UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉTUDE DES PROBLÈMES MUSCULO-SQUELETTIQUES DANS DES TÂCHES DE SERTISSAGE ET D'ENROULAGE DE MATÉRIEL À SUTURES

NATHALIE PERRON
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES
ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE INDUSTRIEL)
DÉCEMBRE 1996

© Nathalie Perron, 1996.

National Library of Canada
Bibliothèque nationale du Canada

Acquisitions and Bibliographic Services
Acquisitions et services bibliographiques

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-26504-8

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

ÉTUDE DES PROBLÈMES MUSCULO-SQUELETTIQUES
DANS DES TÂCHES DE SERTISSAGE ET D'ENROULAGE
DE MATÉRIEL À SUTURES

présenté par: PERRON Nathalie

en vue de l'obtention du diplôme de: Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. GOURDEAU Richard, Ph.D., président

M. GILBERT Robert, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. LEBLANC Daniel, Ph.D., membre

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier la direction de Cyanamid Canada, usine de Baie d'Urfée, et plus particulièrement monsieur Robert Vincent, pour la confiance qu'ils ont su avoir en moi et pour l'aide financière qu'ils m'ont apportée. J'adresse des remerciements tout spéciaux aux travailleuses du sertissage et de l'enroulage, elles ont su me faire confiance et ont fait preuve d'une grande générosité tout au long des travaux de cette étude. J'aimerais aussi remercier mesdames Louise Carpentier et Line Duplessis qui ont été d'un support inespéré tout au long de l'étude ergonomique au sein de l'entreprise.

J'aimerais également remercier mon directeur de recherche, monsieur Robert Gilbert, pour son support et pour l'aide qu'il a su me donner tout au long des travaux qui ont mené à la rédaction de ce mémoire. Les discussions qui ont eu cours dans l'exécution des travaux de ce mémoire m'ont été et me seront d'une grande valeur dans l'accomplissement de mon travail en ergonomie. J'aimerais aussi remercier les membres du jury de ce mémoire, messieurs Richard Gourdeau et Daniel Leblanc, pour leur disponibilité et pour les judicieux conseils qu'ils ont su me prodiguer.

RÉSUMÉ

Un nombre croissant de cas de tendinites diverses a été associé au travail de sertissage et d'enroulage de sutures ces dernières années chez un fabricant de sutures chirurgicales. La présente étude a pour objectif de déterminer si des liens de cause à effet peuvent être établis entre le travail et les problèmes musculo-squelettiques des travailleuses. Cette étude comporte une revue de la littérature qui tente de mettre en lumière les facteurs de risques des lésions musculo-squelettiques des avant-bras par l'explication de la physiologie, de l'anatomie et de l'histologie des structures musculo-tendineuses. Nous tentons aussi de faire un lien entre ces connaissances et les hypothèses de nature biomécanique qui peuvent être faites pour expliquer les facteurs de risques qui sont soulevés dans des études de nature épidémiologique. Nous tentons également de présenter dans cette revue de la littérature que les facteurs de risques peuvent être différents en fonction de la structure lésée, tout en essayant de faire ressortir certains facteurs de risques qui sont communs à plusieurs lésions musculo-squelettiques.

Une étude ergonomique du travail comportant une analyse des mouvements, des efforts et de leurs modalités a été réalisée. Sur la base des caractéristiques biomécaniques des structures musculo-squelettiques impliquées, nous concluons que le travail comporte certains facteurs de risques qui peuvent être à l'origine de lésions musculo-squelettiques

pour les travailleuses. Des solutions sont recommandées pour diminuer la sollicitation des structures impliquées. Les solutions pour le département de sertissage ont été proposées alors que certaines ont été implantées avec succès.

Nous concluons que les connaissances actuelles dans le domaine des problèmes musculo-squelettiques nous permettent d'agir pour prévenir ces atteintes dans les différents milieux de travail. Toutefois, nous ne pouvons conclure que les connaissances actuelles sont suffisantes pour déterminer le risque de développer une telle lésion dans des situations données. De la recherche devrait être faite pour mettre en lumière les différentes hypothèses qui sont soulevées dans le domaine, suite aux nombreuses études épidémiologiques, afin de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses.

ABSTRACT

An increasing number of lost days attributed to various musculoskeletal problems of the upper limbs have been experienced by workers of a surgical sutures manufacturer. This study is concerned with finding whether a causal relationship between the working activities and the various musculoskeletal problems of the workers exist or not. The litterature review in this report tries to present the risk factors that are involved in the ethiology of musculoskeletal problems of the upper limbs by the knowledge that emerges from the fields of physiology, anatomy and hystology for the different musculo-tendinous structures. We try to link that knowledge to biomechanical explanations for the hypothesis of risk factors that are brought up by epidmiological studies. We also try to present that the risk factors may be different for different musculo-tendinous structures while trying to show that some factors are common to many musculoskeletal problems.

An ergonomic study was conducted including a movement and effort analysis. We conclude that the working activities can be related to the problems that employees may have. Solutions have been recommended and some have been implemented to lower the risks involved in the identified activities of attaching and winding surgical sutures.

We conclude that the present knowledge for causal factors of musculoskeletal problems are sufficient to take action to prevent these problems. But we also have to conclude that the present state of knowledge of the biomechanical explanations for risk factors are not sufficient to be able to quantify the risk of developing a musculoskeletal problem in determined situations. Research should be pursued in order to validate the different hypothesis for the biomechanical explanations for the risk factors that are brought up in the litterature, mainly by epidemiological studies.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS iv
RÉSUMÉ v
ABSTRACT vii
TABLE DES MATIERES ix
LISTE DES TABLEAUX xiii
LISTE DES FIGURES xiv
LISTE DES ANNEXES xv

INTRODUCTION 1

CHAPITRE I : STRUCTURES MUSCULO-SQUELETTIQUES
DE L'AVANT-BRAS 3
1.1 La théorie de l'accumulation des micro traumatismes 6
1.2 Tendon 11
1.2.1 Description de la structure 11
1.2.2 Tendinite 14
1.3 Gaine synoviale 15
1.3.1 Description de la structure 15
1.3.1.1 La synovie 17
1.3.2 Ténosynovite 18
1.3.4 Tendinite de De Quervain 18
1.3.5 Syndrome du canal carpien 19
1.4 Zone d'insertion du tendon dans l'os 21
1.4.1 Description de la structure 21

1.4.2 L'épicondylite 22
1.5 Zone d'insertion du tendon dans le muscle 23
1.5.1 Description de la structure 23
1.5.2 Péritendinite ou Myotendinite 24

CHAPITRE II : ANALYSE BIOMÉCANIQUE DES FACTEURS DE RISQUES DE LÉSIONS MUSCULO-SQUELETTIQUES RELIÉES AU TRAVAIL 25
2.1 Éléments de biomécanique 29
2.2 Tendon 35
2.2.1 Tension 35
2.2.2 Compression 38
2.2.3 Cisaillement 40
2.2.4 Torsion 41
2.3 Gaine synoviale 43
2.4 insertion du tendon dans l'os 52
2.5 insertion du tendon dans le muscle 53

CHAPITRE III: MÉTHODOLOGIE 60
3.1 Cadre de l'étude 60
3.2 Méthodologie de l'étude ergonomique 61
3.3 Méthodologie de l'analyse des postures 64
3.4 Méthodologie de la validation des solutions proposées 64

CHAPITRE IV : CARACTÉRISTIQUES DES CAS DIAGNOSTIQUÉS 67

CHAPITRE V : CHANGEMENTS TECHNOLOGIQUES 70

CHAPITRE VI : ÉTUDE DU TRAVAIL 72

6.1 Sertissage 72
6.1.1 Définition sommaire de la tâche 72
6.1.2 Organisation du travail 72
6.1.3. Outils utilisés 74
6.1.4. L'activité de sertissage 76
6.1.5. Contrôle de qualité 78
6.1.6. Mouvements et gestes 80
6.1.7. Normes de production 83
6.1.8. Posture 85
6.2. Enroulage 86
6.2.1. Définition de la tâche 86
6.2.2. Organisation du travail 87
6.2.3. Mouvements et gestes 87
6.2.4. Modes opératoires 88
6.2.5. Normes de production 89
6.2.6. Contrôle de la qualité 90
6.2.7. Posture 90
6.2.8. Efforts 91

CHAPITRE VII : FACTEURS DE RISQUES DUS AU TRAVAIL 93

CHAPITRE VIII : SOLUTIONS PROPOSÉES OU IMPLANTÉES POUR DIMINUER LES RISQUES DE LÉSIONS MUSCULO-SQUELETTIQUES 96
8.1 Sertissage 96
8.1.1. « Pull test » semi-automatique 96
8.1.2. Presse Suzle pneumatique 99
8.1.3. Outils de préhension de l'aiguille 100
8.1.4. Presse ajustée en profondeur 100

8.2. Enroulage 100
8.2.1. Machine DDS-II et carton pré-plié 100

CHAPITRE IX : ÉVALUATION DES CORRECTIFS APPORTÉS 104
9.1. Sertissage 104
9.1.1. Appareil de test FRFA semi-automatique 104
9.1.1.1. Qualité du produit 104
9.1.1.2. Satisfaction des travailleuses 106
9.1.1.3. Productivité 106
9.1.2. Presse ajustée en profondeur 107
9.1.2.1. Qualité du produit 107
9.1.2.2. Satisfaction des travailleuses 108
9.1.3 Presse pneumatique 108
9.1.3.1. Qualité du produit 108
9.1.3.2. Satisfaction des travailleuses 109

CHAPITRE X : DISCUSSION 110
10.1 Analyse des résultats de l'étude 110
10.2 Appréciation des solutions 115
10.3 Réflexions de l'ergonome sur cette expérience d'étude ergonomique 120
10.4 Les facteurs de risques sont-ils connus? 125

CONCLUSIONS 132

RÉFÉRENCES 135

ANNEXES 145

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 Types de produits testés pour la validation du prototype pour le test FRFA semi-automatique. 66

Tableau 8.1 Facteurs de risques et solutions recommandées pour le sertissage 102

Tableau 8.2 Facteurs de risques et solutions recommandées pour l'enroulage 103

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Phénomène d'accumulation des micro-traumatismes 8

Figure 1.2 Structures du tendon (de Maillet (1979)) 12

Figure 1.3 Gaine synoviale (de Nigg & Herzog (1994)) 16

Figure 1.4 Insertion du tendon dans l'os (de Benjamin et al. (1986)) 22

Figure 2.1 Principaux modes de mise en contrainte 30

Figure 2.2 courbe contrainte-déformation du tendon a) typique et b) pour un tendon ... 31

Figure 2.3 relaxation des contraintes et fluage (de Moore & Garg (1992)) 33

Figure 2.4 Vibrations et fréquence de résonance 35

Figure 2.5 Compression radiale du tendon lors du passage sur une poulie (Moore & Garg (1992)) 40

Figure 2.6 synthèse des facteurs de risque pouvant mener à la « tendinite » 42

Figure 2.7 Force normale sur les deux parois de la gaine synoviale 48

Figure 2.8 Synthèse des facteurs de risque de la ténosynovite 51

Figure 2.9 Facteurs de risques biomécanique pouvant mener à la tendinite d'insertion dans l'os 55

Figure 2.10 synthèse des facteurs de risque pour la péritendinite 57

Figure 8.1 Schéma de l'appareil de test FRFA semi-automatique 98

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I: Méthodologie générale d'une étude ergonomique 145

ANNEXE II: Distance entre les yeux et le plan de travail 147

ANNEXE III: Rendement des sertisseuses lors des essais du prototype du "pull-test automatique" 148

ANNEXE IV: Relevé des postures 149

INTRODUCTION

Des problèmes musculo-squelettiques aux avant-bras ont été diagnostiqués chez un nombre grandissant de travailleuses du sertissage des sutures ces dernières années. En effet, plus de 6 cas ont été déclarés dans le seul mois de septembre 1991, chez des travailleuses affectées au sertissage de sutures chirurgicales.

Les intervenants en santé-sécurité de l'entreprise se sont inquiétés de cette recrudescence et ont initié une étude préliminaire des causes possibles de ces problèmes. Ils ont tenté d'évaluer l'importance du problème en fonction de le temps perdu et des coûts directs et indirects qu'a engendré l'absence des travailleuses indemnisées par la CSST. Les coûts directs et indirects ont été estimés à 122 000$ pour l'année 1991 seulement. Ces coûts sont engendrés par l'absence de 6 travailleuses bénéficiant de l'indemnisation de la CSST. Une présentation de ces coûts à la direction de l'entreprise à tôt fait de les convaincre de l'importance du problème et du besoin de trouver des solutions.

C'est dans cette optique que la présente étude ergonomique à été amorcée. Cette étude a donc pour objectif de déterminer s'il existe des liens de causes à effets entre le travail de sertissage et d'enroulage et les pathologies diagnostiquées chez certaines travailleuses de ces départements. Si de tels liens existent, des solutions devaient être élaborées afin

d'éliminer ou de diminuer à un minimum les risques de développer de telles pathologies dans l'exercice du travail. Pour ce faire, une connaissance du travail et des travailleuses doit être acquise pour ces deux postes de travail afin de pouvoir apporter des solutions valables et viables.

CHAPITRE I

STRUCTURES MUSCULO-SQUELETTIQUES DE L'AVANT-BRAS

Dans les milieux de travail, les divers problèmes musculo-squelettiques se traduisent par l'atteinte à la santé des travailleuses et des travailleurs ainsi que par des pertes d'argent et de temps pour les employeurs. Les pressions du milieu sont donc fortes pour trouver des causes à ces problèmes. On se rend rapidement compte, en parcourant la littérature sur le sujet, que les causes sont multiples et de diverses origines, nous parlerons donc ici de facteurs de risques plutôt que de causes. Pour vérifier un lien de cause à effet, il faut prendre en considération les quelques quarante facteurs de risque identifiés dans les études épidémiologiques (Silverstein et al., 1987; Kroemer, 1992; Armstrong et al., 1986; Kvarnstrom, 1983). Ces facteurs sont de diverses origines; reliés au travail, à l'activité physique en général ou aux caractéristiques personnelles.

Ces facteurs de risques ont été identifiés suite à des études épidémiologiques. Pour pouvoir déterminer la puissance de la corrélation entre les liens de causes à effets une étude épidémiologique doit respecter certains critères méthodologiques. L'équipe de Spitzer (1986) ainsi que l'équipe de Kuorinka (1995) ont utilisé différents critères pour juger de la qualité des études épidémiologiques, en résumé ils sont;

. type d'étude (étude expérimentale, étude de cohorte, étude de cas-témoins, étude analytique, enquête, étude transversale, étude de cas cliniques, étude descriptive)

. définition claire de la problématique et des objectifs;

. répartition aléatoire adéquate, dans une étude expérimentale, l'allocation du traitement à l'essai est distribué au hasard parmi les individus participant à l'étude;

. échantillonnage adéquat, c'est à dire la façon dont les individus sont choisis pour être inclus dans un ou plusieurs groupes d'une étude;

. puissance statistique, c'est à dire la probabilité de trouver une différence entre deux groupes à l'étude;

. critères objectifs d'évaluation pour les variables dépendantes, les variables dépendantes sont celles dont la valeur est susceptible d'être influencée par la valeur d'autres variables;

. évaluation des variables à l'aveugle, l'aveugle ne sait pas si le sujet fait partie du groupe-témoin ou du groupe expérimental;

. biais d'observation considérés, le biais d'observation est la classification incorrecte des sujets d'une étude quant à leur statut de « malade » ou d'exposition ou les deux;

. critères objectifs d'éligibilité des sujets (inclusion et exclusion);

. biais de sélection considérés;

. facteurs confondants connus considérés, ce sont des facteurs externes qui faussent les résultats d'une étude à cause de son association avec l'exposition et la maladie;

. analyse statistiques appropriée;

. conclusion en accord avec les données présentées;

. taux d'attrition considéré, c'est à dire le taux des personnes qui n'ont pas complété l'étude ou qui ont refusé d'y participer;

. reproductibilité de l'étude;

. la cohérence des hypothèses, c'est à dire qu'il y ait absence de contradiction entre les hypothèses et les connaissances actuelles dans les domaines reliés à l'étude.

Il faut aussi pour faire un lien de cause à effet justifié, bien identifier les problèmes à l'aide de diagnostics précis. De tels diagnostics sont rarement disponibles et rendent la tâche d'évaluation des risques dans le travail encore plus difficile. En connaissant mal les atteintes, on augmente de beaucoup l'incertitude reliée à la recherche des causes. L'importance du diagnostic est d'autant plus grande lorsqu'on se rend compte que les modalités de bris des structures tendineuses dépendent de ces dites structures. Un ergonome devra chercher des facteurs de risque différents pour un diagnostic de péritendinite que pour celui de ténosynovite, par exemple. Ces deux atteintes faisant

appel, comme il sera expliqué dans le prochain chapitre, à des facteurs de risques biomécaniques différents.

Ces facteurs de risques sont de deux grands types, elles sont d'origines personnelles (pathologies associées, variations anatomiques, âge, sexe, etc.) ou sont reliées à l'activité physique (effort et ses modalités, soit, notamment; répétition, angle de posture des segments, effort soutenu, etc.). Les associations faites, dans la littérature, entre les causes et les effets sont de nature épidémiologique. Pour valider ces associations, des études plus poussées doivent être menées pour mettre en lumière les mécanismes physiologiques, biomécaniques ou autres qui expliquent ces associations. Cependant, ce n'est que pour quelques rares cas que l'état des connaissances scientifiques actuelles peut confirmer des liens de causes à effets pour les troubles musculo-squelettiques. Toutefois, il nous est permis de faire des hypothèses plausibles en tenant compte de la structure des tendons et des connaissances biomécaniques que nous avons de ces structures ou de structures similaires.

1.1 La théorie de l'accumulation des micro traumatismes

On parle beaucoup dans la littérature de "Cumulative Trauma Disorder" (CTD). On se base donc sur une théorie d'accumulation des micro-traumatismes. On suppose alors que la lésion musculo-squelettique est l'aboutissement d'une sommation de traumatismes

crées au niveau des structures microscopiques. C'est à dire qu'à chaque fois que le mouvement à risque est répété, une ou quelques cellules meurent et c'est lorsqu'une quantité suffisante de cellules sont mortes qu'on peut être en présence des symptômes reliés à la lésion, dont notamment une réaction inflammatoire. Il est à noter que le phénomène inflammatoire ne se manifeste pas dans tous les cas de lésion musculo-squelettique.

Les symptômes de rougeur, de gonflement, d'hyperthermie sont des signes typiques du phénomène inflammatoire. Lors du bris des cellules, leur contenu se vide dans le milieu extra cellulaire et libère, entre autres, de l'histamine qui déclenche le phénomène de dilatation des vaisseaux de la micro-circulation aboutissant à une augmentation de l'activité sanguine dans les tissus. La présence d'histamine déclenche aussi le phénomène de filtration des liquides dans les tissus touchés résultant en un gonflement des tissus, une inflammation. Par ailleurs, ces conditions créent un appel aux polymorphonucléiques pour isoler et digérer les débris cellulaires laissés par les tissus affectés.

La répétition de mouvements ou de gestes à risque est un facteur de risque important et déclencheur dans l'apparition du phénomène inflammatoire. En se basant sur la théorie de l'accumulation des micro-traumatismes et sur l'hypothèse que la répétition de gestes ne peut déclencher à elle seule la lésion, on fait l'hypothèse que la répétition de

mouvements et de gestes à risque devient plutôt une condition essentielle à la lésion. Nous ne tenterons pas ici d'entrer dans le débat qui a cours pour définir la notion de répétition, mais plutôt d'illustrer comment elle est nécessaire à l'expression du phénomène inflammatoire. Il faut aussi que chacun ou un grand nombre de gestes répétés présentent des efforts suffisamment importants pour léser les structures. De même, le taux d'accumulation des micro-traumatismes doit être plus élevé que le taux de récupération de la structure (voir Figure 1.1).

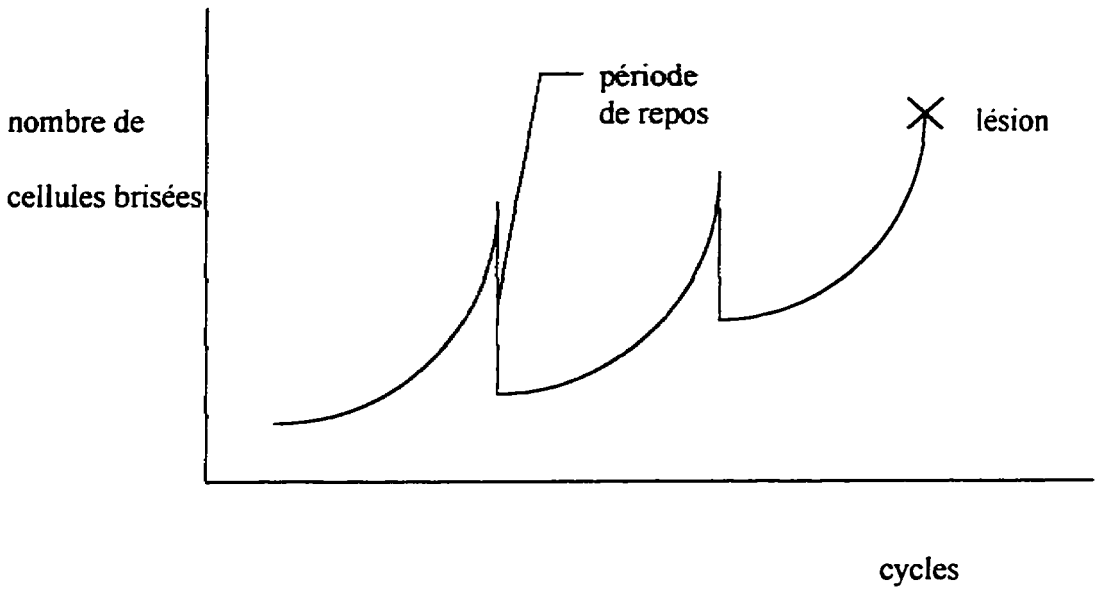


Figure 1.1 Phénomène d'accumulation des micro-traumatismes

Il nous apparaît évident qu'en se basant sur la théorie de l'accumulation de micro-traumatismes, une lésion aux structures tendineuses reliée aux gestes répétitifs se

produit sur une courte période de temps. L'hypothèse est la suivante, une combinaison de situations particulières; efforts musculaires du segment impliqué, efforts engendrés par un choc ou un traumatisme, postures qui changent la nature ou la grandeur des efforts locaux, répétition, prédisposition personnelle, etc., cause le bris de cellules au niveau de la structure muscculo-tendineuse, ceci affaibli la structure et lorsque le geste est répété, la lésion s'aggrave. On peut supposer que le nombre de cellules brisées s'accroît très rapidement de façon à mener à une lésion accompagnée d'un phénomène inflammatoire en quelques heures ou jours seulement. Nous excluons donc la possibilité qu'une lésion reliée à la répétition de mouvements ou gestes se manifeste après plusieurs années. Nous supposons plutôt qu'une exposition s'étalant sur plusieurs mois voire sur plusieurs années à des situations risquées peut cependant garder les structures musculo-tendineuses à la limite du seuil de déclenchement de la lésion et un changement des habitudes (méthodes de travail, cadences, horaires, ...) peut alors facilement mener à une lésion.

Dans cette situation, nous supposons donc que lors d'une activité habituelle, la personne devra être en présence d'un élément nouveau (modification de la cadence, de la résistance de la structure lésée, du mode opératoire, etc.) pour que se produise une atteinte attribuable à un geste ou à un mouvement répétitif. Certains auteurs mentionnent que les travailleurs sont atteints surtout lors de situations nouvelles, au retour de vacances ou encore lors des premiers jours d'un nouveau travail (Thompson et

al. 1951; Ayoub et Wittels, 1989; Moore et Garg, 1992). Ainsi, toute modification à l'organisation du travail qui augmente suffisamment les contraintes soumises aux structures musculo-tendineuses déclenchera alors le mécanisme qui mène à une lésion. Que ce soit;

. les méthodes de travail;

. l'aménagement du poste de travail;

. l'aménagement du temps de travail;

. les cadences;

. des modifications dans les exigences de la production;

. le stress ou autres facteurs psychologiques qui modifient le comportement des travailleurs et travailleuses de sorte à augmenter les contraintes soumises aux système musculo-squelettique, entre autre, en augmentant la vitesse d'exécution et par le fait même, la répétitivité ou encore en adoptant des postures contraignantes qui augmentent la charge du système musculo-squelettique;

. etc.

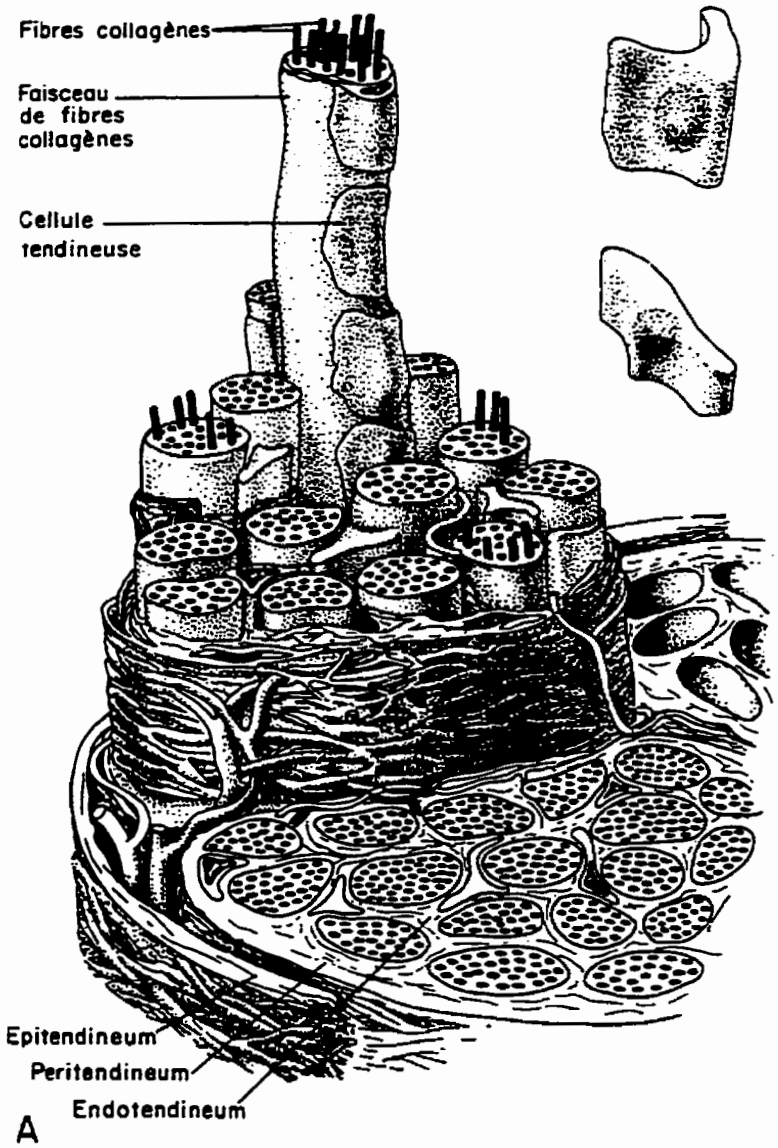
De plus, tout facteur qui aura pour effet de diminuer la résistance des structures musculo-tendineuses de façon temporaire ou permanente aura le même effet déclencheur.

