



Le développement d'applications didactiques pour faciliter l'apprentissage du
tolérancement fonctionnel au collégial

par

Pinsonneault, Daniel

Essai présenté à la Faculté d'éducation

en vue de l'obtention du grade de

Maitre en éducation (M. éd.)

Maitrise en enseignement collégial

Juin 2011

© Daniel Pinsonneault, 2011

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté d'éducation

Maitrise en enseignement collégial

Le développement d'applications didactiques pour faciliter l'apprentissage du
tolérancement fonctionnel au collégial

par

Daniel Pinsonneault

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

_____ Directeur d'essai

Daniel Cervera

_____ Évaluateur externe

Michel Gignac

Essai accepté le : _____

Sommaire

L'auteur de cet essai est professeur en techniques de génie mécanique au collège de Valleyfield depuis plus de trente ans. Tout au long de sa carrière, il s'est intéressé aux nouveautés technologiques qui n'ont pas manqué dans ce domaine. Il a eu l'occasion d'expérimenter plusieurs méthodes d'enseignement et il s'est toujours intéressé aux TIC et à l'informatique en général.

La question générale de cette recherche peut s'exprimer ainsi : Est-il possible de développer des applications didactiques à l'aide de logiciels de modélisation industriels, pour faciliter l'apprentissage des concepts de tolérancement fonctionnel aux étudiantes et étudiants du niveau collégial en Techniques de génie mécanique?

Cet essai de maîtrise a pour objectif de proposer une approche d'enseignement à partir d'une situation problème en utilisant un environnement et les outils informatiques propres à la profession future de la technicienne ou du technicien en génie mécanique. Il s'adresse à des professeures et professeurs du niveau collégial québécois qui enseignent le tolérancement fonctionnel. À partir d'un devis technique, l'auteur propose des stratégies et des outils didactiques basés sur l'utilisation d'un logiciel de modélisation paramétrique. L'essai a été construit avec le logiciel Autodesk Inventor¹, version 2011. Cependant, les notions de base sont transférables dans tout autre logiciel de modélisation du même genre. En plus de proposer des méthodes d'utilisation du logiciel, l'auteur a préparé des applications didactiques pour simuler l'effet des tolérances fonctionnelles dans les assemblages. Ces applications sont construites avec les fonctions de base du logiciel, en relation avec des fichiers Excel², qui sont modifiables par les utilisateurs.

L'originalité de cet essai repose sur le fait qu'il est en dehors du cadre habituel des recherches en enseignement collégial : plutôt que de mettre l'emphase sur une expérimentation suivie d'une analyse de données, l'auteur a choisi de développer son sujet en se basant sur ses expérimentations antérieures.

Le développement de la situation problème et des applications didactiques va bien au-delà de l'habituelle préparation de cours d'une ou d'un professeur de niveau collégial. Les méthodes et outils proposés ont pour but de présenter une nouvelle approche de l'enseignement du tolérancement fonctionnel plus stimulante pour les étudiantes et les étudiants et qui facilitera l'atteinte des compétences d'une matière qui est habituellement aride à enseigner.

¹ <http://usa.autodesk.com/autodesk-inventor/>

² <http://office.microsoft.com/fr-ca/excel/>

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	6
PREMIER CHAPITRE.....	8
1. LA PROBLÉMATIQUE.....	8
1.1 Le contexte de la recherche.....	8
1.2 Le DEC en techniques de génie mécanique.....	8
1.3 Les champs de spécialisation.....	9
1.4 L'approche par compétences.....	9
1.5 Les approches d'enseignement.....	10
1.6 Le profil des étudiants.....	11
1.7 Le tolérancement.....	12
2 LE PROBLÈME DE RECHERCHE.....	13
2.1 L'enseignement du tolérancement.....	13
2.2 Les logiciels d'applications.....	14
3 LA QUESTION GÉNÉRALE DE LA RECHERCHE.....	16
3.1 Objectif général de la recherche.....	16
DEUXIÈME CHAPITRE.....	17
1 LE CADRE DE RÉFÉRENCE.....	17
1.1 La recherche sur l'enseignement du tolérancement.....	17
1.2 Le concept didactique de représentation.....	18
1.3 La motivation.....	19
TROISIÈME CHAPITRE.....	24
1 LA MÉTHODOLOGIE.....	24
1.1 Le paradigme épistémologique.....	24
1.2 L'approche méthodologique.....	25
1.3 Le type d'essai.....	26
1.4 La validation.....	28
1.5 L'expérimentation.....	30
1.6 Les retombées.....	31
QUATRIÈME CHAPITRE.....	32
1 LES APPLICATIONS DIDACTIQUES.....	32
1.1 La situation problème.....	32

1.2	Les applications didactiques	32
1.3	Les prérequis	33
1.4	Les prérequis matériels	33
2	PRÉSENTATION DE LA SITUATION PROBLÈME	34
2.1	Mise en situation :	34
2.2	Objectifs :	35
3	DEVIS DE CONCEPTION	36
3.1	Étapes de réalisation	39
3.2	Barème de correction	44
4	GUIDE D'ENSEIGNEMENT ET DE SIMULATION	45
4.1	Étape 2 : Modélisation de la poulie	46
4.2	Étape 3 : Modélisation de la roue dentée	55
4.3	Étape 4 : Étude et modélisation des clavetages	64
4.4	Étape 5 : Étude du montage des roulements	79
4.5	Étape 6 : Étude du montage des anneaux élastiques	90
4.6	Étape 7 : Étude des conditions d'installation et d'assemblage	97
4.7	Étape 8 : Modélisation du bâti, de l'arbre et des clavettes	106
4.8	Étape 9 : Assemblage du mécanisme	112
4.9	Étape 10 : Préparation des dessins techniques	119
4.10	Étape 11 : Préparation du document final	124
4.11	Étape 12 : Correction et évaluation	124
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	125
	ANNEXE 1	128
	ANNEXE 2	129
1	PROTOCOLE D'EXPÉRIMENTATION PROPOSÉ	129
1.1	Méthode d'échantillonnage	129
1.2	Population	130
1.3	Échantillon	130
1.4	Préoccupations éthiques	131
1.5	Techniques de collecte de données	132
1.6	Instruments de collecte de données	133
1.7	Méthode d'analyse des données	134
1.8	Exemples de données qui seront recueillies	136
1.9	Moyens pris pour éviter les biais ou pour assurer la scientificité	136
1.10	Limites	137
	ANNEXE 3	139

Abréviations

ATE :	Alternance Travail Étude
APC :	Approche Par Compétences
CAO :	Conception Assistée par Ordinateur
DAO :	Dessin Assisté par Ordinateur
DEC :	Diplôme d'Études Collégiales
DVD :	Digital Video Disc
FAO :	Fabrication Assistée par Ordinateur
ISO :	International Standards Organization (Organisation internationale de normalisation)
MMC :	Maximum Material Condition (Condition au maximum de matière)
SGP :	Spécification Géométrique des Produits
TG :	Tolérancement Géométrique
TGM :	Techniques de Génie Mécanique
TIC :	Technologies de l'information et de la communication

Introduction

Le thème général de cette recherche porte sur l'apprentissage du tolérancement fonctionnel au secteur technique collégial, plus précisément dans le programme de techniques de génie mécanique (TGM :241-A0). Le tolérancement est une manière d'indiquer, sur un dessin technique, l'erreur dimensionnelle, de forme, ou de position tolérable sur un élément géométrique d'une pièce.

Par exemple, une tasse à café doit être ronde, mais on peut facilement accepter un écart de plus ou moins 1 millimètre sur le produit fini par rapport au cylindre théorique de la forme de base tout en répondant à la fonction principale de l'objet. Par contre, s'il s'agit d'une pièce ronde qui doit s'ajuster dans une autre pièce ronde et que l'on veut qu'il y ait une étanchéité assurée par le jeu minime entre les deux surfaces, les défauts de dimensions, de formes de positions et de rugosité de surface doivent être limités, un exemple pourrait être l'assemblage du poussoir dans le tube d'une seringue. Dans le domaine de la conception mécanique, c'est le genre de contraintes qui doivent être calculées et évaluées en fonction des assemblages. Comme il est impossible de fabriquer des pièces parfaites, il faut toujours indiquer l'erreur admissible sur les dessins techniques, le but ultime étant toujours de minimiser les coûts de fabrication tout en assurant le bon fonctionnement de l'objet.

En mécanique, il y a plusieurs principes que l'on peut expliquer et démontrer visuellement, par exemple, les bras de levier, les rapports de vitesses, la force hydraulique, etc. Mais il y a aussi plusieurs concepts qui ne sont pas nécessairement observables, donc plus difficiles à assimiler par les étudiantes et les étudiants de notre secteur technique qui sont plutôt du type visuel.

Il y a très peu de matériel didactique disponible pour aider les professeures et les professeurs à présenter ces notions et à faire acquérir les compétences associées. Cet essai

propose des stratégies d'enseignement appuyées par des simulations graphiques sur ordinateur qui permettent aux étudiantes et aux étudiants de mieux assimiler les concepts de tolérancement fonctionnel dans le cadre d'une situation problème.



Premier chapitre

1. La problématique

1.1 Le contexte de la recherche

Le tolérancement est un concept abordé dès la première session dans le programme de techniques de génie mécanique TGM, principalement au niveau de l'interprétation du langage symbolique. Par la suite, les étudiants sont initiés aux méthodes de contrôle des tolérances dimensionnelles, de formes et de positions de base telles : la planéité, la circularité, la rectitude, le parallélisme ou la perpendicularité. L'apprentissage des normes et règles de tolérancement est une matière aride et difficile à assimiler par les étudiantes et les étudiants. Elles ou ils ne sont pas encore sensibilisés aux contraintes de fabrication en grande série ni au mode de fonctionnement des entreprises dans lesquelles les activités de conception et de fabrication sont souvent des entités complètement séparées.

Le thème de cet essai correspond au niveau à partir duquel les étudiantes et les étudiants mettent en application les apprentissages des cours dans lesquels ils ont appris à connaître, comprendre et appliquer les principes du tolérancement fonctionnel. Ils et elles en sont rendus au niveau de l'analyse et de la synthèse, donc à partir du niveau 4 de la pyramide d'apprentissage de Bloom³.

1.2 Le DEC en techniques de génie mécanique

L'enseignement technique au niveau collégial vise à former les personnes qui œuvrent entre l'ingénieur et l'ouvrier spécialisé. Le programme TGM vise à former des techniciennes et des techniciens aptes à effectuer la conception technique de divers

³ http://fr.wikipedia.org/wiki/Taxonomie_de_Bloom

composants mécaniques, à planifier leur fabrication et à veiller au contrôle de leur qualité. Lors de la refonte du programme au début des années 2000, les analyses de situation de travail ont fait ressortir le besoin de former la future main-d'œuvre des PME du Québec en les rendant plus polyvalents et aptes à s'intégrer à une équipe d'ingénieurs pour favoriser le développement de produits ou de processus.⁴ D'ailleurs depuis quelques années, de plus en plus de finissantes et de finissants poursuivent leurs études à l'École de technologie supérieure de Montréal pour devenir ingénieures ou ingénieurs.

1.3 Les champs de spécialisation

Le programme de TGM, au collège de Valleyfield, couvre trois secteurs du génie mécanique soient : la conception, la fabrication ainsi que l'automatisation et l'entretien des équipements. Le champ de spécialisation associé à cette recherche est celui de la conception : l'étudiante ou l'étudiant acquière les compétences en dessin et conception assistée par ordinateur qui lui permettent de concevoir des assemblages, des mécanismes ou de l'outillage de production. Le champ de spécialisation orienté vers la fabrication mène vers les compétences associées à la fabrication et à la planification de la production avec des machines-outils conventionnelles ou à commande numérique. Quant à la spécialisation en automatisation et entretien, elle permet à l'étudiante ou à l'étudiant de devenir apte à automatiser un processus de fabrication et à réaliser ou planifier l'entretien des équipements industriels.

1.4 L'approche par compétences

Au tournant du millénaire, le ministère de l'Éducation, du Loisir et des Sports (MELS) a introduit l'approche programme et l'enseignement par compétences. Le programme TGM du collège de Valleyfield a été redéfini en 2000 selon cette approche.

⁴ Ministère de l'Éducation du Québec. Étude préliminaire portant sur les compétences associées aux nouvelles organisations du travail dans le secteur manufacturier au Québec, septembre 1996, p. 34.

Avant la réforme, il y avait une série de cours dont les objectifs et contenus étaient définis par le ministère de l'Éducation; chaque collège avait cependant la possibilité de choisir certains cours à options dans une liste pour donner une teinte locale en fonction des besoins régionaux de chaque collège. À cette époque, les compétences découlaient de l'acquisition de savoirs au travers de ces cours. Lors de la réforme, le Ministère a défini des compétences suite à une analyse de situation de travail et les collèges devaient alors élaborer des cours pour atteindre ces compétences⁵. Dans le cadre de notre recherche, la compétence associée à notre sujet est la 013G, soit : Effectuer la conception technique d'un système industriel. L'atteinte de cette compétence se fait graduellement tout au long des trois ans de formation; le tolérancement est traité au travers de différents cours du programme pour permettre la maîtrise de la compétence terminale à la fin du cours de Dessin de construction mécanique qui est offert à la dernière session du programme de TGM au Collège de Valleyfield.

1.5 Les approches d'enseignement

Avec l'approche par compétence (APC), est aussi apparu un nouveau paradigme dans notre enseignement. Avant la réforme de 2000, l'approche behavioriste était pratiquée par bon nombre de professeures et professeurs, les étudiantes et les étudiants recevaient les enseignements de manière généralement magistrale. En fait, traditionnellement, l'enseignement technique faisait abondamment appel à des exposés oraux et des démonstrations pratiques réalisés par la professeure ou le professeur, lesquels étaient suivis de travaux dirigés, autonomes ou en groupe.

Depuis l'APC, les cours ont été reconstruits autour de situations problèmes et l'approche constructiviste a été adoptée par la majorité des enseignantes et des enseignants. Les travaux d'équipes sont plus nombreux et les interactions multidirectionnelles en classe sont favorisées. Cette nouvelle approche rend les cours plus dynamiques, mais elle a le défaut d'être difficilement applicable avec un thème aussi aride que le tolérancement

⁵ <http://www.mels.gouv.qc.ca/Ens-sup/ens-coll/cahiers/program/241A0.asp#note1>

fonctionnel parce que l'étudiant doit construire dans son imaginaire une représentation graphique tridimensionnelle complexe, alors que les moyens didactiques pour l'aider à construire cette représentation sont pratiquement inexistantes.

1.6 Le profil des étudiants

Depuis plus d'une vingtaine d'années, nous constatons que les étudiantes et les étudiants qui s'inscrivent dans le programme de TGM sont beaucoup plus du type visuel qu'auditif; ils aiment manipuler et voir le fonctionnement des mécanismes et ils apprennent facilement dans cette situation. Par contre, ils ont plus de difficultés avec les concepts plus abstraits qu'ils doivent s'imaginer ou se concrétiser pour les assimiler. Pour eux, un sinus ou un cosinus est associé à la figure d'un triangle rectangle, une pression hydraulique est associée à la couleur d'un conduit dans un logiciel de simulation et ainsi de suite. Ils ont grandi et étudié avec des jeux vidéos et des logiciels d'animation de toutes sortes. Lorsqu'on leur demande de réfléchir sans images, elles ou ils sont quelque peu dépourvus, non pas parce qu'ils en sont incapables, mais plutôt parce qu'ils n'ont pas vraiment développé cette façon de faire.

1.7 Le tolérancement

Les dimensions réelles d'une pièce mécanique ne correspondent jamais exactement à celles qui ont été spécifiées par les ingénieurs d'études en phase de conception. Certes, les outils et méthodes actuelles de fabrication industrielle permettent d'atteindre des niveaux de précision remarquables. Mais la vie réelle est ainsi faite qu'on ne pourra probablement jamais s'affranchir de toutes les incertitudes. Un outil de coupe s'use avec le temps et voit son arête tranchante rétrécir; il en est de même pour les surfaces usinées. Les ingénieurs sont donc contraints de tolérer un certain degré de variation par rapport aux spécifications dimensionnelles et géométriques des produits qu'ils conçoivent. Mais, comment déterminer la limite à partir de laquelle l'usure de l'outil de coupe devient nuisible au bon fonctionnement ou à la faisabilité industrielle du produit final? Comment mesurer l'impact des variations cumulées relatives aux différentes pièces constitutives d'un assemblage?

Aujourd'hui, le tolérancement se base sur l'utilisation et l'interprétation d'un langage commun. Au Québec nous utilisons principalement les normes de l'American Society of Mechanical Engineers⁶, qui est un organisme regroupant des utilisateurs et des universitaires qui ont comme mandat d'actualiser ces normes en relation avec l'évolution des technologies. Ces normes définissent un ensemble de règles graphiques permettant de spécifier la géométrie réelle des pièces par une annotation des modèles nominaux, mais pour connaître les valeurs des tolérances, il faut analyser fonctionnellement chaque mécanisme pour calculer les défauts admissibles sur chacune des composantes à dimensionner.

⁶ ANSI/ASME Y14.5-2009, American Society of Mechanical Engineers, *Dimensioning and tolerancing*, 2009, 224 p.

2 Le problème de recherche

Les défauts dimensionnels entre deux pièces sont relativement faciles à visualiser ou à imaginer; les étudiantes et les étudiants y arrivent assez bien. Par contre lorsqu'il est question de tolérer les pièces d'un assemblage plus complexe, qui inclut généralement plusieurs conditions fonctionnelles, la représentation est beaucoup plus difficile

Dans la section suivante, le problème de l'enseignement de la notion de tolérancement fonctionnel sera abordé en répertoriant les variables avec lesquelles les enseignantes et enseignants du programme TGM travaillent, ainsi que les outils déjà disponibles qui pourraient servir de base pour la construction d'outils de modélisation assistée par ordinateur du tolérancement fonctionnel.

2.1 L'enseignement du tolérancement

L'enseignement du tolérancement n'est généralement pas une activité privilégiée par les professeures et professeurs de TGM. Il s'agit de concepts plutôt théoriques qui rebutent les étudiantes et les étudiants puisqu'elles ou ils ont des difficultés à imaginer et à comprendre l'impact des défauts cumulés dans les assemblages mécaniques. La perception des étudiantes et des étudiants est biaisée par le fait qu'ils ne sont pas confrontés aux impératifs de la production en série dans leurs cours de fabrication; ces cours sont plutôt orientés vers le développement des compétences et habiletés liées à la conduite des machines-outils. Lorsqu'elles ou ils ont à usiner des pièces qui doivent s'assembler, il est assez simple pour eux d'ajuster les pièces entre elles dans le mécanisme sans tenir compte des cotes fonctionnelles et de l'interchangeabilité essentielle dans un environnement de fabrication en série.

Quant aux professeures et professeurs, ils doivent faire preuve de beaucoup d'imagination pour représenter ces concepts théoriques en trois dimensions avec les outils pédagogiques dont ils disposent. Il y a donc un besoin pour des applications didactiques qui faciliteraient l'enseignement et l'apprentissage de ces concepts.

2.2 Les logiciels d'applications

Les applications de simulation par ordinateur conventionnelles sont utilisées pour représenter graphiquement des phénomènes et il s'agit souvent de démonstrations guidées avec quelques menus pour varier certains paramètres. Dans notre cas, il s'agit d'une simulation d'assemblage de pièces mécaniques qui est contrôlée par des étudiantes ou des étudiants. Elles ou ils doivent avoir, impérativement, une maîtrise minimale de certains logiciels spécialisés du domaine du génie mécanique. Il ne s'agit donc pas de la simple animation d'un mécanisme, mais bien de l'affichage graphique en trois dimensions d'un assemblage affecté par les tolérances dimensionnelles choisies par les étudiantes ou les étudiants. Ces simulations sont développées à partir des fonctionnalités de base des logiciels de modélisation qui n'incluent pas pour le moment de tels outils de simulation.

« La route semble encore longue avant de disposer d'une suite complète d'outils numériques intégrés à la CAO pour traiter les problèmes de tolérancement qui se posent de la conception au contrôle en passant par l'industrialisation. Les développements dans le domaine devront accompagner le milieu industriel dans ses évolutions » (Hernandez, 2005)

Les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO), comme SolidWorks ou Autodesk Inventor, actuellement disponibles sur le marché sont très utiles pour concevoir et analyser des pièces et des produits, mais ils n'offrent pas ou peu d'outils pour simuler ou analyser des défauts dimensionnels et géométriques. Malgré le fait que ces logiciels comportent des fonctionnalités de simulation dynamique, d'analyse par éléments finis, de cinématique ainsi que celles qui permettent de valider les différents aspects du produit avant la production, il existe toujours un vide important en ce qui concerne l'assistance dans la détermination du tolérancement dans les assemblages.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le problème c'est que les procédés manufacturiers introduisent nécessairement des imperfections dans le produit. En effet, puisqu'il est impossible de fabriquer une pièce à une dimension exacte, il est nécessaire d'atteindre un degré de précision qui assure la fonctionnalité du produit. C'est la raison

pour laquelle on associe des tolérances sur chaque dimension. Les concepteurs indiquent donc le degré de précision requis sur la pièce, en tenant compte des erreurs de fabrication, pour assurer la fonctionnalité du produit. Les logiciels de CAO permettent de valider et même de simuler individuellement la valeur des tolérances dimensionnelles, mais la question des moyens permettant de simuler les conditions fonctionnelles d'un assemblage est encore très peu développée.

Les développeurs des logiciels de modélisation industriels commencent à peine à introduire des outils⁷ pour faciliter les calculs et vérifier la fonctionnalité des assemblages en relation avec les variations de tolérances des pièces constituanes, mais elles sont destinées aux experts du domaine qui veulent tenir compte de la dispersion des tolérances en fonction de la capabilité des procédés de fabrication et des probabilités statistiques de regroupement des pièces dans les assemblages. Les applications didactiques que nous avons préparées ont pour but de faire maîtriser les conditions limites seulement, ce que les anglais appellent les « worst case ».

« En conclusion, l'état actuel de la recherche démontre les difficultés à implanter une représentation adéquate de l'analyse de tolérances dans les logiciels de CAO. À peu près dans tous les logiciels commerciaux sont adoptées des méthodes déterministes et statistiques. Les résultats d'analyse obtenus doivent être interprétés à partir de tableaux de données, de graphiques ou de rapports générés en HTML. Très peu ont recours à un mode de visualisation géométrique des tolérances lors de l'analyse. La détermination des tolérances géométriques et dimensionnelles demeure donc un problème important qui requiert une expertise pour l'aborder. » (Dionne, Mascle, Baron, 2004)

Les applications que nous avons développées sont basées sur des assemblages simples dont les variations de formes et de tolérances sont contrôlées par des variables qui peuvent être modifiées par l'étudiante ou l'étudiant. Il est alors possible de visualiser l'assemblage selon différentes valeurs de tolérances afin de visualiser les jeux impliqués.

