DATE
Poids	0.351					
Dessiné par :		METALITE (1978) INC.		X		
Approuvé par :		Roller				

## ANNEXE I : FENÊTRE CARACTÉRISTIQUES

Maximiser fenêtre

Nom de la chaîne: X

Client

Nouveau Fichier

Valider

Effacer Fichier

Compagnie: X

Adresse: X

Ville: X

Attention: X

Tel.: X

Fax: X

Longueur / assemblage de la chaîne: 10 pi

Fabriquer 1 % de plus que la quantité requise

Pourcentage de rebus: 2 %

Coefficient de poids (carbone): (Théorie = 0.2636)

Pourcentage de profit total: %

Pourcentage de profit pour l'usinage: %

Pourcentage de profit pour les traitements: %

Attaches (1 pitch indique des attaches partout)

☐ Collecting link seulement
 ☐ Block link seulement
 ☒ Collecting link et Block link

Nombre de pitch entre attaches: 1 pitches

Type d'attache: ☐ A ☒ K

Imprimer

Fermer / valider

☐ Leaf Chain
 

Facteur pour les mailles extérieures: x

Facteur pour les mailles intérieures: x

☐ Variable Pitch (Flex Chain)
 

Collecting Link Pitch: 3.922

Block Link Pitch: 3.937

☐ Bloc (block link)
 

Dimensions: x x po

Calcul >

 Volume: po<sup>3</sup> Poids: lbs

Prix acier: \$/lb

Calcul >

 Prix pour une pièce: \$/lb

☐ Plaques soudées
 

Dimensions: x x po Rebus: 0

Calcul >

 Volume: po<sup>3</sup> Poids: lbs

Prix acier: \$/lb

Calcul >

 Prix acier pour une pièce: \$/lb

☐ Collecting link non standard
 

Dimensions: 0 x 0 x 0 po

Calcul >

 Volume: 0 po<sup>3</sup> Poids: 0 lbs

Prix traitement: 0 \$/lb

Calcul >

 Prix traitement pour une pièce: 0 \$/lb

☐ Block Link non standard
 

Dimensions: 0 x 0 x 0 po

Calcul >

 Volume: 0 po<sup>3</sup> Poids: 0 lbs

Prix traitement: 0 \$/lb

Calcul >

 Prix traitement pour une pièce: 0 \$/lb

☐ Calcul simultané pour les mailles extérieures et intérieures

## ANNEXE J : FENÊTRE COÛTS

Nom du client: Techni-Pro		Longueur de la chaîne: 1000 pieds et 0000 pouces				<input checked="" type="checkbox"/> Calculs automatiques				
Caractéristiques	Collecting link	Collecting link/attache	Block link	Block link/attache	Connecting link	Rouleaux	Bushing	Pin d'assemblage	Pin attache	Cotter pins riveted
Fabrication										
Quantité requise	3049		3049		100	3049	3049	3049	200	203
Quantité à fabriquer	3080	0	3080	0	102	3080	3080	3080	203	
Matières premières										
Poids total lbs	8814.6	0	9274.8	0	384	2539.88	1415.27	2319.03	195.699	
Coût matériel \$/lb										
Coût \$										
Travail										
Coût total / 1000 pcs \$	0		0					0	0	0
Traitement										
Poids total pièces lbs	7595.28		6988.52		251.332	1081.08	1216.60	2094.40	138.040	
Coût traitement \$/lb										
Coût traitement \$		0		0						
Montage										
Nombre pièces / hrs						Temps riv. / 10 pi. min.				
Coût de montage \$		0		0		Coût rivetage / cotter \$		0		
Assemblage										
Temps d'assemblage / 10 pi. min.										
Coût d'assemblage \$										
Soudure bushing / mailles										
Nombre de soudures	3049									
Temps par pièce min.										
Coût des soudures \$	0									
Attache soudée										
Coût mat. première										
Coût d'usage/pièces \$										
Nombre de pièces										
Temps couture / pièce min.										
Coût des attaches \$	0									
Qualité / Maintenance										
Inspection hrs										
Extraction matrices hrs/mat.										
Coût total \$										
Set-Up										
Temps de Set-up hrs										
Coût de Set-up \$										
Sous-traitance										
Usage Pin \$/pièce										
Usage Bushing \$/pièce										
Usage Rouleaux \$/pièce										
Collecting link \$/pièce										
Block link \$/pièce										
CL Att BL Att \$/pièce										
Total \$										
Frais Fixes										
Emballage (mat. + main.) \$										
Rails \$ Mèches \$										
Gaz (flus chauffés) \$										
Nouvelles matrices \$										
Pin solide (souderie) \$										
Transport \$										
Dessins \$										
Conception / Analyse \$										
Visite \$										
Électricité / Chauffage \$										
Divers \$										
Total \$										
Profit: X %										
Profit Usinage: X % Trait: X %										
Poids linéaire: 18.8 lbs/pied										
Taux horaire Setup. \$/hr										
Taux horaire Montage/Ass. \$/hr										
Taux horaire Rivetage \$/hr										
Taux horaire Soudage \$/hr										
Coûtant \$										
Coûtant \$/pièce										
Vendant \$										
Vendant X \$/pi										
Profit \$/hre de travail:										
Profit net total: \$										