1.2 Tendon

1.2.1 Description de la structure

Le tendon est principalement constitué de fibres de collagène. Ces fibres sont parallèles entre elles et sont dirigées dans l'axe de leur mise sous tension. Les fibres de collagène se groupent en paquets, ces paquets sont ensuite regroupés en plus gros paquets et ainsi de suite jusqu'à ce qu'ils forment la structure du tendon. Chacun des paquets est enveloppé par un tissu conjonctif qui est en mesure de maintenir les vaisseaux sanguins, les vaisseaux lymphatiques et les nerfs du tendon (voir Figure 1.2).

Le tendon contient peu de cellules vivantes (fibrocytes) et est peu vascularisé. Cependant, lorsqu'il y a rupture du tendon, le tissus peux se réparer malgré la faible vascularisation puisque la vascularisation capillaire est augmentée pendant le processus de régénération pour ensuite diminuer lorsque le tendon est complètement régénéré (Ham et Cormack, 1979).



Tissu conjonctif unitendu (tendon).
A. Reconstruction tridimensionnelle en microscopie optique.

Figure 1.2 Structures du tendon (de Maillet (1979))

La vascularisation des tendons varie d'un tendon à un autre et peut aussi varier le long d'un même tendon. Certains auteurs (Benjamin, Evans et Copp, 1986; Leonhart, 1977) ont remarqué que dans les zones du tendon où le frottement pourrait être combiné à des forces de compression importantes, les tendons présentent une structure fibrocartilagineuse dépourvue de vaisseaux sanguins. Jozsa et al. (1991) cite aussi des études qui démontrent que la vascularisation est diminuée dans les régions où les composantes de friction, de compression, de torsion et d'usure excessive sont importantes. La vascularisation du tendon est un facteur important dans la problématique puisqu'une zone avascularisée ne peut être le siège d'un phénomène inflammatoire important.

"Le tissus tendineux est peu extensible (au maximum 4-5%) mais il est très résistant à la traction (jusqu'à 500 à 1000 kg par cm^2, selon certains auteurs)"(Chèvremont, 1975). On devrait préciser ici que l'élongation du tendon de 4 à 5% se fait dans la partie élastique de la courbe de contrainte/déformation et que lorsque le tendon est mis sous tension à l'intérieur de cette plage d'extensibilité, il reprend sa forme initiale lorsque cesse la mise sous tension. Selon Pradas et Calleja (1990) la structure multicomposite du tendon, que représente les fibres de collagène dans une matrice de protéines, lui confère sa grande résistance et sa capacité d'absorber et de supporter les chocs.

La structure du tendon varie au point de vue anatomique, non seulement par des variations le long de leur cours mais leurs caractéristiques varient aussi de l'un à l'autre.

Des expériences faites sur les tendons de la main ont démontré cette affirmation dans les études de Wilson & Hueston (1973). En effet, lorsqu'ils ont observé des coupes transversales, ils ont pu voir que la forme du tendon et la direction que prennent les fibres qui le constituent varient le long de son cours. Ces auteurs signalent aussi que ces caractéristiques varient selon l'architecture interne, la position et la fonction du tendon.

Le tendon est donc un matériau rigide, peu vascularisé et dont les structures internes s'adaptent pour faire face aux contraintes auxquelles il est soumis.

1.2.2 Tendinite

La tendinite est une inflammation du tendon. L'inflammation se traduit par des signes typiques de chaleur, rougeur, douleur et tuméfaction. L'inflammation est le résultat d'un système puissant de défense et de régénération que nous avons décrit plus tôt dans ce chapitre. Dans le cas du tendon, il est possible de ne pas voir l'inflammation lorsque le tendon touché se retrouve sous d'autres couches de tissus.

Comme le sang est un acteur important dans le phénomène inflammatoire, il n'y a donc que les parties vascularisées du tendon où on peut observer une telle inflammation. Puisque la microvascularisation du tendon est réduite, il est permis de penser que le phénomène inflammatoire y est peu intense.

Il faudrait différencier dès maintenant la tendinite de la ténosynovite, de la péritendinite ou myotendinite et de l'épicondylite. La tendinite touche le tendon même tandis que les autres types d'inflammation touchent la gaine synoviale, l'insertion du tendon dans l'os ou la jonction myotendineuse, respectivement. Chacune de ces structures a des propriétés et une résistance biomécanique différentes l'une de l'autre appelant ainsi des modes de bris différents et des facteurs de risques différents.

1.3 Gaine synoviale

1.3.1 Description de la structure

Là où le tendon subit l'action du frottement dans des situations où il pourrait être endommagé, l'organisme le protège par l'action d'une gaine synoviale ou d'une bourse séreuse. Nous concentrons ici la discussion sur les gaines synoviales puisqu'on en retrouve abondamment dans l'avant-bras, région concernée par le présent mémoire. La gaine synoviale est donc une enveloppe à double paroi (voir Figure 1.3) qui entoure le tendon. Entre les doubles parois de la gaine se retrouve un lubrifiant, la synovie. La paroi interne de la gaine est attachée au tendon et la paroi externe, aux tissus environnant. Lorsqu'il y a un mouvement relatif entre le tendon et son entourage, les deux parois de la gaine bougent l'une par rapport à l'autre et transmettent l'énergie du frottement à la synovie.

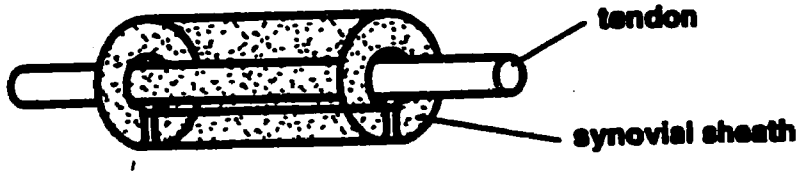


Figure 1.3 Gaine synoviale (de Nigg & Herzog (1994))

Les structures, au point de vue anatomique et histologique, de la gaine synoviales sont beaucoup moins documentées que celles du tendon. On trouve difficilement des études sur les propriétés mécaniques et structurelles des gaines synoviales dans la littérature médicale ou de biomécanique. Cependant, on sait que la structure interne de la gaine est semblable à celle de la membrane synoviale des articulations (Chèvremont, 1975; Verne, 1963) et que la synovie a les mêmes propriétés tant aux articulations qu'aux gaines. La gaine serait, tout comme les tendons, peu vascularisée et les réactions inflammatoires y sont peu intenses (Policard, 1965).

1.3.1.1 La synovie

La synovie est un liquide lubrifiant que l'on retrouve à l'intérieur des articulations, des gaines synoviales et des bourses séreuses. Les recherches sur les propriétés de la synovie sont surtout concentrées autour de son rôle de lubrifiant du cartilage osseux. Toutefois, on sait que la composition de la synovie aux articulation et dans les tissus mous est la même.

La synovie aurait deux principales fonctions; la nutrition et la lubrification des tissus. La membrane synoviale joue un rôle actif de contrôle de ces phénomènes en contrôlant le volume et la composition macromoléculaire de la synovie. L'acide hyaluronique serait l'agent principal de lubrification dans les gaines synoviales. La lubrification ne dépend pas seulement de la viscosité de la synovie, mais dépend surtout de la structure moléculaire de l'acide hyaluronique, qui elle, détermine la viscosité de la synovie (Swann, 1978). Certaines pathologies, telles que le rhumatisme affectent la viscosité de la synovie, ceci diminue les effets lubrifiants de la synovie sans toutefois les éliminer complètement (Swann, 1978).

La viscosité de la synovie est aussi affectée par des phénomènes physiques. La vitesse de cisaillement auquel est soumise la synovie lors des mouvements affecte sa viscosité; plus la vitesse est élevée, moins la synovie est visqueuse (Mow & Mak, 1987). On sait

donc que les propriétés de la synovie changent de façon ponctuelle afin d'assurer une lubrification maximale en toute circonstance.

1.3.2 Ténosynovite

L'inflammation de la gaine synoviale est appelée ténosynovite. Pour avoir une inflammation de la gaine il doit y avoir un bris de cellules. Un frottement excessif entre les deux parois de la gaine constitue la cause du bris des cellules la plus probable. Toute situation favorisant ce frottement serait donc un facteur de risque du déclenchement de la ténosynovite. Nous discuterons de ces facteurs de risque au chapitre suivant.

1.3.4 Tendinite de De Quervain

La tendinite de De Quervain est décrite comme étant une ténosynovite de la gaine qui recouvre l'abducteur pollicis longus ainsi que l'extenseur pollicis brevis le long de leur cours à travers la partie radiale du canal carpien (Lamphier, Crooker & Crooker, 1965). La friction ne serait, selon Muckart (1964), pas le facteur de risque le plus important puisqu'on blâme plutôt le coincement de la gaine dans l'apophyse radiale du poignet. Il a trouvé que les gaines des tendons montraient fréquemment des réactions inflammatoires chroniques.

Les tendons du pouce et leurs gaines synoviales, comme le démontrent les observations sur des dissections de poignets de cadavres ou lors de chirurgies, présentent de nombreuses variations anatomiques (Lamphier, Crooker & Crooker, 1965; Loomis, 1951). Muckart (1964) a aussi observé des variations anatomiques importantes lors de son étude. Cet auteur conclue que ces variations anatomiques ne sont pas des facteurs de risque important puisqu'aucun arrangement du tendon n'est particulièrement associés à la tendinite de De Quervain.

1.3.5 Syndrome du canal carpien

Le syndrome du canal carpien est caractérisé par une perte ou un ralentissement de la conduction nerveuse du nerf médian de la main. La personne atteinte ressent donc un engourdissement, et une perte de sensibilité dans la main. Des signes objectifs peuvent aussi être mesurés par le médecin, tel que la vitesse de conduction du potentiel d'action par EMG (Yamaguchi et al., 1965; Swajian, 1981; Massey, 1978).

Les symptômes du syndrome du canal carpien sont l'expression d'une compression du nerf médian du poignet. Le canal carpien étant normalement étroit, une légère augmentation du volume du contenu du canal peut mener à un syndrome du canal carpien.

La flexion du poignet engendrerait un risque plus grand que l'extension selon les études de Tanzer (1959). "Il semble probable que le mouvement incitateur dans bien des cas soit une flexion des doigts répétés en appliquant une force combinée à un certain degré de flexion du poignet" (traduction libre, Tanzer, 1959). L'auteur explique que lorsque les doigts sont fléchis et que le poignet est en extension, les tendons des fléchisseurs sont pressés contre le mur postérieur du canal carpien ce qui n'entraîne pas un coincement du nerf médian sur le mur antérieur du canal carpien alors que si les doigts sont fléchis et que le poignet est également fléchi, le nerf médian est alors coincé entre les tendons tendus et le mur antérieur du canal carpien avec une force proportionnelle à la force de préhension exercée.

Yamaguchi et al. (1965) propose trois hypothèses sur les causes de la compression du nerf médian; la protubérance d'un os à l'intérieur du canal carpien, la présence d'un corps étranger qui occupe de l'espace dans le canal (tumeur, lésion,...) ou encore l'inflammation des gaines synoviales des fléchisseurs des doigts.

On note dans plusieurs études que les femmes sont particulièrement touchées par le syndrome (Armstrong & Chaffin, 1979; Cseuz et al., 1966; Swajian, 1981; Yamaguchi et al., 1965). Les femmes semblent être particulièrement vulnérables lors de la ménopause et de la grossesse (Soferman et al., 1964; Björquvist et al., 1977; Massey, 1978). Une modification importante du système hormonal est probablement en cause

dans ces deux cas. On croit aussi que la rétention d'eau chez la femme enceinte pourrait augmenter le contenu du canal carpien, on traite donc avec un certain succès ces cas avec des diurétiques (Soferman et al., 1964).

L'âge semble un facteur important dans l'occurrence du syndrome du canal carpien (Cseuz et al., 1966; Phalen, 1951; Yamagushi et al., 1965). On explique cette hypothèse par une augmentation de l'épaisseur de la gaine synoviale des fléchisseurs (flexor synovialis), due à une augmentation du tissu fibreux ou à un phénomène de dégénérescence, chez les patients plus âgés (Yamagushi et al., 1965).

Comme on peut le constater, les hypothèses de facteurs de risque du syndrome du canal carpien sont multiples et sont de diverses origines.

1.4 Zone d'insertion du tendon dans l'os

1.4.1 Description de la structure

La structure du tendon diffère aussi au niveau de son insertion dans l'os, les fibres de collagènes, à ce niveau, viennent s'ancrer dans le tissu osseux. Il y a trois types d'attache entre le tendon et l'os ou le cartilage. Dans le cas le plus fréquent, la partie en périphérie du tendon se continue avec la couche fibreuse du périoste et la partie axiale s'implante

dans l'os de la même manière que les fibres de Sharpey ou encore elles se transforment en fibrocartilage. Lorsque le tendon s'attache à du cartilage, il y a une pénétration mutuelle du tendon et du cartilage pour former du fibrocartilage.

Les fibres de Sharpey s'insèrent dans l'os en formant des embranchement qui lui confèrent une plus grande solidité d'attache (voir Figure 1.4).

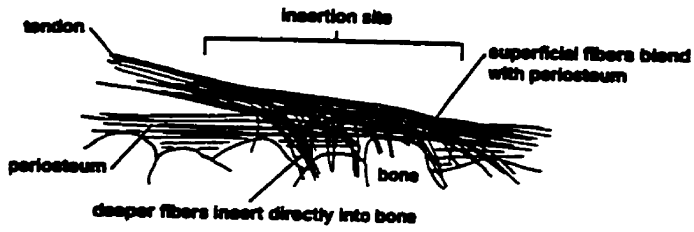


Figure 1.4 Insertion du tendon dans l'os (de Benjamin et al. (1986))

1.4.2 L'épicondylite

L'épicondylite est un problème d'insertion causé par le bris de cellules là où le tendon prend attache dans l'os. L'épicondylite est plus communément appelée "tennis elbow"

puisque les joueurs de tennis sont particulièrement atteints par cette lésion. Les milieux de travail peuvent aussi être à l'origine de cette lésion particulièrement là où il y a des mouvements répétés impliquant des grandes forces (Kuorinka et al., 1995). Les facteurs de risque de l'épicondylite seront discutés de façon plus détaillée dans le chapitre suivant.

1.5 Zone d'insertion du tendon dans le muscle

1.5.1 Description de la structure

L'insertion du tendon dans le muscle, contrairement à l'insertion dans l'os, se fait de sorte que les fibres du tendon sont parallèles aux fibres musculaires, les fibres du tendon viennent s'imbriquer dans les cellules du muscle (Ovalle, 1987; Tidball, 1983). Dans l'étude de Tidball (1983), on voit que les cellules du muscle, lorsqu'on les regardent au microscope électronique, se terminent en forme de cônes ou de doigts. Cette configuration permet de transmettre les forces sous forme de cisaillement plutôt qu'en tension ce qui permet ainsi une plus grande adhésion entre les fibres de collagène et les fibres musculaires. Cet arrangement particulier ne varie pas, contrairement au tendon, en fonction du type de muscle squelettique, de son emplacement dans le corps ou de l'espèce étudiée. La vascularisation de cette région est plus riche que celle du tendon (Schatzker & Brånemark, 1969).

1.5.2 Péritendinite ou Myotendinite

Comme nous venons de l'exposer, la jonction du muscle et du tendon est riche de vaisseaux sanguins qui peut devenir le siège d'une inflammation. Pour les muscles en surface, on pourra donc facilement observer l'inflammation à l'oeil nu.

Des auteurs (Howard, 1937; Luopajärvi et al., 1979) ont en effet noté une inflammation chez des patients dans la région proximale, donc plus près du coude, là où il n'y a plus de gaines synoviales que l'on retrouve au niveau du poignet et ses environs. L'hypothèse est qu'il s'agit d'une inflammation de la jonction myotendineuse. C'est pour cette raison que nous introduisons ici le terme de myotendinite, d'autres l'appelle péritendinite.

Le phénomène de la péritendinite n'est pas très documenté dans la littérature médicale, mais il serait plausible de croire que le phénomène inflammatoire au niveau de la jonction myotendineuse serait plus important étant donné la vascularisation plus riche que dans le tendon.

CHAPITRE II

ANALYSE BIOMÉCANIQUE DES FACTEURS DE RISQUES DE LÉSIONS MUSCULO-SQUELETTIQUES RELIÉES AU TRAVAIL

La problématique des troubles musculo-squelettiques est complexe. D'abord, parce qu'elle touche l'ensemble de l'appareil musculo-squelettique du corps humain, on peut donc parler aussi bien du dos que des articulations des membres supérieurs ou inférieurs. Comme nous l'avons mentionné au chapitre 1, la structure des tendons, pour ne parler que de cette structure anatomique, varie d'un tendon à l'autre et peut même varier le long d'un même tendon. Ces variations doivent donc modifier les réactions du tendon face aux contraintes auxquelles il est soumis. Toutes les variations inter et intra-structurales sont donc une source de complexité dans la problématique. De plus, on sait que les variations interpersonnelles sont aussi très grandes ajoutant ainsi un autre élément de complexité à la problématique. Ces variations expliquent en partie que ce n'est pas tous les travailleurs qui font un même travail qui sont atteints de lésions musculo-squelettiques. Étant donné cette complexité, des efforts dans le domaine de la recherche doivent être faits pour mieux catégoriser ou délimiter la problématique.

En général, on parle dans la littérature de problèmes musculo-squelettiques en énonçant des facteurs de risques communs à tous les problèmes musculo-squelettiques, notamment:

. la force;

. la répétition;

. les postures contraignantes;

. les vibrations;

. etc.

Toutefois nous croyions que ce n'est pas l'ensemble de ces facteurs qui s'appliquent à toutes les lésions musculo-squelettiques. En fouillant et en expliquant mieux la physiologie, l'histologie et l'anatomie des structures étudiées on se rend compte qu'on ne peut pas tout mettre dans le même panier. Ainsi, une lésion de la zone d'insertion du tendon à l'os ne se déclenchera pas dans les mêmes conditions qu'une lésion de la gaine synoviale. Dans ce chapitre, nous essayerons de mieux définir la problématique en fonction des structures tendineuses qui sont le siège de lésions dans l'avant-bras. Nous essayerons de trouver les facteurs de risque communs au déclenchement de ces lésions. Nous tenterons par le même exercice de mettre en lumière les facteurs qui concernent plus spécifiquement certaines structures plutôt que d'autres.

Par ailleurs, nous voulons mettre l'emphase ici sur le fait que d'autres facteurs de risque pouvant moduler les causes mécaniques qui sont aussi très importants dans la problématique des lésions musculo-squelettiques, par exemple:

. l'autonomie dans le travail;

. la variation dans les tâches;

. la formation (ou plutôt le manque de formation);

. l'organisation du temps de travail;

. etc.

Ces facteurs de risque sont souvent négligés dans la littérature et sont de nature à augmenter les risques de problèmes musculo-squelettiques. Soit en augmentant le niveau de stress général de la personne, ce qui augmente l'effort musculaire statique de certains muscles. Soit en augmentant le temps d'exposition à un travail à risque ou encore en faisant en sorte que le travailleur ou la travailleuse doit utiliser des modes opératoires de compromis qui engendrent plus de risques pour sa santé.

Nous voulons aussi souligner les aspects reliés à la gestion qui ont un impact sur les facteurs de risques, tels que:

. une équipe efficace pour la prise en charge de la prévention des lésions;
. l'ouverture d'esprit de la gestion, à tous les niveaux de la hiérarchie, sur tous les problèmes qui leur sont soumis;
. la sécurité d'emploi;
. le mode de gestion;
. etc.

peuvent avoir un impact important dans le développement des lésions musculo-squelettiques (Ayoub et Wittels, 1989). Il est certain que les lésions sont directement causées par les bris mécaniques des structures. Toutefois les derniers facteurs de risques, qu'on pourrait considérer d'indirects, n'en sont pas moins importants puisqu'ils ont une grande influence sur la communication des problèmes existants. Mettre à jour rapidement les problèmes vécus par les travailleuses et les travailleurs (douleurs, problèmes de production ayant un impact sur la charge de travail, etc.) favorise la prise en charge de la prévention des troubles musculo-squelettiques. Malheureusement, l'organisation du travail dans l'entreprise n'est pas toujours favorable à la bonne

communication et à la prise en charge efficace de la prévention des problèmes musculo-squelettiques.

Dans le processus d'identification des facteurs de risque, nous ne pouvons négliger de mentionner tous les processus d'adaptation du travailleur pour répondre à une situation nouvelle. Face a de nouvelles contraintes, l'organisme humain possède une excellente capacité d'adaptation au niveau cognitif autant qu'au niveau physique. L'organisme s'adaptera donc par différents moyens à son environnement comme par exemple par l'adoption de nouveaux modes opératoires ou encore par l'adaptation des structures anatomiques et physiologiques (adaptation au froid ou l'entraînement à l'activité physique, par exemple).

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent, la plupart des études concernant les problèmes musculo-squelettiques sont de nature épidémiologique. Bien que ces études soient utiles pour donner des pistes afin d'établir des liens de causes à effets, des études sur les possibilités anatomiques, physiologiques et biomécaniques doivent être faites pour expliquer scientifiquement lesquelles de ces causes sont reliées aux problèmes. Des études épidémiologiques ne peuvent à elles seules suffir pour établir un lien de cause à effet solide et valable. Elles peuvent toutefois indiquer une plus ou moins grande corrélation entre un facteur de risque et ses effets.

C'est dans cette optique que nous aborderons la discussion sur certains facteurs de risques biomécaniques qui ont été soulevés, la plupart du temps, suite à des études épidémiologiques.