⁷ <http://www.ptc.com/products/proengineer/tolerance-analysis-extension>

3 La question générale de la recherche

Après avoir passé en revue quelques logiciels de simulation de tolérancement⁸, nous en sommes venus à la conclusion qu'ils étaient beaucoup trop spécialisés pour être utilisés dans un contexte d'apprentissage au niveau collégial. Nous avons donc décidé de développer une situation problème typique d'un processus de conception d'un assemblage mécanique en utilisant les fonctionnalités de base d'un logiciel de modélisation déjà utilisé et suffisamment maîtrisé par les étudiantes et les étudiants.

La question générale de cette recherche peut s'exprimer ainsi : Est-il possible de développer des applications didactiques à l'aide de logiciels de modélisation industriels, pour faciliter l'apprentissage des concepts de tolérancement fonctionnel aux étudiantes et étudiants du niveau collégial en Techniques de génie mécanique?

La représentation conceptuelle en annexe 1 permet de situer l'orientation de cette recherche dans le champ de la didactique.

3.1 Objectif général de la recherche

L'objectif général est d'utiliser les fonctions de base d'un logiciel de modélisation pour favoriser l'apprentissage des notions de tolérancement fonctionnel.

Nous avons préparé une situation problème qui consiste à faire la conception d'un mécanisme simple à partir d'un devis, en utilisant le logiciel de modélisation comme outil de visualisation graphique pour présenter l'influence des tolérances sur les conditions fonctionnelles. La situation problème sert de fil conducteur pour lier les différentes expérimentations et stimuler l'intérêt des étudiantes et des étudiants.

⁸ <http://www.ptc.com/products/proengineer/tolerance-analysis-extension>
<http://www.solidworks.com/sw/products/details.htm?productID=210>
<http://mitcalc3d-for-autodesk-inventor.lastdownload.com/>
http://www.3dcs.com/pages/sw_toleranceanalysis.php

DEUXIÈME CHAPITRE

1 LE CADRE DE RÉFÉRENCE

1.1 La recherche sur l'enseignement du tolérancement

Les recherches sur le tolérancement se divisent en plusieurs catégories. D'un côté, on cherche à compléter ou à modifier le langage de représentation du tolérancement pour combler certaines lacunes d'interprétations. De l'autre, on tente d'intégrer les tolérances aux modèles de CAO et de développer des outils informatiques pour en faire l'analyse.

Le langage de spécification du tolérancement a comme inconvénient de ne pas donner une définition mathématique explicite sur l'interprétation des spécifications. Les recherches dans ce domaine ont pour objectif d'améliorer les standards en définissant clairement le vocabulaire et la grammaire du langage.

Les recherches que nous avons consultées sur le tolérancement ont toutes une approche disciplinaire visant à intégrer les fonctionnalités de calculs et d'analyse des tolérances aux logiciels de modélisation industriels. Il ne semble pas y avoir de recherches orientées sur le volet didactique de l'apprentissage du tolérancement en utilisant ces mêmes logiciels. C'est pourquoi, dans le cadre de cette recherche, nous proposons des simulations didactiques de tolérancement en utilisant un logiciel de modélisation industriel. Il ne s'agit pas pour les étudiantes et les étudiants de simplement utiliser une application déjà préparée, mais de participer activement à la simulation en contrôlant eux-mêmes les différents paramètres. Elles et ils sont aussi en mesure de comprendre la logique de programmation et de réglage des logiciels impliqués. Toutes les simulations ont été faites en utilisant des fonctions de base dans les logiciels sans avoir recours à la création de macros ou d'interfaces logicielles.

Comme l'explique DeVries, cette façon d'utiliser un logiciel de simulation a une influence positive sur le processus d'apprentissage des étudiantes et des étudiants.

L'élève apprend en agissant sur la simulation d'une façon similaire à la façon dont il agirait dans une situation réelle. Il peut changer la valeur des variables et en observer les effets sur d'autres variables. Les tâches à exécuter par les élèves sont de manipuler, d'observer et d'interpréter les résultats. Le point de vue théorique est constructiviste; les élèves, par motivation intrinsèque, recherchent activement l'information. La compréhension est plus que l'absorption simple; les élèves structurent et organisent l'information. La connaissance n'existe qu'en étant construite par une personne et n'a une signification que par cette construction. Ainsi, les simulations prônent un apprentissage par la découverte et par l'action (learning by doing). Le point de vue est également celui de la cognition située; promouvoir des activités authentiques dans des situations ressemblant à la réalité. (DeVries, 2001)

1.2 Le concept didactique de représentation

Le concept de représentation est employé dans plusieurs champs disciplinaires tels la sociologie, la psychologie, l'histoire, la didactique et l'épistémologie des sciences et des technologies. Étant donné la spécificité de chacune de ces disciplines, on comprendra l'absence d'une définition universellement reconnue. Plusieurs auteurs ont contribué à expliciter ce concept de représentation. Voici quelques définitions :

Unité d'images, d'opinions, de croyances et d'attitudes, la représentation est la fabrication d'un système d'orientation cognitive et affective dans l'environnement matériel et social. La représentation est une expression d'un sujet fabricant de significations (Kaes, 1968, p. 59).

La représentation est constituée par l'ensemble des propriétés de l'environnement construites et organisées par le sujet à un moment donné. Cette représentation qui résulte des actions du sujet est donc étroitement liée aux tâches de celui-ci, ce qu'on exprime souvent en disant qu'elle est opératoire (Leplat, 1976, p. 8).

Une représentation correspond à une structure sous-jacente, à un modèle explicatif organisé, le plus souvent simple et logique, personnel ou d'origine sociale, qui est en rapport avec une structure de pensée et un niveau d'évolution. Ce modèle se trouve actualisé par une activité ou une famille de

questions et peut évoluer au fur et à mesure que se construisent les concepts (De Vecchi, 1987, p. 223).

À partir de ces définitions, on peut dégager, d'une part, que les représentations sont composées d'un ensemble d'images, d'analogies et de modèles qui constituent des mécanismes complexes servant à former une structure cognitive cohérente et particulière à chaque individu et, d'autre part, que ces représentations semblent résulter d'une interaction entre la personne et son environnement, d'où leur caractère distinct et diversifié d'un individu à un autre. Nous avons gardé ces concepts en tête tout au long du processus de développement des représentations à associer au concept de tolérancement fonctionnel.

1.3 La motivation

Dans une activité d'apprentissage par situation problème, l'étudiante ou l'étudiant est l'acteur principal; son rôle n'est pas de recevoir de l'information comme dans une activité d'enseignement traditionnelle, mais de se servir de la matière apprise pour résoudre les problèmes.

Selon Viau (2005), pour qu'une activité d'apprentissage suscite la motivation des élèves, elle doit respecter les conditions suivantes.

- Être signifiante

« Une activité est signifiante pour une étudiante ou un étudiant dans la mesure où elle correspond à ses champs d'intérêt et répond à ses préoccupations. »

La situation problème développée est en relation directe avec les compétences à atteindre en se rapprochant le plus possible d'une situation de travail réelle en milieu industriel.

- Être diversifiée et s'intégrer aux autres activités

« La diversité doit d'abord se retrouver dans le nombre de tâches à accomplir à l'intérieur d'une même activité et ces tâches doivent s'inscrire dans une séquence logique. »

Dans notre cas, le processus de conception d'un assemblage mécanique permet d'accomplir plusieurs tâches inter reliées à l'intérieur du même projet.

- Représenter un défi

« Une activité constitue un défi dans la mesure où elle n'est ni trop facile ni trop difficile. Ainsi, l'étudiante ou l'étudiant se désintéresse rapidement d'un succès qui ne lui a coûté aucun effort ou d'un échec dû à son incapacité à réussir une activité. »

La situation problème présentée représente un défi pour les étudiantes et les étudiants, en ce sens qu'elle est composée de plusieurs petits problèmes faciles à comprendre individuellement, mais qui sont pratiquement tous interreliés ou dépendant les uns des autres au fur et à mesure que le projet avance.

- Être authentique

« Une activité d'apprentissage doit mener à une réalisation, c'est-à-dire à un produit qui ressemble à ceux que l'on trouve dans la vie courante. En fait, il est important d'éviter le plus possible que l'étudiante ou l'étudiant ait le sentiment de devoir accomplir un travail qui ne présente de l'intérêt que pour son professeur et qui n'est utile qu'à des fins d'évaluation. »

La réalisation d'un assemblage mécanique dédié à une application industrielle concrète améliore la perception qu'elle ou il a de la valeur qu'il porte à ce qu'il fait.

- Exiger un engagement cognitif

« Une étudiante ou un étudiant est motivé à accomplir une activité si celle-ci exige de sa part un engagement cognitif. C'est ce qui se passe lorsqu'on utilise des stratégies d'apprentissage qui les aident à comprendre, à faire des liens avec des notions déjà apprises, à réorganiser l'information présentée, à formuler des propositions, etc. »

Dans notre cas, les étudiantes et les étudiants utilisent les notions acquises durant les cours préalables et elles ou ils ont à formuler des hypothèses pour prendre les bonnes décisions de conception.

- Responsabiliser en permettant de faire des choix

« La possibilité de faire des choix favorise la perception que l'étudiante ou l'étudiant a de sa capacité à contrôler ses apprentissages. Une activité risque de devenir démotivante si elle exige de tous qu'ils accomplissent les mêmes tâches, au même moment et de la même façon. »

Dans un processus de conception, il y a plusieurs choix personnels à faire qui peuvent se justifier selon le contexte, que ce soit dans le choix d'un composant standard, d'un type d'ajustement, de la valeur d'une condition fonctionnelle ou autre.

- Permettre d'interagir et de collaborer avec les autres

« Une activité d'apprentissage doit se dérouler dans une atmosphère de collaboration et amener les étudiantes ou les étudiants à travailler ensemble pour atteindre un but commun. L'apprentissage coopératif est fondé sur le principe de la collaboration et suscite généralement la motivation de la majorité des étudiantes et étudiants, car il favorise la perception qu'ils ont de leur compétence et de leur capacité à contrôler leurs apprentissages. »

Le processus de conception dans un milieu industriel implique la collaboration avec plusieurs collaborateurs, il en va de même pour les activités proposées, qui se font, parfois en groupe, parfois en équipe et individuellement pour la présentation finale.

- Avoir un caractère interdisciplinaire

« Pour amener les étudiantes ou les étudiants à voir la nécessité de maîtriser le français et l'anglais comme langue seconde, il est souhaitable que les activités

d'apprentissage qui se déroulent dans le cadre des cours de concentration fassent appel à ces compétences. »

Les documents de référence et les sites Web des manufacturiers sont souvent en anglais; les étudiantes et les étudiants doivent maîtriser minimalement la langue seconde pour y trouver les informations pertinentes. Tout au long du processus, elles ou ils doivent documenter et justifier leurs sélections ou leurs choix par écrit en utilisant un langage français clair et accessible. Elles ou ils se rendront compte que de bonnes connaissances langagières ne sont pas seulement utiles à ceux qui font des études littéraires, mais qu'elles sont profitables à tous ceux qui doivent communiquer clairement des informations.

- Comporter des consignes claires

« L'élève doit savoir ce que l'enseignant attend de lui. Ainsi, il ne perdra pas de temps à chercher à comprendre ce qu'il doit faire. Des consignes claires contribuent à réduire l'anxiété et le doute que certains élèves éprouvent quant à leur capacité à accomplir ce qu'on leur demande. »

Le devis de conception, les consignes de réalisation, les procédures de simulation, les règles de travail en équipe, le barème d'évaluation, etc., tout doit être remis par écrit ou par fichier et présenté clairement au moment opportun.

- Se dérouler sur une période de temps suffisante

« La durée prévue pour une activité effectuée en classe devrait correspondre au temps réel qu'une tâche équivalente requiert dans la vie courante. Le fait d'accorder à l'étudiante ou à l'étudiant le temps dont il a besoin l'aide à porter un jugement positif sur sa capacité de faire ce qui est exigé. »

L'activité proposée se déroule sur plusieurs périodes de cours, ce qui permet aux étudiantes et aux étudiants de réviser les concepts et d'expérimenter avec les simulations

disponibles pour maîtriser les différentes étapes de conception en dehors des heures régulières du cours.

Troisième chapitre

1 La méthodologie

1.1 Le paradigme épistémologique

L'approche épistémologique de cet essai est de type pragmatique. En regard de sa vision de la réalité, le chercheur veut vérifier si des outils didactiques interactifs peuvent faciliter l'apprentissage d'une matière complexe dans les cours de conception mécanique du DEC en TGM. « La réalité existe indépendamment du chercheur; elle peut être réduite et divisée en variables que le chercheur va étudier. » (Karsenti et Savoie-Zajc, 2004, p. 115)

Quant à la nature du savoir, le chercheur a donné plusieurs fois des cours de conception dans le programme TGM et il a régulièrement constaté que les étudiantes et les étudiants arrivaient difficilement à conceptualiser les interrelations entre les pièces d'un assemblage causées par les variations des tolérances. Il a donc élaboré et expérimenté des outils didactiques interactifs pour aider les étudiantes et les étudiants à visualiser les phénomènes. « On cherche à produire des généralisations, car la vérité est unique et le rôle du chercheur est de la découvrir peu à peu. » (Karsenti et Savoie-Zajc, 2004, p. 115)

Le développement de cette recherche s'est déroulé au Collège de Valleyfield, avec des professeurs, ainsi que des étudiantes et des étudiants inscrits au programme TGM. Bien que les cours soient maintenant construits individuellement dans chaque collège, il reste que les compétences à atteindre sont les mêmes; les savoirs produits sont donc transférables aux autres collèges du Québec et à tous les autres organismes qui doivent enseigner le tolérancement, que ce soit dans le cadre des formations sur mesure en entreprises ou dans le cadre d'autres programmes de formation apparentés. « Prédire l'occurrence d'un phénomène par l'étude des causes qui entraînent des effets dans certaines conditions. » (Karsenti et Savoie-Zajc, 2004, p. 115)

Le chercheur a fait tous les efforts requis pour demeurer objectif et neutre lors de l'évaluation des outils didactiques par des professeurs du département de TGM. Ceux-ci ont expérimenté les outils individuellement et le chercheur a reçu les critiques d'un point de vue constructif pour améliorer les outils didactiques ou la manière de les présenter. « Chercheur objectif et neutre, qui ne laisse pas ses valeurs influencer ses décisions et ses façons de considérer sa recherche. » (Karsenti et Savoie-Zajc, 2004, p. 115)

Il s'agit d'une recherche qualitative en ce sens que le chercheur n'a pas utilisé d'outils statistiques pour traiter des données, mais il a quand même obtenu des observations qualitatives lors des entrevues avec les professeurs qui ont expérimenté les applications développées.

Pour ce qui est du choix des techniques de travail, il veut toutefois peut-être élargir son éventail de moyens afin de produire des explications du phénomène étudié qui soient le plus riche possible. Sa recherche n'épousera donc pas une épistémologie positiviste et interprétative. C'est plutôt une vision pragmatique qui se développe, c'est-à-dire centrée sur une perspective intégratrice. (Karsenti et Savoie-Zajc, 2004, p. 117)

La plus grande partie de cette recherche a consisté à élaborer les outils didactiques et les méthodes de résolution de la situation problème. Les professeurs expérimentateurs ont été mis à contribution pour analyser et critiquer les applications didactiques développées avec le logiciel de modélisation.

1.2 L'approche méthodologique

L'approche méthodologique interprétative/qualitative est associée au paradigme pragmatique évoqué précédemment puisque le chercheur désire comprendre la dynamique d'apprentissage du tolérancement en se basant sur l'expérience vécue par ses étudiants, dans le programme où il enseigne depuis plusieurs années (milieu naturel du chercheur). Enfin, le savoir construit est contextuel et il est transférable à d'autres contextes.

L'interaction entre le chercheur et les participantes et participants a été privilégiée comme moyen pour mieux comprendre le sens donné au phénomène étudié. « La réalité est

construite par les acteurs d'une situation; elle est globale, car c'est la dynamique du phénomène étudié que le chercheur veut arriver à comprendre » (Karsenti et Savoie-Zajc, 2004, p. 115). Le chercheur a expérimenté les méthodes et certains outils didactiques dans le passé avec des étudiantes et des étudiants du cours ciblé par cette recherche, cependant, la situation problème telle que présentée dans cet essai n'a jamais été expérimentée en classe.

Cette recherche exprime des positions ontologiques et épistémologiques particulières dans la mesure où le sens attribué à la réalité est vu comme étant construit entre le chercheur, les participants à l'étude et même les utilisateurs éventuels des résultats de la recherche.

Ces derniers, en prenant connaissance des résultats de la recherche, se mettent en position de délibération, de critique et questionnent son applicabilité et sa transférabilité dans leur propre contexte. Dans cette démarche, le chercheur et les participants à la recherche ne sont pas neutres : leurs schèmes personnels et théoriques, leurs valeurs influencent leur conduite et le chercheur tente de produire un savoir objectivé, c'est-à-dire validé par les participants à la recherche. Le savoir produit est aussi vu comme dynamique et temporaire, dans la mesure où il continue d'évoluer. Le savoir est également contextuel, car les milieux de vie des participants colorent, orientent les résultats. (Karsenti et Savoie-Zajc, 2004, p. 128)

Cette citation s'appliquera lorsque le présent essai sera expérimenté dans un contexte d'enseignement avec une classe régulière. Cet aspect dépasse le cadre de cette étude.

1.3 Le type d'essai

Cette recherche, qui s'inscrit dans le pôle de l'innovation, vise à produire du matériel didactique; lequel pourra ultérieurement servir de base pour la préparation d'activités d'apprentissages par les professeurs qui donnent des cours dans lesquels ils traitent du tolérancement fonctionnel et qui pourrait ultérieurement mener vers une transformation des pratiques et des stratégies qui s'adapteront mieux dans le contexte général de l'approche par compétences.

Support essentiel à toute activité d'apprentissage, le matériel pédagogique a pourtant été longtemps exclu de la recherche en éducation. Le présent devis le propose comme objet unique de l'essai de maîtrise, qu'il s'agisse de matériel pour l'enseignement régulier, d'outils d'intervention en orthopédagogie, de matériel d'aide à l'apprentissage de moyens d'évaluation, etc. (Paillé, 2004, p. 10).

Nous croyons que, dans cette citation, Paillé aurait dû parler plutôt de matériel didactique, ce qui correspondrait au quatrième pôle selon la définition de la « fleur didactique » présenté par Lise Lapierre (2008) dans la revue *Pédagogie collégiale*.

Dans ce contexte, les principales étapes ont été :

- Explication du cadre conceptuel du matériel à produire:

Les étudiantes et les étudiants ont de la difficulté à maîtriser le concept du tolérancement parce qu'il est trop abstrait et difficile à représenter graphiquement. Les aspects de modélisation d'ordre général, font partie de la mise en situation, nécessaire et utile à l'enseignement, auxquels s'ajoutent les aspects spécifiquement rattachés à cet essai, et qui constituent la nouveauté du travail.

- Choix et justification du support du matériel :

Nous avons choisi de développer des applications didactiques en utilisant des logiciels commerciaux avec lesquels les intervenants sont familiers pour ne pas sortir du contexte de résolution d'une situation problème et ne pas imposer l'apprentissage d'une interface supplémentaire.

- Choix et justification du format du matériel :

Les étudiantes et les étudiants apprendront mieux avec des outils de simulation graphique qui permettraient de visualiser l'effet des variations dimensionnelles sur les jeux fonctionnels d'un assemblage.

- Mise en forme des activités didactiques :

Nous avons préparé des applications didactiques de simulation avec un logiciel de modélisation industriel qui est aussi utilisé dans l'enseignement en TGM et proposé des modèles didactiques pour les utiliser.

- Vérification de la correspondance entre les divers aspects du matériel didactique et le cadre conceptuel :

Nous avons présenté les applications développées à deux professeurs du département de TGM qui ont déjà donné les enseignements correspondants.

- Mise à l'essai du matériel ou évaluation par les pairs :

Dans le cadre de cette recherche, il n'y a pas eu de mise à l'essai du matériel, mais il y a eu une évaluation par les pairs.

- Réflexion sur l'activité même de production du matériel :

La planification de la situation problème, la mise au point et la validation des outils didactiques, avec les logiciels Autodesk Inventor et Microsoft Excel, ont occupé une part très importante du temps consacré à la rédaction de cet essai. Les principaux problèmes étaient de trouver des sujets et des simulations à la fois simples à utiliser et pertinents dans le cadre de la situation problème.

1.4 La validation

La validation des applications didactiques a été faite auprès de deux professeurs du département des techniques de génie mécanique du collège de Valleyfield qui ont des formations et des compétences complémentaires. Le premier a fait un baccalauréat en génie mécanique à l'École de Technologie Supérieure, après une formation technique en génie mécanique, tandis que l'autre a fait un baccalauréat en génie mécanique, suivi d'une maîtrise à l'Université Laval après une formation collégiale en sciences pures. Les deux professeurs ont travaillé quelques années en entreprises avant d'être engagés comme

professeurs au Collège de Valleyfield. Ils ont aussi donné des cours de conception dans lesquels ils ont abordé les concepts de tolérancement fonctionnel. Ces deux personnes ont donc une compétence pertinente, à la fois en enseignement et dans le domaine du génie mécanique, pour valider avec pertinence le matériel produit.

La validation des applications didactiques développées spécifiquement avec le logiciel Autodesk Inventor s'est faite de manière informelle; ces deux professeurs étant des collègues de travail du chercheur, il pouvait les consulter régulièrement durant le processus de développement. Il leur a d'abord proposé un exercice simple d'ajustement entre deux pièces pour qu'ils puissent expérimenter la technique d'utilisation et de modification de l'application avec l'interface dans Microsoft Excel. Un des professeurs connaissait bien le logiciel de modélisation tandis que l'autre avait des connaissances de base seulement. Cette situation a permis de jauger le niveau de convivialité acceptable pour l'utilisation des applications. Après une première expérimentation, ils ont été en mesure de juger de la pertinence et de l'efficacité pédagogique de ces outils sur la base de leurs propres expériences d'enseignement passées, alors qu'ils abordaient les notions de tolérancement fonctionnel. Malheureusement, ils n'ont pas pu réaliser d'expérimentation en classe parce qu'ils ne donnaient pas de cours de tolérancement à ce moment.