X

Fermer

Imprimer

Soumission

Répertoire

## ANNEXE K : FENÊTRE BESOIN MATIÈRE PREMIÈRE

Formier / Valider

Imprimer

X

Minimiser fenêtre

	Collecting link	Col. link / attache	Block link	Block link / attache	Connecting link	Rouleau	Bushing	Pin d'assemblage	Pin d'attache
Nombre de pièces / barre	32	0	32	0		219	103	67	
Nombre de barres requises	99	0	99	0		15	91	47	2 % rebus inclus
Volume / barre	300	0	300	0		597.90	153.70	165.84	
Poids / barre	88.5	0	88.5	0		176.38	45.361	48.924	
Longueur de la barre	20	12	20	20	20	20	20	20	20
Largeur de la barre	2.5	0	2.5	0		0	0	0	
% de rebus par barre	0	0	0	0		0	0	0	
Rebus de coupe	0.520	0.520	0.520	0.520		0	0.2	0.140	
Surplus de pièces	119	0	119	0		236	144	100	Inclus rebus et Marge

**Dimensions des pièces:**

Largeur de la maille	2.5	0	2.5	0	Dia. ext.	1.781	1.313	0.938
Épaisseur de la maille	0.5	0	0.5	0	Dia. int.	1.328	0.953	
Longueur de la pièce	6.8865	0	6.8868	0	Long. pce	2.095	2.125	3.395
Hauteur de l'attache	0		0		Serrage	0.004	0.004	0.342

**Jeux:** entre les mailles 0.010 entre mailles et rouleau 0.030 Roul/Bush 0.015 0.015 Pin/Bush



## ANNEXE L : FENÊTRE TRAVAIL

X

Opérations	Collecting link	Collecting link/attach	Block link	Block link/attache	Connecting link	Opérations	Bushing	Rouleau
Coupe en longueur	130		130			Coupe en longueur		
Coupe en largeur						Machelage	0	0
Arrondir les bouts						Plats		
Carner matches (1)						Trous du centre		
Carner matches (2)						Resserer tous centres		
Trous / aide barre	80		80			Autre trous		
Trous / attache (1)						Chaudrons		
Trous / attache(2)						Autre		
Pliage(1)						Totaux	0	0
Pliage(2)								
Soudure(1)						Pin		
Soudure(2)						assemblage		
Écraser						Pin		
Drill / trous						attache		
Resserer / trous								
Peindre / plaque						Coupe en longueur	30	
Totaux	210	0	210	0	0	Machelage		
						Plats		
						Faire deux rondes		
						Drill / trous (1)		
						Drill / trous (2)		
						Chaudrons		
						Autre		
						Totaux	30	0

Fermer
Imprimer

## ANNEXE M : FENÊTRE SOUMISSION

		Français		<b>METALITE</b> 527, rue St-Laurent Cap-de-la-Madeleine G8T- 7W5 Tél: (819) 374-2313 Fax: (819) 374-9215	
<b>Quotation</b> Identification: 011116-1 Fermer Imprimer		CLIENT Phone: Fax:		Date: 16 novembre 2001 Chain: X Attachment: no attachment Length: 1000' Prepared by:	
Quantity	DESCRIPTION			Price	
1000'	Chain: X			\$ X / feet	
	Attachment: no attachment				
	Link: Hot roll 44W				
	Bushing: Cold roll C1018, Case hardening at X HRC				
	Roller: Cold roll C1018, Case hardening at X HRC				
	Pin: 4140, Thru hardening at X HRC				
 Thank you for your inquiry!					
Prices valid for: X days Terms : X days Delivery: X weeks			Taxes: Extra F.O.B. : Cap-de-la-Madeleine		

## ANNEXE N : FENÊTRE CALCUL RUPTURE

New steel

Delete steel

1045\*

Steel

1030

1040

1040\*

1045

1050

1050\*

Maximum Strength (kpsi)

143.6

Maximum Yield (kpsi)

105

Hardness (HRC)

50

Corrosive agent

none

Coeff.

1

Temperature (C)

-10 to +60

Coeff.

1

Critical section

0.058875 in<sup>2</sup>

Fatigue (Recommended load)

Surface finish

Hot roll

Coefficients

4.53534

Link dimension

1.5

Coeff.

0.85

Fiability (%)

50

Coeff.

1

Temperature (F)

70

Coeff.

1

Stress concentration

q

0.2

Kcc

2.2

1

Resistance calculation

Maximum tensile strength

16897.125 lbs

Maximum Yield

12963.75 lbs

Recommended load

2066.29219725 lbs

Graphic Tensile Strength vs Hardness Rockwell:

Sut (kpsi)

300

250

200

150

100

50

10

20

30

40

50

60

HRC

Graphic data:

HRC

18

30

40

47

53

Sut (kpsi)

88

118

134

141

146

Yield (kpsi)

73

90

101

104

105

Elongation

18

%

Close

Print



## ANNEXE O : FENÊTRE FORCE INDUITE

Factors		Coefficients	
Power: HP (TKW = 1.341 HP)	15	Static tension	19000
Sprocket diameter: ft	2	Centrifugal force	0
Number of sprocket teeth:	12	Additional tension	1900
Chain speed: ft / min	25	Friction	0.2
Chain weight: lb / ft	11.5	Chain weight lbs	1150
Chain length: ft	100	Service factor	1
System:	With Catering	Chain speed	1
Guide rail material:	Steel or Stainless steel	Number of sprocket teeth	1
Lubrication:	Lubricated	Unbalanced load	1
Type of rollers:	Steel		
Impact strength:	Smooth		
Source of power:	Electric motor / turbine		
Unbalanced load:	1 set of chain		
<b>Calculation</b>			
INDUCE TENSION		29190.6	lbs