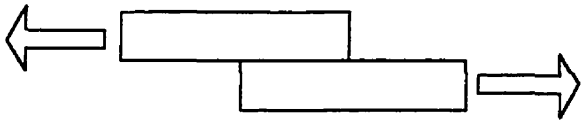
2.1 Éléments de biomécanique

Il serait d'abord indiqué de définir quelques grands principes de mécanique pour pouvoir poursuivre la discussion. Tout d'abord, il y a différents modes de contraintes auxquelles peuvent être soumises les structures musculo-squelettiques, les principaux sont:

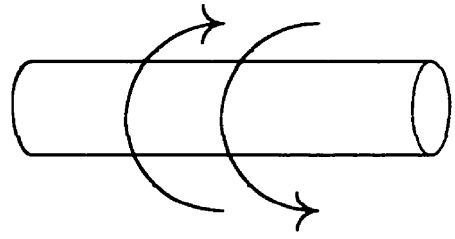
. tension

. compression

. cisaillement



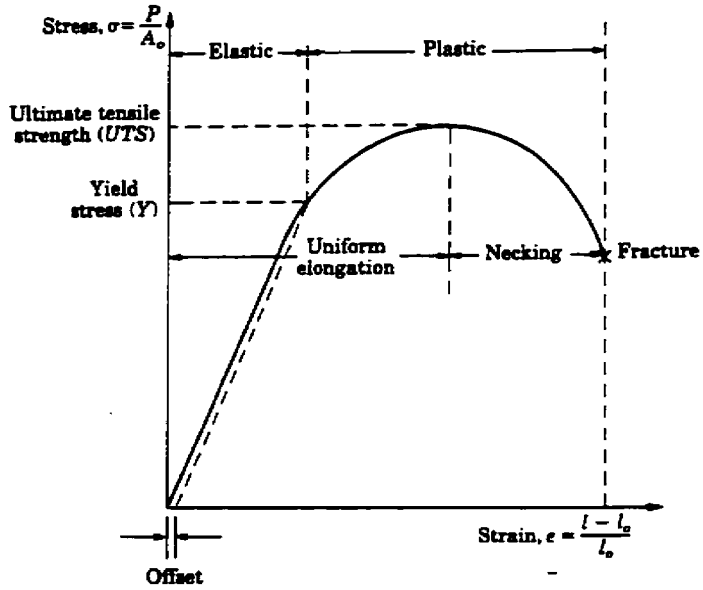
. torsion



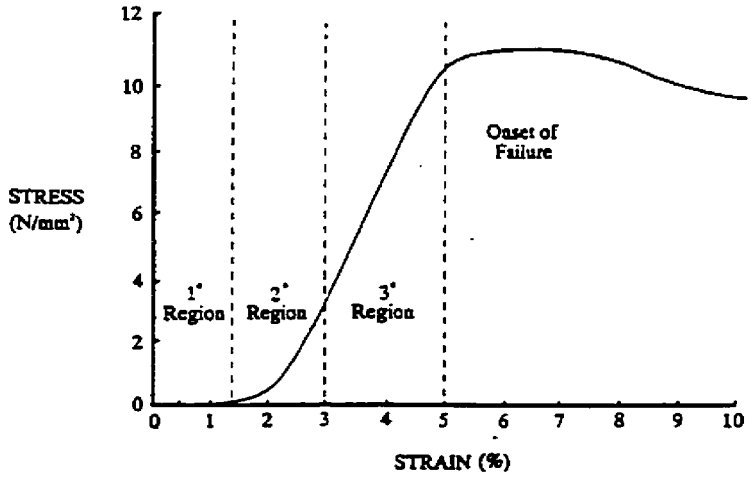
. mixte, une combinaison des modes énumérés ci-haut

Figure 2.1 Principaux modes de mise en contrainte

Lors d'une mise sous contrainte, la déformation que subit le matériau est d'abord élastique, c'est à dire réversible. Si on arrête de mettre sous contrainte le matériau, la pièce reprend sa forme initiale, il n'y a pas de dommage permanent. Si toutefois on continuait à augmenter la contrainte, on induirait alors une déformation plastique de l'objet. On ferait alors face à un dommage permanent, c'est à dire qu'en arrêtant la mise sous contrainte la pièce ne reprend pas sa forme initiale. Passé ce point, si on continue à augmenter la contrainte, on arrivera alors à la rupture du matériau (voir la courbe contrainte/déformation en Figure 2.2).



a) courbe contrainte-déformation typique (de Kalpakjian (1989))



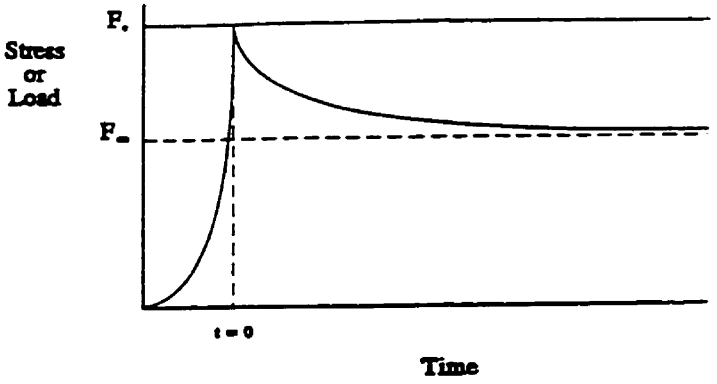
b) courbe contrainte-déformation du tendon (de Abrahams (1967))

Figure 2.2 courbe contrainte-déformation du tendon a) typique et b) pour un tendon

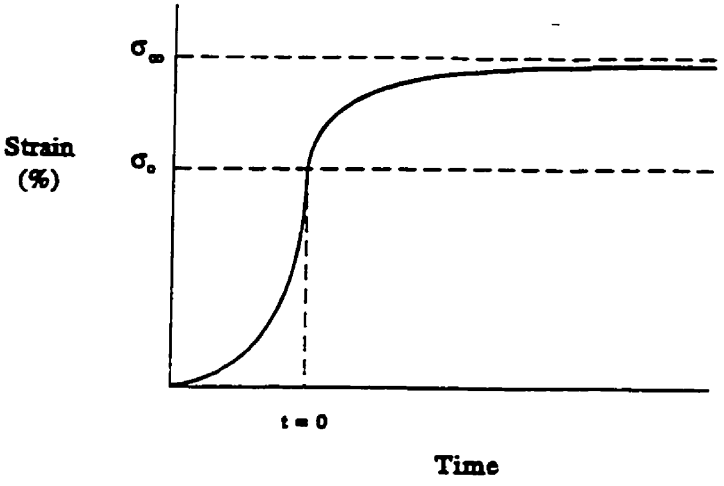
La fatigue est aussi un phénomène mécanique important dans la présente discussion. Un matériau peut atteindre la rupture à des contraintes plus petites que celles de la courbe contrainte-déformation, notamment lorsqu'il est soumis à des mises en contraintes

cycliques. Lorsqu'ils sont mis sous contrainte de façon répétée, la plupart des matériaux atteindront le point de rupture à des contraintes qui sont bien inférieures à leur résistance en tension (environ 50% pour l'acier, Kalpakjian (1989)). Ayoub & Wittels (1989) ont aussi souligné ce phénomène. On voit donc toute l'importance de cette caractéristique des matériaux sur la problématique discutée puisque les problèmes musculo-squelettiques sont associés à des mouvements ou à des gestes répétés qui pourraient donc induire une fatigue des matériaux des structures musculo-squelettiques. Ceci, en supposant que les matériaux biologiques répondent en fatigue de la même façon que les matériaux communément étudiés en ingénierie.

Un autre phénomène important est le fluage. Lorsqu'un matériau est soumis à une charge constante et qu'il n'a pas de restriction à la déformation on pourra observer un phénomène de fluage. C'est-à-dire qu'en maintenant une charge constante on pourra observer une déformation de plus en plus grande avec le temps (voir Figure 2.3). Pour chaque matériau, ce phénomène est fonction de sa température et de la charge supportée. De même, le phénomène de relaxation des contraintes peut aussi être observé lorsqu'on maintien un matériau à une élongation constante. Dans cette situation, on pourra observer que la résistance du matériau diminuera avec le temps (voir Figure 2.3).



a) Relaxation des contraintes. Lorsque l'élongation est maintenue constante, la contrainte diminue avec le temps.



b) Fluage. Lorsque la contrainte est maintenue constante, la déformation augmente avec le temps.

Figure 2.3 relaxation des contraintes et fluage (de Moore & Garg (1992))

Tous ces phénomènes de résistance des matériaux sont bien connus des ingénieurs et nous posons ici l'hypothèse que les matériaux biologiques suivent ces lois de la résistance des matériaux. Toutefois, nous le verrons dans les sections de ce chapitre qui suivent, certains types de matériaux tels que les composites et les matériaux viscoélastiques peuvent avoir des comportements plus complexes lorsqu'ils sont mis en

contraintes tout en respectant les lois générales que nous venons d'exposer dans cette section.

Nous allons comparer, tout au long de ce chapitre, les matériaux biologiques qui composent les structures musculo-tendineuses à des matériaux mieux connus dans le domaine de l'ingénierie tels que les composites et les matériaux viscoélastiques. Cette hypothèse supportée par plusieurs auteurs (Ayoub & Wittels, 1989; Baratla & Solomonow, 1991; Dale & Baer, 1974; Fung, 1973; Moore & Garg, 1992) est donc un fondement essentiel des tentatives d'explication des lésions musculo-squelettiques et représente, nous en sommes conscients, une simplification de la réalité. Puisque les propriétés mécaniques de ces tissus biologiques ne sont pas encore très connues, il nous semble important d'en traiter afin de tenter de faire avancer le débat.

Les vibrations sont aussi un risque mécanique pour les structures musculo-tendineuses. Les vibrations sont définies par deux principales caractéristiques, l'amplitude et la fréquence (voir la Figure 2.4). Les matériaux du corps humains, comme tous les matériaux, ont une ou plusieurs fréquences de résonance. Il existe une ou plusieurs fréquences propres à chaque matériaux pour laquelle l'amplitude de vibration augmentera avec le temps au lieu de s'atténuer ou de rester stable, c'est la fréquence de résonance. Avec le temps, l'augmentation de l'amplitude pourra mener à un dommage du matériaux et même sa rupture. C'est par ce phénomène que les vibrations peuvent être un risque important pour les structures musculo-tendineuses de même que pour toutes les autres structures du corps humain.

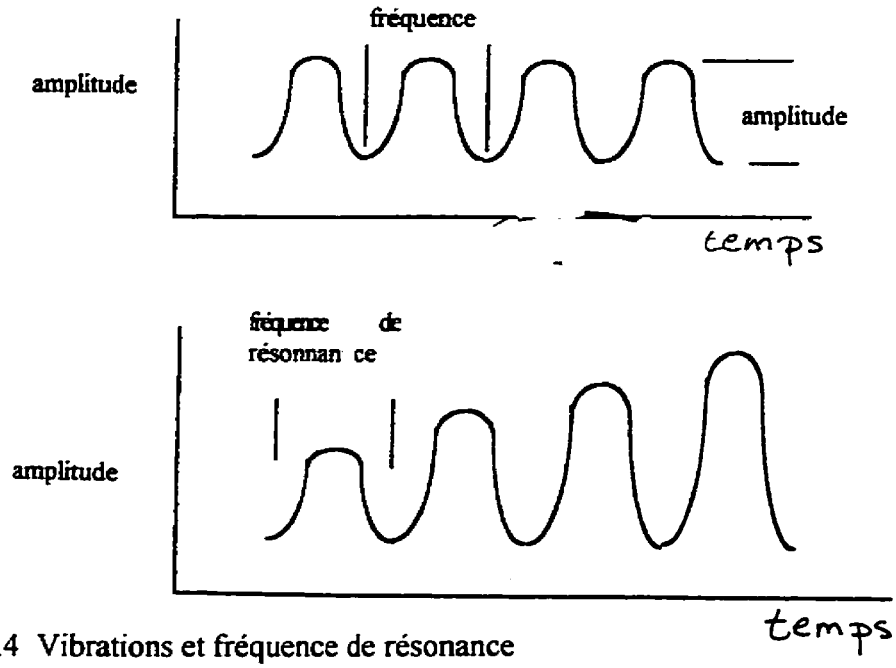


Figure 2.4 Vibrations et fréquence de résonance

2.2 Tendon

2.2.1 Tension

La possibilité de bris en tension est présente au niveau du tendon, puisque chaque contraction musculaire, et donc le raccourcissement du muscle, engendre une contrainte en tension pour le tendon. Ce phénomène étant courant, on pourrait penser qu'il s'agit là de la principale modalité de bris pour un tendon. Toutefois, la force engendrée par une contraction musculaire maximale équivaut à une élongation de moins de 3% et ne peut donc pas se traduire en bris en tension du tendon (Moore & Garg, 1992). Un bris en tension du tendon implique que la mise sous contrainte dépasse la résistance en tension du tendon. Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte pour arriver à la rupture, dont;

. la charge de la mise en tension;

. la vitesse de la mise en tension;

. la résistance de la structure en fonction du temps.

Il est évident que plus la charge est grande, plus il devient possible d'atteindre le point de rupture du tendon (voir Figure 2.2).

Par ailleurs, la vitesse à laquelle la charge est appliquée est aussi un point important comme facteur de risque puisque dans des conditions où la vitesse de mise sous tension est très rapide il y a alors un impact. Une telle situation d'impact peut mener à la rupture (Ayoub et Wittels, 1989; Kalpakjian, 1989). Ils rapportent aussi que le taux de stress (stress rate) ou plutôt la vitesse à laquelle sont soumises les structures musculo-squelettiques déterminent quelles structures seront les plus touchées. « Lorsque le stress est appliqué lentement, un bas niveau (de stress) peut être suffisant pour initier la rupture du muscle/tendon » (traduction libre de Ayoub et Wittels, 1989). Tandis que dans des cas de mouvements violents comme dans le cas d'activités sportives la fracture se situera plutôt au niveau de l'os ou dans des cas extrêmes au niveau de l'insertion du tendon dans l'os.

La résistance de la structure peut aussi changer en fonction du temps. Comme nous l'avons expliqué plus tôt, les matériaux sont vulnérables à la fatigue. Lorsqu'ils sont soumis à une répétition de mise en tension, la résistance du matériau devient alors moins grande. Stinchcomb et coll. (1975) ont fait des travaux sur l'effet de la fréquence sur la fatigue de deux types de matériaux composites. Ils ont trouvé que ces matériaux ne répondent pas de la même manière à la fatigue lorsque la fréquence de la mise en

contrainte varie. Nous pouvons penser que la fréquence de la répétition des mouvements qui mettent sous tension le tendon, que nous qualifions de matériaux composites, est un facteur de risque à ajouter à notre liste. La résistance de ces matériaux en fatigue ne serait donc pas seulement variable en fonction de la température et du nombre de cycle, mais aussi de la fréquence de mise en contrainte. Pour les matériaux viscoélastiques la réponse en fatigue dépend aussi du taux ou de la vitesse déformation (strain rate) (Stinchcom et coll. (1975); Silver (1987).

Bien que la courbe contrainte/déformation nous donne la résistance maximale du tendon et que cette résistance soit bien au-delà des forces générées par une contraction musculaire maximale, force nous est de constater que bien d'autres facteurs viendront influencer la résistance du tendon lorsqu'il est mis sous tension de façon cyclique comme c'est souvent le cas dans les situations de travail répétitif. En résumé, ces facteurs de risque de bris du tendon en tension sont:

. la charge ou effort soumis;

. la vitesse de la mise en tension (strain rate);

et, . la fréquence du cycle de mise en tension.

Dans la littérature, les facteurs de risque pour les problèmes musculo-squelettiques comprennent l'effort musculaire. Il serait intéressant d'évaluer la différence entre un effort musculaire statique et dynamique, qui engendrent tous deux une élongation du tendon comparativement à la position de repos, puisque cette élongation se traduit ensuite en contraintes au niveau du tendon. Ces contraintes se manifestent principalement à trois niveaux; en mettant sous tension le tendon lui-même, en mettant sous tension la jonction myotendineuse et en mettant sous compression les gaines

synoviales qui pourraient être attachées au tendon mis sous tension. Nous n'avons cependant pas pu trouver dans la littérature de comparaison entre les contraintes suscitées par un effort dynamique et un effort statique.

Cependant, lors d'un effort musculaire statique prolongé, on pense que le matériau viscoélastique du tendon est vulnérable au phénomène de relaxation des contraintes. On retrouve dans la littérature une étude sur le fluage des tendons (Hooley & Cohen, 1979), cette étude est utile pour mieux connaître les propriétés mécaniques des tendons, toutefois, en situation réelle lorsque le muscle est en contraction isométrique, on pourrait plutôt parler de relaxation des contraintes puisque dans ce cas, le tendon n'est pas libre de se déformer davantage. Dans cette situation de relaxation des contraintes, la déformation du tendon reste constante et sous l'action d'une charge constante qui est appliquée sur une période plus ou moins prolongée de temps, la résistance du matériau deviendrait moindre.

2.2.2 Compression

Dans les cas où le tendon passe sur une poulie, c'est à dire lorsqu'il passe sur un ligament, sur un os ou sur tout autre structure musculo-squelettique, il se retrouve alors a être soumis à une compression radiale à la zone de contact avec la poulie (voir Figure 2.5). Goldstein et al. (1987) ont étudié les effets biomécaniques d'une mise en tension pour le tendon et la gaine synoviale et ont trouvé qu'une fraction importante (jusqu'à 40%) de la contrainte produite était absorbée sous forme de contrainte en compression des différentes structures du tendon le long de son parcours. Cependant, on remarque

qu'à ces endroits où la compression est présente, l'organisme se protège en se munissant de bourses ou de gaines contenant un lubrifiant qui vient contrer l'action du frottement ainsi qu'une structure fibrocartilagineuse dépourvue de vascularisation, ce qui prévient aussi le phénomène inflammatoire (Moore & Garg, 1992). On peut alors dire que ce mode de bris apparaît peut probable à première vue dans le déclenchement de la tendinite étant donné tous les mécanismes en place pour prévenir les atteintes à ces endroits

Toute déviation de la posture qui ont pour effet d'augmenter les contraintes en compressions sont aussi un facteur de risque pour les structures du tendon.

Outre le tendon, la structure la plus touchée par ces contraintes est sûrement la gaine synoviale (Moore & Garg, 1992). Nous traiterons plus en détail de la gaine synoviale dans la section qui suit.

Les principaux facteurs de risque mis à contribution pour les contraintes en compression sont;

. l'effort musculaire

. l'anatomie des structures tendineuses et des articulations (sur lesquelles passent le tendon et sa gaine)

. les postures qui augmentent les contraintes en compression soumises au tendon

. les propriétés des matériaux impliqués (coefficient de friction, etc.)

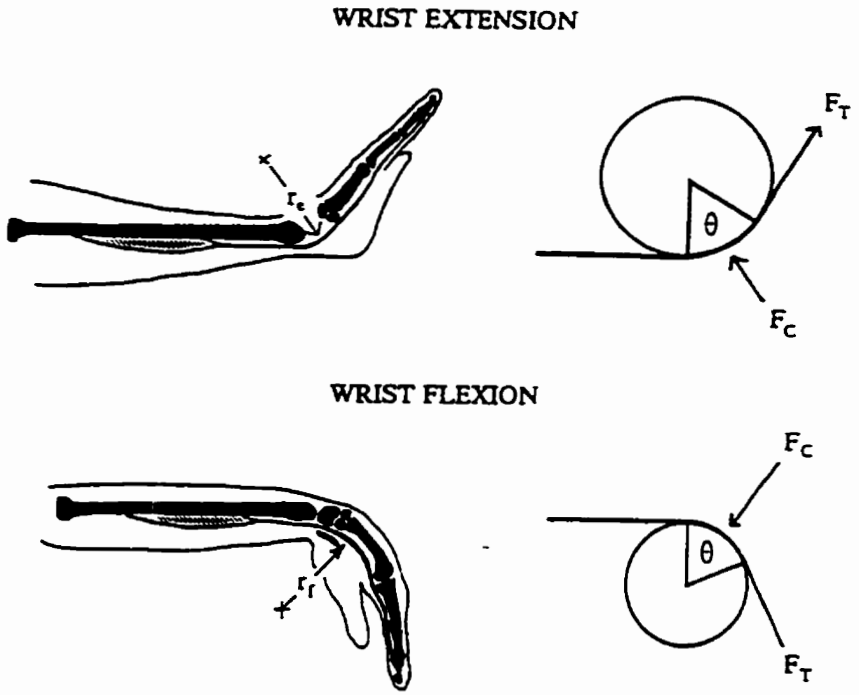


Figure 2.5 Compression radiale du tendon lors du passage sur une poulie (Moore & Garg (1992))

2.2.3 Cisaillement

Le bris de fibres du tendon causé par des contraintes en cisaillement est pratiquement impossible étant donné sa structure anatomique. Les fibres étant parallèles entre elles, elles seront mises sous tension plus ou moins également les unes par rapport aux autres. Cependant, la friction peut se manifester à la surface du tendon et les fibres peuvent être soumises au cisaillement. Encore une fois, lorsque le tendon est soumis à de telles

contraintes, il se protège par des bourses et des gaines synoviales qui viennent absorber l'énergie du frottement. Nous devrions alors plutôt parler de ténosynovite et de bursite.

2.2.4 Torsion

Le tendon peut aussi être soumis à la torsion. Dans le cas où par exemple des mouvements implique une déviation de l'axe principal du muscle, le tendon sera alors soumis à une légère torsion. Par exemple, si on fait un mouvement de rotation de l'avant-bras, les muscles de l'avant-bras seront alors dans une position qui entraîne une petite sollicitation en rotation du tendon constituant ainsi un effort en torsion.

Les facteurs de risques pouvant mener à une tendinite sont regroupés sous un format schématique à la Figure 2.6.

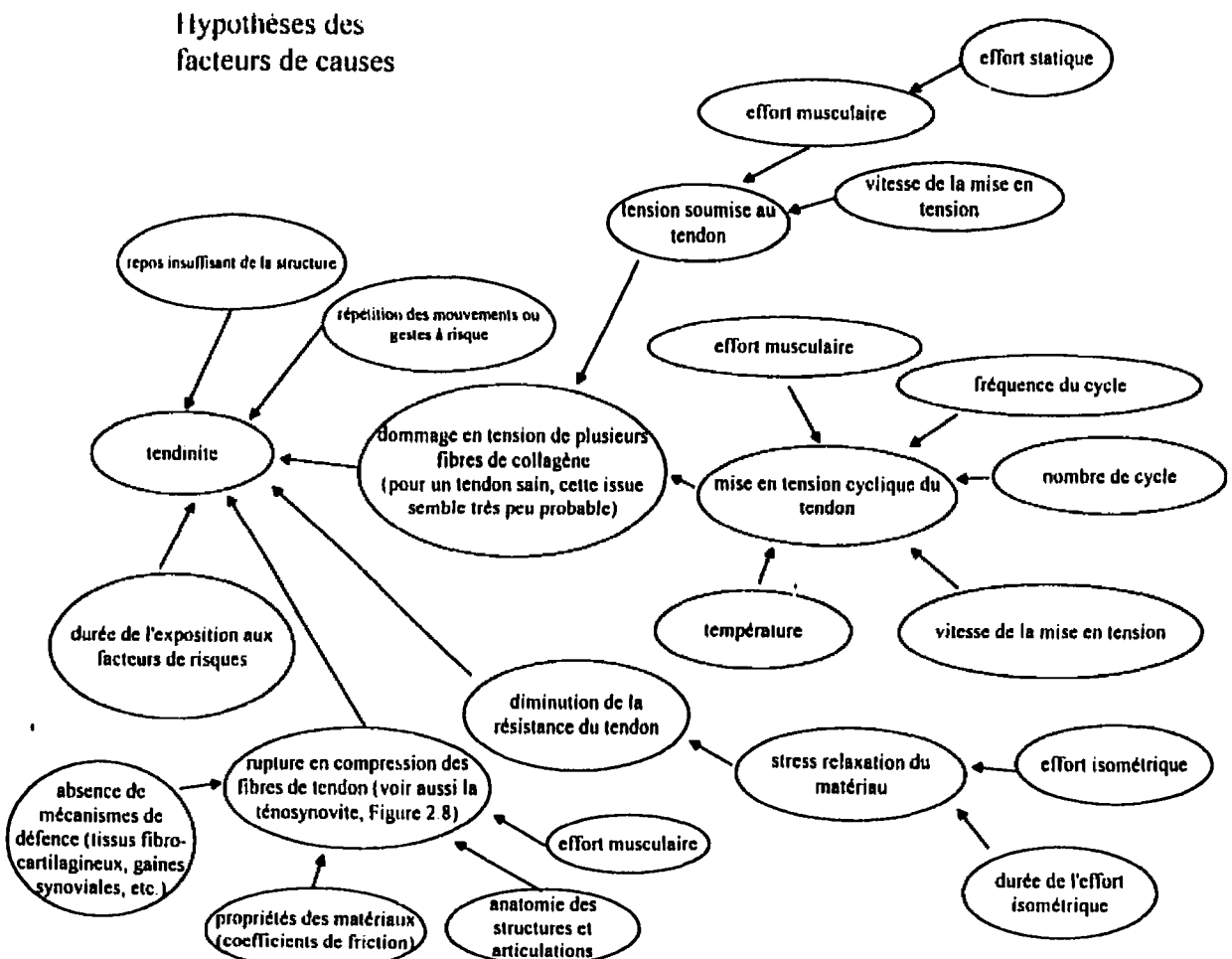


Figure 2.6 synthèse des facteurs de risque pouvant mener à la « tendinite »

2.3 Gaine synoviale

Comme nous l'avons mentionné plutôt, les tendons peuvent être fréquemment soumis à une friction à plusieurs endroits dans le corps humain. À ces endroits, une gaine synoviale, ou dans d'autres cas une bourse, vient recouvrir le tendon et vient absorber l'effet de la friction sous l'action de son lubrifiant, la synovie (Benjamin et al., 1986). L'inflammation de la gaine synoviale serait donc principalement causée par une irritation de la paroi de la gaine sous l'effet de la friction dans des conditions extrêmes.

Nous allons poser comme hypothèse initiale que les principaux modes et mécanismes de lubrification des gaines synoviales sont les mêmes que ceux des articulations. Nous croyions cette hypothèse justifiée puisque le lubrifiant est le même, sa provenance est la même et les modes de lubrifications sont ceux de matériaux viscoélastiques. Notons, entre autre, que la gaine synoviale du tendon de la longue portion du biceps (proximale) partage la même synovie que l'articulation de l'épaule. Bien que le cartilage soit un matériau plus rigide que la membrane synoviale, ce sont tous deux des matériaux viscoélastiques.

En tribologie, trois grands modèles de lubrification s'appliqueraient aux situations rencontrées au niveau de la gaine synoviale, ce sont;

. la lubrification hydrodynamique;

. la lubrification limite (traduction libre de « boundary lubrication »);

. la lubrification par film.

Ces modes de lubrification sont en ordre décroissant d'efficacité. C'est-à-dire que la lubrification hydrodynamique est meilleure que la lubrification limite et cette dernière est plus efficace que la lubrification par film.

La lubrification hydrodynamique est caractérisée par la présence d'une couche de lubrifiant assez épaisse qui empêche tout contact entre les deux surfaces. Lorsque la couche de lubrifiant s'amincit et qu'une certaine proportion des aspérités des surfaces peut entrer en contact, on a alors affaire à une lubrification limite. Et si finalement la couche devient tellement mince qu'il ne reste qu'une monocouche, c'est-à-dire une seule couche moléculaire du lubrifiant on aura alors une lubrification par film. On s'aperçoit donc que pour des caractéristiques de surfaces identiques, il y a plus de risques de créer des dommages aux surfaces lubrifiées par un film de lubrifiant que lorsque ce dernier sépare complètement les deux surfaces.

Les facteurs influençant l'épaisseur de la couche de lubrifiant sont;

. la cinématique du mouvement entre les deux surfaces; à haute vitesse, on sera en présence d'une lubrification hydrodynamique;

. la charge ou la force normale supportée par les surfaces portantes; plus la charge est grande plus la couche de lubrifiant sera mince;

. la propriété des matériaux en contact;

. la propriété du lubrifiant.

Mow et Mak (1987) ont présenté des équations basées sur des simplifications qui peuvent déterminer si la lubrification hydrodynamique est possible. Ces équations sont d'un intérêt certains pour la présente discussion, mais les données sur la morphologie des gaines synoviales ne sont pas disponibles pour permettre l'utilisation de ces équations. On ne pourra donc qu'estimer de façon empirique que plus la vitesse du mouvement et la charge supportée est petite, meilleure sera la lubrification. Toutefois, il est important de savoir que les propriétés de l'acide hyaluronique, un des composants de la synovie, changent en fonction de la vitesse de déformation du lubrifiant (strain rate) et qu'à basse vitesse sa viscosité est plus grande, ce qui permettrait donc de maintenir une couche plus épaisse de lubrifiant dans ces cas courants.