Au fur et à mesure du développement des applications didactiques et de la situation problème, le chercheur a reçu leurs commentaires et suggestions. Le conseil qui revenait le plus souvent était de conserver les exemples le plus simple possible pour bien faire comprendre les principes de base. Ils ont par ailleurs relevé que c'était une bonne stratégie de passer par une situation problème de développement d'un produit concret pour que les étudiantes et les étudiants soient plus réceptifs aux concepts abstraits présentés. Ils ont aussi porté à l'attention du chercheur que l'utilisation et la modification des applications n'était pas à la portée de tous puisqu'il fallait connaître à la fois les logiciels impliqués et les contraintes d'assemblage requises pour que la simulation fonctionne correctement. C'est malheureusement le cas parce que les outils ont été développés avec des logiciels commerciaux qui n'offrent pas d'interface conviviale; c'est le compromis qui a dû être fait

pour créer des applications concrètes modifiables par les utilisateurs. En fait, le constat de cette difficulté est à l'origine même de notre volonté de développer des outils didactiques pour améliorer les apprentissages.

Dans les contacts informels que le chercheur a eu avec des collègues d'autres collèges du Québec, ainsi que lors d'échanges sur le forum français des professeurs de génie mécanique (liste PGM⁹), il a été en mesure de constater que les logiciels de modélisation sont utilisés de plus en plus tôt dans la formation en TGM, de sorte que, tant les étudiantes et les étudiants que les professeures et les professeurs, seront susceptibles d'être impliqués avec la manipulation des outils didactiques au moment d'aborder le tolérancement fonctionnel dans leurs cours.

Dans les contacts informels que le chercheur a eu avec des collègues d'autres collèges du Québec et dans les échanges sur la liste PGM¹⁰, il a été en mesure de constater que les logiciels de modélisation sont utilisés de plus en plus tôt dans la formation en TGM, ce qui fait que, tant les étudiantes et les étudiants que les professeures et les professeurs, seront susceptibles d'être à l'aise avec la manipulation des outils didactiques au moment d'aborder le tolérancement fonctionnel dans leurs cours.

1.5 L'expérimentation

Les outils développés ont été évalués par deux professeurs du département de TGM du Collège de Valleyfield. Les méthodes pédagogiques et certains outils didactiques ont été expérimentés depuis quelques années par le chercheur dans le cadre de ses cours réguliers. L'expérimentation en classe avec plusieurs groupes témoins et des outils d'analyses statistiques pourraient faire l'objet d'un projet d'essai subséquent par une ou un autre chercheur. À cet effet, nous avons préparé, à titre de référence, un protocole d'expérimentation qui se retrouve en annexe 2.

⁹ <http://www.listepgm.org/>

¹⁰ <http://www.listepgm.org/>

1.6 Les retombées

La retombée principale de cette recherche est de fournir un modèle pour l'enseignement du tolérancement fonctionnel à partir d'une situation problème et d'outils didactiques permettant de faciliter l'apprentissage de phénomènes relativement complexes. L'enseignement du tolérancement fonctionnel est probablement la « bête noire » des professeurs de TGM au Québec. Quoique ce sujet soit très important, il est souvent traité superficiellement par manque de moyens didactiques adaptés aux difficultés qu'il représente. Son utilisation est pourtant d'une importance capitale lorsqu'il s'agit de concevoir des assemblages destinés à la mise en production en grandes séries.

La retombée secondaire serait dans les résultats de cette recherche et dans la publication de l'essai qui pourrait attirer l'attention des professeurs du secteur technique au collégial qui, traditionnellement, ne sont pas particulièrement intéressés par les lectures pédagogiques et les recherches associées.

Quatrième chapitre

1 Les applications didactiques

Cet essai est basé sur l'utilisation d'une situation problème calquée sur une application industrielle commune dans un environnement de conception. Elle s'adresse à des étudiantes et des étudiants qui ont déjà acquis les notions de base de la cotation fonctionnelle et qui maîtrisent l'utilisation des fonctions élémentaires d'un logiciel de modélisation. Au collège de Valleyfield, cet exercice se retrouve au début du cours de Dessin de construction mécanique en cinquième session du DEC.

1.1 La situation problème

La situation problème proposée sert de prétexte pour faire une synthèse des connaissances acquises dans les cours précédents et valider l'atteinte de la compétence.

Il s'agit de reproduire une situation de travail réelle dans un bureau d'étude. Tous les documents et outils utilisés sont les mêmes que ceux qui sont utilisés dans les entreprises du domaine du génie mécanique. Cette approche favorise la crédibilité de la formation auprès des étudiantes et des étudiants; plutôt que d'utiliser un manuel ou une brique de cours pour trouver leurs références ou justifier leurs choix, elles ou ils utilisent les moyens industriels, il s'agit donc d'une réelle simulation de situation de travail.

1.2 Les applications didactiques

En parallèle avec l'étude de la situation problème, les applications didactiques sont utilisées par la ou le professeur pour appuyer les fondements théoriques. Les applications proposées sont disponibles sur le DVD inclus avec cette recherche ou en contactant l'auteur par courriel : daniel.pinsonneault@colval.qc.ca. Les instructions d'utilisation se retrouvent sous forme de commentaires dans les fichiers Excel et Inventor correspondants.

1.3 Les prérequis

Les étudiantes et les étudiants doivent être familiers avec les ajustements normalisés, les conditions fonctionnelles et les chaînes de cotes ainsi qu'avec les tolérances dimensionnelles et géométriques. Elles et ils doivent aussi maîtriser les fonctions de base d'un logiciel de modélisation paramétrique pour la création des pièces et des assemblages et être à l'aise avec l'environnement informatique, l'utilisation d'un logiciel de traitement de texte, d'un chiffrier électronique et les TIC.

La ou le professeur doit être très à l'aise avec les éléments cités précédemment et il doit aussi maîtriser parfaitement les notions de tolérancement fonctionnel. Cet exercice pourrait difficilement être utilisé par une ou un professeur qui donne le cours pour une première fois.

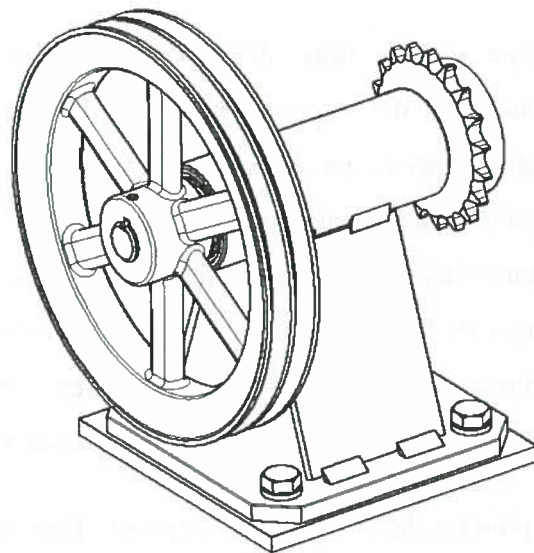
1.4 Les prérequis matériels

Pour mener à bien le déroulement du cours et les séances de travail pratique et d'exercices des étudiantes et des étudiants, l'expérimentation doit se dérouler dans une classe équipée d'un projecteur d'écran ou d'un tableau interactif, pour que la ou le professeur puisse présenter les démonstrations et les consignes d'utilisation des applications didactiques.

Chaque étudiante ou étudiant doit avoir accès à un ordinateur en réseau, équipé des logiciels requis pour qu'elle ou il puisse modifier les paramètres des applications et expérimenter à son rythme. Le logiciel Autodesk Inventor est disponible gratuitement en téléchargement¹¹ pour les étudiantes et les étudiants. Cette version éducative, disponible en français, est entièrement fonctionnelle avec comme seule limite, une inscription « Créé avec une version pédagogique » autour des dessins à l'impression.

¹¹ <http://students.autodesk.com/>

2 Présentation de la situation problème



Assemblage roulement

2.1 Mise en situation :

L'assemblage roulement proposé est en fait un élément de transmission intermédiaire entre un moteur électrique et un convoyeur. Cet élément est nécessaire parce que le moteur électrique a une vitesse de rotation fixe nominale autour de 1800 RPM, tandis que l'arbre d'entraînement du convoyeur doit tourner à 200 RPM. Pour réduire la vitesse, on utilise deux étages de réduction de 3 à 1, le premier étage est une réduction par une transmission à courroies trapézoïdales entre le moteur électrique et l'arbre intermédiaire, tandis que le deuxième étage de réduction est fait par une transmission à chaîne à rouleaux entre l'arbre intermédiaire et l'arbre du convoyeur.

Cet élément de transmission fait partie d'un équipement qui sera fabriqué et assemblé en série par des sous-traitants. L'ingénieur responsable du projet a établi les principes de base et sélectionné les éléments standards requis et il vous demande de

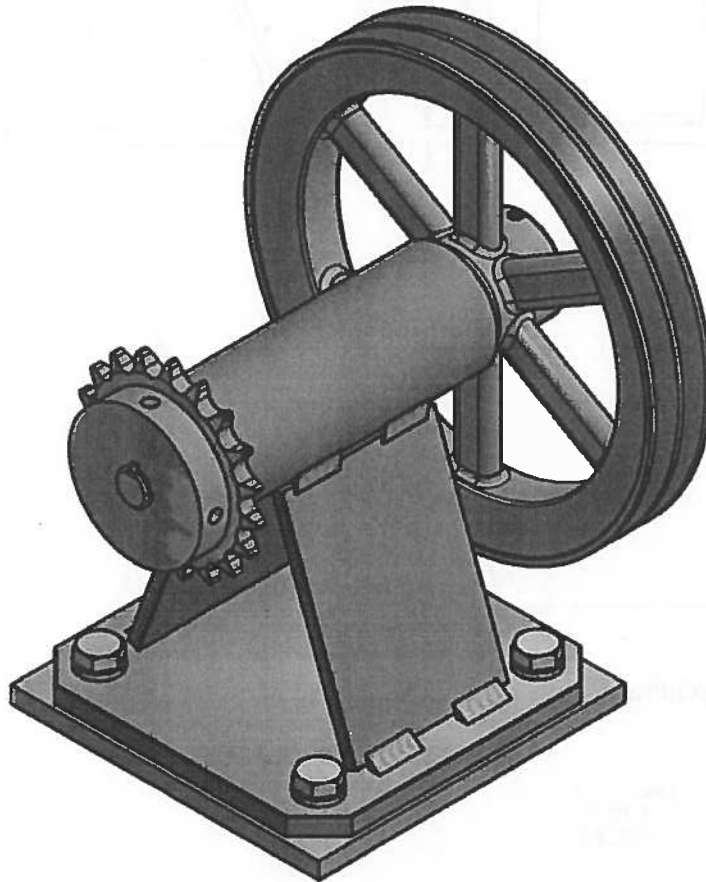
préparer les dessins techniques pour aller en appel d'offres de fabrication auprès de différents fournisseurs.

2.2 Objectifs :

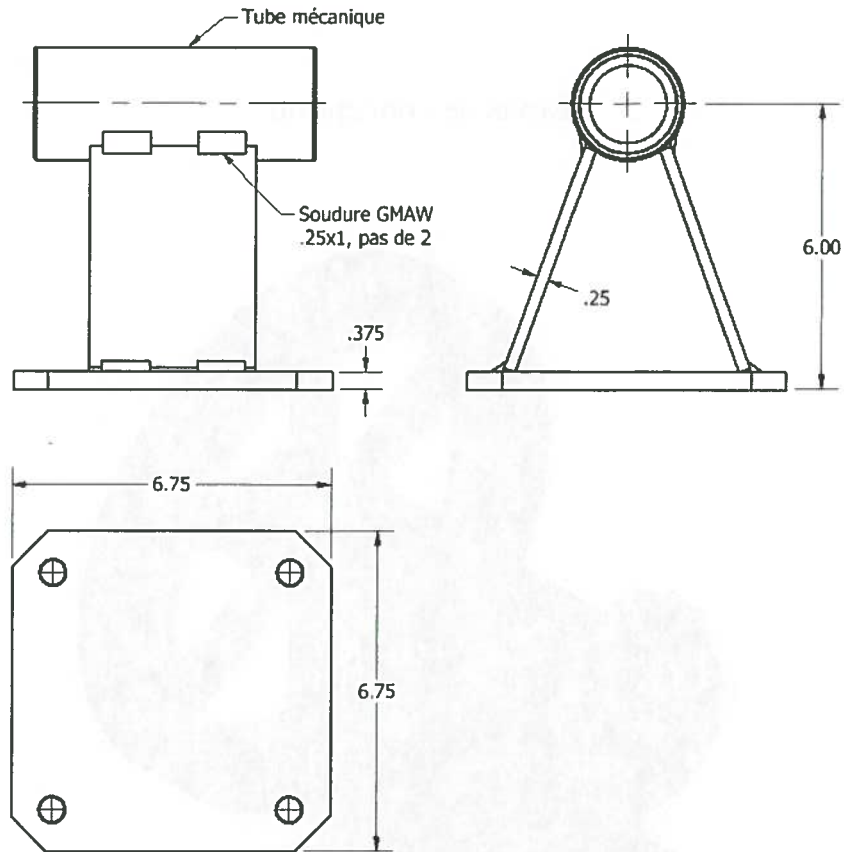
Le but cet exercice est de faire découvrir une démarche de travail et de documentation de vos choix et des recommandations des manufacturiers lors de la réalisation d'une conception mécanique. Dans un processus de conception, il y a régulièrement des ajustements ou des changements à faire en cours de développement, il est donc impératif de documenter les choix et les justifications des dimensions fonctionnelles pour être en mesure de juger de l'impact d'un changement sur l'ensemble du mécanisme. En tout temps, vous devriez être en mesure de retrouver rapidement l'origine et la justification d'une dimension, d'une forme ou d'une tolérance sur vos dessins de détails.

Vous devez donc prendre des notes sur les croquis fournis et conserver une copie des pages des documents de référence dans lesquelles vous avez trouvé les cotes ou les formes correspondantes. Lors de la correction, il vous sera demandé de fournir rapidement la source de quelques cotes de vos dessins.

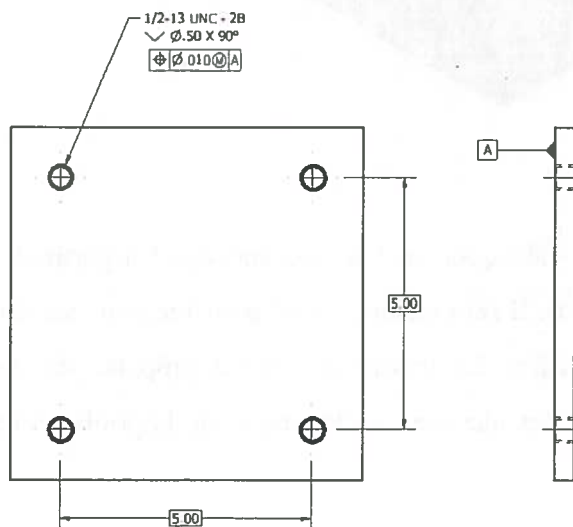
3 Devis de conception



Le principe de base consiste à fabriquer un bâti mécanosoudé à partir de plaques d'acier et d'un tube mécanique standard. Il sera ensuite usiné pour recevoir les roulements qui supporteront un arbre de transmission. Le travail consiste à préparer les dessins de définition du bâti, de l'arbre, ainsi que des alésages et clavetages de la poulie et de la roue dentée.



La forme générale du bâti doit être comme le croquis ici haut.



La base de la machine qui recevra le bâti a été fabriquée comme ici haut.

Vous devez dimensionner fonctionnellement les pièces fabriquées de l'assemblage en fonction des critères énoncés ici-bas qui ont été déterminés par l'ingénieur responsable du projet.

- La poulie sera une Martin 2AK94 avec un alésage de $\varnothing 0.875$ ". L'ajustement sur l'arbre sera de type LC3 et la largeur à l'alésage sera tolérancée à js12.
- La poulie devra pouvoir être ajustée axialement sur l'arbre avec un jeu d'environ 0.125".
- La roue dentée sera une Martin 50BS19 avec un alésage de $\varnothing 0.75$ ". L'ajustement sur l'arbre sera de type LC3 et la largeur à l'alésage sera tolérancée à js12.
- La roue dentée devra pouvoir être ajustée axialement sur l'arbre avec un jeu d'environ 0.125".
- Les roulements utilisés seront des SKF-6205-2RSH.
- La distance de centre en centre des roulements sera d'environ 5 pouces.
- Pour mettre en place les anneaux élastiques, il faudra prévoir un jeu minimum de 0.005 po.
- Dans tous les cas d'assemblage, il devra y avoir un jeu minimum de 0.005 po entre le roulement libre axialement et l'appui adjacent dans le logement.
- Dans tous les cas d'assemblage, le roulement libre axialement devra être en retrait de 0.05 po au minimum par rapport au bout du tube de logement.

3.1 Étapes de réalisation

Étape 1 : Préparer le travail :

- Créez un projet Inventor dans votre répertoire personnel et nommez-le : « Assemblage roulement ».
- Créez un sous-répertoire « Documentation » dans lequel vous sauvegarderez toutes les références qui guideront vos choix et sélections.

Étape 2 : Modélisation de la poulie :

- Modélisez la poulie à partir des dimensions trouvées dans le catalogue Martin 3000 et dans le Machinery's Handbook, 27e édition.
- Sauvegardez toutes les informations pertinentes dans un fichier Word qui sera sauvegardé dans le répertoire « Documentation ».

Étape 3 : Modélisation de la roue dentée :

- Modélisez la roue dentée à partir des dimensions trouvées dans le catalogue Martin 3000 et dans le Machinery's Handbook, 27e édition. Vous devez utiliser le fichier d'iPièce Inventor qui est fourni dans le répertoire du projet comme élément de départ.
- Sauvegardez toutes les informations pertinentes dans un fichier Word qui sera sauvegardé dans le répertoire « Documentation ».

Étape 4 : Étude et modélisation des clavetages :

- Trouvez les cotes fonctionnelles relatives à l'installation des clavettes dans le Machinery's Handbook.
- Calculez les tolérances géométriques de position des rainures de clavetage.

- Sauvegardez toutes les informations pertinentes dans un fichier Word qui sera sauvegardé dans le répertoire « Documentation ».
- Faites un croquis des clavetages avec toutes les cotes fonctionnelles requises.

Étape 5 : Étude du montage des roulements :

- Téléchargez le modèle du roulement SKF-6205-2RSH sur le site du manufacturier www.skf.com
- Trouvez les cotes fonctionnelles relatives à l'installation des roulements sur le site de SKF
 - Épaulements minimaux requis.
 - Ajustement sur l'arbre et dans le bâti.
 - Tolérances géométriques de formes sur l'arbre et dans le bâti.
 - Rugosité des surfaces d'appui.
- Sauvegardez toutes les informations pertinentes dans un fichier Word qui sera sauvegardé dans le répertoire « Documentation ».
- Faites un croquis des portées et logements des roulements avec toutes les cotes fonctionnelles requises.

Étape 6 : Étude du montage des anneaux élastiques :

- Sélectionnez les anneaux élastiques requis, selon la norme ANSI, pour positionner axialement les roulements.
- Insérez les anneaux élastiques choisis à partir du centre de contenu dans le logiciel Inventor
- Trouvez les cotes fonctionnelles relatives à l'installation des anneaux élastiques :
 - Codification des anneaux élastiques requis sur l'arbre et dans le bâti.

- Diamètres, largeurs et formes des rainures.
- Tolérances géométriques de position des rainures.
- Épaulements minimaux requis.
- Validez les cotes fonctionnelles des anneaux élastiques insérés dans votre assemblage.
- Sauvegardez toutes les informations pertinentes dans un fichier Word qui sera sauvegardé dans le répertoire « Documentation ».
- Faites un croquis des rainures pour les anneaux avec toutes les cotes fonctionnelles requises.

Étape 7 : Étude des conditions d'installation et d'assemblage :

- Préparez des croquis de l'installation des anneaux élastiques sur l'arbre et dans le logement, ainsi que de l'installation du roulement libre axialement dans le logement.
- Placez les conditions selon les indications du devis
- Tracer les chaînes de cotes correspondant aux conditions imposées.
- Trouvez les cotes fonctionnelles des éléments standards (roulement, anneaux)
- Résoudre les équations des chaînes de cotes.
- Sauvegardez toutes les informations pertinentes dans un fichier Word qui sera sauvegardé dans le répertoire « Documentation ».
- Reportez les cotes fonctionnelles sur les croquis des pièces.

Étape 8 : Modélisation du bâti, de l'arbre et des clavettes :

- Modélisez les pièces à fabriquer à partir des cotes fonctionnelles inscrites sur vos croquis.
- Les esquisses doivent être entièrement basées sur les cotes fonctionnelles.

- Les cotes fonctionnelles doivent être identifiées par un nom de variable correspondant à la chaîne de cote ou à l'élément fonctionnel correspondant.
- Vous devez ajouter des commentaires pertinents dans la page des variables pour identifier les cotes qui peuvent être modifiées sans impact sur les conditions de base.

Étape 9 : Assemblage du mécanisme

- Ouvrez votre assemblage et placez-y la pièce représentant la base de la machine comme pièce de base bloquée.
- Insérez ensuite le bâti mécanosoudé, l'arbre, les clavettes et les pièces standards requises.
- Les contraintes de positionnement doivent être en relation avec la fonctionnalité de l'assemblage et les pièces ne doivent pas être surcontraintes.
- Vous devez ensuite préparer une vue éclatée de votre assemblage qui sera utilisée pour préparer une présentation technique montrant la liste de pièces et une animation vidéo montrant la séquence d'assemblage.

Étape 10 : Préparation des dessins techniques

- Préparez les dessins techniques en format B pour bien représenter :
- L'assemblage complet en projections orthogonales significatives.
- Une vue éclatée complète avec ballons et liste de matériel.
- Une vue en coupe avec des vues de détails agrandis pour montrer les conditions fonctionnelles.
- La cotation fonctionnelle complète du bâti.
- La cotation fonctionnelle complète de l'arbre et des clavettes.

Étape 11 : Préparation du document final

- Préparer un document final imprimé, assemblé et présenté professionnellement regroupant les éléments suivants :
- Page de présentation
- Introduction (présentation du projet)
- Table des matières
- Les dessins techniques dans l'ordre de l'étape 10
- Tous les croquis et documents de références dans l'ordre des étapes précédentes
- Conclusion (apprentissages réalisés, ampleur du travail, etc.)
- Tous les fichiers doivent être dans le répertoire qui vous a été assigné sur le réseau du collège.