Mow & Mak (1987) ont présenté les différents mécanismes responsables de la lubrification des articulations, nous en ferons ici un résumé. Tout d'abord, la lubrification élastohydrodynamique est caractérisée par l'action combinée de la

déformation élastique des surfaces portantes pour maintenir une lubrification par film suffisante.

Une autre hypothèse avancée pour expliquer le maintient d'une lubrification par film, lorsque les deux surfaces sont pressées l'une sur l'autre, est que le cartilage suinte de la synovie en quantité suffisante pour maintenir une certaine épaisseur de lubrifiant. On appelle ce mécanisme la lubrification par suintement (weeping lubrication).

Par ailleurs, d'autres auteurs cités par Mow & Mak (1987) ont avancé que dans les mêmes circonstances, c'est-à-dire de compression des deux surfaces l'une sur l'autre, l'eau est filtrée de l'extérieur du film vers le cartilage, ou de façon hypothétique la membrane synoviale, pour laisser un lubrifiant à très forte concentration en complexe protéiné d'acide hyaluronique. L'efficacité de la lubrification serait donc maintenue par la présence en forte concentration du principal ingrédient actif de lubrification. On appelle ce mécanisme la lubrification améliorée (boosted lubrication). Finalement, pour les cas où il n'y a pas de glissement entre les deux surfaces et que les surfaces sont pressées l'une contre l'autre, il y a déformation des surfaces forçant le lubrifiant à s'écouler aux points des efforts les plus grands. C'est ce qu'on appelle la lubrification par emprisonnement (squeeze-film lubrication). Une certaine épaisseur du film pourrait ainsi être maintenue pendant une courte période de temps (environ 60 secondes ou un peu plus).

Mow & Mak (1987) concluent dans leur ouvrage que chacun de ces mécanismes de lubrification peuvent être mis en place tout dépendant de la situation à laquelle est soumise l'articulation et de l'évolution de cette situation dans le temps. Ainsi, les différents mécanismes de lubrification seraient mis à contribution en fonction de la nature du mouvement, de la charge appliquée et des propriétés des matériaux des surfaces portantes.

Les principaux facteurs qui influencent l'efficacité de la lubrification au niveau de la gaine synoviale sont donc;

. la charge supportée par les deux parois de la gaine synoviale;

. la cinématique du mouvement qui engendre la friction entre les deux parois de la gaine;

. les propriétés des matériaux, c'est-à-dire des deux membranes synoviales;

. les propriétés des lubrifiants.

Lorsqu'on parle de la charge supportée par les deux parois, on parle ici de la force normale (voir Figure 2.7) qui est appliquée. Cette force peut être due à une pression externe sur la gaine, par exemple lorsqu'on s'appuie sur le coin d'une table. Une force normale est aussi présente lorsque le tendon est soumis a des efforts en tension qui ne

sont pas purement axiaux, lorsqu'il passe sur des poulies par exemple. Une fraction des contraintes soumises au tendon, lorsqu'il est mis sous tension, est absorbée par l'interface entre le tendon et la gaine synoviale (Goldstein et al. (1987)). Ces auteurs ont également trouvé que pour les tendons de la face interne du poignet, ces contraintes soumises localement à la jonction du tendon et de la gaine synoviale sont plus grandes lorsqu'il y a une flexion ou une extension du poignet.

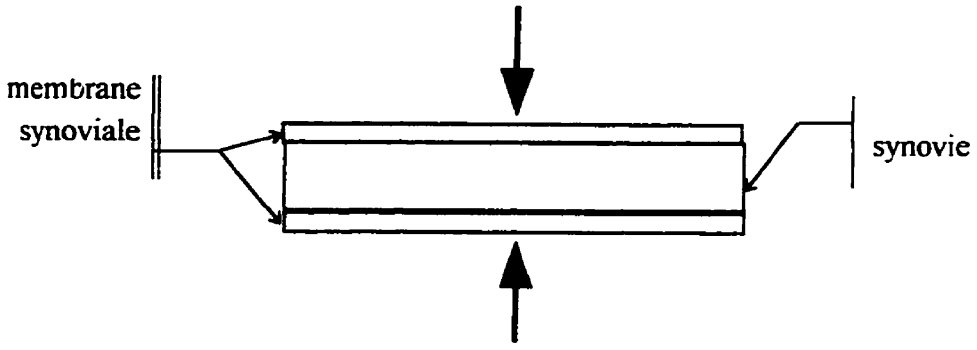


Figure 2.7 Force normale sur les deux parois de la gaine synoviale

Le mouvement qui engendre la friction entre les deux parois peut aussi avoir un effet important sur l'efficacité de la lubrification puisque comme nous l'avons expliqué plutôt, les propriétés de l'acide hyaluronique, un composant de la synovie, changent avec la vitesse du fluage du liquide. Ainsi, lorsque la vitesse est basse la viscosité de la synovie est plus élevée qu'a haute vitesse. De plus, on sait que lorsque la vitesse entre les deux parois est grande nous pourront observer une lubrification hydrodynamique qui sépare les deux parois complètement. Il n'y aura donc pas de chances de contact entre les deux parois.

Les propriétés des matériaux influencent aussi la qualité de la lubrification. Ainsi, on sait que puisque les constituants de la synovie sont des dérivés du sang, n'importe quel facteur qui influence la perméabilité vasculaire cause un changement dans la composition de la synovie. Ces changements peuvent être temporaires et normaux, par exemple lors d'activité physique ou ils peuvent être d'origine pathologique et chronique comme dans le cas de l'arthrite rhumatismale.

Dans le domaine de la tribologie, un autre facteur important dans la qualité de l'action du lubrifiant est la température. En effet, la viscosité du lubrifiant est modifiée sous l'effet de la température. Généralement, un lubrifiant devient plus visqueux à basse température. Toutefois dans le cas de la synovie la température n'a pas été identifiée dans la littérature parmi les facteurs qui influencent la viscosité (Swann, 1978; Mow & Mak, 1987; Dumbleton, 1981). Cette hypothèse n'est toutefois pas exclue et il nous semble tout à fait probable et plausible que la viscosité de la synovie soit altérée en fonction de la température.

De plus, nous posons l'hypothèse qu'il est probable qu'un mouvement cyclique puisse engendrer une usure en fatigue des deux parois. Ce phénomène n'est cependant pas discuté dans la littérature concernant les gaines synoviales. Toutefois, il nous apparaît probable que la répétition de mouvement qui risquent de faire entrer en contact les deux parois de la gaine synoviale accélérera le processus menant à la ténosynovite.

Il est à noter qu'aucun calcul n'a pu être fait pour quantifier les probabilités d'un dommage aux surfaces de la gaine synoviale en raison du manque de données sur les propriétés mécaniques de la membrane synoviale.

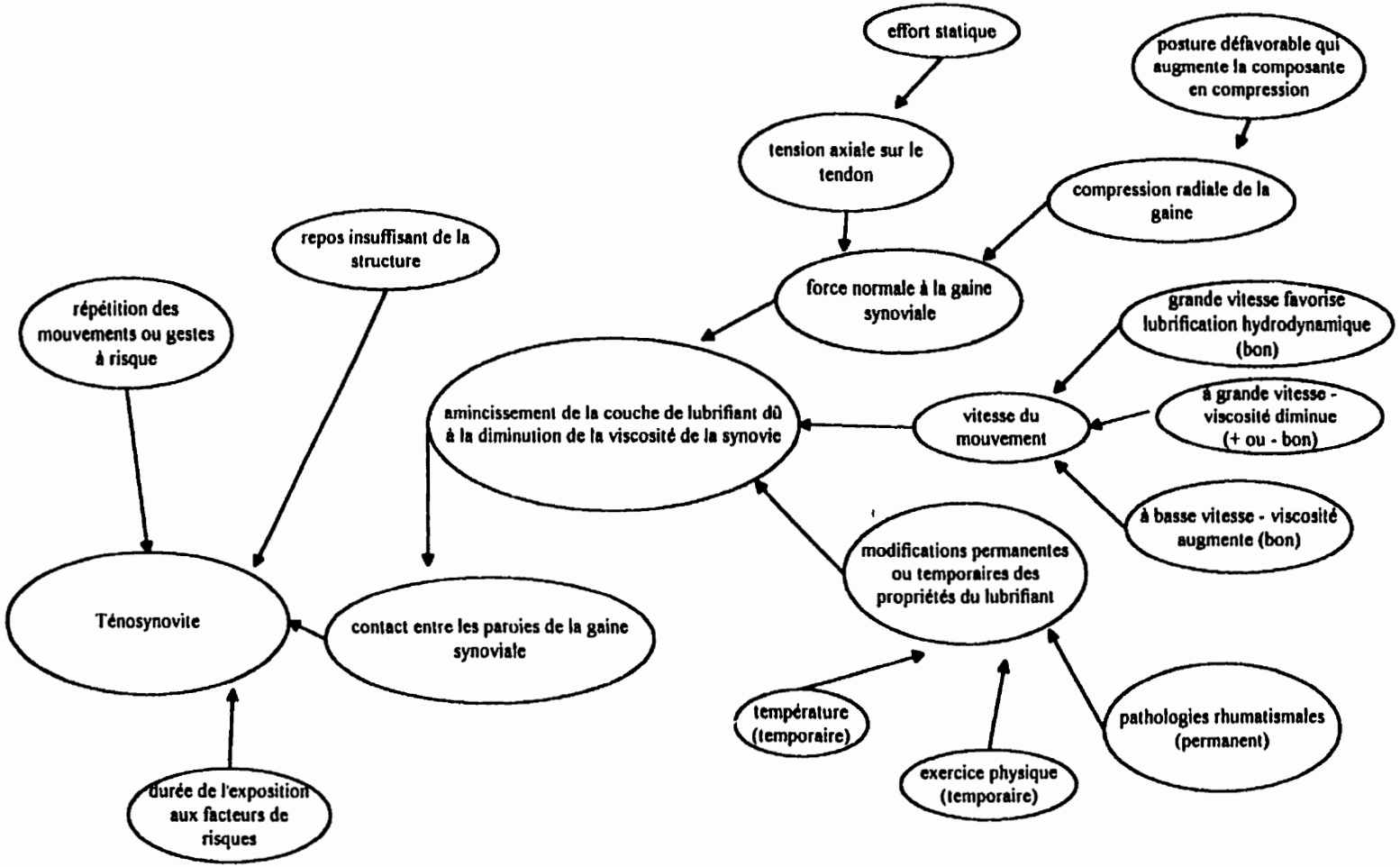


Figure 2.8 Synthèse des facteurs de risque de la ténosynovite

2.4 insertion du tendon dans l'os

La structure de l'insertion dans l'os lui confère une grande solidité. Comme dans la plupart des cas l'insertion se fait par une arborescence des fibres du tendon à l'intérieur de l'os de façon perpendiculaire au tendon et que cette arborescence se ramifie dans toutes les directions, il est donc permis de croire que cette structure est d'une grande solidité et est adaptée pour supporter différents types de mise en tension. Malgré cela, nombreux sont les gens qui sont affectés par l'épicondylite. Nous croyions que les facteurs de risques principaux pour déclencher un bris du tendon au niveau de l'insertion dans l'os sont;

. des efforts musculaires importants;
. la vitesse à laquelle est mis le tendon sous tension;
. les postures défavorables.

Étant donné la grande solidité de l'attache par une grande surface de contact et dans toutes les directions des fibres du tendon qui s'insèrent dans l'os on sait que les contraintes nécessaires pour briser les liens entre le tendon et l'os doivent être grandes. Cependant, d'autres facteurs peuvent venir augmenter les contraintes sur cette structure. La vitesse du mouvement peut faire en sorte que les forces transmises au tendon sont des forces d'impact susceptibles de mener à la rupture du tendon à son insertion (Rodineau & Saillant, 1986; Ayoub & Wittels, 1989).

La posture est aussi un facteur qui contribue à augmenter les contraintes localisées à une partie seulement de l'arborescence sharpeyenne. Par exemple, la combinaison d'un

certain angle et d'une force importante appliquée au niveau de l'avant-bras peut faire en sorte que la force soit distribuée de façon non uniforme dans l'arborescence du tendon dans l'os de sorte à supporter un important pourcentage de la force appliquée sur quelques branches de l'arborescence. Ceci aurait pour effet de concentrer la force appliquée à une petite partie de l'ancrage et engendrerait des risques de lésions plus grands pour cette partie localisée de la structure. Avec le phénomène de la répétition, essentiel à l'accumulation de micro-traumatismes, cette application d'une force pourrait engendrer une lésion à un point localisé de l'insertion du tendon dans l'os.

D'autres phénomènes pathologiques peuvent mener à l'épicondylalgie mais nous désirons orienter notre discussion sur le phénomène de la tendinite d'insertion (ou enthésopathie) à l'épicondyle dû à un travail répété. Ainsi, la Figure 2.9 résume les facteurs de risques biomécaniques qui entrent en compte dans l'étiologie de cette forme de tendinite.

2.5 insertion du tendon dans le muscle

Les forces qui sont soumises à cette région bien particulière, qu'est la jonction du muscle et du tendon, sont transmises des fibres musculaires aux fibres de tendon par l'entremise de la membrane plasmatique de la cellule musculaire (plasma membrane). Puisque les fibres du tendon et les cellules du muscle sont parallèles aux forces qui leur sont soumises, le mode de bris le plus susceptible de se produire est le cisaillement des fibres du tendon par rapport aux cellules des muscles plutôt qu'une rupture en tension. C'est à

dire, que les fibres du tendon se détachent en glissant dans une direction opposée aux cellules du muscle (voir Figure 2.1).

Toutes les conditions qui demandent une contraction du muscle et donc une sollicitation en tension du tendon favorisent cette situation de glissement. Les efforts musculaires seraient donc mis en cause, puisqu'ils soumettent cette partie de la structure tendineuse à des efforts tranchants. Cependant, la jonction myotendineuse est structurée de façon à diminuer les efforts tranchants par la grande surface de contact entre chaque fibre musculaire et chaque fibre de tendon (Trotter et al., 1983).

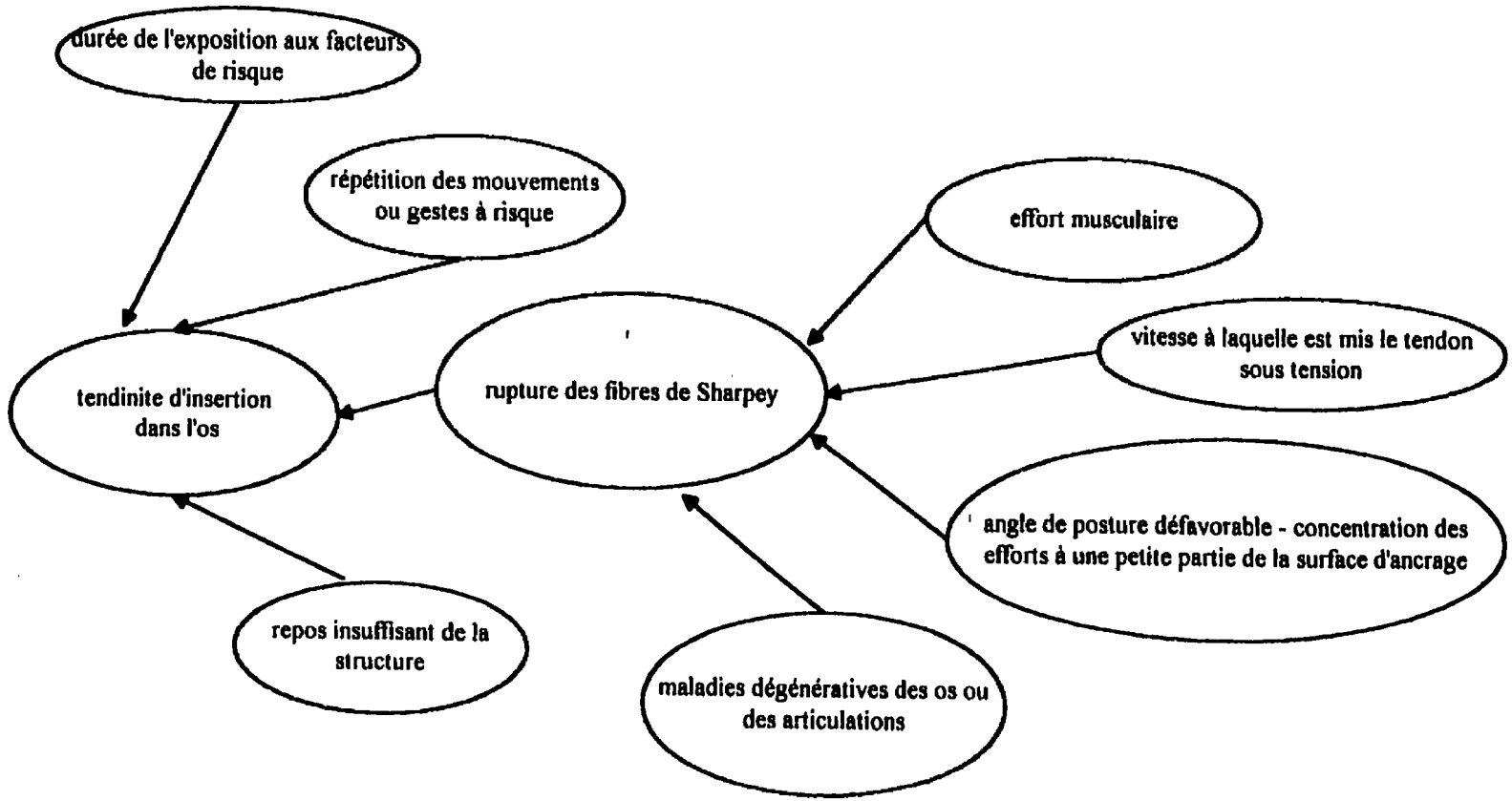


Figure 2.9 Facteurs de risques biomécanique pouvant mener à la tendinite d'insertion dans l'os

La résistance de la jonction myotendineuse dépend beaucoup de la quantité d'énergie absorbée (Moore & Garg, 1992). Cette résistance sera donc en fonction de l'importance de la force soumise mais aussi de la durée à laquelle la structure maintient cette force. Ainsi, nous soumettons l'hypothèse que même une petite force peut être dommageable pour cette structure lorsqu'elle est maintenue pour une longue période de temps. La période de repos entre deux mises en tension est aussi un facteur important dans la progression de cette atteinte (Moore & Garg, 1992). La fatigue musculaire doit précéder la lésion (Moore & Garg, 1992), ce qui porte cet auteur à dire que la détection précoce de la fatigue musculaire et sa prévention sont de bons moyens pour éviter la lésion.

De plus, cette lésion est associée au travail inhabituel, une augmentation de la charge de travail ou à un retour au travail après une absence prolongée (Moore & Garg, 1992). Après un traumatisme, même le travail habituel pourrait mener à la lésion de la jonction myotendineuse (Moore et Garg, 1992). L'inactivité physique est aussi un facteur prédisposant pour cette lésion.

La Figure 2.10 illustre une synthèse des facteurs de risques pouvant mener à la péritendinite, c'est-à-dire à l'inflammation de la jonction myotendineuse.

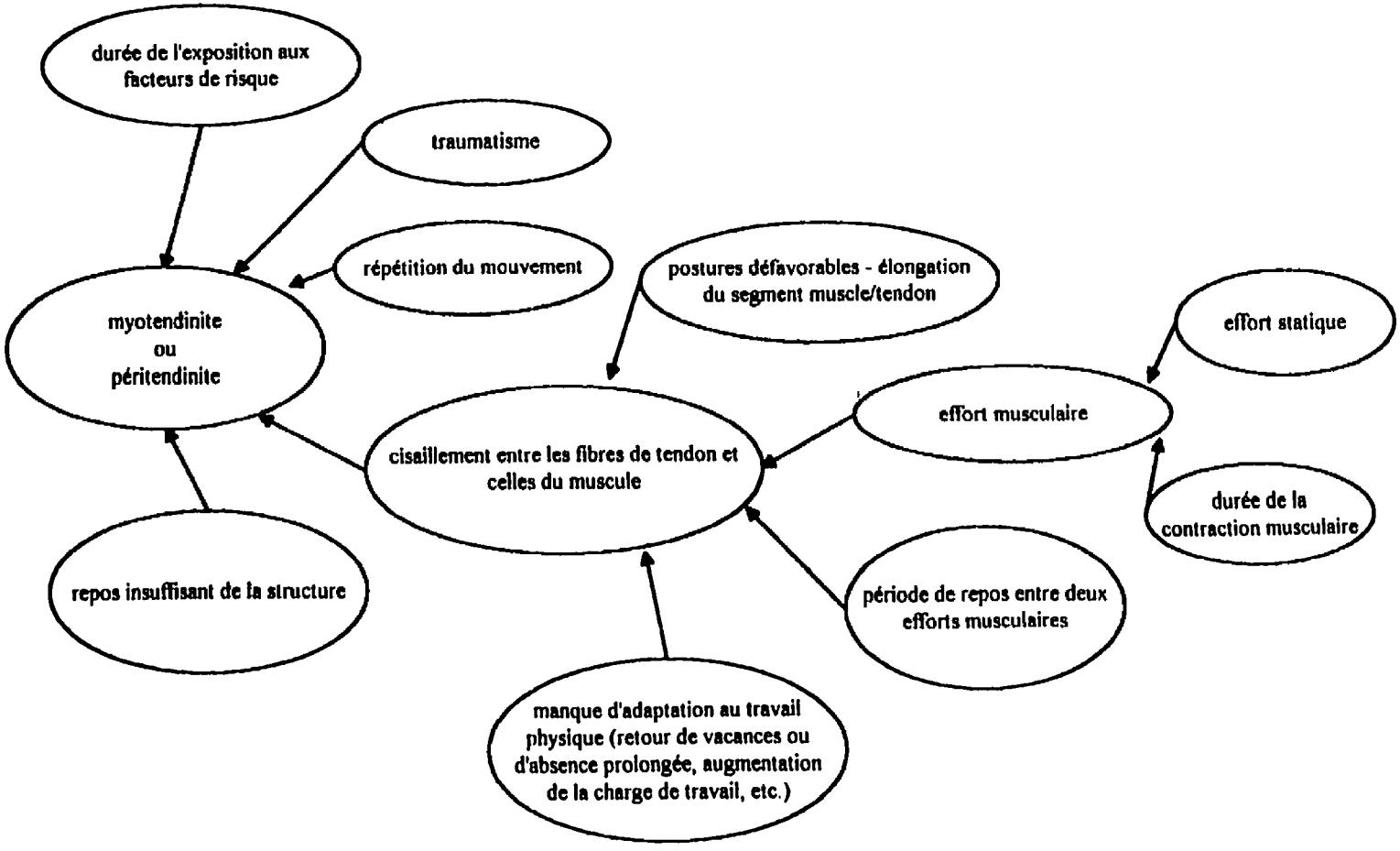


Figure 2.10 synthèse des facteurs de risque pour la péritendinite

En résumé, on pourrait dire que certains facteurs de risques sont mis à contribution pour tous les types de lésions étudiés dans ce mémoire. Ils sont:

. grandeur des efforts musculaires

. modalités de l'effort (angles, vitesse de l'effort musculaire)

. répétition

. durée de l'activité musculaire

. repos insuffisant

Ces facteurs sont présentés à la Figure 2.11.

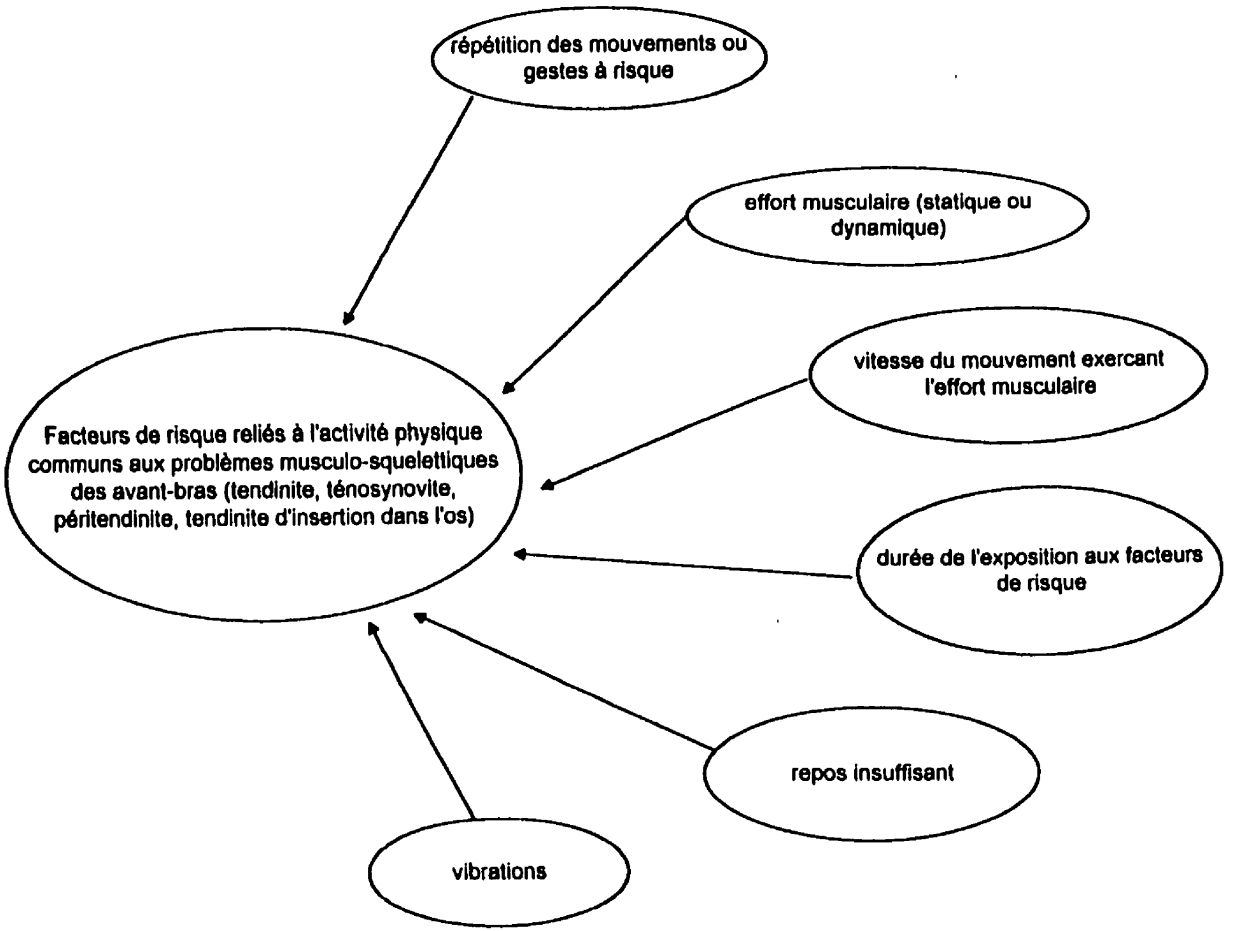


Figure 2.11 Synthèse des facteurs de risque reliés à l'activité physique communs à tous les types de lésions discutés dans ce chapitre.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

3.1 Cadre de l'étude

Cette étude a été demandée par la direction de l'entreprise pour faire suite à une démarche des responsables de la santé et de la sécurité du travail de l'entreprise et des responsables du département. La direction de l'usine, lors de la demande d'étude, était disposée à avancer des fonds pour régler le problème suite aux recommandations qui seraient faites lors de l'étude.