Étape 12 : Correction et évaluation

- Le travail remis sera évalué selon le barème de la page suivante.
- Environ deux semaines après la remise, vous devrez fournir, en moins de quinze minutes, la justification de quatre dimensions fonctionnelles, qui auront été identifiées sur vos dessins. Vous aurez accès à votre répertoire informatique et à votre documentation papier pour trouver ces justifications.

3.2 Barème de correction

Assemblage roulement

Nom : _____

Date : _____

Croquis et références annotés/10

Modélisations des composants/10

Vues d'assemblage...../5

Vue éclatée et liste de matériel/5

Vue en coupe...../5

Dessins de détails/5

Cotation fonctionnelle des dessins/30

Présentation générale et organisation/10

Retrouver la source de 4 dimensions fonctionnelles/20

TOTAL...../100

Commentaires :

4 Guide d'enseignement et de simulation

Cette section, à l'intention de la professeure ou du professeur, présente le déroulement des différentes étapes de conception du projet. Il s'agit d'une présentation du processus de recherche des solutions et de l'utilisation des outils de simulation pour aider à la compréhension des principes du tolérancement.

Dans tous les cas, il s'agit d'un guide succinct; seules les informations liées aux cotes fonctionnelles et aux applications didactiques sont décrites. Tout ce qui concerne l'utilisation normale du logiciel de modélisation ou du chiffrier Excel n'est pas présenté, le chercheur assume que la personne qui utilise ce document maîtrise l'utilisation normale de ces logiciels.

Pour l'utilisation des simulations proposées, les instructions sont inscrites sous forme de commentaires et de notes dans les fichiers Excel et Inventor.

4.1 Étape 2 : Modélisation de la poulie

Objectifs d'apprentissages :

- Reconnaître l'importance des normes internationales pour définir les dimensions fonctionnelles des éléments mécaniques standards
- Trouver un ajustement normalisé selon la norme ANSI B4.1-1967 (R1999) en utilisant le Machinery's Handbook
- Trouver les dimensions nominales des éléments mécaniques standards dans un catalogue de manufacturier.
- Trouver des dimensions normalisées des vés des poulies trapézoïdales selon la norme ANSI/RMA IP-20, 1988
- Trouver les dimensions et tolérances fonctionnelles normalisées pour les clavetages.
- Expérimenter l'utilisation des tolérances dans les esquisses pour modifier l'état de construction du modèle.
- Expérimenter l'importance d'utiliser les cotes et formes géométriques fonctionnelles pour contraindre les esquisses.
- Reconnaître l'importance de nommer les fonctions ou les esquisses dans le navigateur.
- Reconnaître l'importance de compléter les informations dans le tableau des propriétés pour assurer l'intégrité des informations dans le projet.
- Reconnaître l'importance d'ajouter des notes associées aux esquisses ou aux fonctions pour assurer un meilleur suivi du projet.

Objectifs secondaires :

- Appliquer l'utilisation d'un logiciel de traitement de texte et d'un utilitaire de capture d'écran pour garder une trace des références durant le processus de conception.

Durée de l'activité :

Cette étape requiert environ 2 heures de démonstration guidée en classe et 2 heures de travail hors classe pour l'étudiante ou l'étudiant.

Il faut d'abord trouver les dimensions nominales de la poulie 2AK94 dans le catalogue Martin 3000, à la page D-195.

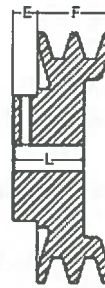
Martin Two Groove FHP Sheaves Bored-To-Size **2AK**

**Keyway Dimensions
Inch Bore**

Diameter Of Shaft	Keyway Width X Depth
1/2	NONE
5/8 - 7/8	3/16 X 3/32
15/16 - 1-1/4	1/4 X 1/8
1-5/16 - 1-3/8	5/16 X 5/32
1-7/16 - 1-3/4	3/8 X 3/16



**TYPE A
Solid**



**TYPE B
Web**



**TYPE C
Arm / Spoke**

Dimensions in inches

Part Number	Diameter			Type	Stock Finished Bore Includes Keyway and Setscrew	F	E	L Thru Bore	Weight Lbs. (Approx.)
	OD	diam A(4.1)	Pitch 2L B(4.1)						
2AK20	2.00	1.80	1.48	A	1/2 - 3/8 - 3/4	1 3/8	1 1/2	1 7/8	0.8
2AK21	2.15	1.90	1.56	A	1/2 - 3/8 - 3/4	1 3/8	1 1/2	1 7/8	0.9
2AK22	2.25	2.00	1.68	A	1/2 - 3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	1 3/8	1 1/2	1 7/8	1.1
2AK23	2.35	2.10	1.76	A	- 3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	1 3/8	1 1/2	1 7/8	1.2
2AK25	2.55	2.30	1.98	A	- 3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	1 3/8	1 1/2	1 7/8	1.4
2AK28	2.85	2.40	2.08	A	- 3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	1 3/8	1 1/2	1 7/8	1.5
2AK27	2.75	2.50	2.18	A	- 3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	1 3/8	1 1/2	1 7/8	1.6
2AK28	2.85	2.60	2.28	A	- 3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	1 3/8	1 1/2	1 7/8	1.7
2AK30	3.05	2.80	2.48	A	1/2 - 3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	2.0
2AK32	3.25	3.00	2.68	A	1/2 - 3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	2.2
2AK34	3.45	3.20	2.88	A	3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	2.5
2AK39	3.75	3.50	3.18	B	3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	2.8
2AK41	3.95	3.70	3.38	B	3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	2.9
2AK44	4.25	4.00	3.68	B	3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	3.3
2AK46	4.45	4.20	3.88	B	3/8 - - - 7/8 - - 1 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	3.6
2AK49	4.75	4.50	4.18	B	- 3/4 - 7/8 - - 1 - 1 1/2 - - 1 3/8	1 3/8	1 1/2	1 7/8	4.1
2AK51	4.95	4.70	4.38	B	- 3/4 - 7/8 - - 1 - 1 1/2 - - 1 3/8	1 3/8	1 1/2	1 7/8	4.5
2AK54	5.25	5.00	4.68	C	3/8 - 3/4 - 7/8 - - 1 - 1 1/2 - - 1 3/8	1 3/8	1 1/2	1 7/8	4.1
2AK56	5.45	5.20	4.88	C	3/8 - 3/4 - - - 1 - 1 1/2 - - 1 3/8	1 3/8	1 1/2	1 7/8	4.1
2AK58	5.75	5.50	5.18	C	3/8 - - - - 1 - 1 1/2 - - 1 3/8	1 3/8	1 1/2	1 7/8	4.2
2AK61	5.95	5.70	5.38	C	- 3/4 - 7/8 - - 1 - 1 1/2 - - 1 3/8	1 3/8	1 1/2	1 7/8	4.5
2AK64	6.25	6.00	5.68	C	3/8 - - - - 1 - 1 1/2 - 1 3/8 - 1 3/8 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	5.6
2AK74	7.25	7.00	6.68	C	3/8 - - - - 1 - 1 1/2 - 1 3/8 - 1 3/8 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	8.5
2AK84	8.25	8.00	7.68	C	3/8 - - - 1 1/2 - 1 - 1 1/2 - - 1 3/8 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	7.2
2AK94	9.25	9.00	8.68	C	3/8 - 7/8 - - - 1 - 1 1/2 - 1 3/8 - 1 3/8 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	8.0
2AK104	10.25	10.00	9.68	C	3/8 - - - 1 1/2 - 1 - - 1 3/8 - - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	9.0
2AK114	11.25	11.00	10.68	C	1 - - - - 1 3/8 - 1 3/8 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	9.7
2AK124	12.25	12.00	11.68	C	1 - - - - 1 3/8 - 1 3/8 - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	10.5
2AK134	13.25	13.00	12.68	C	- - - - 1 3/8 - - - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	12.7
2AK144	14.25	14.00	13.68	C	1 - - - - - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	13.1
2AK154	15.25	15.00	14.68	C	- - - - 1 3/8 - - - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	14.3
2AK184	18.25	18.00	17.68	C	- - - - 1 3/8 - - - 1 1/2	1 3/8	1 1/2	1 7/8	17.1



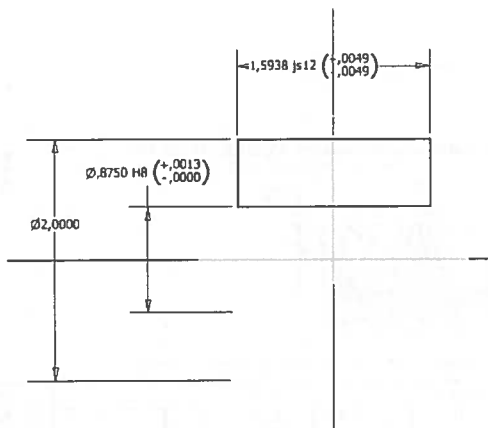
1/2" Bore - setscrew only - no keyway

Pour modéliser le moyeu, on utilisera les dimensions suivantes :

L'alésage sera $\varnothing 0.875$ H8, ce qui correspond à l'ajustement demandé dans le devis, la largeur du moyeu sera $L=1-19/32$, avec une tolérance js12 telle que donnée dans le devis. Cet alésage est standard pour le modèle 2AK94.

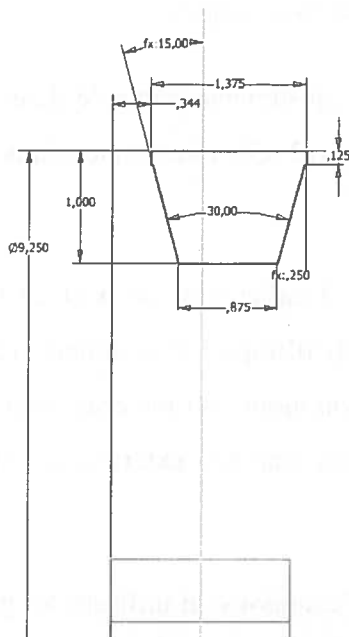
Pour le diamètre extérieur, puisqu'il n'y a pas d'indication, on peut en faire une évaluation puisque cette dimension ne devrait pas avoir d'impact fonctionnel. Partant de l'alésage maximal disponible qui est de $1-7/16$ po, si l'on ajoute du matériel pour recevoir la clavette et une vis de pression, on peut imaginer qu'un diamètre extérieur de 2 po serait raisonnable.

Les tolérances seront indiquées avec les cotes d'esquisses en utilisant les propriétés des cotes.



Pour modéliser le contour extérieur, on utilisera les dimensions suivantes :

Le diamètre extérieur est de $\varnothing 9.25$ po, la largeur F est de $1-3/8$ po et la position par rapport au moyeu est $E=11/32$ po. Pour la forme générale non fonctionnelle on utilisera les proportions de la figure du type C, l'angle de 38 degrés correspond à l'angle des V standards de l'étape suivante.



Les dimensions relatives aux ves pour les courroies sont indiquées dans le Machinery's Handbook, à la page 2401.

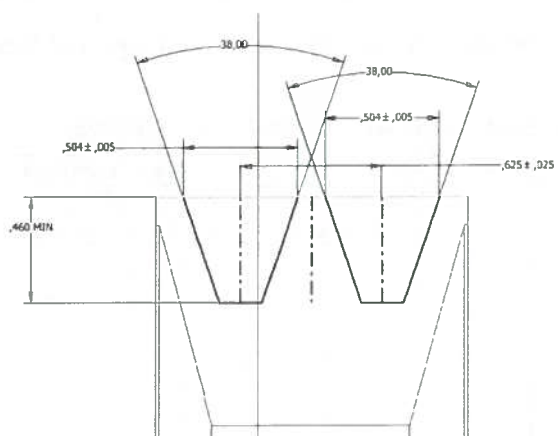
Machinery's Handbook 27th Edition

Table 9. Classical V-Belt Sheave and Groove Dimensions ANSI/RMA IP-20, 1988

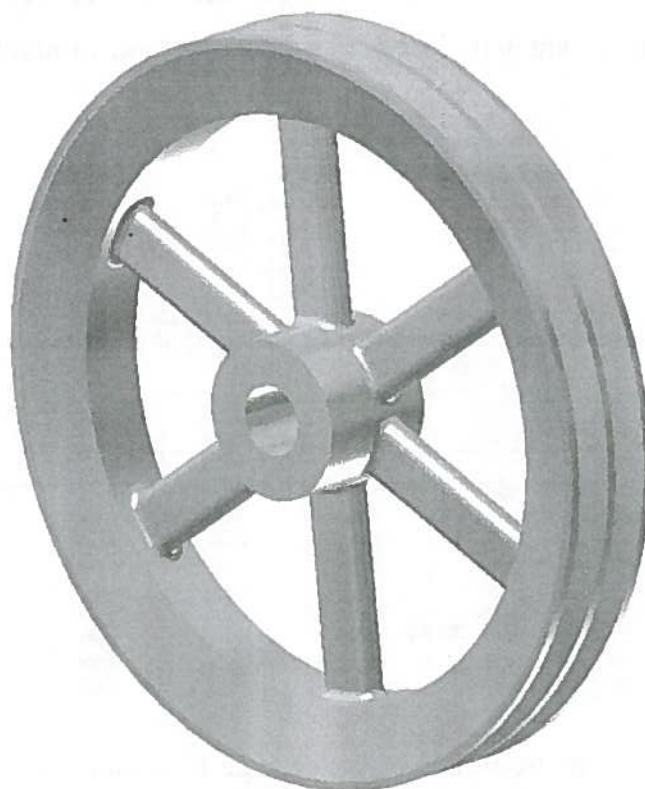
Face Width of Standard and Deep Groove Sheaves = $S_g(N_g - 1) + 2S_e$, where N_g = number of grooves

Cross Section	Datum ^a Diameter Range	α Groove Angle 10.33°	b_g Ref	Standard Groove Dimensions					Design Factors												
				b_g	h_g Min	$2h_g$	R_g Min	d_g ±0.0005	S_g^b ±0.025	S_e	Min Recomm. Datum Diameter	$2\sigma_p$									
A, AX	Through 5.3	34	0.418	0.494	0.504	±0.005	0.490	0.250	0.148	0.3375 ($\frac{3}{8}$)	0.625	0.375	+0.090	A 3.0	0						
	Over 5.4	38		0.504												0.149	0.3375 ($\frac{3}{8}$)	0.625	0.375	-0.062	AX 2.2
B, BX	Through 7.0	34	0.530	0.637	±0.006	0.550	0.350	0.189	0.5625 ($\frac{9}{16}$)	0.750	0.500	+0.120	B 5.4	0							
	Over 7.0	38		0.650											0.190	0.5625 ($\frac{9}{16}$)	0.750	0.500	-0.065	BX 4.0	
Combinations	A, AX Belt	Through 7.4 ^c	34	0.508 ^d	±0.005	0.612	0.414 ^e	0.230	0.5625 ($\frac{9}{16}$)	0.750	0.500	+0.120	A 3.6	0.37							
		Over 7.4	38												0.625	0.402 ^e	0.226	0.5625 ($\frac{9}{16}$)	0.750	0.500	-0.065	AX 2.8
	B, BX Belt	Through 7.4 ^c	34												0.612	0.333 ^e	0.230	0.750	0.500	+0.120	B 5.7 ^f
		Over 7.4	38												0.625	0.334 ^e	0.226					BX 4.3
C, CX	Through 7.99	34	0.757	0.879	±0.007	0.750	0.400	0.274	0.7812 ($\frac{3}{4}$)	1.000	0.688	+0.160	C 9.0	0							
	Over 7.99 to and incl. 12.0	36		0.887											0.400	0.276	0.688	0.688	-0.070	CX 6.8	
D	Through 12.99	34	1.076	1.250	±0.008	1.020	0.600	0.410	1.1250 ($1\frac{1}{8}$)	1.438	0.875	+0.220	D 13.0	0							
	Over 12.99 to and incl. 17.0	36		1.271											0.600	0.411	1.438	0.875	-0.080	D 13.0	

CLASSICAL V-BELTS 2401



Pour les rayons correspondant au type C de Martin, ils sont faits en respectant les proportions de la figure de la page D-195. Ces éléments ne sont pas fonctionnels dans l'assemblage. Ils peuvent être modélisés de manière à obtenir un poids d'environ 8 livres pour correspondre aux spécifications de Martin.



Pour la modélisation de la rainure de clavette, on se réfère au Machinery's Handbook, dans la section « Machine elements » et dans le chapitre « Keys and keyseats ».

Table 1. Key Size Versus Shaft Diameter ANSI B17.1-1967 (R1998)

Nominal Shaft Diameter		Nominal Key Size			Normal Keyseat Depth	
Over	To (Incl.)	Width, W	Height, H		$H/2$	
			Square	Rectangular	Square	Rectangular
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	...	$\frac{3}{64}$	...
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{32}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$
$3\frac{1}{4}$	$3\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{16}$
$3\frac{3}{4}$	$4\frac{1}{2}$	1	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$
$4\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
$5\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$

Le tableau 1 permet de trouver la largeur de clavette carrée correspondant à un arbre de $\phi 7/8$ po. La clavette mesurera $3/16$ po x $3/16$ po et la profondeur nominale des rainures sera de $3/32$ po.

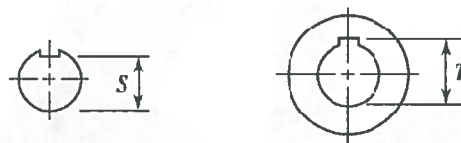


Table 2. Depth Control Values S and T for Shaft and Hub ANSI B17.1-1967 (R1998)

Nominal Shaft Diameter	Shafts, Parallel and Taper		Hubs, Parallel		Hubs, Taper	
	Square	Rectangular	Square	Rectangular	Square	Rectangular
	S	S	T	T	T	T
$\frac{1}{2}$	0.430	0.445	0.560	0.544	0.535	0.519
$\frac{9}{16}$	0.493	0.509	0.623	0.607	0.598	0.582
$\frac{5}{8}$	0.517	0.548	0.709	0.678	0.684	0.653
$1\frac{1}{16}$	0.581	0.612	0.773	0.742	0.748	0.717
$\frac{3}{4}$	0.644	0.676	0.837	0.806	0.812	0.781
$1\frac{1}{16}$	0.708	0.739	0.900	0.869	0.875	0.844
$\frac{7}{8}$	0.771	0.802	0.964	0.932	0.939	0.907
$1\frac{1}{8}$	0.796	0.827	1.051	1.019	1.026	0.994
1	0.859	0.890	1.114	1.083	1.089	1.053

Le tableau 2 permet de trouver la profondeur de la rainure dans le moyeu, soit la valeur T . Pour une clavette parallèle carrée, cette profondeur est de 0.964 po.

Table 4. ANSI Standard Fits for Parallel and Taper Keys ANSI B17.1-1967 (R1998)

Type of Key	Key Width		Side Fit			Top and Bottom Fit			
	Over	To (Incl.)	Width Tolerance		Fit Range ^a	Depth Tolerance			Fit Range ^a
			Key	Key-Seat		Key	Shaft Key-Seat	Hub Key-Seat	
Class 1 Fit for Parallel Keys									
Square	...	1/2	+0.000 -0.002	+0.002 -0.000	0.004 CL 0.000	+0.000 -0.002	+0.000 -0.015	+0.010 -0.000	0.032 CL 0.005 CL
	1/2	3/4	+0.000 -0.002	+0.003 -0.000	0.005 CL 0.000	+0.000 -0.002	+0.000 -0.015	+0.010 -0.000	0.032 CL 0.005 CL
	3/4	1	+0.000 -0.003	+0.003 -0.000	0.006 CL 0.000	+0.000 -0.003	+0.000 -0.015	+0.010 -0.000	0.033 CL 0.005 CL
	1	1 1/2	+0.000 -0.003	+0.004 -0.000	0.007 CL 0.000	+0.000 -0.003	+0.000 -0.015	+0.010 -0.000	0.033 CL 0.005 CL
	1 1/2	2 1/2	+0.000 -0.004	+0.004 -0.000	0.008 CL 0.000	+0.000 -0.004	+0.000 -0.015	+0.010 -0.000	0.034 CL 0.005 CL
	2 1/2	3 1/2	+0.000 -0.006	+0.004 -0.000	0.010 CL 0.000	+0.000 -0.006	+0.000 -0.015	+0.010 -0.000	0.036 CL 0.005 CL

Le tableau 4 permet de trouver les tolérances en largeur et profondeur de la rainure dans le moyeu pour un clavetage de classe 1, soit un clavetage libre en utilisant des clavettes de type Bar Stock. La tolérance sur la largeur sera $+0.002/0$ et la tolérance sur la profondeur sera $+0.010/0$.

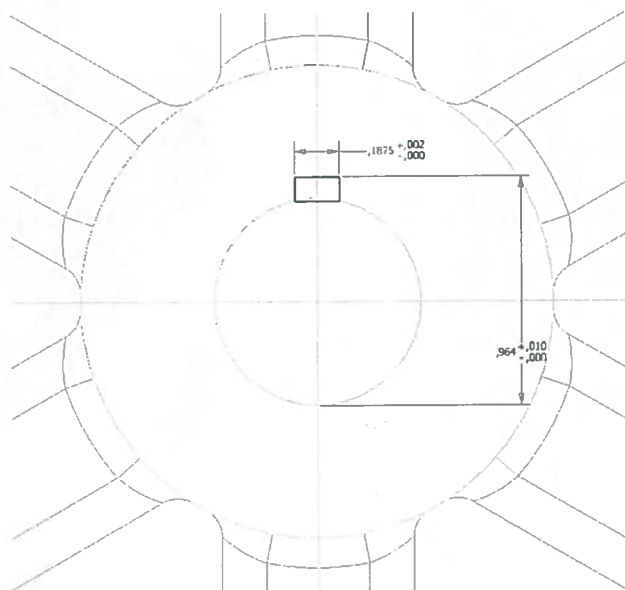
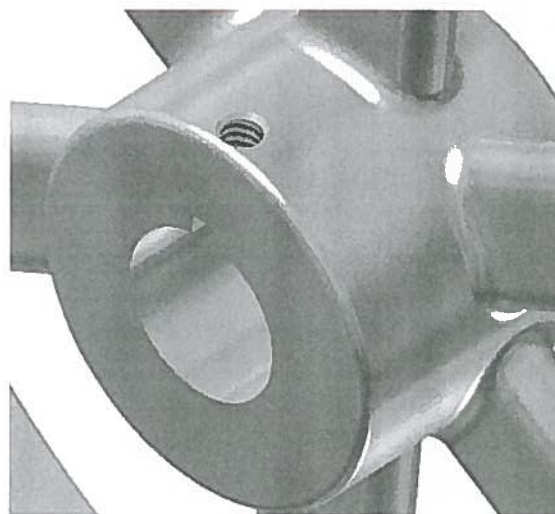
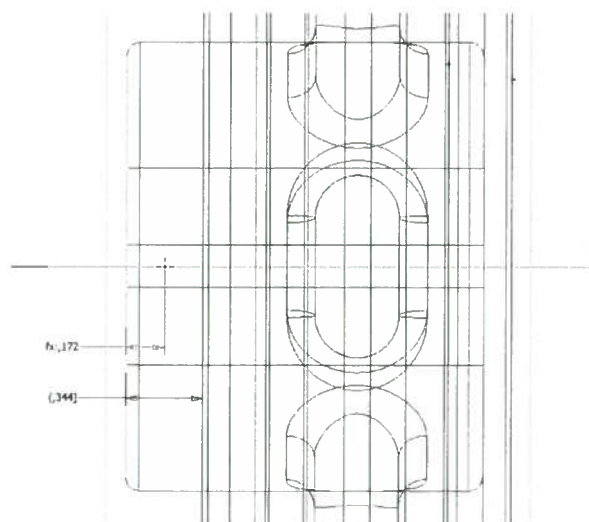


Table 7. Set Screws for Use Over Keys ANSI B17.1-1967 (R1998)

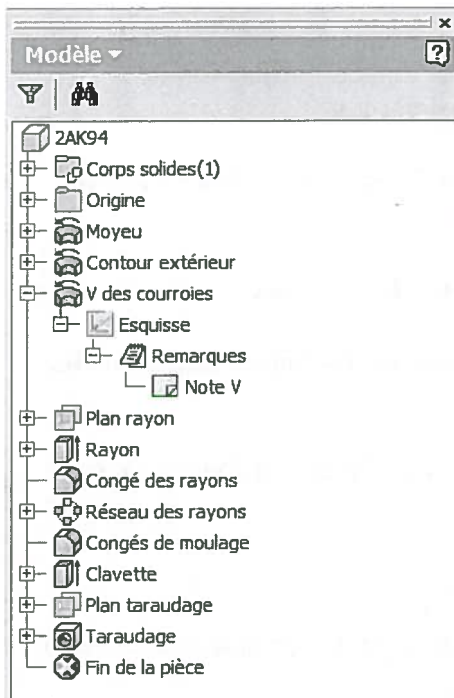
Nom. Shaft Dia.		Nom. Key Width	Set Screw Dia.	Nom. Shaft Dia.		Nom. Key Width	Set Screw Dia.
Over	To (Incl.)			Over	To (Incl.)		
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	No. 10	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{1}{2}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	No. 10	$2\frac{3}{2}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{4}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$3\frac{3}{2}$	$4\frac{1}{2}$	1	$\frac{3}{4}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$4\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{7}{8}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$5\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	1
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	...	...	...	...

All dimensions are given in inches.

Le tableau 7 fournit la grosseur de la vis de pression recommandée au-dessus de la clavette. Pour un arbre de $\phi 7/8$, la grosseur de la vis de pression recommandée est de 1/4 po. La position axiale est estimée à partir de la figure du type C à la page D-195 du catalogue Martin et des contraintes de fabrication.

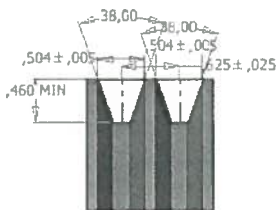


Tout au long du processus de modélisation, il y a lieu de nommer les fonctions de modélisation, d'ajouter des notes et de mettre à jour les propriétés du modèle.



Daniel 16 janvier 2011

Les dimensions des rainures en V sont décrites dans le MHB, à la page 2401



4.2 Étape 3 : Modélisation de la roue dentée

Objectifs d'apprentissages :

- Reconnaître l'importance de valider les informations lors de l'utilisation de documents provenant de sources non officielles sur Internet.
- Expérimenter l'utilisation des variables dans les esquisses pour modifier l'état de construction du modèle.
- Gérer les relations entre les variables liées à un fichier Excel et les variables locales.
- Reconnaître l'importance d'utiliser les cotes et formes géométriques fonctionnelles pour contraindre les esquisses.
- Expérimenter des applications didactiques simples et analyser leur fonctionnement.

Durée de l'activité :

- Cette étape requiert environ 3 heures de démonstration guidée en classe et 4 heures de travail hors classe pour l'étudiante ou l'étudiant.

La roue dentée sera modélisée à partir d'une pièce paramétrable (iPièce) récupérée sur le site <http://www.cbliss.com/inventor/Parts.htm>. Ce site regroupe plusieurs pièces paramétrables, qui peuvent être téléchargées gratuitement, fournies par des utilisateurs. L'iPièce fournie est contrôlée par un fichier Excel imbriqué qu'il suffit de modifier pour générer la roue dentée désirée.

Feuille de calcul dans Sprocket.ipt [Mode de compatibilité]			
A	B	C	D
Roller Chain Sprocket			
EDIT ONLY THESE VALUES IN YELLOW			
Variable	Value	Unit	Comment
Number of Teeth	19	ul	Number of Sprocket Teeth (4-40)
Chain Series	50	ul	Roller Chain Series # (40 for now)
Bore	0.7500	in	Bore Size
Hub Diameter	2.500	in	Must be samlier than PD
Total Width (Sprocket + Hub)	1.000	in	
DO NOT EDIT THE VALUES BELOW HERE			
NumTeeth	19	ul	Number of Teeth
Series	50	ul	Roller Chain Series #
Pitch	0.625	in	Pitch of Chain
PitchDiam	3.80	in	Pitch Diameter
OD	4.120	in	Outside Diameter
Thickness	0.343	in	Sprocket Thickness
Dr	0.4	in	Nominal Roller Diam
Ds	0.405	in	Seating Curve Diam
R	0.2025	in	Seating Curve Radius
Wx	0.562	in	Used to Locate Tooth Profiles
Vy	0.0922	in	Used to Locate Tooth Profiles
Fr	0.3307	in	Used to Locate Tooth Profiles
BoreDia	0.7500	in	Bore Diameter
KeySquare	0.1875	in	Key Square Dimension
KeyDepthControl	0.837	in	To Dimension Key to Bore
HubDiam	2.500	in	Diameter of Hub
HubWidth	0.829	in	Width of Hub
tooth_chamfer_h	0.3125	in	Depth of Chamfer
tooth_chamfer_g	0.078125	in	Width of Chamfer

La roue dentée Martin 50BS19 est définie comme suit dans les cases jaunes :

Nombre de dents : 19

Série de la chaîne : 50

Alésage : 0.75

Diamètre du moyeu : 3.0 po (Martin page E-47)

Largeur totale : 1.0 po (Martin page E-43)

Il suffit de sauvegarder le fichier Excel et de faire une mise à jour du modèle dans Inventor pour obtenir la roue dentée paramétrée.

Les valeurs importantes à valider sont :

La largeur du clavetage, KeySquare à 0.1875 po, est conforme.

Table 1. Key Size Versus Shaft Diameter ANSI B17.1-1967 (R1998)

Nominal Shaft Diameter		Nominal Key Size			Normal Keyseat Depth	
Over	To (Incl.)	Width, <i>W</i>	Height, <i>H</i>		<i>H</i> /2	
			Square	Rectangular	Square	Rectangular
$\frac{3}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	...	$\frac{3}{64}$	...
$\frac{3}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{16}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$
$3\frac{1}{4}$	$3\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{5}{16}$
$3\frac{3}{4}$	$4\frac{1}{2}$	1	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$
$4\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$
$5\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$

La profondeur du clavetage, KeyDepthControl à 0.837 po, est conforme.



Table 2. Depth Control Values *S* and *T* for Shaft and Hub ANSI B17.1-1967 (R1998)

Nominal Shaft Diameter	Shafts, Parallel and Taper		Hubs, Parallel		Hubs, Taper	
	Square	Rectangular	Square	Rectangular	Square	Rectangular
	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>T</i>	<i>T</i>	<i>T</i>
$\frac{3}{2}$	0.430	0.445	0.560	0.544	0.535	0.519
$\frac{9}{16}$	0.493	0.509	0.623	0.607	0.598	0.582
$\frac{5}{8}$	0.517	0.548	0.709	0.678	0.684	0.653
$1\frac{1}{16}$	0.581	0.612	0.773	0.742	0.748	0.717
$\frac{3}{4}$	0.644	0.676	0.837	0.806	0.812	0.781
$1\frac{1}{16}$	0.708	0.739	0.900	0.869	0.875	0.844
$\frac{7}{8}$	0.771	0.802	0.964	0.932	0.939	0.907
$1\frac{5}{16}$	0.796	0.827	1.051	1.019	1.026	0.994
1	0.859	0.890	1.114	1.083	1.089	1.058

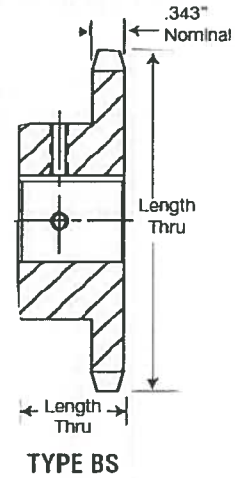
Le diamètre extérieur, OD et l'épaisseur, Thickness, sont aussi conformes.

**All Steel
Stock Sprockets**

No. 50
5/8" Pitch

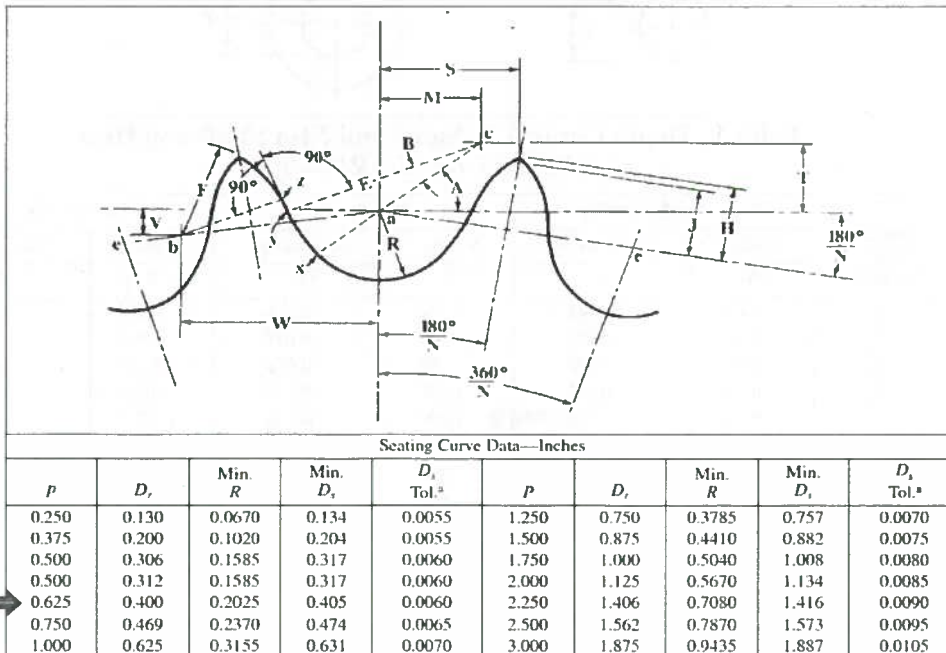
Single Type "BS" — 2 Setscrews — Bored-To-Size

No. Teeth	Catalog Number	Outside Diameter	Length Thru Bore	Weight Lbs. (Approx.)	Stock Finishes Gears Includes Keyway and 2 Setscrews
9	50BS9	2.090	1	.30	1/2 - 3/8
10	50BS10	2.300	1	.30	1/2 - 3/8 - 1/4
11	50BS11	2.500	1	.60	1/2 - 3/8 - 1/4
12	50BS12	2.710	1	.70	1/2 - 3/8 - 1/4 - 1/8 - 1/8 - 1/8
13	50BS13	2.910	1	.80	1/2 - 3/8 - 1/4 - 1/8 - 1/8 - 1/8
14	50BS14	3.110	1	1.00	1/2 - 3/8 - 1/4 - 1/8 - 1/8 - 1/8
15	50BS15	3.320	1	1.20	1/2 - 3/8 - 1/4 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8
16	50BS16	3.520	1	1.45	1/2 - 3/8 - 1/4 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8
17	50BS17	3.720	1	1.60	1/2 - 3/8 - 1/4 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8
18	50BS18	3.920	1	1.90	1/2 - 3/8 - 1/4 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8
19	50BS19	4.120	1	2.00	1/2 - 3/8 - 1/4 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8
20	50BS20	4.320	1	2.10	1/2 - 3/8 - 1/4 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8
21	50BS21	4.520	1	2.25	1/2 - 3/8 - 1/4 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8
22	50BS22	4.720	1	2.40	1/2 - 3/8 - 1/4 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8 - 1/8



Quant aux dimensions pour générer les dentures, elles peuvent être validées en les comparants aux indications du Machinery's Handbook à la page 2458, pour un pas de 0.625, qui correspond à une chaîne de série 60.

Table 11. ANSI Sprocket Tooth Form for Roller Chain ANSI/ASME B29.1M-1993



^aPlus tolerance only.

Une fois la validité de la modélisation confirmée, il reste à mettre les tolérances sur les cotes d'alésage et de clavetage qui seront fabriquées, puisque la roue dentée 50BS19 est fabriquée sans alésage fini. L'alésage et le clavetage sont faits sur mesure par le distributeur ou en atelier par l'acqureur. Pour notre projet, ces éléments seront usinés dans nos ateliers.

L'alésage H8, qui correspond à l'ajustement de type LC3, est facilement respectable puisqu'il correspond à une qualité d'usinage qui est usuelle pour une opération d'alésage, tel qu'indiqué dans le Machinery's Handbook, à la page 654.

L'application didactique¹² disponible permet de simuler les ajustements simples et de présenter le principe de simulation à partir d'un fichier Excel et des contraintes appropriées. Une autre application¹³ permet d'introduire les étudiantes et les étudiants à la simulation des chaînes de cotes avec Inventor.

Table 7. Relation of Machining Processes to Tolerance Grades ANSI B4.1-1967 (R1999)

	MACHINING OPERATION	TOLERANCE GRADES										
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
<p>This chart may be used as a general guide to determine the machining processes that will under normal conditions, produce work within the tolerance grades indicated.</p> <p>(See also <i>Relation of Surface Roughness to Tolerances</i> starting on page 729.</p>	Lapping & Honing	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Cylindrical Grinding	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Surface Grinding	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Diamond Turning	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Diamond Boring	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Broaching	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Reaming	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Turning	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Boring	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Milling	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Planing & Shaping	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Drilling	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

¹² Projet Inventor : Ajustement simple

¹³ Projet Inventor : Exemple simple

Pour la modélisation de la rainure de clavette, on se réfère au Machinery's Handbook, dans la section « Machine elements » et dans le chapitre « Keys and keyseats ».

Table 4. ANSI Standard Fits for Parallel and Taper Keys ANSI B17.1-1967 (R1998)

Type of Key	Key Width		Side Fit			Top and Bottom Fit			
	Over	To (Incl.)	Width Tolerance		Fit Range ^a	Depth Tolerance			Fit Range ^a
			Key	Key-Seat		Key	Shaft Key-Seat	Hub Key-Seat	
→ Class 1 Fit for Parallel Keys									
Square	...	1/2	+0.000 -0.002	+0.002 -0.000	0.004 CL 0.000	+0.000 -0.002	+0.000 -0.015	+0.010 -0.000	0.032 CL 0.005 CL
	1/2	3/4	+0.000 -0.002	+0.003 -0.000	0.005 CL 0.000	+0.000 -0.002	+0.000 -0.015	+0.010 -0.000	0.032 CL 0.005 CL
	3/4	1	+0.000 -0.003	+0.003 -0.000	0.006 CL 0.000	+0.000 -0.003	+0.000 -0.015	+0.010 -0.000	0.033 CL 0.005 CL
	1	1 1/2	+0.000 -0.003	+0.004 -0.000	0.007 CL 0.000	+0.000 -0.003	+0.000 -0.015	+0.010 -0.000	0.033 CL 0.005 CL
	1 1/2	2 1/2	+0.000 -0.004	+0.004 -0.000	0.008 CL 0.000	+0.000 -0.004	+0.000 -0.015	+0.010 -0.000	0.034 CL 0.005 CL
	2 1/2	3 1/2	+0.000 -0.006	+0.004 -0.000	0.010 CL 0.000	+0.000 -0.006	+0.000 -0.015	+0.010 -0.000	0.036 CL 0.005 CL

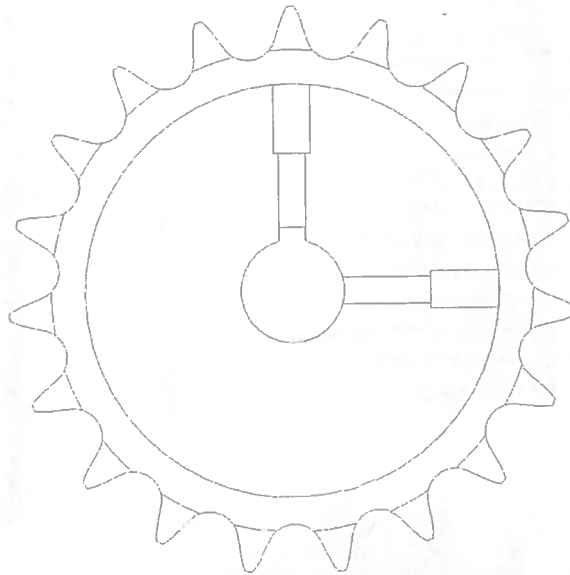
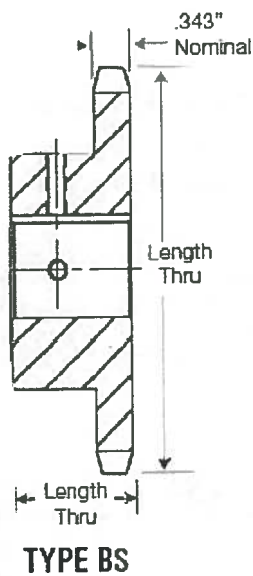
Table 7. Set Screws for Use Over Keys ANSI B17.1-1967 (R1998)

Nom. Shaft Dia.		Nom. Key Width	Set Screw Dia.	Nom. Shaft Dia.		Nom. Key Width	Set Screw Dia.
Over	To (Incl.)			Over	To (Incl.)		
5/16	7/16	3/32	No. 10	2 1/4	2 3/4	5/8	1/2
7/16	9/16	1/8	No. 10	2 3/4	3 1/4	3/4	5/8
9/16	7/8	3/16	1/4	3 1/4	3 3/4	7/8	3/4
7/8	1 1/4	1/4	5/16	3 3/4	4 1/2	1	3/4
1 1/4	1 3/8	5/16	3/8	4 1/2	5 1/2	1 1/4	7/8
1 3/8	1 3/4	3/8	3/8	5 1/2	6 1/2	1 1/2	1
1 3/4	2 1/4	1/2	1/2	...	...	...	...

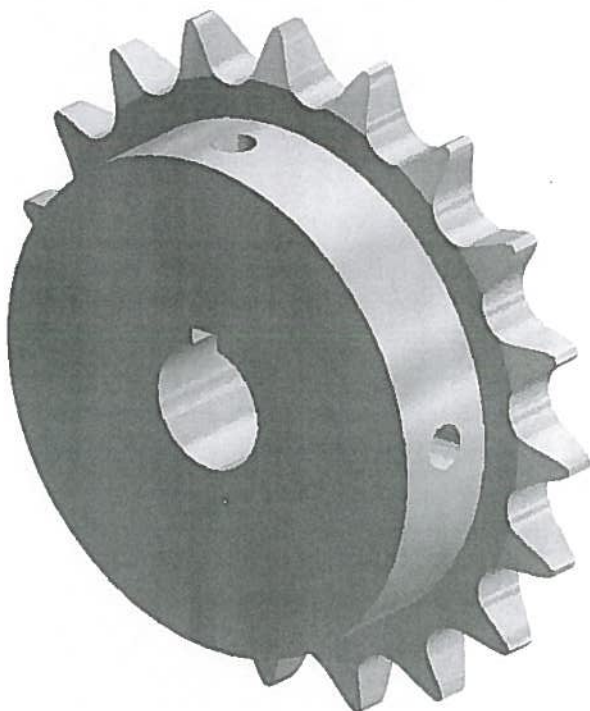
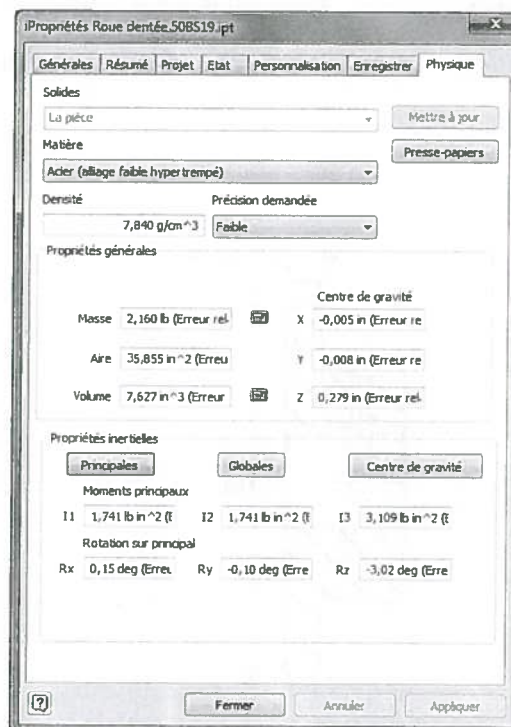
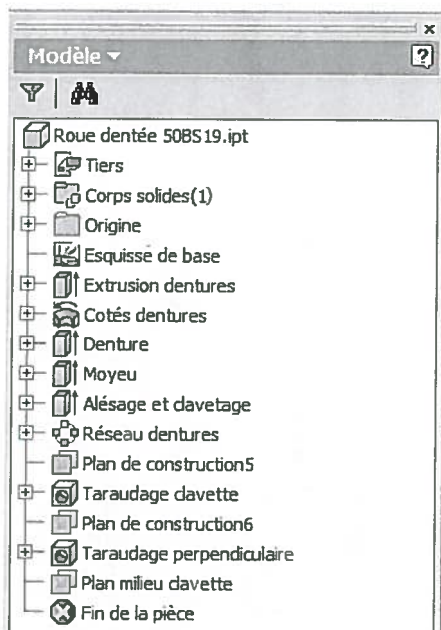
All dimensions are given in inches.