Les travailleuses étaient elles aussi disposées à travailler avec l'ergonome. Elles étaient conscientes du problème et voulaient trouver une solution. Certaines d'entre elles se sentaient moins concernées, mais elles ont tout de même très bien participé aux travaux de l'étude.

En rassemblant ces deux éléments essentiels à la réussite d'une étude, c'est-à-dire la participation de l'employeur et des travailleurs, nous avons pu bénéficier d'un bon cadre de travail pour mener à terme l'étude. Le nombre de travailleuses à varié à quelques reprises lors de l'étude suite à des modifications de la demande de production. Ces

changements n'ont pas semblé affecter le cours des travaux, autant au niveau des travailleuses qu'au niveau de l'employeur.

3.2 Méthodologie de l'étude ergonomique

Nous détaillons ici les étapes qui ont été franchies pour mener à terme cette étude ergonomique. La méthodologie générale d'une étude ergonomique est présentée en annexe I. Dans la présente section, nous compléterons cette méthodologie générale par l'explication de la méthodologie utilisée pour arriver aux résultats d'étapes complémentaires à la méthodologie générale.

L'étude a débuté par une entrevue avec six travailleuses sélectionnées en fonction des critères de sélection suivants; ancienneté (débutante vs expérimentée), atteinte de problèmes musculo-squelettiques (atteinte vs non atteinte) et selon leur habileté à communiquer leur expérience.

Cette première étape a été suivie par une rencontre avec la partie patronale pour une discussion sur les commentaires qui sont ressortis de la première entrevue de groupe.

L'analyste a par la suite interviewée toutes les sertisseuses (21) travaillant au département au cours des mois de mai et juin 1992, pour des questions d'ordre général

sur le travail, les problèmes d'inconfort, de douleur musculaire et de santé qu'elles éprouvent dans l'exercice de leur travail. Ce fut une occasion pour expliquer la démarche de l'étude et pour s'assurer d'une bonne collaboration.

Une longue période de prise de bande vidéo a suivi ces étapes. Un grand échantillon de différentes situations de travail a été recueilli, étant donné la diversité et le grand nombre de produits sertis, ainsi que du nombre de travailleuses au département. Ces bandes vidéo servent aux analyses suivantes;

. analyse de la posture
. analyse de temps du cycle de travail
. analyse des mouvements
. analyse des modes opératoires

Ce recueil de données constitue donc une source importante d'informations. La bande vidéo a servi pour prendre des mesures d'angles, des mesures de temps et des observations visuelles. La caméra vidéo a été placée, lorsque possible, à angle droit du sujet pour augmenter la précision des mesures d'angles. Comme nous étions dans une situation de travail réel, il était parfois impossible de faire des prises de vues à angle droit. Il faudra donc considérer que les angles mesurés ne sont que des indications d'ordres de grandeur. Les mesures de temps ont été prises à partir de la bande vidéo;

pour les temps très courts, en comptant le nombre d'images et pour les périodes plus longues, par le temps enregistré et affiché à l'écran.

Certaines observations précises ont été faites, suite à l'identification de problématiques particulières, telles que; études des gestes et des indices qui pouvaient nous mettre sur une piste de problème particulier, notamment lors de la préhension de l'aiguille lors du sertissage.

Suite à certaines observations, notamment sur la posture, des mesures anthropométriques ont été prises sur 19 sertisseuses et 11 enrouleuses et les dimensions des postes de travail ont été prises afin d'évaluer les inadaptations du poste de travail face aux variations anthropométriques des travailleuses.

En parallèle à ces étapes l'intervenante en santé au travail de l'entreprise a fait un relevé des problèmes diagnostiqués chez les travailleuses afin de pouvoir être en mesure de mieux cibler et de mieux connaître les problèmes qui reviennent.

Un relevé des changements technologiques a aussi été fait, par le directeur de la production, pour être en mesure d'évaluer, s'il y a lieu, l'impact de tels changements sur les problèmes musculo-squelettiques des avant-bras.

Les mêmes étapes de cette méthodologie ont été utilisées pour l'étude ergonomique du poste d'enroulage.

3.3 Méthodologie de l'analyse des postures

La méthode d'analyse et de classification utilisée, pour le sertissage et l'enroulage, est tirée de l'article de Keyserling (1986) sur l'analyse de la posture, cet article donne des guides qui indiquent qu'un angle de posture plus grand qu'un angle moyen (aussi défini dans l'article) devient source de fatigue musculaire et est nuisible à l'opérateur.

3.4 Méthodologie de la validation des solutions proposées

Voici la liste des expériences faites pour vérifier que le prototype de test FRFA semi-automatique n'altère pas la qualité des sutures:

1) Inspection au microscope pour s'assurer de la qualité générale du fil et de l'aiguille (forme, aspect, etc.)

2) La résistance à la tension du fil a été mesurée. Une tension linéaire plus faible sur le produit testé sur le prototype aurait été une indication que la résistance du fil est affectée.

3) Test destructif de la force de rétention du fil à l'aiguille (force maximale mesurée). Une force plus faible de la rétention du fil à l'aiguille indiquerait que le prototype compromet la qualité de la suture à ce niveau.

4) Force réelle appliquée lors du test, incluant la force d'impact. On veut s'assurer ici que la suture testée sur le prototype ne subit pas de force d'impact plus grande que lorsque le test est fait manuellement.

La résistance à la rupture du fil en tension a été mesurée pour un échantillon de dix (10) fils de différents produits (cf. Tableau 3.1) qui présentent des propriétés différentes. La grosseur du fil n'a pas été choisie de façon particulière puisqu'on comparait ces données à celles d'un même produit, de même grosseur et du même lot.

Pour s'assurer que le prototype ne change pas la force de rétention du fil à l'aiguille, on a fait des tests destructifs de la force de rétention du fil à l'aiguille à la rupture sur 10 fils de cinq types de produits différents. Ces résultats ont été comparés aux résultats de tests similaires fait sur 10 sutures provenant de la même commande, mais testés manuellement (FRFA) par la sertisseuse.

Tableau 3.1 Types de produits testés pour la validation du prototype pour le test FRFA semi-automatique.

Produit	Caractéristiques du fil
Novafil	monofilament, synthétique
Gut	monofilament, fibre naturelle, subit une déformation plastique facilement comparativement aux autres produits
Soie	fibre tressée, naturelle
Ticron	fibre tressée, synthétique
Dexon	fibre tressée, synthétique, gros volume de production

Une certaine force d'impact est exercée sur l'aiguille de façon instantanée au début du test. Cette force est due à l'accélération du mouvement, que ce soit pour le prototype ou pour le test manuel. Cette force a été mesurée à l'aide d'un dynamomètre calibré, sur lequel nous avons collé un marqueur. La force d'impact a été indiquée sur l'instrument à l'aide du marqueur étant donné que la vitesse du test ne nous permet pas de lire directement la mesure.

CHAPITRE IV

CARACTÉRISTIQUES DES CAS DIAGNOSTIQUÉS

À partir du relevé du nombre de jours d'absence dans les dossiers médicaux, nous avons pu remarquer que les travailleuses du sertissage sont atteintes de tendinites aux poignets droit et gauche pour un nombre de jours d'absence égal dans les deux cas, vient au troisième rang l'épicondylite droite.

De plus, la figure 4.1 nous montre l'évolution de la gravité des cas de tendinite des avant-bras (selon le diagnostic médical « tendinite ») dans le temps au département de sertissage.

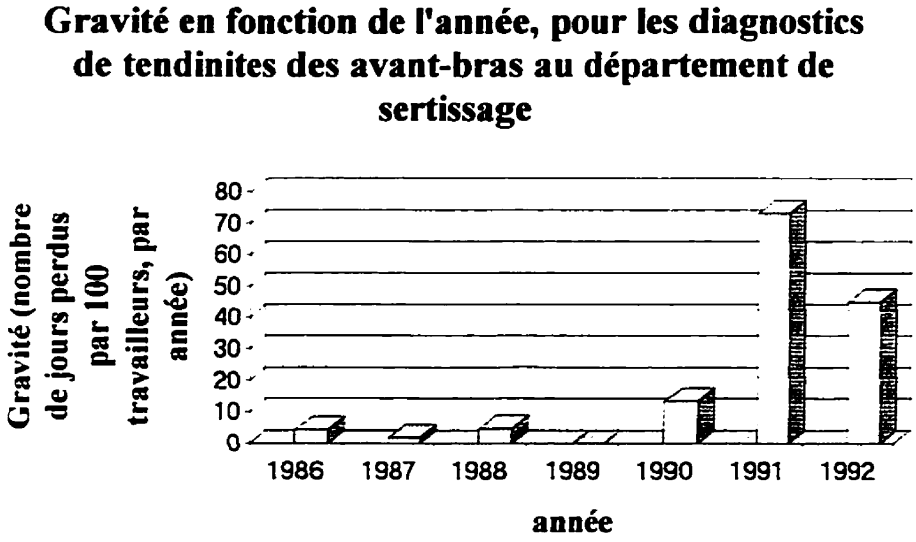


Figure 4.1 Gravité des cas de tendinite des avant-bras en fonction de l'année au département de sertissage

Pour ce qui est de l'enroulage, la pathologie la plus souvent diagnostiquée est le syndrome du tunnel carpien, les deux poignets semblent également touchés par ce syndrome, vient en troisième lieu l'épicondylite du coude droit. Le nombre de jours perdus à cause des problèmes musculo-squelettiques prend une ampleur moindre à l'enroulage toutes proportions gardées comparativement au département de sertissage. En effet, le nombre de travailleuses à l'enroulage est environ deux fois plus grand qu'au sertissage et le nombre de jours d'absences pour des problèmes musculo-squelettiques des avant-bras est de 846 à l'enroulage comparativement à 929 pour le sertissage pour la même période de temps.

Aucune conclusion ne peut être tirée quand à l'âge des travailleuses en tant que facteur de causes en comparant l'âge des personnes touchées et celle de la population en général, puisque le profil de la population des sertisseuses à travers les ans n'est pas connu. Nous n'avons que l'âge des personnes qui ont été atteintes.

Nous avons pu observer chez deux personnes, une inflammation au niveau de l'avant-bras gauche. On suppose que ces travailleuses sont atteintes d'une tendinite de Quervain. Ces hypothèses n'ont pu être vérifiées à l'aide d'un diagnostic médical précis.

CHAPITRE V

CHANGEMENTS TECHNOLOGIQUES

Aucun changement technologique introduisant des nouveaux modes opératoires à risques n'a été apporté ces dernières années qui pourrait expliquer la montée soudaine du nombre de personne atteintes de lésion musculo-squelettiques. Les changements apportés sont surtout au niveau du prétraitement du fil, ce qui n'influence pas les modes opératoires des travailleuses.

Après observations, on peut dire que les nouveaux types de presses (Matsutani et SSD) n'ont pas introduit de nouveaux risques de lésion comparativement aux presses Suzle. Nous écartons donc la possibilité que de tels changements aient pu être l'élément déclencheur des nombreux cas déclarés en 1991.

Cependant, la qualité de la matière première est un point important qui peut affecter grandement le mode opératoire des sertisseuses. Par exemple, lorsque le trou foré est trop petit ou mal centrée, ou que le fil est trop gros ou « s' éffiloche », la sertisseuse doit se reprendre à plusieurs reprises pour entrer le fil dans l'aiguille. Elle doit donc, pour garder son taux de productivité constant augmenter la cadence. Plusieurs travailleuses m'ont dit qu'elles doivent forcer lorsqu'elles sont dans cette situation pour entrer le fil

dans l'aiguille. Lors des entrevues de groupe, il est ressorti qu'en 1991, cette situation s'est présentée plus souvent qu'à l'habitude. La direction du département, par contre, estime que le problème n'a pas été plus important en 1991. Néanmoins, il serait important de considérer ce facteur dans le futur et de rejeter la matière première qui n'est pas conforme aux critères de qualité imposés aux fournisseurs.

CHAPITRE VI

ÉTUDE DU TRAVAIL

6.1 Sertissage

6.1.1 Définition sommaire de la tâche

Le sertissage d'une suture se défini comme étant l'insertion d'un fil chirurgical dans l'orifice d'une aiguille. Cet orifice est en fait un trou foré au bout non tranchant de l'aiguille. Après l'insertion, l'orifice est resserré autour du fil par l'action d'une presse actionnée par l'opérateur.

L'ensemble du fil retenu par l'aiguille représente une suture. Un test de la force de rétention du fil à l'aiguille fait aussi partie de la tâche du sertissage.

6.1.2 Organisation du travail

La journée de travail commence à 7:45 avec une pause de 15 minutes le matin ainsi que l'après-midi, les travailleuses ont aussi une pause pour le repas du midi d'une demi-heure. La journée de travail se termine normalement à 16:00, mais il peut arriver qu'on

leur demande de faire du temps supplémentaire, selon les besoins. Les travailleuses sont rémunérées à un taux horaire fixe suivant l'échelle salariale de la convention collective en vigueur.

Le travail est divisé en commandes selon le type et la grosseur du fil et selon l'aiguille et le type d'emballage que le client désire. Si le volume de la commande est trop grand, on affectera plusieurs travailleuses pour travailler à cette commande. Une commande peut prendre entre quelques heures et plusieurs jours de sertissage, selon le volume de la commande

Après chaque commande, la sertisseuse se déplace à un autre poste de travail où une autre commande a été montée. Elle y transporte sa chaise et ses effets personnels (papiers, crayons, etc.). Ceci implique, dans l'apport de solutions, que si des possibilités d'ajustements doivent être ajoutées au poste, ils doivent pouvoir être faits rapidement et facilement.

On divise la production en deux grands types de produits, les produits réguliers et les produits "micro", c'est-à-dire pour la microchirurgie. La différence entre ces produits est essentiellement le calibre du fil et de l'aiguille. Bien entendu, les produits "micro" sont beaucoup plus fragiles. On peut facilement courber ou épointer une aiguille micro ou encore casser un fil. Les sertisseuses sont donc affectées soit aux produits "micro" ou

aux produits réguliers. Une sertisseuse de produits "micro" ne sertira que dans des cas exceptionnels des produits réguliers, l'inverse est aussi vrai.

6.1.3. Outils utilisés

La travailleuse du sertissage a besoin pour faire sa tâche des outils suivants à son poste de travail.

- une presse montée en fonction du produit à sertir;
- un cabaret d'aiguilles;
- un cabaret de fil;
- du fil;
- des aiguilles;
- une boîte de rangement pour la commande (identifiée avec le numéro de lot, le produit, etc.). Cette boîte sert à contenir et transporter le produit et la matière première;
- un appareil pour tester la rétention du fil à l'aiguille avec un poids adéquat selon le produit serti;
- un compteur relié à la presse comptant le nombre de sutures faites;
- un compteur servant à comptabiliser le nombre d'aiguilles aux rebuts;
- un pinceau pour nettoyer la matrice;

- une bouteille de nettoyant (isopropanol);
- des poids pour retenir le fil et les sutures en place;
- une lampe d'appoint à fluorescent (43 cm de long);
- des aimants pour retenir les sutures;
- des attaches (attaches pour sacs), pour attacher les couettes de sutures;
- des lames de rasoir, pour couper le bout du fil au besoin;
- divers papiers; identification de la commande, feuille de route, etc.;
- un plat de plastique pour les aiguilles aux rebuts
- une calculatrice.

Il y a trois types de presses disponibles, la presse Suzle (régulière), la presse Matsutani de modèle plus récent et plus mécanisé et finalement la presse Single Strike Die (SSD), qui, comme son nom l'indique n'exige qu'un seul gaufrage pour le sertissage des sutures, peu importe le type de produit.

Les produits sertis sur la presse Matsutani sont destinés au marché américain. Cette presse était beaucoup utilisée lors du début de l'étude et son utilisation a beaucoup diminué au cours de l'étude, c'est pour cette raison que les efforts pour trouver des solutions au poste de travail ont été fait en fonction de la presse Suzle. D'autre part, étant donné qu'il n'y a qu'une presse SSD, nous n'avons pas cru bon de concentrer nos efforts pour l'étude des modes opératoires des travailleuses à cette presse.

6.1.4. L'activité de sertissage

Une fois la travailleuse installée à son poste de travail avec tout l'équipement et la matière première qu'il lui faut, l'activité de sertissage se décrit comme suit;

De la main gauche, elle choisi et prend une aiguille dans le cabaret d'aiguille. L'aiguille est manipulée entre les doigts de façon à être bien orientée pour l'insertion dans la matrice et est transportée près de la presse.

En même temps, de la main droite, elle prend un fil du cabaret de fil entre les doigts (généralement de l'index et du pouce) et transporte le fil vers la presse.

La sertisseuse insère ensuite l'aiguille, de la main gauche, dans la matrice. Des pieds, elle fait pivoter la pédale avec le bout du pied afin de refermer la matrice. Dans un premier temps, la matrice est légèrement refermée afin de pouvoir retenir l'aiguille sans toutefois commencer à l'écraser. Le fil est ensuite inséré dans l'aiguille en suivant un guide (guide en V).

La pédale est ensuite pivotée, toujours avec le bout du pied, jusqu'à une butée; le premier gaufrage est ainsi fait.

Pour une suture à gaufrage unique, la pédale est pivotée de nouveau avec les talons; la matrice est donc ouverte et la suture peut maintenant être extraite de la presse.

Pour une suture à gaufrage double, après le premier gaufrage, l'aiguille est pivotée dans la matrice et la pédale est pivotée de nouveau avec les talons (deuxième gaufrage). À ce moment, la suture peut être extraite de la presse.

Pour une suture à quatre gaufrages, après le premier gaufrage, l'aiguille est pivotée dans la matrice et la pédale est pivotée une deuxième fois avec les orteils (deuxième gaufrage). Pour le 3e et 4e gaufrage, cette séquence est répétée (rotation de l'aiguille et pivot de la pédale, des orteils et des talons). À la fin de cette séquence, la matrice est ouverte et la pédale pivotée des talons, la suture peut donc être extraite de la presse.

Il est à noter que la matrice se ferme au milieu de la course de la pédale et est ouverte à la fin de la course (aux deux butées).

Tout en tenant l'aiguille et le fil, la suture est dirigée vers l'appareil pour tester la rétention du fil à l'aiguille. Le fil est glissé dans le support en V et l'aiguille placée de façon à être retenue par le V. La personne tire ensuite sur le fil, tout en supportant l'aiguille, avec les doigts (sans tirer ou pousser) jusqu'à ce que le poids soit soulevé. On s'assure ainsi que le fil est bien retenu dans l'orifice de l'aiguille. Le poids soulevé varie

entre des fractions de kilogrammes (90 g) jusqu'à 1,8 kg, en fonction des caractéristiques du produit, et est généralement fait sur 10% des sutures produites.

La suture est extraite de l'appareil de test, toujours en tenant l'aiguille avec les doigts de la main gauche et le fil avec ceux de la main droite. On dépose ensuite la suture à l'endroit prévu à cet effet; soit sur un aimant, dans un cahier ou attaché dans une couette, on peut aussi simplement laisser pendre l'aiguille de la couette qu'on tient dans la main droite avant de l'attacher.

6.1.5. Contrôle de qualité

Les travailleuses du sertissage semblent bien sensibilisées à l'importance de la qualité du produit. Nous les avons souvent vues inspecter les aiguilles pour s'assurer qu'elles ne soient pas courbées ou épointées. Elles se trouvent des astuces pour ne pas affecter la qualité du produit; par exemple, une employée a collé une mousse sur le bord de la table parce que les aiguilles serties s'accrochaient au rebord et risquaient de s'épointer.

Le test de la force de rétention du fil à l'aiguille (FRFA), représente pour la sertisseuse la vérification la plus importante qu'elle doit effectuer sur son produit. En plus de ce test, lorsque l'aiguille est fragile, elle vérifie de façon régulière si son aiguille est courbée ou épointée.

Si le test de rétention du fil à l'aiguille est fait en général sur 10% des sutures, il reste que lorsqu'il y a un problème particulier de qualité, les sutures doivent être toutes testées. Certains produits plus fragiles doivent être inspectés à 100%, peu importe la situation. Suite au test, si le fil se détache de l'aiguille, la préposée jette l'aiguille, coupe le bout de fil avec une lame de rasoir et serti une autre aiguille sur le même fil.

Ceci explique le désir qu'a la sertisseuse de bien faire du premier coup, car la norme de production est calculée sur une base de sutures conformes aux normes de qualité. C'est aussi pour cette raison qu'elle doit remplir les exigences du travail (coordination, précision, minutie) puisqu'elle aura de la difficulté à rencontrer les normes de production si son sertissage n'est pas de qualité du premier coup.

Pour avoir un fil bien retenu, lorsqu'on sertit un produit à gaufrages multiples, l'aiguille doit être tournée de façon précise pour avoir une bonne rétention du fil à l'aiguille. C'est à dire que par exemple, si deux gaufrages sont faits un par-dessus l'autre, le sertissage n'est pas bon et l'aiguille ne retiendra pas le fil. Ceci impose un mode opératoire lors du sertissage sur la façon de tourner l'aiguille.

Un contrôle de la qualité est régulièrement fait sur les produits sertis par une employée du département de contrôle de la qualité, elle observe les sutures au microscope et vérifie la force de rétention du fil à l'aiguille par un test destructif.

6.1.6. Mouvements et gestes

Des mouvements et gestes critiques ont été identifiés, il s'agit notamment;

. du mouvement fait pour tirer le fil, de la main droite, lors du test FRFA;

. de la préhension de l'aiguille par la main gauche;

. du mouvement fait pour pivoter l'aiguille lors du gaufrage par la main gauche.

Ce sont donc ces mouvements et gestes qui ont d'avantage été étudiés, étant donné la recherche de liens avec les problèmes musculo-squelettiques.

Les principaux modes opératoires pour effectuer ces mouvements et gestes sont les suivants;

. pour tester la rétention du fil à l'aiguille

i) Flexion de l'index au niveau des phalangines et des phalangettes;

ii) Flexion du poignet;

iii) Contraction musculaire quasi-isométrique de l'avant-bras.

. pour tourner l'aiguille:

i) Pronation/supination de l'avant-bras accompagnée d'une très faible extension du poignet;

ii) Pronation/supination de l'avant-bras accompagnée d'une extension plus grande du poignet;

iii) Rotation de l'aiguille entre les doigts en gardant la main immobile (sur les presses Matsutani).

La préhension de l'aiguille se fait généralement entre l'index et le pouce, mais certaines personnes utilisent aussi le majeur. Il n'y a donc pas de variations importantes des modes de préhension de l'aiguille.

Les modes opératoires pour faire ces mouvements et gestes diffèrent chez les travailleuses selon plusieurs facteurs dont voici la liste;

- Différences personnelles
    - . mesures anthropométriques
    - . méthodes de travail personnelles
    - . distance yeux/plan de travail
    - . capacité de rencontrer les normes de productivité
    - . etc.
- Inconfort ou douleur musculaire
- Méthodes enseignées lors de la formation
- Type de produit (micro vs régulier)
- Type de presse (micro vs régulière, Matsutani vs régulière)
- Qualité du fil (diamètre, trempage,...)
- Qualité de l'aiguille (diamètre, position du trou, alliage du métal,...)
- Normes de productivité
- Moment dans la journée
- Fatigue
- Montage de la presse (influence la qualité du produit fini)
- Qualité du produit fini
- Arrangement du poste de travail

- Tonus musculaire, pour faire le test (FRFA)
- Résistance aux fissures de la matrice
- etc.

Tous ces facteurs influencent d'une façon ou d'une autre la méthode de travail des travailleuses. Certains de ces facteurs contribuent à augmenter le niveau de stress des travailleuses de sorte que certaines d'entre elles font des efforts musculaires inutiles et démesurés, que ce soit au niveau de la posture ou au niveau des mouvements et gestes lors du sertissage même. Ceci peut entrer en cause dans l'occurrence des problèmes musculo-squelettiques. À titre d'exemple, lorsque la qualité du fil ou de l'aiguille est moins bonne et que l'employée a de la difficulté à enfiler le fil dans l'aiguille, l'employée peut être portée à exercer des forces importantes afin d'effectuer des gestes plus précis au niveau des avant-bras.

6.1.7. Normes de production

Les travailleuses sertissent entre 50 et 700 sutures à l'heure, pour une moyenne de 213 sutures à l'heure par sertisseuse pour l'années 1991. Ces normes sont établies de façon historique selon la performance des travailleuses et sont révisées lorsqu'on en sent le besoin. À observer les sertisseuses, on remarque que la majorité d'entre elles n'ont pas de problèmes a rencontrer ces normes. On peut cependant noter que pour certaines

personnes, il est plus difficile d'atteindre les normes. Nous avons pu observer, plus particulièrement à deux occasions, que certaines travailleuses devaient fournir un effort pour maintenir la cadence.