Le tableau 7 fournit la grosseur de la vis de pression recommandée au-dessus de la clavette. Pour un arbre de $\phi 3/4$, la grosseur des vis de pression recommandées est de 1/4 po.

La position axiale est estimée à partir de la figure du type BS à la page E-44 du catalogue Martin. Il y a une vis de pression au-dessus de la clavette et une autre qui lui est perpendiculaire. Pour éviter de tarauder sur une grande profondeur, les trous seront chambrés un peu plus grand que le diamètre nominal de la vis pour laisser environ 1/2 po de taraudage.



Tout au long du processus de modélisation, il y a lieu de nommer les fonctions de modélisation, d'ajouter des notes et de mettre à jour les propriétés du modèle.



4.3 Étape 4 : Étude et modélisation des clavetages

Objectifs d'apprentissages :

- Expérimenter l'utilisation des tolérances d'esquisses dans les pièces pour modifier l'état d'un assemblage.
- Expérimenter les notions d'état « Maximum » et « minimum » de matière.
- Gérer l'utilisation d'un même fichier Excel pour contrôler plusieurs pièces.
- Gérer le fonctionnement d'une simulation de chaîne de cotes avec les contraintes d'assemblage appropriées.
- Gérer le fonctionnement d'une simulation d'une tolérance géométrique de position avec les contraintes d'assemblage appropriées.
- Reconnaître l'importance du dimensionnement fonctionnel au maximum de matière.
- Expliquer le choix des éléments référencés pour un tolérancement de position au maximum de matière.
- Évaluer le gain de tolérance admissible lorsque les dimensions référencées ne sont pas dans leur état maximum de matière.

Durée de l'activité :

Cette étape requiert environ 4 heures de démonstration guidée en classe avec interaction et discussion sur la théorie sous-jacente et 6 heures de travail hors classe pour que l'étudiante ou l'étudiant puisse expérimenter les différentes simulations et maîtriser les concepts.

C'est à partir de cette étape que débute l'utilisation des applications didactiques développées avec les logiciels Autodesk Inventor et Microsoft Excel. La ou le professeur devra prévoir plusieurs heures de préparation pour maîtriser le fonctionnement et les interrelations entre les variables dimensionnelles et les contraintes d'assemblage dans le logiciel de modélisation pour pouvoir guider les étudiantes et les étudiants dans leurs expérimentations.

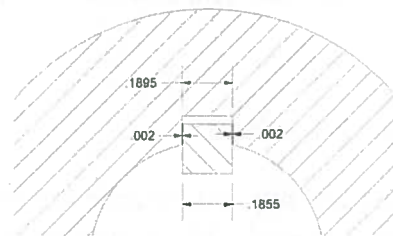
L'assemblage par clavetage est une bonne occasion pour faire comprendre l'influence des tolérances des pièces sur le résultat final d'un assemblage.

Le tableau 4 de la page 2367 du Machinery's Handbook indique la plage d'ajustement résultant de l'assemblage, tant l'ajustement latéral (Side fit) que l'ajustement vertical (Top and bottom fit). Dans un premier temps, il est assez facile de visualiser la plage d'ajustement résultant de l'assemblage latéral de la clavette dans les rainures en considérant les deux cas extrêmes.

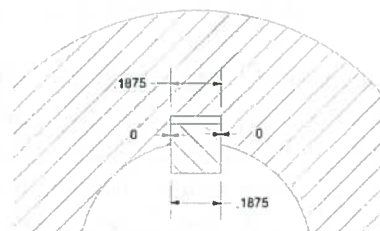
Table 4. ANSI Standard Fits for Parallel and Taper Keys ANSI B17.1-1967 (R1998)

Type of Key	Key Width		Side Fit			Top and Bottom Fit			
	Over	To (Incl.)	Width Tolerance		Fit Range ^a	Depth Tolerance			Fit Range ^a
			Key	Key-Seat		Key	Shaft Key-Seat	Hub Key-Seat	
Class 1 Fit for Parallel Keys									
Square	---	1/2	+0.000	+0.002	0.005 CL	+0.000	+0.000	+0.010	0.032 CL
			-0.002	-0.000		-0.002	-0.015	-0.000	
	1/2	3/4	+0.000	+0.003	0.006 CL	+0.000	+0.000	+0.010	0.033 CL
			-0.002	-0.000		-0.002	-0.015	-0.000	
	3/4	1	+0.000	+0.003	0.007 CL	+0.000	+0.000	+0.010	0.033 CL
			-0.003	-0.000		-0.003	-0.015	-0.000	
	1	1 1/2	+0.000	+0.004	0.000	+0.000	+0.000	+0.010	0.033 CL
			-0.003	-0.000		-0.003	-0.015	-0.000	

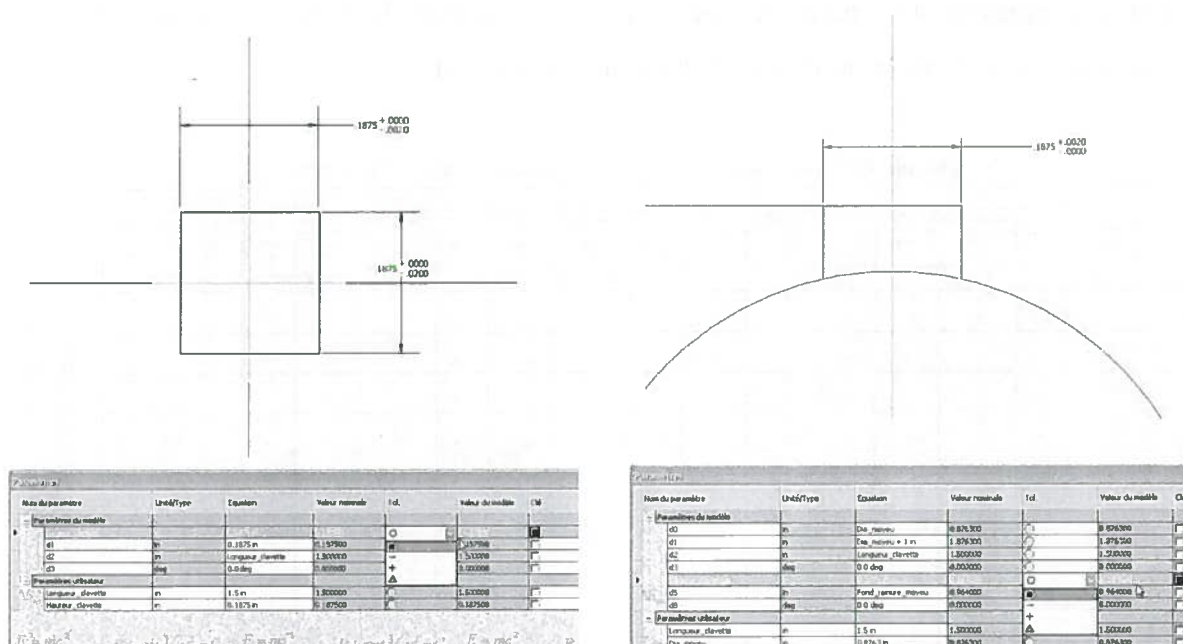
Au minimum de matière, la rainure est à la cote la plus large permise par la tolérance, soit 0,1895 po, tandis que la clavette est à la cote la plus petite permise, soit 0,1855 po. On obtient alors un jeu maximal de 0,004 po.



Au maximum de matière, la rainure est à la cote la plus petite permise par la tolérance, soit 0,1875 po, tandis que la clavette est à la cote la plus large permise, soit 0,1875 po. On obtient alors un jeu minimal de 0 po.



Cette simulation¹⁴ est facile à réaliser en utilisant le tableau des variables en parallèle avec les tolérances définies avec les cotes d'esquisses. Il suffit ensuite de régler les paramètres pour qu'ils s'affichent dans l'état voulu (+ ou -) dans le modèle. Les variables doivent être modifiées indépendamment dans chacune des pièces dans le menu Gérer -> Paramètres.



Le désavantage principal de cette méthode est que chacune des pièces correspond à un fichier dans lequel il faut accéder au tableau des paramètres pour régler l'état d'affichage du modèle. Avec seulement trois pièces, la méthode est simple, mais pour un assemblage de plusieurs pièces, il y a plus de risques d'erreurs.

Pour la simulation¹⁵ de l'ajustement vertical, il y a plus de variables et le tracé d'une chaîne de cotes peut s'avérer nécessaire pour mieux faire voir l'influence de chaque cote participant au jeu fonctionnel.

¹⁴ Projet Inventor: Clavetage - jeu latéral

¹⁵ Projet Inventor: Clavetage - jeu vertical

Il convient d'abord de choisir le type d'ajustement entre l'arbre et le moyeu. La tolérance du moyeu (H8) étant correspondante à l'ajustement LC3 imposé dans le devis, il faut trouver la tolérance de l'arbre pour obtenir un ajustement fonctionnel permettant un montage/démontage facile avec un jeu minimal. En consultant le Machinery's Handbook, à partir de la page 655, on trouve qu'un ajustement de type LC3 fait parfaitement l'affaire. Il s'agit d'un ajustement de position avec un jeu minimal pour des pièces stationnaires entre elles, mais qui peuvent se monter et se démonter facilement.

Table 9a. American National Standard Clearance Locational Fits ANSI B4.1-1967 (R1999)

Nominal Size Range, Inches Over To	Class LC 1			Class LC 2			Class LC 3			Class LC 4			Class LC 5		
	Clearance*	Standard Tolerance Limits		Clearance*	Standard Tolerance Limits		Clearance*	Standard Tolerance Limits		Clearance*	Standard Tolerance Limits		Clearance*	Standard Tolerance Limits	
		Hole H6	Shaft h5		Hole H7	Shaft h6		Hole H8	Shaft h7		Hole H10	Shaft h9		Hole H7	Shaft g6
Values shown below are in thousandths of an inch															
0 - 0.12	0 0.45	-0.25 0	0 -0.2	0 0.65	-0.4 0	0 -0.25	0 1	-0.6 0	0 -0.4	0 2.6	-1.6 0	0 -1.0	0.1 0.75	-0.4 0	-0.1 -0.35
0.12 - 0.24	0 0.5	-0.3 0	0 -0.2	0 0.8	-0.5 0	0 -0.3	0 1.2	-0.7 0	0 -0.5	0 3.0	-1.8 0	0 -1.2	0.15 0.95	-0.5 0	-0.15 -0.45
0.24 - 0.40	0 0.65	-0.3 0	0 -0.25	0 1.0	-0.6 0	0 -0.4	0 1.5	-0.9 0	0 -0.6	0 3.6	-2.2 0	0 -1.4	0.2 1.2	-0.6 0	-0.2 -0.6
0.40 - 0.71	0 0.7	-0.3 0	0 -0.3	0 1.1	-0.7 0	0 -0.4	0 1.7	-1.0 0	0 -0.7	0 4.4	-2.8 0	0 -1.6	0.25 1.35	-0.7 0	-0.25 -0.65
0.71 - 1.19	0 0.9	-0.5 0	0 -0.4	0 1.3	-0.8 0	0 -0.5	0 2.0	-1.1 0	0 -0.8	0 5.5	-3.5 0	0 -2.0	0.3 1.6	-0.8 0	-0.3 -0.8
1.19 - 1.97	0 1.0	-0.6 0	0 -0.4	0 1.6	-1.0 0	0 -0.6	0 2.6	-1.3 0	0 -1	0 6.5	-4.0 0	0 -2.5	0.4 2.0	-1.0 0	-0.4 -1.0
1.97 - 3.15	0 1.2	-0.7 0	0 -0.5	0 1.9	-1.2 0	0 -0.7	0 3	-1.8 0	0 -1.2	0 7.5	-4.5 0	0 -3	0.4 2.3	-1.2 0	-0.4 -1.1
3.15 - 4.73	0 1.5	-0.9 0	0 -0.6	0 2.3	-1.4 0	0 -0.9	0 3.6	-2.2 0	0 -1.4	0 8.5	-5.0 0	0 -3.5	0.5 2.8	-1.4 0	-0.5 -1.4
4.73 - 7.09	0 1.7	-1.0 0	0 -0.7	0 2.6	-1.6 0	0 -1.0	0 4.1	-2.5 0	0 -1.6	0 10.0	-6.0 0	0 -4	0.6 3.2	-1.6 0	-0.6 -1.6
7.09 - 9.85	0 2.0	-1.2 0	0 -0.8	0 3.0	-1.8 0	0 -1.2	0 4.6	-2.8 0	0 -1.8	0 11.5	-7.0 0	0 -4.5	0.6 3.6	-1.8 0	-0.6 -1.8
9.85 - 12.41	0 2.1	-1.2 0	0 -0.9	0 3.2	-2.0 0	0 -1.2	0 5	-3.0 0	0 -2.0	0 13.0	-8.0 0	0 -5	0.7 3.9	-2.0 0	-0.7 -1.9
12.41 - 15.75	0 2.4	-1.4 0	0 -1.0	0 3.6	-2.2 0	0 -1.4	0 5.7	-3.5 0	0 -2.2	0 15.0	-9.0 0	0 -6	0.7 4.3	-2.2 0	-0.7 -2.1
15.75 - 19.69	0 2.6	-1.6 0	0 -1.0	0 4.1	-2.5 0	0 -1.6	0 6.5	-4 0	0 -2.5	0 16.0	-10.0 0	0 -6	0.8 4.9	-2.5 0	-0.8 -2.4

660

CLEARANCE LOCATIONAL FITS

Le tableau 9a de la page 660, donne les valeurs tolérancées de l'arbre et du moyeu pour obtenir ce type d'ajustement. Ce choix correspond autant au côté de la poulie (ø0,875 po), qu'au côté de la roue dentée (ø0,750 po).

La tolérance des arbres sera 0/-0,0008 po, tandis que la tolérance des moyeux sera +0.0012/0 et le jeu résultant de cet assemblage sera +0,002/0 po.

Pour valider l'ajustement vertical de l'assemblage claveté, on utilise la méthode de la chaîne de cotes. La chaîne de cotes minimale étant élaborée, on en déduit les équations et on peut alors calculer les jeux minimum et maximum résultants.

En prenant les valeurs du côté poulie, on a :

$$A1 = 0,964 \begin{matrix} +0,010 \\ 0 \end{matrix}$$

$$A2 = 0,771 \begin{matrix} 0 \\ -0,015 \end{matrix}$$

$$A3 = 0,1875 \begin{matrix} 0 \\ -0,002 \end{matrix}$$

L'équation de base est :
 $JA = A1 - (A2 + A3)$

L'équation des intervalles de tolérances est :

$$IT JA = IT A1 + IT A2 + IT A3$$

$$IT JA = 0,010 + 0,015 + 0,002$$

$$IT JA = 0,027 \text{ po}$$

L'équation de JA minimum est :

$$JA \text{ min} = A1_{\text{min}} - (A2_{\text{Max}} + A3_{\text{Max}})$$

$$JA \text{ min} = 0,964 - (0,771 + 0,1875)$$

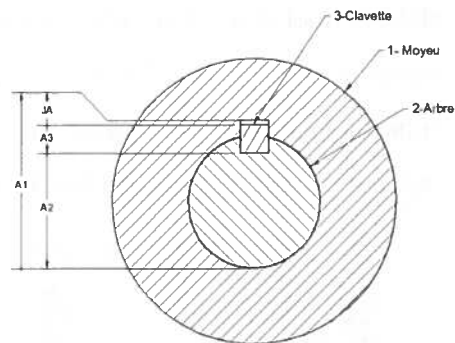
$$JA \text{ min} = 0,0055$$

L'équation de JA Maximum est :

$$JA \text{ Max} = A1_{\text{Max}} - (A2_{\text{min}} + A3_{\text{min}})$$

$$JA \text{ Max} = 0,974 - (0,756 + 0,1855)$$

$$JA \text{ Max} = 0,0325$$



On peut valider le résultat avec l'équation des IT

$$IT JA = JA \text{ Max} - JA \text{ min}$$

$$IT JA = 0,0325 - 0,0055$$

$$IT JA = 0,027 \text{ po}$$

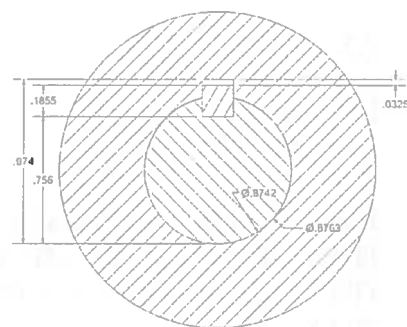
Le jeu obtenu peut être validé dans le tableau 4 à la page 2367 du MHB.

Table 4. ANSI Standard Fits for Parallel and Taper Keys *ANSI B17.1-1967 (R1998)*

Type of Key	Key Width		Side Fit			Top and Bottom Fit			
	Over	To (Incl.)	Width Tolerance		Fit Range ^a	Depth Tolerance			Fit Range ^a
			Key	Key-Seat		Key	Shaft Key-Seat	Hub Key-Seat	
Class 1 Fit for Parallel Keys									
...	1/2	+0.000	+0.002	0.004 CL	+0.000	+0.000	+0.010		
		-0.002	-0.000	0.000	-0.002	-0.015	-0.000		

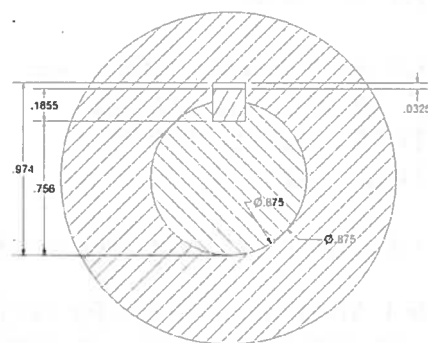
Il est relativement facile de simuler la chaîne de cotes précédente avec Inventor en modifiant les valeurs des esquisses ou la tolérance affichée dans les différentes pièces. Cependant, cette méthode ne permet pas d'avoir une vue d'ensemble, car il faut traiter chaque pièce individuellement. L'utilisation d'un fichier Excel pour contrôler les valeurs du modèle permet d'avoir un endroit commun pour faire le réglage des valeurs désirées pour l'ensemble des pièces. Le fichier contient toutes les variables requises pour faire la simulation et il est lié à chacune des pièces. Il suffit alors de modifier les cotes pour que l'assemblage soit régénéré en fonction des nouvelles valeurs.

	A	B	C	D	E
1	Dia_arbre	0.8742			
2	Fond_rainure_arbre	0.756			
3	Dia_moyeu	0.8763			
4	Fond_rainure_moyeu	0.974			
5	Hauteur_clavette	0.1855			
6					
7					
8					
9					
10		État nominal			
11	Diamètre de l'arbre	min	0.875	Max	0.8750
12				min	0.8742
13	Mesure S rainure dans l'arbre	min	0.771	Max	0.7710
14				min	0.7560
15	Diamètre du moyeu	Max	0.875	Max	0.8763
16				min	0.8750
17	Mesure T rainure dans le moyeu	Max	0.964	Max	0.9740
18				min	0.9640
19	Hauteur de la clavette	min	0.1875	Max	0.1875
20				min	0.1855
21					



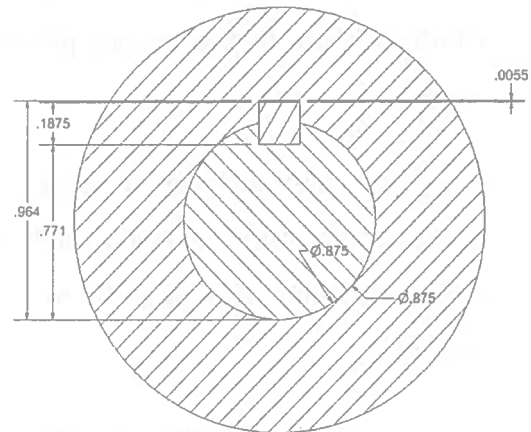
Dans cette première simulation, toutes les pièces sont réglées à leur minimum de matière, on obtient alors le jeu maximal qui est de 0.0325 po.

	A	B	C	D	E
1	Dia_arbre	0.875			
2	Fond_rainure_arbre	0.756			
3	Dia_moyeu	0.875			
4	Fond_rainure_moyeu	0.974			
5	Hauteur_clavette	0.1855			
6					
7					
8					
9					
10		État nominal			
11	Diamètre de l'arbre	Max	0.875	Max	0.8750
12				min	0.8742
13	Mesure S rainure dans l'arbre	min	0.771	Max	0.7710
14				min	0.7560
15	Diamètre du moyeu	min	0.875	Max	0.8763
16				min	0.8750
17	Mesure T rainure dans le moyeu	Max	0.964	Max	0.9740
18				min	0.9640
19	Hauteur de la clavette	min	0.1875	Max	0.1875
20				min	0.1855
21					



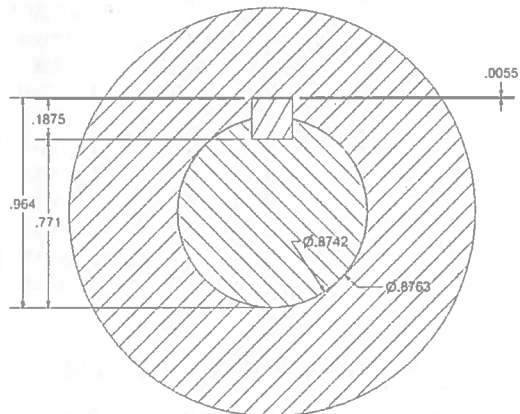
Cette deuxième simulation permet de voir que les diamètres de l'arbre et de l'alésage du moyeu n'ont pas d'impact sur le jeu de montage de la clavette. Cette simulation permet de valider la chaîne de cote minimale qui a permis de résoudre mathématiquement l'équation.

	A	B	C	D	E	F
1	Dia_arbre	0.875				
2	Fond_rainure_arbre	0.771				
3	Dia_moyeu	0.875				
4	Fond_rainure_moyeu	0.964				
5	Hauteur_clavette	0.1875				
6						
7						
8						
9						
10		État	nominal			
11	Diamètre de l'arbre	Max	0.875	Max	0.8750	
12				min	0.8742	
13	Mesure S rainure dans l'arbre	Max	0.771	Max	0.7710	
14				min	0.7560	
15	Diamètre du moyeu	min	0.875	Max	0.8763	
16				min	0.8750	
17	Mesure T rainure dans le moyeu	min	0.964	Max	0.9740	
18				min	0.9640	
19	Hauteur de la clavette	Max	0.1875	Max	0.1875	
20				min	0.1855	
21						



Dans cette troisième simulation, toutes les pièces sont réglées à leur maximum de matière, on obtient alors le jeu minimal de 0.0055 po.