La productivité varie selon la période de la journée, on peut expliquer ce phénomène par l'accumulation de fatigue au cours de la journée. Certaines aussi se sentent plus productive l'avant-midi, par exemple, et fournissent un effort accru à ce moment là pour que l'après-midi soit moins chargée. Elles s'assurent cependant de respecter les normes de production à la fin de leur journée.

Ceci, ainsi que la façon dont les normes sont établies; selon la moyenne de la productivité des dernières années, me fait dire que pour la majorité des travailleuses les standards sont établis de façon adéquate. La façon dont les standards sont comptabilisés, c'est-à-dire sur une base journalière me semble également adéquate puisque cela permet à l'employée de compenser pour les moments où elle est plus lente. Elle peut travailler plus rapidement lorsqu'elle est en forme et se reposer lorsqu'elle commence à être fatiguée.

6.1.8. Posture

La posture des travailleuses du sertissage cause chez un grand nombre d'entre elles des problèmes de douleur musculaire et d'inconfort. Ces problèmes de posture n'entrent cependant pas en compte dans l'occurrence de problèmes musculo-squelettiques.

Le travail de précision de sertissage impose une posture du tronc étant donné le besoin de fixer le regard sur le plan de travail toujours localisé au même endroit. La distance entre les yeux et le plan de travail à été mesurée afin de pouvoir expliquer certains aspects des exigences visuelles. On sait que cette distance ne varie pas beaucoup pour une même personne lorsque les contraintes visuelles sont importantes, ce qui est le cas ici.

Étant donné que le travail exige, comme nous venons de l'expliquer, une posture inclinée du tronc et du cou sans pouvoir bouger, des correctifs ont été recommandés pour corriger la posture des travailleuses afin de réduire la fatigue musculaire du haut du dos.

6.2. Enroulage

6.2.1. Définition de la tâche

La tâche d'enroulage consiste à prendre une suture (fil serti dans une aiguille) et l'enrouler en forme d'un huit dans un carton d'emballage. Pour ce faire, l'enrouleuse doit déposer une enveloppe de carton perforée sur un support qu'on appelle une « figure ». Cette « figure » est fixée à la table et possède deux tiges autour desquelles on enroule le fil en forme d'un huit.

L'enrouleuse doit, après avoir enroulé le fil, fixer l'aiguille dans une fente faite à cet effet sur l'enveloppe. La personne doit ensuite replier les quatre côtés de l'enveloppe tout en maintenant le fil enroulé bien en place. L'enveloppe est maintenant prête à être placée dans une boîte qu'on appelle "cassette" ou à être insérée dans une enveloppe de papier métallique ou dans tout autre type d'emballage spécifique.

La cadence d'enroulage dépend du type de suture enroulé et du type d'emballage désiré, elle varie entre une cinquantaine de sutures à l'heure et environ 300 sutures à l'heure.

6.2.2. Organisation du travail

La journée de travail est divisée de la même façon qu'au sertissage. Le salaire est aussi à taux horaire fixe selon la convention collective en vigueur.

Les enrouleuses n'ont pas besoin de changer de poste de travail, à moins qu'elles aient besoin d'une figure particulière qui soit installée sur une autre table. Elles n'ont qu'à aller chercher la matière première pour la prochaine commande. Il n'y a pas de montage particulier à faire lorsqu'on change de commande.

6.2.3. Mouvements et gestes

Pour enrouler le fil autour des tiges, la travailleuse fait un mouvement d'avant/arrière du bras droit combiné à une légère flexion /extension de l'avant-bras. Le poignet est gardé en légère flexion. Quelques enrouleuses ajoutent à ce mouvement une légère flexion/extension du poignet.

Pour plier les cartons d'emballage, l'enrouleuse fait des flexions/extensions des phalangines et des phalangettes des doigts.

6.2.4. Modes opératoires

Le cycle de travail pour enrouler un produit régulier sur une carte support se détaille comme suit;

- préhension d'une carte support
- placer la carte support sur la figure
- abaisser la tige du bas de la figure, ceci retient le carton en place et actionne le compteur de cycle
- préhension d'une suture au niveau de l'aiguille du cabaret à sutures
- tirer sur l'aiguille
- tirer sur le fil de la main gauche
- fixer l'aiguille sur la carte support, dans la fente destinée à cette effet sur la carte
- tendre le fil contre la tige du bas avec la main gauche
- préhension du fil de la main droite entre l'index et le pouce
- enrouler le fil en huit autour des tiges de la figure
- retenir le fil sur la carte support à l'aide du pouce gauche pendant et après l'enroulage
- commencer à plier le côté droit de la carte
- remonter la tige du bas de la figure pour libérer la carte support
- retirer la carte support de la figure en continuant de plier le côté droit de la carte support (on retient maintenant le fil en place en tenant bien la carte support)

- replier l'aiguille sur le carton
- plier les autres côtés de la carte support
- déposer le carton dans la cassette avec une orientation bien déterminée

Les modes opératoires, les gestes et les mouvements varient peu d'une personne à l'autre.

Les modes opératoires diffèrent surtout en fonction des caractéristiques du produit enroulé et du type d'emballage. On ajoutera au cycle, l'insertion du carton dans une enveloppe à l'intérieur métallisé dans certains cas.

Les produits de microchirurgie sont enroulés sur une figure différente de celle des produits réguliers, ce qui introduit un mode opératoire différent. Cette façon de faire n'introduit cependant pas d'efforts supplémentaires comparativement aux produits réguliers.

6.2.5. Normes de production

Les normes de production sont établies et comptabilisées de la même façon qu'au sertissage. Cet aspect du travail ne semble pas, d'après les entrevues, être un point critique pour les travailleuses.

6.2.6. Contrôle de la qualité

Aucune opération de contrôle de qualité n'est faite sur la tâche d'enroulage par les enrouleuses elles-mêmes. L'équipe du contrôle de la qualité fait cependant un échantillonnage du produit fini et s'assure que le fil ne fait pas de noeuds lorsqu'on le sort de l'emballage, ceci représente le principal défaut de qualité à l'enroulage.

6.2.7. Posture

La posture des travailleuses de l'enroulage est, en général, bonne. Aucun angle de posture défavorable n'a été observé par l'analyste, c'est à dire des angles qui était plus que moyen. Pour 11 cas sur 19, la tête et le tronc sont gardés droits. Les bras sont gardés aussi près du corps que possible, ce qui est aussi souhaitable. Toutes ces observations nous permettent de dire que la posture des travailleuses de l'enroulage est bonne.

Le travail d'enroulage demande une certaine précision des mouvements et gestes, mais ne requière pas une vision rapprochée du plan de travail. Une posture tenant les yeux rapprochés du plan de travail n'est pas requise, ce qui peut expliquer leur bonne posture.

6.2.8. Efforts

Le travail requiert un effort musculaire dynamique plus marqué du bras droit afin de faire le mouvement d'enroulage. Ce mouvement engendre une fatigue musculaire au niveau du bras, de l'épaule et de la région cervicale chez un grand nombre de travailleuses. Selon les travailleuses, cette fatigue est accentuée lorsque le fil à enrouler est plus long.

L'abduction du bras gauche est presque inexistante et le bras peut être appuyé pendant le cycle, il y a donc moins de fatigue musculaire au niveau du bras gauche.

L'enrouleuse doit guider le fil en le gardant entre ses doigts (index et pouce) mais la force pour serrer le fil n'est pas importante puisque le fil doit pouvoir glisser librement entre les doigts. Il n'y a donc pas de force musculaire statique importante exercée lors du travail d'enroulage, au niveau des avant-bras et des doigts.

L'enrouleuse doit manipuler de fines aiguilles, mais sur une période de temps très courte (pour fixer l'aiguille sur la carte support et lors de la préhension de la suture), on peut donc dire que le risque engendré par un effort musculaire statique des doigts pour manipuler les aiguilles n'est pas important étant donné le temps de manipulation très

court. On supposait ici que la force de préhension peut être exagérée pour s'assurer de ne pas échapper l'aiguille.

CHAPITRE VII

FACTEURS DE RISQUES DUS AU TRAVAIL

Nous avons pu identifier des mouvements et gestes qui pouvaient présenter des risques pour les travailleuses du sertissage et de l'enroulage. En tenant compte des hypothèses présentées au chapitre 2 quant aux facteurs de causes de problèmes musculo-squelettiques, nous avons pu supposer que certains éléments du travail de sertissage et d'enroulage combinent des facteurs de risque.

Ces mouvements sont, pour le département de sertissage, le mouvement fait pour tirer le poids lors du test FRFA et la préhension de l'aiguille de la main gauche. Le test FRFA combine deux éléments à risque; efforts musculaires et répétition impliquant les fléchisseurs des doigts de la main droite. En effet, la force requise pour soulever le poids très rapidement comme le font les sertisseuses représente un effort relativement important pour les muscles impliqués, soit, les fléchisseurs des doigts. La vitesse élevée d'exécution du mouvement est également un facteur de risque important dans l'occurrence des problèmes musculo-squelettiques, notamment pour l'épicondylite du coude droit qu'on retrouve chez les travailleuses du sertissage. Ce facteur associé à une force appliquée par la structure musculo-tendineuse lors de la tâche rend le risque

encore plus élevé. C'est pour ces raisons principales que la tâche devrait être automatisée.

Il a été surprenant pour nous, lors des premiers travaux de cette étude, de constater que les travailleuses du sertissage étaient autant atteinte du poignet gauche que du poignet droit par des lésions diagnostiquées ou par des symptômes. Nous pouvions facilement imaginer que les poids levés pour faire le test FRFA pouvait causer des problèmes au niveau du poignet droit des sertisseuses. Toutefois, il était moins évident de trouver la cause des problèmes du poignet gauche, qui était atteint autant que le droit. En parcourant la littérature et en ayant pu observer les lésions de deux cas en particulier où il y avant de l'inflammation importante au niveau de l'avant-bras, il nous est alors apparu plausible que l'inflammation se situe au niveau des gaines synoviales de De Quervain. Nos hypothèses quand à l'explication de ces phénomènes sont les suivantes. Tout d'abord, comme nous l'avons mentionné, les différences anatomiques entre les gaines des tendons de Quervain sont très fréquentes d'une personne à l'autre. Il est possible que les personnes atteintes que nous avons rencontrées aient des gaines qui présentent une configuration particulière qui les rendent sensibles aux efforts impliquées dans leur travail puisque les mouvements et gestes que nous avons observé dans le travail n'impliquent pas d'efforts importants pour les tendons impliqués dans la ténosynovite de De Quervain. Cependant ces tendons sont tout de même sollicités puisqu'ils sont reliés aux muscles qui agissent comme antagonistes dans les

mouvements et gestes du sertissage de sutures. Comme le travail en cause requiert une grande précision dans les mouvements et une stabilité du poignet gauche, nous posons l'hypothèse que les efforts musculaires exercés par les muscles antagonistes pourraient mener à déclencher une ténosynovite de De Quervain.

Pour l'activité d'enroulage, aucun mouvement ou geste ne requière une force musculaire importante et ne contient donc pas les éléments essentiels pour causer une lésion musculo-squelettique. Cependant, le mouvement fait pour enrouler le fil en huit est une source de douleur musculaire au niveau des bras, des épaules et du haut du dos. Les enrouleuses doivent aussi faire des mouvements fins, rapides et répétés des doigts et des poignets qui peuvent, déclencher des lésions au niveau des fléchisseurs des doigts, incluant le syndrome du canal carpien.

CHAPITRE VIII

SOLUTIONS PROPOSÉES OU IMPLANTÉES POUR DIMINUER LES RISQUES DE LÉSIONS MUSCULO-SQUELETTIQUES

8.1 Sertissage

8.1.1. « Pull test » semi-automatique

Le meilleur moyen d'éliminer les risques de l'activité du test FRFA est d'apporter une assistance mécanique à la sertisseuse pour qu'elle n'ait plus à tirer sur le fil. Un mécanisme simple a donc été conçu pour retenir et tirer sur le fil en remplacement de la main. Le mécanisme fonctionne de la façon suivante; l'aiguille est introduite dans le support en V, le fil est inséré entre deux mâchoires de caoutchouc, les mâchoires se referment sur le fil et le poids qui est normalement retenu en suspension par un cylindre pneumatique est relâché soumettant le lien entre le fil et l'aiguille à une tension.

Le système de cylindres pneumatiques à été retenu pour son coût relativement peu élevé, sa facilité d'entretien sa rapidité et l'ajustement facile qui peut être fait à plusieurs niveaux (rapidité d'entrée et de sortie d'air, longueur de course, etc.).

Plusieurs systèmes pour retenir et tirer le fil ont été étudiés. Celui qui a été choisi; deux matrices de caoutchouc qui viennent se coller pour retenir le fil, est celui qui respectait le plus les contraintes imposées face au contrôle de la qualité du fil. Il est aussi compatible avec tous les types de fils et est simple d'emploi.

Le fonctionnement plus détaillé du prototype implanté est le suivant; le poids est suspendu sous l'effet d'un cylindre pneumatique dont le piston est rétracté. L'aiguille est introduite dans le support en V et le fil glissé entre les deux matrices de caoutchouc, on vient ensuite actionner un interrupteur avec le fil à la fin du mouvement d'insertion ce qui active le cycle du test.

Le cycle est le suivant; (voir Figure 8.1)

1) Introduction de l'aiguille dans le support en V et du fil entre les matrices de caoutchouc.

2) L'interrupteur est activé.

3) Les matrices se referment pour retenir le fil en place.

4) Le cylindre 1 est désactivé, le piston se rétracte.

5) Le poids est en chute libre.

6) Le cylindre 1 est réactivé, le piston sort du cylindre pour ramener le poids en suspension.

7) Les matrices s'ouvrent.

8) La suture est extraite de l'appareil.

Toutes ces étapes se font en séquence et sur une courte période de temps. Ce temps d'exécution peut être modifié en changeant les débits d'air à l'aide de valves.

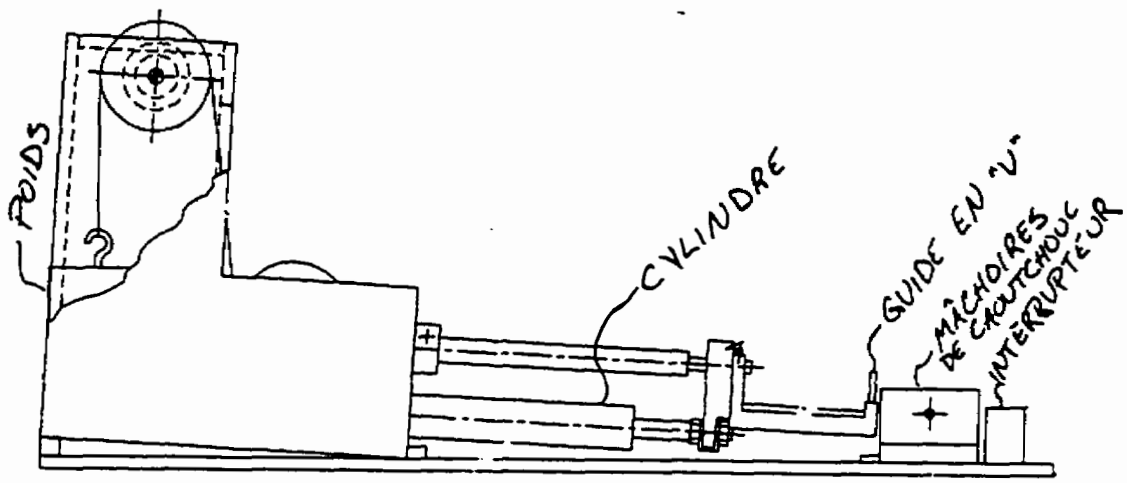


Figure 8.1 Schéma de l'appareil de test FRFA semi-automatique

En plus des avantages du point de vue ergonomique, l'automatisation du test FRFA assure une constance dans l'exécution du test. Cette constance n'est pas assurée lorsque

les sertisseuses doivent faire ce test manuellement. Une plus petite ou plus grande accélération du mouvement peut faire varier la force du test, le temps d'application de la force peut aussi varier d'une personne à l'autre et même pour une même sertisseuse, ce qui n'est pas souhaitable au niveau du contrôle de la qualité.

8.1.2. Presse Suzle pneumatique

De plus, une assistance mécanique a été développée au niveau de la presse même afin de pouvoir réduire le nombre de gaufrages, ce qui réduirait par le fait même les mouvements de poignets de la main gauche que font les sertisseuses pour tourner l'aiguille. Encore une fois, un système pneumatique a été choisi pour les mêmes raisons que celles mentionnées plus haut. Avec un cylindre pneumatique, on peut se permettre d'augmenter la pression exercée par les matrices de la presse sur l'aiguille. On peut à ce moment là diminuer le nombre de gaufrages tout en maintenant une bonne force de rétention du fil à l'aiguille. Il s'agit de remplacer la pédale par un cylindre pneumatique avec un contrôle au pied. Le prototype a été conçu pour respecter et reproduire le cycle actuel le plus fidèlement possible. Seul le mouvement de pied doit être légèrement modifié.

8.1.3. Outils de préhension de l'aiguille

Il serait par ailleurs idéal de mettre à la disposition des sertisseuses un outil de préhension d'aiguilles afin d'éliminer complètement les sollicitations de l'avant-bras gauche. Le design d'un tel outil pourrait faire l'objet d'un projet futur étant donné son envergure.

8.1.4. Presse ajustée en profondeur

Pour palier aux problèmes de postures, la presse a été installée sur un rail afin de pouvoir ajuster sa position sur la table. Cet ajustement peut être fait très facilement et rapidement. La sertisseuse approche ou avance la presse selon son besoin au cours de la journée ou lorsqu'elle change de poste de travail.

8.2. Enroulage

8.2.1. Machine DDS-II et carton pré-plié

Afin de palier à la fatigue musculaire ressentie lors de l'enroulage de sutures et de diminuer l'incertitude quant aux risques allégués de lésions attribuables au travail répétitif, il est proposé d'utiliser des enveloppes de carton pré-pliées et la machine DDS

II qui enroule le fil en huit mécaniquement. En utilisant les enveloppes pré-pliées, les flexions des doigts engendrées pour plier l'enveloppe sont éliminés. Cet appareil éliminerait aussi les mouvements du bras droit qui cause de la fatigue musculaire pour un bon nombre de travailleuses.

Cette solution est déjà utilisée au département pour certains produits. Les travailleuses en sont d'ailleurs très satisfaites, d'après les entrevues obtenues lors de l'étude.

La travailleuse n'a qu'à mettre en place le carton et à glisser le fil dans un mécanisme qui fait s'enrouler le fil en huit, elle n'a alors plus qu'à fixer l'aiguille au carton et à placer l'enveloppe contenant la suture dans une cassette.

Tableau 8.1 Facteurs de risques et solutions recommandées pour le sertissage

Activité de travail au sertissage	**Éléments de risques du travail**	**Solutions recommandées**
Test de la force de rétention du fil à l'aiguille	. Effort musculaire requis . Répétition . vitesse du mouvement	Appareil semi-automatique qui élimine l'effort de la sertisseuse
Activité de sertissage	. Effort musculaire statique démesuré est soupçonné pour la préhension de l'aiguille . Répétition du geste de préhension et de rotation de l'aiguille . temps de préhension de l'aiguille important (environ 70% du temps de cycle) . durée de repos courte à l'intérieur du cycle	. Assistance mécanique à la presse qui diminue les mouvements du poignet gauche . Outils de préhension de l'aiguille (non développé)

Tableau 8.2 Facteurs de risques et solutions recommandées pour l'enroulage

Activité de travail à l'enroulage	**Éléments de risques du travail**	**Solutions recommandées**
Enroulage du fil autour des guides	. Répétition de mouvements fins des doigts	Utilisation d'un appareil d'enroulage semi-automatique déjà existant

CHAPITRE IX

ÉVALUATION DES CORRECTIFS APPORTÉS

9.1. Sertissage

9.1.1. Appareil de test FRFA semi-automatique

Le prototype d'appareil de test FRFA développé dans le cadre de cette étude ergonomique a dû être évalué afin de s'assurer qu'il respecte l'intégrité des produits testés sur cet appareil. On a aussi voulu démontrer que le prototype ne ralentissait pas de façon importante la productivité des travailleuses et qu'il n'introduisait pas de mouvements ou postures nuisibles à la santé et la sécurité des travailleuses.

9.1.1.1. Qualité du produit

Afin de vérifier que le prototype n'altérait pas la qualité du produit, certaines propriétés mécaniques ont été évaluées sur les produits testés pour la force de rétention du fil à l'aiguille sur le prototype. Les résultats obtenus ont ensuite été comparés avec les résultats de tests similaires effectués sur des produits testés manuellement pour la force de rétention du fil à l'aiguille.

Il fallait d'abord s'assurer que les mâchoires qui retiennent le fil lors du test n'endommageaient pas celui-ci en le serrant trop fort. On a fait l'hypothèse que si le fil était serré trop fort par les mâchoires, sa résistance à la rupture en tension aurait été moindre comparativement à celle d'un produit d'un même type et de même grosseur en parfait état.

On peut donc conclure que le prototype n'endommage pas le fil de façon à réduire sa résistance en tension ou la rétention du fil à l'aiguille; deux principaux modes de bris que risquait d'introduire le prototype.

À l'observation microscopique, les fils observés ne présentaient aucune anomalie.

La force maximale atteinte lors du mouvement est de 1,6 kg pour une pesée de 1,1 kg pour un test fait sur le prototype de même que pour un test manuel. Ce test nous montre donc que le prototype est équivalent au test manuel, sur ce point.

9.1.1.2. Satisfaction des travailleuses

Les travailleuses sont, en général, satisfaites du prototype. Elles sentent que le temps de cycle est plus long lorsqu'elles utilisent le prototype mais dans le cas où elles doivent tirer un poids de 1,1 kg ou plus sur 100% des sutures, elles sont prêtes à prendre plus de temps en échange de l'effort qui leur est enlevé.

Elles soulignent que lorsqu'elles utilisent le prototype sur des produits testés à 1,8 kg sur 100% des produits, elles ressentent moins de douleur au niveau du haut du dos et des épaules. Ce seul facteur justifie, pour elles, l'adaptation que requiert le nouveau mode opératoire et l'augmentation du temps de cycle.

Elles se disent aussi prêtes à s'adapter au changement si le prototype diminue leurs chances de développer des lésions attribuables au travail répétitif.

9.1.1.3. Productivité

Le rendement obtenu par les travailleuses sur le prototype est considéré satisfaisant si on observe les données sur le rendement de 6 sertisseuses qui ont travaillé avec le prototype (voir Annexe III).

Nous avons estimé que le temps de cycle pourrait être allongé jusqu'à une seconde, dans les cas extrêmes; c'est-à-dire lorsqu'elles prennent un seul fil dans sa main droite au lieu d'une couette de fils. Dans les cas où elles prennent une couette de fils en utilisant le prototype, le temps de cycle reste sensiblement le même. Elles doivent s'adapter à prendre un plus long bout de fil de la suture comparativement à la méthode actuelle, étant donné l'insertion du fil dans les mâchoires. L'allongement du temps de cycle provient principalement de ce changement de mode opératoire et du fait qu'elles prennent moins de fils dans la main droite pour ne pas qu'ils se mélangent, puisqu'ils pendent plus longuement.

9.1.2. Presse ajustée en profondeur

9.1.2.1. Qualité du produit

Ce prototype n'introduit aucun risque de compromettre la qualité du sertissage. C'est pour cette raison qu'aucun test supplémentaire de contrôle de la qualité n'a été fait.

9.1.2.2. Satisfaction des travailleuses

Le prototype semble soulager un grand nombre des travailleuses des douleurs musculaires qu'elles ressentent dans le haut du dos et aux épaules. Elles en sont très satisfaites.

9.1.3 Presse pneumatique

Nous avons réussi à diminuer le nombre de gaufrages à l'aide de ce prototype. On peut maintenant sertir des produits en un seul gaufrage contrairement aux deux ou quatre gaufrages habituels. Le but visé a été atteint; diminuer les mouvements du poignet gauche, puisque la sertisseuse ne doit plus tourner l'aiguille.

9.1.3.1. Qualité du produit

Trois commandes ont été inspectées à 100% par l'équipe du contrôle de la qualité. Elles ont fait les tests habituels tels que; la force de rétention du fil à l'aiguille, l'inspection du fil et de l'aiguille au microscope, la longueur du fil, etc. Aucun défaut dû au nouveau mécanisme n'a été détecté lors de ces inspections.

9.1.3.2. Satisfaction des travailleuses

Seul un nombre restreint de sertisseuses ont travaillé avec le prototype au moment de notre départ de l'entreprise. Nous ne pouvons donc pas nous prononcer sur l'appréciation de plusieurs sertisseuses face au prototype. Toutefois celles que nous avons rencontré on bien accueilli ce prototype.

CHAPITRE X

DISCUSSION

10.1 Analyse des résultats de l'étude

Les tâches à risque identifiées pour le sertissage et l'enroulage ont été présentées en Tableau 8.1 et 8.2. Elles ont été identifiées pour les raisons suivantes;

. la répétitivité des mouvements;

. les forces impliquées;

. les efforts musculaires statiques pour tenir l'aiguille ou pour certaines personnes pour soulever le poids par le fil;

. la vitesse des mouvements;

. le temps passé à faire ce travail, c'est-à-dire pendant tout le quart de travail;

. les postures défavorables des poignets et des avant-bras.

Certains de ces facteurs ont pu être évalués alors que d'autres sont plus difficiles à mesurer dans des situations réelles de travail. Par exemple, il nous a été impossible de mesurer la vitesse des mouvements, bien que nous ayons pu mesurer le temps de cycle,

nous n'avons pas pu mesurer le déplacement qu'implique le mouvement et par conséquent la vitesse du mouvement. Il serait intéressant de pouvoir pousser les travaux de recherches afin de développer des moyens simples de mesurer la vitesse du mouvement puisque nous posons comme hypothèse que la vitesse des mouvements est un facteur de risque important pour bon nombre de lésions musculo-squelettiques. La seule référence que nous ayons dans le cas présent est le temps de cycle ou le temps d'exertion du mouvement ce qui ne nous donne pas la vitesse du mouvement. Comme nous l'avons expliqué au chapitre 2, la vitesse du mouvement est importante dans la lubrification des gaines synoviales et elle peut aussi induire des forces d'impact lorsqu'elle est grande.

D'autres facteurs de risque n'ont pas pu être traités de façon exhaustive avec l'entreprise dans le cours de cette étude, particulièrement toutes les questions d'organisation du travail. Nous avons proposé aux superviseurs des départements concernés de faire certains changements à l'organisation du travail, comme par exemple, de réorganiser le travail en faisant faire le sertissage et l'enroulage par la même personne de façon à varier le travail pour les travailleuses. La direction ne semblait pas ouvertes à ce type de solutions. Selon eux, elles étaient trop difficile à gérer ou à implanter. D'après nous, les seules modifications des outils de travail ne sont pas suffisantes comme mesures correctives aux problèmes qui ont été décelés au sein de l'entreprise étudiée. Nous croyions que les facteurs de risques des problèmes musculo-squelettiques sont de

natures plus complexes qui dépassent le seul fait d'avoir un poste de travail conçu selon les règles de l'art de l'ergonomie (bonnes postures, efforts physiques respectant les capacités humaines, etc.) Nous croyions qu'au-delà de ces facteurs, qui influencent directement la biomécanique des mouvements et gestes, il y a des facteurs de risques qui viennent aussi affecter la biomécanique des activités de travail mais de façon indirecte bien que tout aussi importante. Dans la présente étude ce facteurs qui ont été soumis à l'entreprise étaient notamment;

. le manque de variation dans le travail;

. le manque de contrôle de la qualité de la matière première;

. la formation des travailleuses.

Ces facteurs de risques, comme nous l'avons mentionné, pourraient être qualifiés d'indirects mais ils agissent néanmoins de façon à augmenter dans le premier cas, le temps d'exposition aux mouvements à risque, dans le deuxième à une augmentation de l'effort fait lors de la préhension du fil et de l'aiguille ainsi que l'augmentation de la tension musculaire. La formation, ou plutôt le manque de formation des travailleuses, contribue aussi à rendre le travail plus à risque par un processus d'apprentissage plus long des modes opératoires qui demanderont moins d'efforts et où les postures seront plus favorables. La formation est donc un moyen de diminuer la période de temps où les travailleuses utiliseront des modes opératoires défavorables en regard des lésions musculo-squelettiques.

Comme le sertissage et l'enroulage sont des travaux où les mouvements et gestes sont répétés tout au cours de la journée, mais qui sollicitent différemment les membres supérieurs, il nous semble que de combiner les deux travaux aurait pu être une piste supplémentaire de solution. Bien que ce type de solution n'élimine pas les facteurs de risques de chacun des travaux, il contribue toutefois à diminuer la sollicitation des groupes de muscles et ce si, et seulement si, les deux travaux sollicitent des groupes de muscles différents. Les mouvements faits dans les deux travaux étudiés sont différents mais sollicitent tout de même les mêmes groupes de muscles qui servent à la flexion/extension du poignet et à la flexion des doigts. Toutefois, la nature des mouvements n'est pas la même. Pour le sertissage les mouvements impliquent soit des efforts statiques maintenus pendant une grande partie du cycle ou encore des efforts dynamiques importants exécutés à vitesse rapide alors que pour l'enroulage les mouvements sont faits sans trop d'effort mais les poignets sont constamment en mouvements à des vitesses rapides. Les atteintes des travailleuses de ce départements sont également différentes en fonction de leur travail; au sertissage les travailleuses sont atteintes de tendinites aux poignets avec plus de cas du côté gauche, bien que les deux poignets soient touchés, et à l'enroulage, on retrouve surtout des syndrome du canal carpien et des tendinites de Quervain (ténosynovite de Quervain). Ceci nous permet de penser que les structures sont sollicités différemment. Ce qui nous amène à croire que la fusion de ces deux tâches aurait pu contribuer à diminuer le risque pour ces lésions musculo-squelettiques. Comme nous l'avons mentionné plutôt, il nous a été impossible

de tester cette hypothèse lors des travaux que nous avons effectué au sein de l'entreprise.

Le contrôle de la qualité de la matière première est aussi un point important qui a été soulevé et qui a reçu un accueil assez froid de la part de la direction du département. On se souvient que les travailleuses ont dit devoir forcer plus lorsque le fil « s'effiloche » plus. La qualité du forage du trou dans l'aiguille est aussi un facteur important qui fait que le travail est plus difficile. Ces problèmes ont été soulevés à la direction du département qui disait ne pouvoir rien faire pour corriger cette situation.

Toutefois, il nous semble que des critères de bonne qualité devraient être exigés des fournisseurs, non seulement pour la qualité du produit fini mais aussi pour des raisons de santé et sécurité du travail. Dans le cas présent, plusieurs travailleuses associaient directement l'épidémie de lésions musculo-squelettiques (voir Figure 4.1) au manque de qualité du fil pendant l'année 1991.

La formation est également un sujet sur lequel nous sommes intervenu, notamment pour la formation des nouvelles méthodes de travail qu'entraînaient les solutions mises en place. Il nous semblait que la formation aurait pu être un moyen supplémentaire de valider les prototypes et de donner d'avantages d'information sur les résultats de l'étude. Nous avons donc proposé au superviseur de donner une courte session de formation

pour l'utilisation des nouveaux outils, ce qu'il a refusé. Nous avons donc dû procéder par une courte démonstration pour montrer aux travailleuses comment les nouveaux appareils fonctionnaient. Il nous semble que cette question aurait dû être discutée dès le début de l'étude afin d'éviter les négociations de dernières minutes quant à la formation sur les nouveaux outils proposés. Le manque de formation sur de nouveaux outils de travail peut devenir une nouvelle source de danger dans le travail. Nous avons d'ailleurs dû étudier les nouvelles méthodes de travail de certaines travailleuses après l'implantation des nouveaux outils puisque certaines d'entre elles développaient des douleurs dû à une mauvaise utilisation des outils. La formation est donc, à notre avis, un élément important dans le changement du travail suite à une étude ergonomique qui devrait faire partie du plan initial de travail de l'ergonome.

10.2 Appréciation des solutions

Aujourd'hui, les pull-tests automatiques ne sont utilisés qu'avec les gros poids (1,4 à 1,8 kg). On doit alors se demander pourquoi puisque les gens semblent conscients des risques que comporte leur travail. Une des réponses est que la configuration de l'appareil implique que les sertisseuses doivent prendre de très petites couettes de fil ou démêler les couettes de fil après l'opération puisque le fil pend étant donné la longueur du caoutchouc qui retient le fil dans l'appareil. Ceci a donc pour effet de ralentir leur production.

Lors du design préliminaire de cet outil (pull-test automatique) nous avons étudié les possibilités de raccourcir au maximum la partie qui retient le fil; dans le prototype accepté, la matrice de caoutchouc. Nous avons étudié les possibilités d'avoir un caoutchouc courbé pour augmenter la surface de contact et avoir une meilleure résistance au glissement, à cause de l'augmentation de surface et de la distribution des forces due aux courbes. Nous avons étudié la possibilité d'enrouler le fil autour d'une tige. Ces deux possibilités ont été rejetées à cause des critères de qualité. Il fallait donc s'assurer de ne pas endommager le fil en le soumettant à des contraintes localisées qui auraient pour effet de l'effilocher ou de modifier sa résistance. Il était donc impossible d'enrouler ou de courber le fil. Il fallait qu'il reste droit le plus possible. La matrice droite facilitait aussi l'insertion du fil et augmentait moins le temps de cycle.

Nous estimons que les travailleuses ont grandement participé à cette étude. Toutefois, elles ne faisaient pas partie de l'équipe de design des prototypes. Est-ce qu'elles auraient pu prédire que les fils allaient s'emmêler si elles avaient participé au design des solutions? Étaient-elles disposées à participer au design? Avaient-elles les capacités pour faire partie d'une équipe de design et de s'exprimer librement? Avaient-elles les moyens de le faire, auraient-elles pu être libérées de leur travail? Lorsqu'elles travaillaient avec moi, c'était toujours sur leur propre temps de production, elles devaient toujours satisfaire les quotas de production. Lors de cette étude, nous n'avons jamais exigé qu'elles fassent officiellement partie de l'équipe de design. Bien sûr, nous

leur avons présenté les prototypes et nous avons demandé leurs commentaire, mais jamais dans un cadre formel. Aujourd'hui, il nous semble que les solutions auraient pu être mieux acceptées si un comité de travailleuses et de superviseur avait participé à l'élaboration du design. Toutefois, il nous semble aussi que la culture de l'entreprise n'était pas vraiment favorable à une telle démarche. Dans la prochaine section, nous traiterons plus en détail du rôle de l'ergonome dans l'évolution de cette culture.

Comme la productivité est le moyen d'évaluation le plus important pour les travailleuses et qu'elles veulent toutes faire un bon travail, elles utilisent l'appareil semi-automatique que lorsqu'elles en ressentent un bénéfice marqué. C'est-à-dire lorsqu'elles doivent tester la FRFA avec de gros poids (1,4 à 1,8 kg). Elles choisissent donc un compromis entre la productivité et la prévention de la douleur et des lésions musculo-squelettiques. De plus, lorsqu'elles voient leur productivité diminuer, elles sont appelées au bureau du superviseur qui leur demande des explications, voila une autre raison pour ne pas ou moins utiliser l'appareil de FRFA semi-automatique. Le problème qu'on a rencontré à ce sujet était plutôt situé au niveau des cadres intermédiaires. La haute direction se disait prête à accepter que le temps de cycle augmente un peu si cela a pour effet de garder les gens au travail et en santé, ce discours n'a cependant jamais été partagé par les cadres intermédiaires du département. Lors d'une réunion de tous les superviseurs de l'usine on m'a clairement expliqué que c'était inacceptable de changer le temps de cycle. Nous avons mis la haute direction au courant de cette réaction des cadres intermédiaires.

Selon nous, ils doivent être ceux qui initient le mouvement pour faire comprendre aux cadres intermédiaires l'importance de l'utilisation de l'appareil pour la prévention des lésions musculo-squelettiques. Ainsi, les travailleuses pourraient utiliser les outils de prévention mis à leur disposition sans avoir a craindre de représailles de la part de leur supérieur immédiat. La direction était consciente qu'il fallait franchir ces étapes. Elle était aussi consciente que ce processus est long et que les résultats n'allaient pouvoir être atteints qu'avec beaucoup de persévérance. Elle nous a assuré qu'elle allait y travailler.

La solution la plus intéressante pour éviter les problèmes au niveau du pull-test aurait été un appareil intégré directement à la presse. On aurait alors éliminé la séquence d'opération pour aller mener l'aiguille et sortir l'aiguille. Ceci n'a pas pu être fait à cause des contraintes de temps et d'argent. Le développement d'un tel appareil demande de plus gros moyens et plus de temps pour l'étude d'ingénierie. On peut facilement imaginer qu'un tel appareil aurait sensiblement diminué le temps de cycle et aurait tout aussi bien éliminé les efforts que la travailleuse doit faire pour tirer sur le fil. On peut donc estimer qu'étant donné les contraintes de temps, de qualité de la production et des moyens financiers, la solution mise en place est acceptable et diminue les risques de lésions musculo-squelettiques; ce qui était le but premier de cette opération.

On peut donc conclure que ce prototype n'est pas parfait, mais qu'il est le résultat d'un compromis entre toutes les contraintes de temps, d'argent, de la qualité de production et de productivité tout en atteignant l'objectif premier qui est de diminuer les risques de lésions musculo-squelettiques reliés au travail. Cette diminution des risques est partielle, puisqu'on l'utilise seulement avec les gros poids, elle est heureusement utilisée là où les risques sont les plus grands.

De plus, tout au long de l'étude des changements dans l'organisation du travail ont été proposés, comme par exemple de travailler à un même poste pour garantir un ajustement adéquat du poste. Mais étant donné qu'il faut monter les tables et les presses, pour faire le « set-up », et que ce travail est fait par une autre personne que la sertisseuse, il aurait fallu 2 tables par personne. De plus, cela ne laissait pas assez de flexibilité au niveau de la production des commandes pour que cette façon de faire soit mise en pratique.

Les autres solutions implantées l'ont été avec succès. Particulièrement l'ajustement possible de la presse sur la table. Ce moyen facile et simple d'ajuster la presse pour pouvoir adopter une meilleure posture a été bien acceptée de toutes. Il soulage grandement les douleurs des sertisseuses au niveau du haut du dos et des poignets. Douleurs qui étaient causées par des postures défavorables. La presse pneumatique a été aussi très appréciée puisqu'elle diminuait à la fois les mouvements de poignets et les temps de cycle. Cet appareil remplissait donc deux objectifs principaux; prévenir les

lésions musculo-squelettiques et augmenter la productivité. Nous confirmons encore une fois qu'une solution, pour être acceptée par le milieu doit remplir ces deux critères essentiels.

10.3 Réflexions de l'ergonome sur cette expérience d'étude ergonomique

Une des premières questions à soulever est l'implication des travailleuses à l'intérieur de l'équipe de design des solutions. On peut dire que deux solutions sur 3 ont été adoptées très facilement tandis que la dernière l'a été de façon mitigée. Il faut cependant dire que l'utilisation de l'appareil de test FRFA pour les gros poids diminue significativement les risques de lésions musculo-squelettiques de l'avant-bras droit. Cependant, lorsque une telle nouvelle méthode de travail n'est pas adoptée tout le temps, il devient alors facile, à notre avis, de laisser tomber cette nouvelle méthode. Nous n'avons toutefois pas pu vérifier cette hypothèse lors de notre étude. Pour revenir à la question soulevée quant à l'implication des travailleuses, nous croyions qu'une implication formelle des travailleuses aurait eu un effet bénéfique sur l'utilisation d'un nouvel outil de travail, ceci pour deux raisons principales. Comme le prototype actuel est les résultat de compromis entre les objectifs premiers de prévention des lésions musculo-squelettiques et les besoins spécifiques de maintenir un produit de bonne qualité, nous croyions que les travailleuses auraient mieux accepté le produit final si elles avaient eu à participer au design d'un tel compromis. Ainsi, elles auraient été

conscientes de tous les objectifs et de toutes les contraintes pris en considérations dans le processus de design. Toutefois, comme dans le cas où seul l'ergonome et l'ingénierie développent le nouvel outil, et étant donné qu'un nombre restreint de travailleuses peut participer à l'équipe de design, la communication devient un élément clé vers l'acceptation du nouvel outil par toutes les travailleuses. Mais plus important encore dans la participation d'un groupe de travailleuses est la difficulté que nous avons de connaître le travail réel et ce malgré toutes les techniques et toute la bonne volonté de l'ergonome. Lors de cette étude, l'ergonome a passé environ 2 jours par semaine pendant un peu moins d'un an dans le département de sertissage et d'enroulage, à étudier le travail en plus des nombreuses séquences vidéo qui ont pu être visionnées. Malgré cela, il nous a été impossible de prévoir que la longueur des mâchoires de l'appareil de test FRFA semi-automatique allait augmenter le temps de cycle et rendre le travail plus difficile en permettant que les fils s'emmêlent. Est-ce que les travailleuses auraient pu le prédire? Nous ne le saurons jamais, mais nos chances d'arriver à un meilleur prototype auraient sûrement été plus grandes. À notre avis, dans toute la démarche de recherche de solutions et même d'identification de problèmes, les travailleurs et les travailleuses doivent être formellement impliqués pour pouvoir arriver à de meilleurs résultats et donc à des solutions viables pour le milieu. Il ne faut jamais oublier que la solution trouvée est toujours un compromis, et qui est le mieux placé pour décider si un compromis est acceptable ou non que le milieu?

On vient donc à se poser qu'elle est la place de l'ergonome dans cette démarche que plusieurs appellent participative? À mon avis, et c'est aussi celle de Noro & Imada (1991) la place de l'ergonome en devient une de formateur et de facilitateur. Il devrait poser les bonnes questions qui font que le milieu chemine vers la bonne réponse. Ce rôle n'est pas facile, il demande une humilité tout en restant ferme lorsque l'équipe de travail dévie un peu de sa trajectoire.

Est-ce que toutes les entreprises sont prêtes à fonctionner de cette façon? À notre avis, nous somme loin de pouvoir faire de l'ergonomie participative dans tous les milieux, mais l'ergonome devrait pouvoir adapter son intervention pour amener le milieu à cheminer dans cette direction. Est-ce que cela implique que l'ergonome doit exiger un comité formé de cadres et de travailleurs et travailleuses lorsque ses service sont requis? À notre avis, une discussion devrait avoir lieu à ce sujet dès les premières rencontres avec les personnes qui demandent l'étude. L'ergonome devrait alors présenter les avantages de fonctionner en équipe participative. Il ne peut toutefois pas exiger que cette méthode soit utilisée, il ne ferait que rendre le milieu rébarbatif à ce mode d'intervention.

Un autre point important est le choix des intervenants de l'entreprise à inclure dans une telle démarche. Selon l'expérience que nous avons eu pour la présente étude, il nous semble important que les personnes suivantes participent aux travaux;

. un groupe de travailleurs et de travailleuses qui font le travail étudié;

. le superviseur du département concerné;

. une personne de l'ingénierie d'usine;

. les responsables en santé et sécurité du travail (syndical et patronal);

. un représentant du département d'entretien (lors du développement des solutions);

. un responsable du contrôle de la qualité;

. l'ergonome.

Dans la présente étude, toutes ces personnes ont été rencontrées, de façon formelle ou informelle. Cependant, nous croyions que pour initier le milieu à utiliser les principes d'ergonomie et pour continuer le développement des outils qui ont été proposés après le départ de l'ergonome, des rencontres formelles et structurées devraient avoir lieu tout au long de l'étude. Noro & Imada (1991) ont d'ailleurs proposé un modèle de comités pour encadrer les démarches d'ergonomie participatives de façon plus complète et détaillée que ce que nous présentons dans ce chapitre.

Une question qui a été soulevée lors de cette étude, et par la suite dans d'autres études faites par l'auteur, et qui reste en suspens est; jusqu'où peut-on aller dans l'aide apportée aux travailleurs et aux travailleuses pour « simplifier » ou encore automatiser leur travail afin de prévenir les accidents du travail et les maladies professionnelles?

Lors de nos travaux au département de sertissage, les travailleuses ont mentionné ne pas beaucoup aimer la machine Matsutani, la plus automatisée des presses, parce qu'elles ne « sentaient » pas le gaufrage. En effet, les sertisseuses disent « sentir » si le gaufrage est bien fait ou non à travers la pédale mécanique, ou plutôt la force qu'elles doivent appliquer sur la pédale. Tandis qu'avec une pédale électrique, elles n'ont aucune idée si le gaufrage est bien fait ou non ou encore si la matrice s'est fissurée lors de l'opération. Elles ne peuvent alors contrôler la qualité du produit qu'après l'opération par les différents tests (inspection visuelle ou au microscope, test FRFA, etc.). Ainsi, on peut penser qu'elles se sentent « dépossédées » de leur connaissances et de leur expertise à contrôler la qualité dès la fabrication. Nous ne connaissons pas l'impact de ces changements sur les travailleuses, mais il nous semble que tout changement qui pourrait rendre le travail qui est déjà répétitif moins intéressant pourrait avoir des conséquences sur la santé des travailleuse à d'autres niveaux qu'au niveau des lésions musculo-squelettiques.

La crainte que le robot les remplacent étaient très présente chez ces travailleuses. Comme il a été mentionné plutôt, il nous est arrivé à d'autres reprises de faire face à cette réaction de méfiance face à l'allégement de la tâche, même si cet allégement avait pour effet de diminuer les risques de maladies professionnelles ou d'accidents du travail. Il semble que cette préoccupation devrait être présente chez l'ergonome lorsque vient le temps de proposer des voies de solutions.

Nous croyons également que les ingénieurs, de toutes disciplines, devraient avoir des notions de base en ergonomie. Il est trop fréquent de voir des appareils, outils et machineries qui auraient pu être conçus de façon plus sécuritaires avec une connaissance minimale des facteurs humains. Les entreprises et les ingénieurs d'usines ne peuvent assumer seuls ce fardeau. Nous en avons eu un exemple lors de cette étude, bien que l'ingénieur d'usine se soit familiarisé avec l'ergonomie au cours de l'étude, il était impossible pour lui de reprendre la conception de tous les outils qui lui semblaient non sécuritaires. L'ergonomie de conception revêt alors tout son importance.

10.4 Les facteurs de risques sont-ils connus?

Le débat sur les facteurs de risques des lésions musculo-squelettiques prend beaucoup de place dans le travail de l'ergonome. En effet, comme on a pu le constater, les facteurs de risques sont encore mal connus de la communauté scientifique et très peu connus des milieux de travail. Toutefois, il nous apparaît clair que les connaissances actuelles des facteurs de risques sont largement suffisantes pour permettre la conception de postes de travail sécuritaires et mieux adaptés. Comme nous l'avons vu, ces postes en plus de devenir plus sécuritaires contribuent souvent à augmenter la productivité des entreprises.

Bien que les connaissances actuelles nous permettent de travailler à concevoir des postes et une organisation du travail mieux adaptée, nous devrions tout de même tenter de mieux connaître et de mieux cerner les facteurs de risques présents dans le travail. Certaines hypothèses émises dans ce mémoire valent, à notre avis, la peine d'être étudiées plus en profondeur.

De façon générale, il nous semble important de valider les résultats d'études épidémiologiques par de la recherche fondamentale plus poussée telle que la physiologie, la biomécanique ou l'histologie, par exemple. Nous ne pouvons nous contenter des résultats d'études épidémiologiques pour établir un lien de cause à effet valable. Ces études épidémiologiques donnent cependant d'excellentes pistes pour faire de la recherche fondamentale.

D'autre part, nous ne devrions pas nous contenter de résultats de recherches effectués en laboratoire dans des conditions qui sont souvent des simplifications de situations réelles ou qui ne tiennent tout simplement pas compte des situations réelles auxquelles sont soumises les structures tendineuses quotidiennement. Ainsi les études faites en laboratoire dans de conditions où on contrôle les paramètres devraient être soumises aux tests de la « vraie vie ». Malheureusement, il est rare de trouver de telles études, d'autre nature que les études épidémiologiques.

Nous avons émis l'hypothèse que les tendons et leurs structures peuvent être soumis à la fatigue de la même façon que n'importe quel matériau connu dans le domaine de l'ingénierie. Nous croyions que cette hypothèse est plausible, mais qu'en est il vraiment? Est-ce que les matériaux biologiques répondent aux mêmes lois que les matériaux d'ingénierie, notamment en ce qui concerne la fatigue? Est-il trop simpliste de comparer un matériau biologique capable de se régénérer dans des condition idéales et constantes et capable de s'adapter à une vaste gamme de situations à un matériau fabriqué ou usiné et traité de façon plus ou moins contrôlée? Les matériaux biologiques sont ils réellement soumis aux phénomènes de fluage et de relaxation des contraintes tout comme les matériaux viscoélastiques connus? Il serait intéressant de mieux connaître ces phénomènes pour les structures tendineuses puisque le maintient de certaines contraintes pendant un période de temps plus ou moins longue est chose courante. Il serait aussi très important de mieux connaître les conditions pour lesquelles ces phénomènes deviennent significatifs afin de pouvoir tester si dans des conditions d'activités physiques ces phénomènes sont déclenchés.

Une meilleure connaissance de la réponse en fatigue des structures tendineuses est tout à fait pertinente puisque dans la problématique des lésions musculo-squelettiques la répétition de mouvements et de gestes à risque et donc de mises en contrainte est au coeur de la discussion.

De façon générale, afin de mieux pouvoir modéliser les facteurs de risques biomécaniques des lésions musculo-squelettiques de la recherche devrait être faite pour mieux connaître les propriétés mécaniques des structures musculo-tendineuses. Des études de comparaisons du lien entre les efforts et les lésions pour des groupes qui font des activités plus ou moins exigeantes devraient être faites afin vérifier l'impact des différents paramètres identifiés dans ce mémoire, soit entre autres;

. la vitesse des mises sons contrainte;

. la fréquence de la mise en contrainte;

. la durée de la mise en contrainte;

. les postures des segments;

. les effets d'une combinaison de ces paramètres, puisque les situations réelles peuvent combiner plusieurs de ces paramètres.

La lumière devrait être faite quand aux modalités de lubrification des gaines synoviales. Les mécanismes de lubrifications sont ils les mêmes pour les gaines synoviales qu'aux articulations? Bien qu'il est connu que la synovie est la même pour ces deux structures, nous savons aussi que les matériaux des surfaces ne sont pas les mêmes; quelles sont alors les différences entres les mécanismes de lubrification des ces deux structures? Avec une meilleure connaissance de ces mécanismes et des propriétés mécaniques des gaines nous pourrions modéliser les phénomènes de lubrification des gaines et ainsi être

en mesure de mieux identifier les situations qui risquent de porter atteinte à ces structures. Il serait aussi important de connaître l'impact des variations de température sur les propriétés lubrifiantes de la synovie puisque le froid est considéré comme un facteur de risques dans la problématique actuelle.