	A	B	C	D	E	F
1	Dia_arbre	0.8742				
2	Fond_rainure_arbre	0.771				
3	Dia_moyeu	0.8763				
4	Fond_rainure_moyeu	0.964				
5	Hauteur_clavette	0.1875				
6						
7						
8						
9						
10		État	nominal			
11	Diamètre de l'arbre	min	0.875	Max	0.8750	
12				min	0.8742	
13	Mesure S rainure dans l'arbre	Max	0.771	Max	0.7710	
14				min	0.7560	
15	Diamètre du moyeu	Max	0.875	Max	0.8763	
16				min	0.8750	
17	Mesure T rainure dans le moyeu	min	0.964	Max	0.9740	
18				min	0.9640	
19	Hauteur de la clavette	Max	0.1875	Max	0.1875	
20				min	0.1855	
21						



Cette quatrième simulation permet de valider que les diamètres de l'arbre et de l'alésage du moyeu n'ont pas d'impact sur le jeu de montage de la clavette. Cette simulation permet de valider la chaîne de cote minimale qui permet de résoudre mathématiquement l'équation.

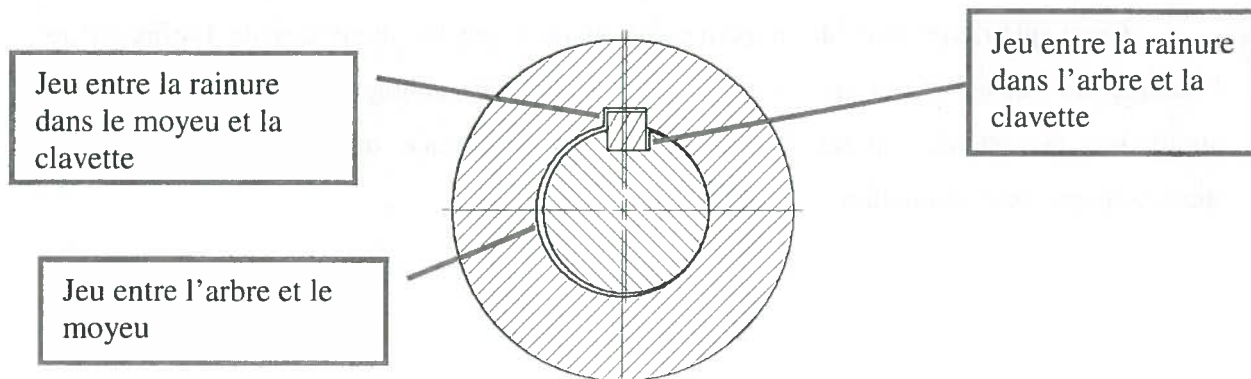
L'assemblage par clavetage est aussi une bonne occasion pour faire comprendre l'influence des tolérances des pièces sur le tolérancement géométrique au maximum de matière.

Le tableau 4 de la page 2367 du Machinery's Handbook indique la plage d'ajustement résultant de l'assemblage latéral (Side fit) qui sera utilisé pour calculer la tolérance géométrique de position à appliquer sur la position des rainures dans l'arbre et le moyeu.

Table 4. ANSI Standard Fits for Parallel and Taper Keys ANSI B17.1-1967 (R1998)

Type of Key	Key Width		Side Fit			Top and Bottom Fit				
	Over	To (Incl.)	Width Tolerance		Fit Range ^a	Depth Tolerance			Fit Range ^a	
			Key	Key-Seat		Key	Shaft Key-Seat	Hub Key-Seat		
Class 1 Fit for Parallel Keys										
Square	...	1/2	+0.000	0.000	0.004 CL	+0.000	+0.000	+0.010	0.032 CL	
			-0.002	-0.000	0.000	-0.002	-0.015	-0.000	0.005 CL	
	1/2	3/4	+0.000	+0.003	0.005 CL	+0.000	+0.000	+0.010	0.032 CL	
			-0.002	-0.000	0.000	-0.002	-0.015	-0.000	0.005 CL	
	3/4	1	+0.000	+0.003	0.006 CL	+0.000	+0.000	+0.010	0.033 CL	
			-0.003	-0.000	0.000	-0.003	-0.015	-0.000	0.005 CL	
	1	1 1/2	+0.000	+0.004	0.007 CL	+0.000	+0.000	+0.010	0.033 CL	
			-0.003	-0.000	0.000	-0.003	-0.015	-0.000	0.005 CL	
	1 1/2	2 1/2	+0.000	+0.004	0.008 CL	+0.000	+0.000	+0.010	0.034 CL	
			-0.004	-0.000	0.000	-0.004	-0.015	-0.000	0.005 CL	
	2 1/2	3 1/2	+0.000	+0.004	0.010 CL	+0.000	+0.000	+0.010	0.036 CL	
			-0.006	-0.000	0.000	-0.006	-0.015	-0.000	0.005 CL	

Pour calculer un défaut de position admissible, il faut tenir compte des jeux possibles dans l'assemblage. Plus ces jeux seront grands, plus le défaut de position pourra être grand. Dans un premier temps, il faut identifier les jeux qui peuvent permettre des défauts géométriques.



Dans le cas d'un clavetage, il y a deux tolérances de position à coter, soit le défaut de position de la rainure dans l'arbre et le défaut de position de la rainure dans le moyeu.

On imagine assez facilement que les défauts géométriques maximums sont possibles lorsque les jeux sont les plus grands et, à l'inverse, que les défauts géométriques doivent être minimaux lorsque les jeux sont les plus petits.

On peut en déduire une relation logique : la somme des jeux intervenant dans l'assemblage peut compenser pour les défauts géométriques de fabrication. Plus spécifiquement, la somme des jeux est égale à la somme des défauts géométriques admissibles pour que l'assemblage soit toujours possible.

Pour valider cette équation, on peut utiliser une simulation¹⁶ avec Inventor et un fichier Excel. Dans un premier temps, la simulation sera faite avec les conditions les plus favorables, c'est-à-dire lorsque les jeux sont au maximum.

Jeu maximum entre la rainure dans le moyeu et la clavette = rainure du moyeu maximale – largeur clavette minimale

Jeu maximum entre la rainure dans le moyeu et la clavette = 0,1895 – 0,1855

Jeu maximum entre la rainure dans le moyeu et la clavette = 0,004

Jeu maximum entre la rainure dans l'arbre et la clavette = rainure de l'arbre maximale – largeur clavette minimale

Jeu maximum entre la rainure dans l'arbre et la clavette = 0,1895 – 0,1855

Jeu maximum entre la rainure dans l'arbre et la clavette = 0,004

Jeu maximum entre l'arbre et le moyeu = alésage maximal du moyeu – diamètre minimal de l'arbre

Jeu maximum entre l'arbre et le moyeu = 0,8763 – 0,8742

Jeu maximum entre l'arbre et le moyeu = 0,0021

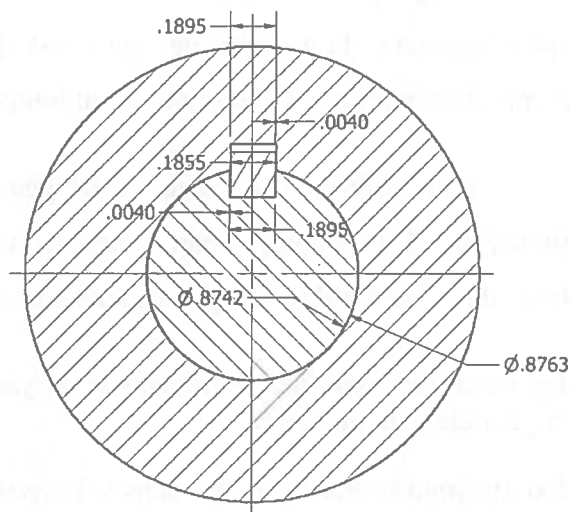
¹⁶ Projet Inventor: Clavetage - positionnement

La somme des jeux maximums est donc : $0,004 + 0,004 + 0,0021 = 0,0101$ po

Selon l'équation de départ : La somme des jeux = la somme des défauts géométriques

Comme il y a deux tolérances géométriques de position à établir, on pourrait répartir la tolérance également, soit : $0,00505$ po. Bien entendu, sur le dessin de détail, cette valeur serait arrondie à $0,005$ po.

	A	B	C	D	E
1	Dia_arbre		0,8742		
2	Fond_rainure_arbre		0,756		
3	Défaut_symétrie_arbre		0,005		
4	Dia_moyeu		0,8763		
5	Fond_rainure_moyeu		0,974		
6	Défaut_symétrie_moyeu		0,005		
7	Largeur_clavette		0,1855		
8	Rainure_clavette_arbre		0,1895		
9	Rainure_clavette_moyeu		0,1895		
10					
11					
12			État nominal		
13	Diamètre de l'arbre	min	0,875	Max	0,8750
14				min	0,8742
15	Profondeur S rainure dans l'arbre	min	0,771	Max	0,7710
16				min	0,7560
17	Défaut de symétrie de l'arbre	Max	0	Max	0,0050
18				min	0,0000
19	Diamètre du moyeu	Max	0,875	Max	0,8763
20				min	0,8750
21	Profondeur T rainure dans le moyeu	Max	0,974	Max	0,9740
22				min	0,9640
23	Défaut de symétrie du moyeu	Max	0	Max	0,0050
24				min	0,0000
25	Largeur de la clavette	min	0,1875	Max	0,1875
26				min	0,1855
27	Largeur de rainure clavette dans l'arbre	Max	0,1875	Max	0,1895
28				min	0,1875
29	Largeur de rainure clavette dans le moyeu	Max	0,1875	Max	0,1895
30				min	0,1875
31					



Dans cette première simulation, les cotes fonctionnelles sont au minimum de matière et les défauts de position sont au maximum. On constate que l'assemblage est possible sans interférence même si les défauts de position sont dans des sens opposés.

Dans un deuxième temps, la simulation sera faite avec les conditions les plus défavorables, c'est-à-dire lorsque les jeux sont au minimum.

Jeu minimum entre la rainure dans le moyeu et la clavette = rainure du moyeu minimale – largeur clavette maximale

Jeu minimum entre la rainure dans le moyeu et la clavette = $0,1875 - 0,1875$

Jeu minimum entre la rainure dans le moyeu et la clavette = 0

Jeu minimum entre la rainure dans l'arbre et la clavette = rainure de l'arbre minimale – largeur clavette maximale

Jeu minimum entre la rainure dans l'arbre et la clavette = $0,1875 - 0,1875$

Jeu minimum entre la rainure dans l'arbre et la clavette = 0

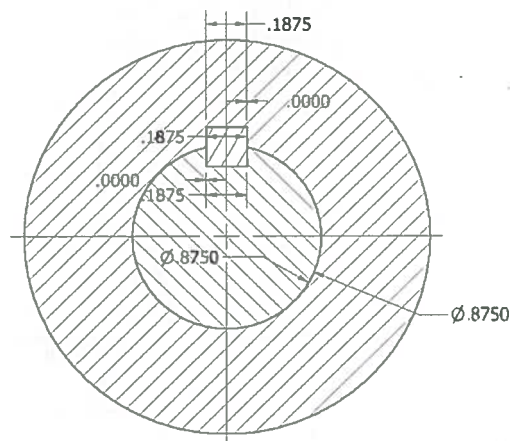
Jeu minimum entre l'arbre et le moyeu = alésage minimal du moyeu – diamètre maximal de l'arbre

Jeu minimum entre l'arbre et le moyeu = $0,875 - 0,875$

Jeu minimum entre l'arbre et le moyeu = 0

La somme des jeux maximums est donc : $0 + 0 + 0 = 0$ po

	A	B	C	D	E
1	Dia. arbre	0,875			
2	Fond_rainure_arbre	0,771			
3	Défaut_symétrie_arbre	0			
4	Dia. moyeu	0,875			
5	Fond_rainure_moyeu	0,964			
6	Défaut_symétrie_moyeu	0			
7	Largeur_clavette	0,1875			
8	Rainure_clavette_arbre	0,1875			
9	Rainure_clavette_moyeu	0,1875			
10					
11					
12		État	nominal		
13	Diamètre de l'arbre	Max	0,875	Max	0,8750
14				min	0,8742
15	Profondeur S rainure dans l'arbre	Max	0,771	Max	0,7710
16				min	0,7560
17	Défaut de symétrie de l'arbre	min	0	Max	0,0050
18				min	0,0000
19	Diamètre du moyeu	min	0,875	Max	0,8763
20				min	0,8750
21	Profondeur T rainure dans le moyeu	min	0,974	Max	0,9740
22				min	0,9640
23	Défaut de symétrie du moyeu	min	0	Max	0,0050
24				min	0,0000
25	Largeur de la clavette	Max	0,1875	Max	0,1875
26				min	0,1855
27	Largeur de rainure clavette dans l'arbre	min	0,1875	Max	0,1895
28				min	0,1875
29	Largeur de rainure clavette dans le moyeu	min	0,1875	Max	0,1895
30				min	0,1875

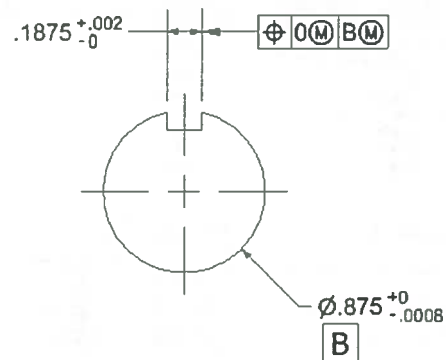
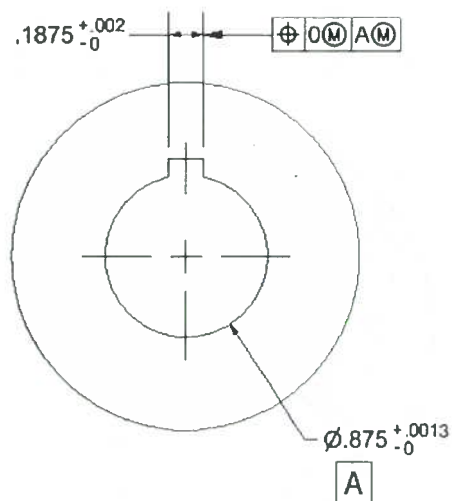


Dans cette deuxième simulation, les cotes fonctionnelles sont au maximum de matière et les défauts de position sont au minimum. On constate que l'assemblage est possible à condition que les défauts de position soient à 0.

Dans un contexte de fabrication en série, on doit considérer les conditions les plus défavorables pour que les assemblages soient toujours possibles. Les conditions les plus défavorables se produisent quand les pièces sont à leur maximum de matière; dans ce cas-ci, pour que les assemblages soient toujours possibles, il faudrait que les défauts de position soient nuls.

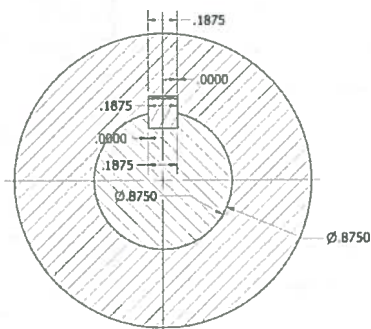
Le tolérancement au maximum de matière indique au fabricant que la tolérance de position doit être respectée telle quelle lorsque les éléments référencés sont au maximum de matière, mais elle indique aussi que si les éléments ne sont pas au maximum de matière la tolérance gagnée peut être appliquée en plus à la tolérance de position.

Cette démonstration permet de mettre en évidence l'importance du tolérancement au maximum de matière. Les tolérances géométriques de position seront inscrites comme ici-bas sur les dessins de définition.



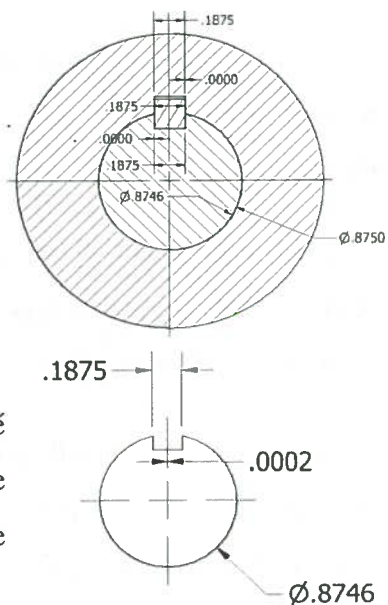
Pour démontrer l'application du tolérancement au maximum de matière : CMM (Condition Maximum de Matière), la simulation¹⁷ suivante permet de valider différentes configurations d'assemblage.

	État	nominal	Limites	
13 Diamètre de l'arbre	0,875	0,875	Max	0,8750
14			min	0,8742
15 Profondeur S rainure dans l'arbre	0,771	0,771	Max	0,7710
16			min	0,7560
17 Défaut de symétrie de l'arbre	0	0	Max	0,0050
18			min	0,0000
19 Diamètre du moyeu	0,875	0,875	Max	0,8763
20			min	0,8750
21 Profondeur T rainure dans le moyeu	0,974	0,974	Max	0,9740
22			min	0,9640
23 Défaut de symétrie du moyeu	0	0	Max	0,0050
24			min	0,0000
25 Largeur de la clavette	0,1875	0,1875	Max	0,1875
26			min	0,1855
27 Largeur de rainure clavette dans l'arbre	0,1875	0,1875	Max	0,1895
28			min	0,1875
29 Largeur de rainure clavette dans le moyeu	0,1875	0,1875	Max	0,1895
30			min	0,1875



Dans cette première simulation, toutes les pièces sont à leur condition maximum de matière, il n'y a donc aucune erreur de position possible pour que l'assemblage soit possible.

	État	nominal	Limites	
13 Diamètre de l'arbre	0,8746	0,875	Max	0,8750
14			min	0,8742
15 Profondeur S rainure dans l'arbre	0,771	0,771	Max	0,7710
16			min	0,7560
17 Défaut de symétrie de l'arbre	0,0004	0	Max	0,0050
18			min	0,0000
19 Diamètre du moyeu	0,875	0,875	Max	0,8763
20			min	0,8750
21 Profondeur T rainure dans le moyeu	0,974	0,974	Max	0,9740
22			min	0,9640
23 Défaut de symétrie du moyeu	0	0	Max	0,0050
24			min	0,0000
25 Largeur de la clavette	0,1875	0,1875	Max	0,1875
26			min	0,1855
27 Largeur de rainure clavette dans l'arbre	0,1875	0,1875	Max	0,1895
28			min	0,1875
29 Largeur de rainure clavette dans le moyeu	0,1875	0,1875	Max	0,1895
30			min	0,1875



Dans cette deuxième simulation, l'arbre est mesuré à 0,8746 po, soit 0,0004 po de moins que sa CMM. Ce gain de tolérance peut donc être attribué au défaut de position de la rainure dans l'arbre.

¹⁷ Projet Inventor : Clavetage Positionnement CMM

La zone de tolérance de position de 0,0004 po permet que la rainure soit désaxée de $\pm 0,0002$ po comme montré sur le dessin de l'arbre.

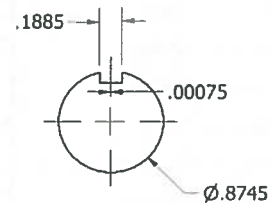
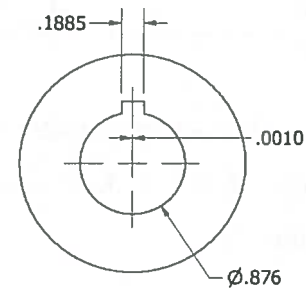
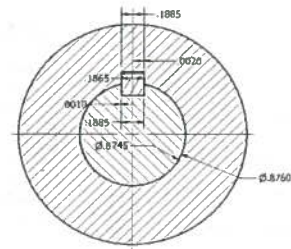
	État	nominal	Limites	
12				
13	0,8745	0,875	Max	0,8750
14			min	0,8742
15	0,771	0,771	Max	0,7710
16			min	0,7590
17	0,0015	0	Max	0,0050
18			min	0,0000
19	0,876	0,875	Max	0,8763
20			min	0,8750
21	0,974	0,974	Max	0,9740
22			min	0,9640
23	0,002	0	Max	0,0050
24			min	0,0000
25	0,1855	0,1875	Max	0,1875
26			min	0,1855
27	0,1885	0,1875	Max	0,1895
28			min	0,1875
29	0,1885	0,1875	Max	0,1895
30			min	0,1875
31				

Dans cette troisième simulation, l'alésage du moyeu est mesuré à 0,876 po, soit 0,001 po de moins que sa CMM et sa rainure à 0,1855 po, soit 0,001 de moins que sa CMM. Ce gain de tolérance de 0,002 peut donc être attribué au défaut de position de la rainure dans l'arbre.

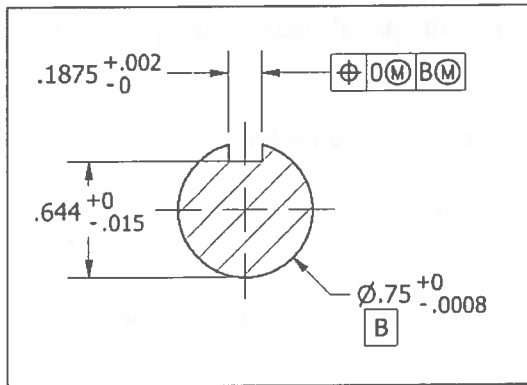
La zone de tolérance de position de 0,002 po permet que la rainure soit désaxée de $\pm 0,001$ po comme montré sur le dessin du moyeu.

L'arbre est mesuré à 0,8745 po, soit 0,0005 po de moins que sa CMM et sa rainure à 0,1855 po, soit 0,001 de moins que sa CMM. Ce gain de tolérance de 0,0015 peut donc être attribué au défaut de position de la rainure dans l'arbre.