Le manque de précision sur les connaissance des facteurs de risques reste un problème et ce malgré le fait que nous pouvons tout de même faire beaucoup de prévention des lésions musculo-squelettique avec les connaissances actuelles. Nous savons que la cause des problèmes musculo-squelettiques est l'atteinte de la limite de la résistance des structures musculo-tendineuses, et que cette limite de résistance s'exprime en réponse à une mise en contrainte. Cependant, les connaissances actuelles ne nous permettent pas de déterminer qu'elle est le seuil de résistance des structures lors de la mise en contrainte dans des situations réelles d'activité physique. Ainsi, nous ne connaissons toujours pas l'effet de la combinaison des facteurs de risques qui viennent moduler les contraintes soumises aux structures. Y-a-il un facteur de risque plus important que d'autres? Doit-on avoir deux, trois ou quatre facteurs de risques pour mener à une lésion? Que fait-on de la capacité individuelle à tolérer les facteurs de risques, puisque nous savons que même pour des travaux à risque, ce n'est pas la totalité de la population qui est touchée? Comment dissocier l'individu du risque? Comment dire si ce travail est à risque pour une personne ou non? Il nous semble très difficile de répondre à cette

question voire même impossible étant donné l'état des connaissances actuelles des facteurs de risques.

La question sous-jacente à ces réflexions est de savoir jusqu'à quel point les ergonomes devraient travailler à aménager le travail pour s'assurer qu'une grande quantité d'individus, les forts comme les faibles, les personnes en santé comme celles qui le sont moins, puissent travailler de façon sécuritaire? Nous croyions que l'élaboration de ces choix revient à la société et à ses représentants et qu'ils sont les seuls à pouvoir déterminer quels sont les risques qui lui sont acceptables de développer des lésions musculo-squelettiques.

Nous ne disposons pas à l'heure actuelle de balise qui nous aide à déterminer le risque objectif relié à un travail. Le mieux que nous puissions faire est de comparer deux travaux et dire que un est plus à risque que l'autre. Il reste donc des travaux de recherche fondamentale à faire pour être en mesure de quantifier le risque de façon objective. Des travaux plus poussés que des recherches en épidémiologie devront être faits pour déterminer des balises quant aux taux de répétitions à risque, la vitesse des mouvements ou la vitesse relative entre les parois des gaines synoviales, la résistance en fatigue des structures tendineuses, la résistance en compression des structures tendineuses, etc. Mais malgré la connaissance de ces pistes importantes pour objectiver le risque, peut-on penser qu'elle sera suffisante pour déterminer si un travail est risqué

ou non pour tel ou tel individu? Nous croyions que non, puisque vient en cause les autres facteurs de risques mentionnés dans cet ouvrage tel que les différences individuelles au niveau anatomique, physiologique ou biomécanique. Viennent aussi les facteurs organisationnels du travail comme le stress, les relations de travail, la formation en milieu de travail, etc. Nous poserons donc la question suivante; Dans quelle direction devons nous aller pour améliorer notre capacité de déterminer le risque de lésions musculo-squelettique au travail? Mais plus fondamentalement encore, pouvons nous penser pouvoir déterminer objectivement les risques d'atteintes par des lésions musculo-squelettiques?

CONCLUSIONS

Cette étude porte sur les lésions musculo-squelettiques chez les sertisseuses et les enrouleuses de sutures chirurgicales. Ce travail comporte des risques pour de telles lésions aux avant-bras, notamment;

. la répétitivité

. des efforts musculaires statiques maintenus pendant une grande fraction du temps de cycle (environ 70% du cycle de sertissage)

. la vitesse d'exécution des mouvements

. des postures inadéquates

. des temps de cycles courts

. le manque de variété dans le travail

. le manque de contrôle de la qualité de la matière première

Des outils qui éliminent certains facteurs de risques ont été développés et évalués avec succès. La plupart on été facilement adoptés par les travailleuses, un seul est utilisé partiellement. Nous recommandons donc à l'entreprise l'implantation des solutions proposées, soit;

. le pull test semi-automatique, au sertissage;

. la presse ajustée, aussi au sertissage;

. la presse pneumatique pour le sertissage;

. l'utilisation de la machine DDS-II et de cartons pré-pliés, au département d'enroulage.

Les résultats de l'évaluation de ces prototypes ont été positifs et concluants. Ces prototypes peuvent donc être utilisés sans crainte pour l'intégrité de la qualité des sutures. Un certain temps d'adaptation devrait être accordé aux travailleuses lors de l'implantation de ceux-ci étant donné que certains de ces prototypes, en particulier le pull test automatique, requièrent un changement des modes opératoires.

Nous recommandons aussi qu'un outil de préhension de l'aiguille, au sertissage, soit développé. La préhension de l'aiguille comporte un risque par les efforts soutenus que font les travailleuses pour être certaines qu'elles n'échappent pas les aiguilles. Lorsque le stress augmente, elles serrent davantage l'aiguille entre leurs doigts ce qui représente un risque accru pour les lésions musculo-squelettiques. Comme cette solution demandait beaucoup d'énergie en temps et en développement, nous n'avons pas pu développer cette solution.

Dans ce rapport, nous posons quelques questions qui nous semblent sans réponses et pour lesquelles la recherche devrait être poursuivie. Nous croyions que la communauté scientifique devrait faire le point sur les avenues à entreprendre dans le futur afin de

mieux cerner les besoins de connaissances afin de pouvoir être en mesure d'évaluer le risque au travail de développer une lésion musculo-squelettique. Ceci, étant donné la diversité des facteurs de risques de toute nature qui contribuent au déclenchement d'une lésion, tels que; les facteurs biomécaniques, les facteurs personnels ainsi que les facteurs de l'organisation du travail pour ne nommer que ces catégories.

Nous avons soulevé dans ce rapport différentes avenues de recherches fondamentales à développer, notamment au niveau de la connaissance des propriétés biomécaniques des structures tendineuses en situations reflétant la réalité des activités de travail, notamment au niveau de la fatigue mécanique des structures tendineuses et au niveau de la vitesse des mouvements. Les effets des facteurs organisationnels sont aussi moins connus en consultant la littérature mais sont à notre avis très important, notamment; le stress, la communication dans les relations interpersonnelles et entre les niveaux hiérarchiques, les nouvelles formes d'organisation du travail. Ce sont à notre avis des avenues de recherches intéressantes dans la compréhension des facteurs de risque des lésions musculo-squelettiques.

RÉFÉRENCES

ABRAHAMS, M. (1967). Mechanical Analysis of Tendon in Vitro: A Preliminary Report, Med Biol Eng, 5, 433-443.

ARMSTRONG, T.J. et CHAFFIN, D.B. (1979). Carpal Tunnel Syndrome and Selected Personal Attributes, Journal of Occupational Medicine, 21, no. 7, 481-486.

ARMSTRONG, T. J., RADWIN, R. G., HANSEN, D. J. et KENNEDY, K. W. (1986). Repetitive Trauma Disorders: Job Evaluation and Design, Human Factors, 28, no. 3, 325-336.

AYOUB, M.A. et WITTELS, N. (1989). Cumulative Trauma Disorders, International Reviews of Ergonomics, 2, 217-272.

BARATTA, R. et SOLOMONOW M. (1991). The Effect of Tendon Viscoelastic Stiffness on the Dynamic Perfomance of Isometric Muscle, J. Biomechanics, 24, 109-116.

BENJAMIN, M., EVANS, E. J. et COPP, L. (1986). The Histology of Tendon Attachments to Bone in Man, Journal of Anatomy, 149, 89-100.

BJÖRQVIST, S.-E., Lang, A.H., Punnonen, R. et Rauramo, L. (1977). Carpal Tunnel Syndrome in Ovarectomized Women, Acta Obstet Gynecol Scand, 56, 127-130.

CHEVREMONT, M. (1975). Notions de cytologie et histologie, vol. I et II, 3e édition, Éditions Desoer, Liège, 1402 p.

CSEUZ, K. A. et al. (1966). Long-Term Results of Operation for Carpal Tunnel Syndrome, Mayo Clin. Proc., 41, 232-241.

DALE, W. C. et BAER, E. (1974). Fibre-Buckling in Composite Systems: a Model for the Ultrastructure of Uncalcified Collagen Tissues, Journal of Materials Science, 9, 369-382.

DIXON, W. J. et MASSEY, F. J. (1957). Introduction to Statistical Analysis, 2e édition, Mc Graw Hill, New York, 488 p.

DUMBLETON, J. H. (1981). Tribology of Natural and Artificial Joints, Tribology Series, 3, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 460 p.

FUNG, Y-C. B. (1973). Biorheology of Soft Tissues, Biorheology, 10, 139-155.

GILBERT, R., Résistance à l'effort des structures musculo-squelettiques, Montréal.

GLAESER, W. A. et coll. (1993). Characterization of Tribological Materials, Butterworth-Heinemann, Boston, 174 p.

GOLDSTEIN, S. A. (1981). Biomechanical Aspects of Cumulative Trauma to Tendons and Tendon Sheaths, Ph.D. Thesis, University of Michigan, Ann Arbor, MI.

GOLDSTEIN, S. A. et al. (1987). Analysis of Cumulative Strain in Tendons and Tendon Sheaths, J. Biomecanics, 20, no. 1, 1-6.

GRAY, H. (1974). Anatomy: Descriptive and Surgical, Running Press, Philadelphia.

HADLER, N. M. (1990). Cumulative Trauma Disorder: An Iatrogenic Concept, Journal of Occupational Medicine, 32, 38-41.

HAM, A. W. et CORMACK, D. H. (1979). Histology, 8e édition, J.P. Lippincott Company, Philadelphie, 966 p.

HOWARD, N. J. (1937). Peritendinitis Crepitans: A Muscle-Effort Syndrome, The Journal of Bone and Joint Surgery, 19, 447-459.

HUTCHINGS, I. M. (1992). Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, CRC Press, Boca Raton, 273 p.

JOZSA, L., KANNUS, P., BALINT, J.B. et REFFY, A. (1991). Three-Dimensional Ultrastructure of Human Tendons, Acta Anatomica, 142, 306-312.

KALPAKJIAN, S. (1989). Manufacturing Engineering and Technology, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, 1199 p.

KEYSERLING, W.M. (1986). Postural Analysis of the Trunk and Shoulders in Simulated Real Time, Ergonomics, 29, 569-583.

KROEMER, K. H. E. (1992). Avoiding Cumulative Trauma Disorders in Shop and Offices, American Industrial Hygiene Association Journal, 53, no. 9, 596-604.

KUORINKA, I. et al. (1995). Work Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs): A Reference Book for Prevention, Taylor & Francis, London, 421 p.

KURPPA, D., PEKKA, W. et ROKKANEN, P. (1979). Peritendinitis and Tenosynovitis: A Review, Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, 5, suppl. 3, 19-24.

KVARNSTROM, S. (1983). Occurrence of Musculoskeletal Disorders in a Manufacturing Industry with Special Attention to Occupational Shoulder Disorders, Scandinavian Journal of Rehabilitation and Medicine, 8, 1-56.

LAMPHIER, T. A., CROOKER, C. et CROOKER, J. L. (1965). De Quervain's Disease, Industrial Medicine and Surgery, 34, 847-856.

LEONHARDT, H. (1977). Human Histology, Cytology and Microanatomy, Year Book Medical Publishers, Chicago, 440 p.

LOOMIS, L. K. (1951). Variations of Stenosing Tenosynovitis at the Radial Styloid Process, The Journal of Bone and Joint Surgery, 33A, 340-346.

LUOPAJÄRVI, T., KUORINKA, I., VIROLAINEN, M. et HOLMBERG, M. (1979). Prevalence of Tenosynovitis and other Injuries of the Upper Extremities in Repetitive Work, Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, 5, suppl. 3, 48-55.

MAILLET, M. (1979). Les tissus de soutien, Collection histologie et histopathologie humaines, Vigot, Paris, 96 p.

MASSEY, E.W. (1978). Carpal Tunnel Syndrome in Pregnancy, Obstetrical and Gynecological Survey, 33, 145-148.

MOORE, D. F. (1975). Principles and Applications of Tribology, Pergamon Press, Oxford, 388 p.

MOORE, J.S. et GARG, A. (1992). Ergonomics: Low-Back Pain, Carpal Tunnel Syndrome, and Upper Extremity Disorders in the Workplace, Occupational Medicine: State of the Art Reviews, 7, no. 4, 713-740.

MOORE, A., WELLS, R. et RANNEY, D. (1991). Quantifying Exposure in Occupational Manual Tasks with Cumulative Trauma Disorder Potential, Ergonomics, 34, 1433-1453.

MOW, V.C. et MAK, A.F. (1987). Lubrication of Diarthrodial Joints, in R. Skalak et S. Chien (eds.), Handbook of Bioengineering (New York,Mc Graw-Hill), 5.1-5.34.

MUCKART, R. D. (1964). Stenosing Tendovaginitis of Abductor Pollicis Longus and Extensor Pollicis Brevis at the Radial Styloid, Clinical Orthopaedics, 33, 201-208.

NIGG, B. M. et HERZOG, W.(1994). Biomechanics of the Musculo-Skeletal System, Wiley & Sons, Chichester, 567 p.

NORO, K. et IMADA, A. (1991). Participatory Ergonomics, Taylor & Francis, London, 220 p.

OVALLE, W.K. (1987). The Human Muscle-Tendon Junction: A Morphological Study During Normal Growth and at Maturity, Anatomy and Embryology, 176, 281-294.

PERRON, N. et GILBERT, R. (1993). Étude des problèmes musculo-squelettiques chez les travailleurs de sertissage et d'enroulage de sutures chirurgicales, article soumis pour les Proceedings du 26e Congrès de l'Association Canadienne d'Ergonomie, Fredericton, Nouveau-Brunswick.

PHALEN, G.S. (1951). Spontaneous Compression of the Median Nerve at the Wrist, J.Am.Med.Assn., 145, 1128-1132.

POLICARD, A. (1965). Les réactions inflammatoires et leur dynamique: Biologie-pathologie et pharmacodynamie, Masson et cie., Paris, 227 p.

PRADAS, M. M. et CALLEJA, R. D. (1990). Nonlinear Viscoelastic Behaviour of the Flexor Tendon of the Human Hand, Journal of Biomechanics, 23, 773-781.

PUJOL, M. et al. (1993). Pathologie professionnelle d'hypersollicitation: Atteinte périarticulaire du membre supérieur, Masson, Paris, 62-110.

RACK, P. M. H. et ROSS, H. F. (1984). The Tendon of Flexor Pollicis Longus: Its Effects on the Muscular Control of Force and Position at the Human Thumb, Journal of Physiology, 351, 99-110.

REILLY, P. A., TRAVERS, R. ET LITTLEJOHN, G. O. (1991). Epidemiology of Soft Tissue Rheumatism: The Influence of the Law, The Journal of Rheumatology, 18, 1448-1449.

RODINEAU, J. et SAILLANT, G. (1986). Pathologie du membre supérieur du joueur de tennis, Masson, Paris, 83-119.

SCHATZKER, J. et BRÅNEMARK, P.-I. (1969). Intravital Observation on the Microvascular Anatomy and Microcirculation of the Tendon, Acta Orthopaedica Scandinavica, suppl. 126, 1-23.

SEMPLE, J. C. (1991). Tenosynovitis, Repetitive Strain Injury, Cumulative Trauma Disorder, and Overuse Syndrome, et cetera, The Journal of Bone and Joint Surgery, 73-B, 536-538.

SILVER, F. H. (1987). Biological Materials: Structure, Mechanical Properties, and Modeling of Soft Tissues, New York University Press, New York, 170-174.

SILVERSTEIN, B. A., FINE, L. J. et ARMSTRONG, T. J. (1986). Hand Wrist Cumulative Trauma Disorders in Industry, British Journal of Industrial Medicine, 43, 779-784.

SILVERSTEIN, B. A., FINE, L. J. et ARMSTRONG, T. J. (1987). Occupational Factors and Carpal Tunnel Syndrome, American Journal of Industrial Medicine, 11, 343-358.

SOFERMAN, N., WEISSMAN, S.L. et HAIMOV, M. (1964). Acroparesthesias in Pregnancy, American Journal of Obstetrics and Gynecology, 89, 528-531.

SPITZER, W.O. et al. (1986). Rapport du groupe de travail québécois sur les aspects cliniques des affections vertébrales chez les travailleurs, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, 296 p.

STINCHCOMB, W. W. et al. (1975). Effects of Frequency on the Mechanical Response of Two Composite Materials to Fatigue Loads, Fatigue of Composite Materials, ASTM STP 569, American Society for Testing and Materials, 115-129.

SWAJIAN, G.R. (1981). Carpal Tunnel Syndrome: A Five-Year Study, Journal of American Osteopathic Association, 81, 49-51.

SWANN, D. A. (1978). Macromolecules of Synovial Fluid, in The Joints and Synovial Fluid, vol. 1, Leon Sokoloff ed., 491 p.

SWANSON, A. B., MATEV, I. B. et DE GROOT, G. (1970). The Strength of the Hand, Bulletin of Prosthetics Research, fall 1970, 145-153.

TANZER, R. C. (1959). The Carpal Tunnel Syndrome, The Journal of Bone and Joint Surgery, 41-A, no. 4, 626-634.

TIDBALL, J.G. (1983). The Geometry of Actin Filament-Membrane Associations Can Modify Adhesive Strength of the Myotendinous Junction, Cell Motility, 3, 439-447.

THOMPSON, A. R., PLEWES, L. W. et SHAW, E. G. (1951). Peritendinitis Crepitans and Simple Tenosynovitis: A Clinical Study of 544 Cases in Industry, British Journal of Industrial Medicine, 8, 150-160.

TROTTER, J.A., EBERHARD, S. et SAMORA, A. (1983). Structural Connections of the Muscle-Tendon junction, Cell Motility, 3, 431-438.

VANDER, A. J. et al. (1989), Physiologie humaine, 2e édition, Mc Graw-Hill, Montréal, 801 p.

VERNE, J. (1963). Précis d'histologie: La cellule-les tissus-les organes, 6e édition, Masson et cie., Paris, 690 p.

WALLACE, M. et BUCKLE, P. (1987). Ergonomic Aspects of Neck and Upper Limb Disorders, In D. J. Osborne (ed.), International Reviews of Ergonomics Volume 1, (Taylor and Francis, London), 173-200.

WILSON, W.F. et HUESTON, J.T. (1973). The Intratendinous Architecture of the Tendons of Flexor Digitorum Profundus and Flexor Pollicis Longus, The Hand, 5, 33-38.

YAMAGUCHI, D. M., LIPSCOMB, P. R. et SOULE, E. H. (1965). Carpal Tunnel Syndrome, Minnesota Medicine, 48, 22-34.

ANNEXE I: MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE D'UNE ÉTUDE ERGONOMIQUE

1. Définition et identification du problème
    - . analyse de la demande
    - . consultation des partenaires sociaux
    - . visite de la situation de travail
    - . synthèse et reformulation de la demande

2. Analyse de la situation de travail
    - . facteurs économiques
    - . facteurs techniques
    - . facteurs sociaux
    - . facteurs organisationnels

3. Analyse des activités réelles de travail
    - . inventaire des activités humaines
    - . organisation des relations entre les activités

4. Prise de mesures

. le travail

. l'opérateur humain

. l'environnement physique de travail,

. le système

5. Diagnostic/Synthèse

6. Élaboration d'une solution

7. Réalisation, vérification et suivi

ANNEXE II: DISTANCE ENTRE LES YEUX ET LE PLAN DE TRAVAIL

Distance yeux-plan de travail
pour les employés du sertissage chez Cyanamid

Identification de la sertisseuse	distance yeux-plan de travail (cm)	hauteur sol-yeux en position assise (cm)	hauteur sol-dessus de l'épaule en position assise, (cm)	Commentaires
5	25	104,5	89,0	produit micro 7/0, fil et aiguille très petit
13	21	106,5	89,5	Ticron 2/0
12	20	114	98,5	Ticron 2/0, elle courbe le dos
6	30	118,5	100,5	Ticron 2/0
2	22	109,5	96	Ticron 2/0
3	30	122,5	102,5	Ticron 2/0
7	23,5	111,5	95,5	Dexon or 5/0
18	32	----	----	Soie 4/0
1	17,5	111	17,5	Novafil 5/0
10	29	112,5	95	Flexon 1/0
14	28	118	101,5	Flexon 1/0, avec loupe
moyenne	27,8	112,9	96,1	
entre	17,5	104,5	89,0	
et	32	122,5	102,5	

ANNEXE III: RENDEMENT DES SERTISSEUSES LORS DES ESSAIS DU PROTOTYPE DU "PULL-TEST AUTOMATIQUE"

Rendement de six travailleuses

Employée	Date	Norme de production (en %)
13	30/09/93	84
	1/10/93	72
	2/10/93	90,5
	5/10/93	97,0
22	7/10/93	63
	9/10/93	68
	13/10/93	94
	14/10/93	127
8	7/10/93	62
23	7/10/93	62
	8/10/93	62
	20/10/93	122
	21/10/93	120
14	27/10/93	96
	28/10/93	98,7
19	22/10/93	65,7
	23/10/93	86

ANNEXE IV: RELEVÉ DES POSTURES

Résumé des observations faites
sur la posture des employés du sertissage

Partie du corps	Posture	No. d'observations
Tête	aucune flexion	5
	légère flexion (< 30°)	11
	flexion moyenne (> 30°)	11
	légère abduction droite	13
	avance le cou	2
Épaules	légèrement élevées	5
	pas élevées	16
	légèrement courbées	4
	droites (non courbées)	9
Tronc	droit	12
	flexion cervicale légère (< 20°)	9
	flexion cervicale moyenne (entre 20° et 45°)	3
	légère flexion à partir de la partie dorsale	3
	avancé vers l'avant (mais droit)	2
	fesses avancées, dos en pente mais droit	2
Bras droit	aucune abduction	16
	abduction légère (< 45°)	3
	abduction moyenne (entre 45° et 90°)	7
	coude appuyé	4
	avant-bras appuyé	7
	aucun appuie	12
	appuie pendant le sertissage seulement	1

Partie du corps	Posture	No. d'observations
Bras gauche	aucune abduction	10
	abduction légère (< 45°)	9
	abduction moyenne (entre 45° et 90°)	8
	coude appuyé	6
	avant-bras appuyé	0
	aucune appuie	15
	appuie pendant une partie du cycle seulement	2
Jambe droite	genou droit	13
	flexion du genou	5
	extension du genou	9
	cheville droite	14
	flexion de la cheville	10
	extension de la cheville	3
Jambe gauche	genou droit	9
	flexion du genou	9
	extension du genou	7
	cheville droite	11
	flexion de la cheville	9
	extension de la cheville	5
	jambe croisée sur la droite	1
	jambe croisée sous la droite	1

Nombre d'observations: 27
Nombre d'employés observés: 12

observations sur les presses suivantes

presse micro: 5
presse régulière: 9
presse matsutani: 11
presse micro-channel: 2
Note 1: Les observation sont faites sur places pendant environ 5 minutes.

Note 2: Pour chaque employé, une observation est faite le matin et une l'après-midi.

Différences importantes dans la posture en fonction de la stature et du type de presse

Presse Matsutani:

- Abduction très légère ou aucune abduction des bras.

- Le tronc est généralement plus droit et appuyé au dossier lorsqu'on compare avec un travail sur la presse régulière.

- Les bras ne sont pas appuyés en général.

Presse Suzle:

- Le tronc est plus souvent avancé du dossier de la chaise.

- L'abduction des bras est plus grande que sur la matsutani, plus particulièrement pour le bras gauche.

- Les avant-bras ou les coudes sont plus souvent appuyés que sur les presses matsutani.

Personnes de grande stature:

- Flexion plus grande de la tête.

- Avance le tronc en le gardant droit.

- Flexion au niveau du genou.

Personnes de petite stature:

- Abduction plus grande des bras accompagnée d'une élévation des épaules.

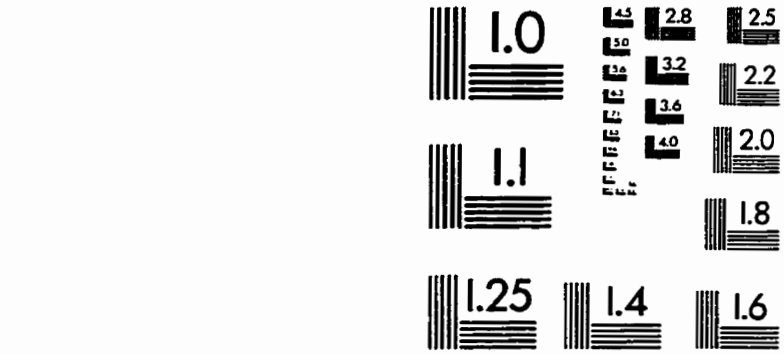
- Extension au niveau du genou.

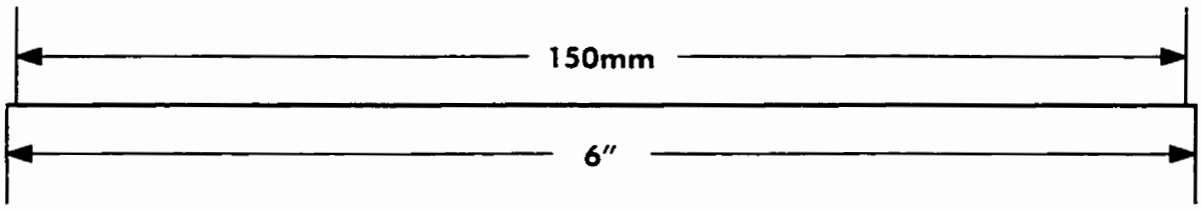
Résumé des postures
pour les employés de l'enroulage

Partie du corps	Posture	No. d'observations
Tête	aucune flexion	11
	légère flexion (< 30°)	6
	flexion moyenne (>30°)	2
	légère abduction droite	1
	légère abduction gauche	6
Épaules	non élevées	17
	droites (non courbées)	19
Tronc	droit	11
	flexion cervicale légère (< 20°)	6
	flexion cervicale moyenne (entre 20° et 45°)	2
Bras droit	aucune abduction	4
	légère abduction (< 45°)	15
Bras gauche	aucune abduction	5
	légère abduction (< 45°)	14

On peut noter que la posture des employés de l'enroulage en général bonne, aucune posture défavorable n'a été observée, c'est-à-dire, une posture où les angles sont plus que moyenne.

IMAGE EVALUATION TEST TARGET (QA-3)





APPLIED IMAGE, Inc
1653 East Main Street
Rochester, NY 14609 USA
Phone: 716/482-0300
Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied Image, Inc., All Rights Reserved