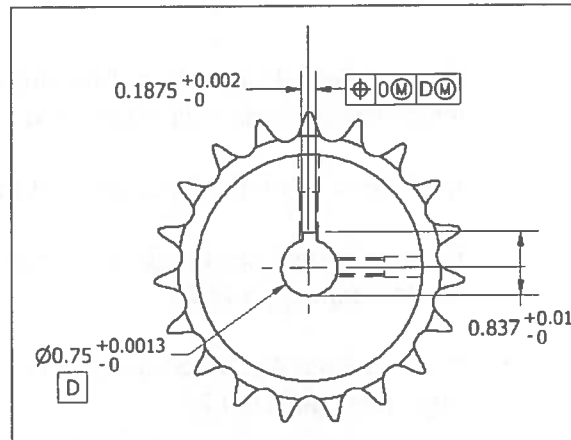
La zone de tolérance de position de 0,0015 po permet que la rainure soit désaxée de $\pm 0,00075$ po comme montré sur le dessin de l'arbre. On peut aussi faire remarquer avec cette simulation que les gains de tolérance sont possibles seulement sur les cotes référencées d'une même pièce. Dans l'exemple ici haut, la clavette n'est pas dans sa CMM, mais ce gain ne peut pas être utilisé pour augmenter le défaut admissible sur l'arbre ou dans le moyeu.



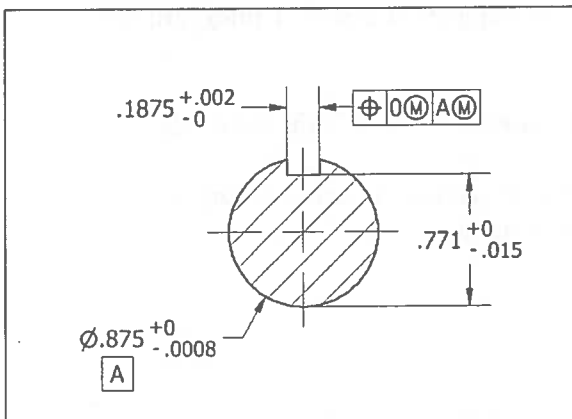
À la fin de cette séance de simulation, les cotations des clavetages dans l'arbre et les moyeux devraient être inscrites comme ici-bas :



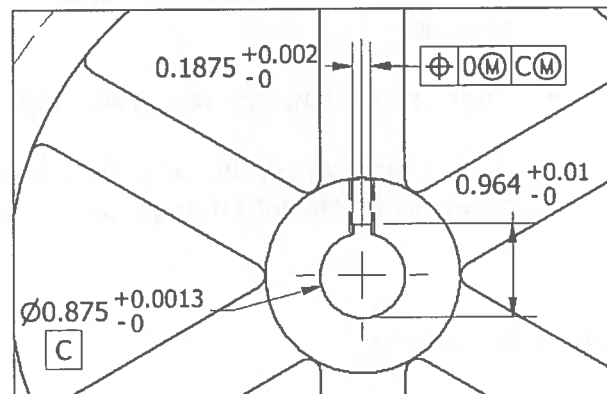
Arbre coté roue dentée



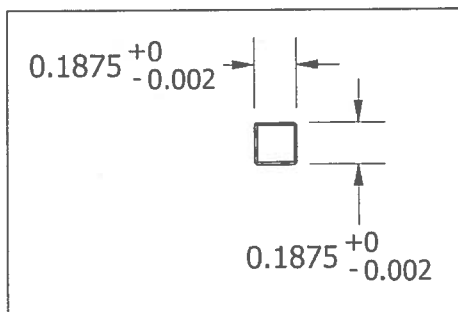
Moyeu coté roue dentée



Arbre coté poulie



Moyeu coté poulie



Clavettes

4.4 Étape 5 : Étude du montage des roulements

Objectifs d'apprentissages :

- Expérimenter l'utilisation d'un site Internet construit spécifiquement pour assister les concepteurs dans la sélection des roulements.
- Interpréter des unités métriques et impériales dans un même projet.
- Estimer le type de charges à supporter par les roulements pour sélectionner les ajustements appropriés.
- Trouver les cotes fonctionnelles des ajustements des portées sur l'arbre et des logements dans le bâti.
- Trouver les tolérances géométriques de forme requises et choisir l'intervalle de tolérance.
- Trouver les tolérances géométriques de position requises et choisir l'intervalle de tolérance.
- Trouver les tolérances de rugosité requises et choisir l'intervalle de tolérance.
- Reconnaître l'importance d'utiliser directement les valeurs métriques dans les esquisses et fonctions d'un projet en unités impériales.

Durée de l'activité :

Cette étape requiert environ 4 heures de démonstration guidée en classe avec interaction et discussion sur la théorie sous-jacente et 2 heures de travail hors classe pour que l'étudiante ou l'étudiant puisse maîtriser les concepts.

Pour télécharger le roulement, il faut se rendre sur le site du manufacturier à www.skf.ca. Vous devez d'abord vous enregistrer sur le site et ensuite choisir la version française pour obtenir la page ici-bas.

Vous devez ensuite accéder au catalogue en ligne et entrer la désignation du roulement désiré dans le champ de recherche.

Il suffit ensuite de faire un double-clic sur le numéro du roulement pour arriver à la page suivante :

SKF

Vue 3D PDF CAD IHP Imprimer Fermer

Roulements rigides à billes, à une rangée, joints des deux côtés

[Tous articles](#) | [Voir aussi les séries](#)
[à roulements à billes](#) | [Voir aussi le site](#)
[d'assistance technique](#) | [Tableaux de données](#)
[Tableaux de données de roulement](#)

Dimensions d'encastrement			Charges de base		Limite de fatigue	Vitesse de base		Masse	Désignation
d	D	B	C _d	C _s		Vitesse de référence	Vitesse limite		
mm			kN		kN	tr/min	tr/min	kg	
25	52	15	14,8	7,5	0,325		6500	0,13	6205-2RSH*

* - Roulement SKF Explorer

Coefficients de calcul
 $k_1 = 0,025$
 $f_0 = 14$

Pour obtenir le modèle, il faut choisir le bouton CAD en haut de la page. Vous devez ensuite choisir le format de fichier Inventor >=R10 et choisir le bouton télécharger.

SKF

Modèles CAD SKF

Si vous choisissez le format CAD, le plan du 6205-2RSH sera compressé au format ZIP et attaché, si demandé, dans un courrier électronique vers daniel.pinsonneault@colval.qc.ca. Votre serveur doit accepter ce fichier attaché. Si votre serveur n'accepte pas les extensions ZIP, vous pouvez essayer avec une autre extension, par exemple JAR.

Le nom de l'extension d'un fichier ZIP compressé est ZIP.

Le plus grand soin a été porté sur l'exactitude des plans, mais aucune responsabilité ne peut être acceptée pour les pertes ou dommages directs ou indirects résultant de l'utilisation de ces plans.

Remarque! Les dimensions non spécifiées dans le tableau des produits du Catalogue technique interactif, ne doivent pas être mesurées sur le plan pour servir de base aux dimensions des composants adjacents.

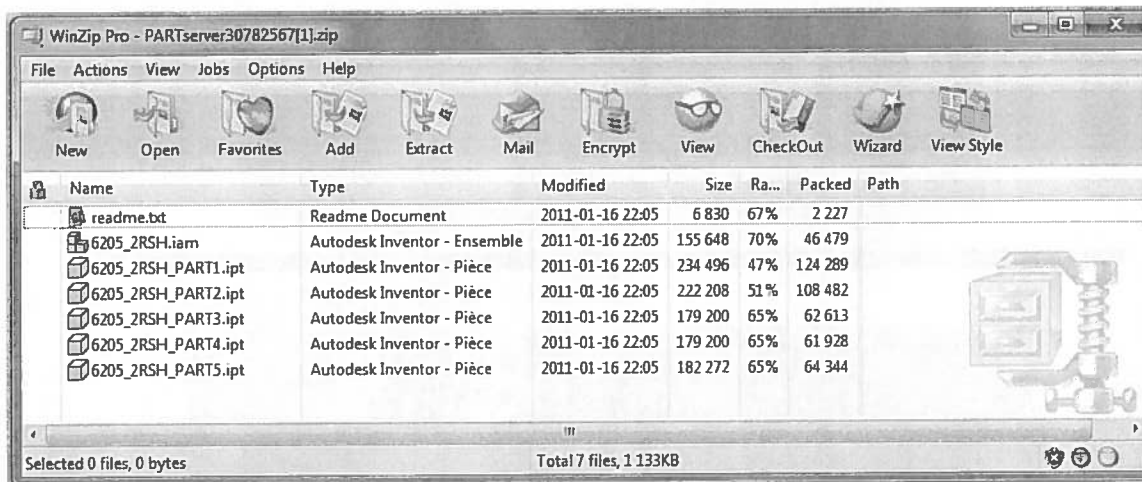
Le format 3D CAD pour ProENGINEER est maintenant changé en "wldfse", les formats d'origine pour PROE 2001 et 200012 ne sont pas disponibles. Utilisez les formats IGES ou STEP pour ces versions.

Un plan simplifié de roulement a seulement un rouleau ou une bille par rangée. Cochez cette case pour obtenir un plan simplifié.

Dessin par email Download Vue 3D

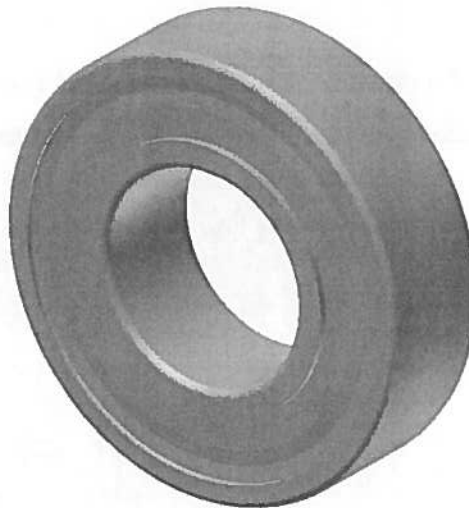
Native 3D			Neutral 3D		2D et photos	
Format CAD	Version	Aide	Format CAD	Version	Format CAD	Version
3D Studio MAX			CP		DXF	V12
Alplan	2008		DAWG	>=V14	BHIP (3D View)	
AutoCAD	>=V14		DNF	V14	JPEG (3D View)	
Aveva PDMS / Marine			IGES			
BeckerCAD			JT			
Caddy++	SAT-V4.2		Metafile 3D (PS3)	V2		
Cato	>=V5 R8		Parasolid	Binary V15		
Cato IJA	V4		Parasolid	Text V15		
EMS			PDF 3D	7.01		
Google Sketchup			SAT	V2.0		
Inventor	>=R10		SAT	V2.1		
Inventor	>=R5.3		SAT	V3.0		
Mechanical Desktop	>=V5		SAT	V4.0		

Lorsque le fichier sera téléchargé, il suffit de le décompresser et de l'extraire dans votre répertoire de travail. Le modèle du roulement est sous forme d'un assemblage avec toutes les pièces constituantes séparées.



En consultant les esquisses, on constate qu'elles ne sont pas dimensionnées, ni contraintes. Cependant, on peut utiliser l'utilitaire de mesure d'Inventor pour valider les dimensions fonctionnelles soient:

Diamètre intérieur : 25 mm
 Diamètre extérieur : 52 mm
 Largeur : 15 mm
 Congés : 1 mm



En retournant sur le site de SKF, il faut maintenant trouver les cotes fonctionnelles relatives à l'installation des roulements.

SKF

Résultats de la recherche (le produit recherché peut être un composant dans un autre produit) Fermer

Désignation	Diamètre
Roulements rigides à billes, à une rangée 6205-2RSH	25
Roulements rigides à billes, à une rangée, avec Solid Oil 6205-2RSH/W64	25

SKF

Tableaux des produits Rechercher IMP PDF Imprimer Fermer

Sélectionner (tout)

Roulements rigides à billes, à une rangée

Téléchargez, voir aussi le reste des données, voir aussi le reste des ajustements recommandés, Tabellensystem d'arbre et de logement

Dimensions d'encastrement			Charges de base dynamique / statique		Limite de fatigue	Vitesses de base / vitesse de référence		Limite	Limite	Limite	Désignation
d	D	B	C	C ₀	P ₀	Vitesse de référence	Vitesse limite	Vitesse limite	Vitesse limite	Masse	Désignation
mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN	tr/min	tr/min	kg	Roulement SKF Explorer
25	52	9	10,6	6,55	0,23	23000	16000	0,078	96205		
25	52	15	14,6	7,8	0,335	26000	18000	0,13	6205 *		
25	52	15	17,8	9,0	0,4	23000	16000	0,12	6205 CTM9		
25	52	15	14,6	7,8	0,335	26000	18000	0,13	6205-2RSH *		
25	52	15	14,6	7,8	0,335	22000	14000	0,13	6205-2Z *		
25	52	15	14,6	7,8	0,335	22000	14000	0,13	6205-RSH *		
25	52	15	14,6	7,8	0,335	26000	18000	0,13	6205-RSL *		
25	52	15	14,6	7,8	0,335	23000	16000	0,13	6205-Z *		
25	52	16	14	7,8	0,335	25000	15000	0,15	6205-2RES1		
25	62	17	23,4	11,6	0,49	24000	16000	0,23	6305 *		

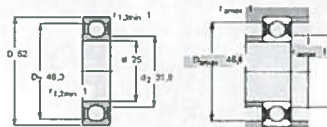
C'est à partir de cette page que l'on a accès aux tableaux suivants.

SKF

Roulements rigides à billes, à une rangée, joints des deux côtés

Téléchargez, voir aussi le reste des données, voir aussi le reste des ajustements recommandés, Tabellensystem d'arbre et de logement

Dimensions d'encastrement			Charges de base dynamique / statique		Limite de fatigue	Vitesses de base / vitesse de référence		Limite	Limite	Limite	Désignation
d	D	B	C	C ₀	P ₀	Vitesse de référence	Vitesse limite	Vitesse limite	Vitesse limite	Masse	Désignation
mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN	tr/min	tr/min	kg	Roulement SKF Explorer
25	52	15	14,6	7,8	0,335	26000	18000	0,13	6205-2RSH *		



Coefficients de calcul

f₁ 1,025

f₂ 1,1

Ce tableau fournit les dimensions recommandées pour les diamètres d'appuis et rayons des épaulements sur l'arbre et dans le logement.

SKF

Imprimer Fermer

Tableaux de tolérances
Classe de tolérances

Roulements, cotes métriques
 Normal
 P6
 P5
 P4
 P4A, P7
 SP
 UP
 PA9A, P9

Roulements, cotes en inches
 Normal

Note: Veuillez vérifier que le roulement spécifique est disponible dans la classe de tolérance demandée. Voir également la partie du texte relative au type de roulement.

SKF

Imprimer Fermer

Tableau T1 : Tolérances normales pour roulements radiaux

Bague intérieure

Symboles Bague extérieure

d	$\Delta_{amp}^{1)}$		V _{ap} Série de diamètres			V _{amp} Δ_{B1}		Δ_{B12}		V _{B2}		K _{B2}	
	sup. à	jusqu'à inclus	sup	inf	maxi	maxi	maxi	sup	inf	sup	inf	maxi	maxi
mm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm
-	2,5	0	-8	10	8	6	6	0	-40	-	-	12	10
2,5	10	0	-8	10	8	6	6	0	-120	0	-250	15	10
10	18	0	-8	10	8	6	6	0	-120	0	-250	20	10
18	30	0	-10	13	10	8	8	0	-120	0	-250	20	13
30	50	0	-12	15	12	9	9	0	-120	0	-250	20	15
50	80	0	-15	19	19	11	11	0	-150	0	-380	25	20
80	120	0	-20	25	25	15	15	0	-200	0	-380	25	25
120	180	0	-25	31	31	19	19	0	-250	0	-500	30	30
180	250	0	-30	38	38	23	23	0	-300	0	-500	30	40
250	315	0	-35	44	44	26	26	0	-350	0	-500	35	50
315	400	0	-40	50	50	30	30	0	-400	0	-630	40	60
400	500	0	-45	56	56	34	34	0	-450	0	-630	50	65
500	630	0	-50	63	63	38	38	0	-500	0	-800	60	70
630	800	0	-75	-	-	-	-	0	-750	-	-	70	80
800	1 000	0	-100	-	-	-	-	0	-1 000	-	-	80	90
1 000	1 250	0	-125	-	-	-	-	0	-1 250	-	-	100	100
1 250	1 600	0	-160	-	-	-	-	0	-1 600	-	-	120	120
1 600	2 000	0	-200	-	-	-	-	0	-2 000	-	-	140	140
2 000	2 500	0	-250	-	-	-	-	0	-2 500	-	-	160	160
2 500	3 150	0	-300	-	-	-	-	0	-3 000	-	-	190	180
3 150	4 000	0	-400	-	-	-	-	0	-4 000	-	-	230	200
4 000	5 000	0	-500	-	-	-	-	0	-5 000	-	-	270	230


¹⁾ Tolérances pour alésages coniques, voir tableau T17 (conique 1:12) et tableau T19 (conique 1:30)

Ce tableau fournit les tolérances de fabrication du roulement. En consultant la signification des symboles, on trouve que le roulement SKF-6205-2RSH a un alésage de $\varnothing 25 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.01 \end{smallmatrix}$ et que la largeur des bagues intérieures et extérieures est de $15 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.120 \end{smallmatrix}$.

SKF

Imprimer Fermer

Tableau 3 : Jeu radial des roulements rigides à billes



Dimension d'alésage d	Jeu radial C2										
	Normal		C3		C4		C5				
sup. à	jusqu'à inclus	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi
mm		en μm									
2,5	6	0	7	2	13	8	23	-	-	-	-
6	10	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
10	18	0	9	3	18	11	25	18	33	25	45
18	24	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48
24	30	1	11	5	20	13	28	23	41	30	53
30	40	1	11	6	20	15	33	28	46	40	64
40	50	1	11	6	23	18	36	30	51	45	73
50	65	1	15	8	26	23	43	38	61	55	90
65	80	1	15	10	30	25	51	46	71	65	105

Ce tableau fournit le jeu interne du roulement avant montage.

SKF

Imprimer Fermer

Ajustements recommandés

Ajustements pour les arbres pleins en acier

Roulements radiaux à alésage cylindrique¹

Roulements radiaux de grande précision

Ajustements pour paliers en fonte et en acier

Roulements radiaux dans paliers sans joint diamétral

Roulements radiaux dans paliers avec ou sans joint diamétral

Roulements radiaux de grande précision

Ce tableau permet de choisir l'ajustement recommandé sur l'arbre. Dans notre cas, puisque la charge n'est pas donnée, on considère qu'il s'agit d'une charge normale. L'arbre devra donc être fabriqué à une tolérance k5. La note 3 ne s'applique pas dans ce cas.

SKF

Tableau T1 : Ajustements pour arbres pleins en acier

Roulements radiaux à alésage cylindrique (sauf roulements de précision)
Calculs et graphiques

Conditions ¹⁾	Exemples	Diamètre de l'arbre, mm					Tolérance	
		Roulements à billes ¹⁾	Roulements à rouleaux cylindrique	Roulements à aiguilles (avec bague intérieure)	Roulements à rouleaux coniques	Roulements CARB et roulements à rotule sur rouleaux		
Charge tournante sur bague intérieure ou direction de charge indéterminée Charges faibles et variables (P ≤ 0,05 C)	Roulements de convoyeurs, faible charge sur réducteur roulements	≤ 17	-	-	-	-	j5 (h5) ²⁾	
		(17) à 100	≤ 25	≤ 10	-	-	j6 (j5) ²⁾	
		(100) à 140	(25) à 60	(10) à 25	(25) à 60	-	k5 k6 m5 m6	
Charges normales et charges élevées (P > 0,05 C)	Mécanique généralement moteurs électriques, turbines, pompes, engrenages, machines pour le travail du bois, éoliennes	≤ 10	-	-	-	-	j5	
		(10) à 17	-	≤ 10	-	-	j5 (j5) ²⁾	
		(17) à 100	-	(10) à 25	-	-	k5 ²⁾	
		(100) à 140	≤ 30	(30) à 50	≤ 40	-	k5 m5	
		(140) à 200	-	(80) à 140	-	(40) à 65	-	m6
		(200) à 500	(50) à 65	(65) à 100	(140) à 200	(65) à 200	(40) à 60	n5 ²⁾ n6 ²⁾
> 500	(100) à 200	(200) à 400	(200) à 360	(100) à 200	-	p6 ²⁾		
-	(200) à 500	-	(360) à 500	(200) à 500	-	p7 ²⁾		
-	> 500	-	> 500	> 500	> 500	r6 ²⁾ r7 ²⁾		

Cet utilitaire permet d'obtenir la valeur tolérancée de l'arbre et du roulement en fonction de la classe de tolérance d'arbre choisie précédemment. Le serrage théorique est calculé en fonction des conditions limites, tandis que le serrage probable est basé sur les probabilités statistiques. Le serrage moyen de 11.5 microns correspond à un ajustement serré qui devra être assemblé à la presse.

SKF

Données produites Fermer

Tolérance de l'arbre et ajustements

Roulement CARB

Classe de tolérance de roulement

h7/js h7/k6 h7/k5 h7/k4 h7/k3 h7/k2 h7/k1 h7/g6 h7/g5 h7/g4 h7/g3 h7/g2 h7/g1 h7/f7 h7/f6 h7/f5 h7/f4 h7/f3 h7/f2 h7/f1 h7/d8 h7/d9 h7/d10 h7/d11 h7/d12 h7/d13 h7/d14 h7/d15 h7/d16 h7/d17 h7/d18 h7/d19 h7/d20

Note: Veuillez vérifier que le roulement spécifique est disponible dans la classe de tolérance demandée. Voir également la portée du texte relative au type de roulement.

Classe de tolérance d'arbre

h7 js k6 k5 k4 k3 k2 k1 g6 g5 g4 g3 g2 g1 f7 f6 f5 f4 f3 f2 f1 d8 d9 d10 d11 d12 d13 d14 d15 d16 d17 d18 d19 d20

Diagramme illustrant le serrage d'un roulement sur un arbre.

Diamètre d'alésage du roulement

tolérance [µm]

maxi

12

mini

-0,012

Arbre

tolérance [µm]

maxi

0,012

mini

-0,012

Ajustements [µm]

poss-maxi

12

poss-min

0

probable

11,5

maxi

12

mini

0

probable

11,5

maxi

12

mini

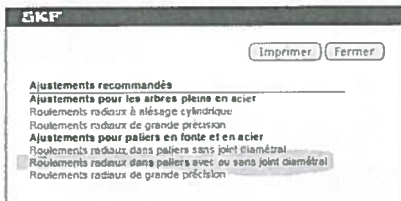
0

probable

11,5

Télécharger des logiciels et télécharger

Appareiller l'application



Ce tableau permet de choisir l'ajustement recommandé dans le logement. Dans notre cas, puisque la charge n'est pas donnée, on considère qu'il s'agit d'une charge normale. Le logement devra donc être fabriqué à une tolérance H8.

SKF

Tableau T6 : Choix de l'ajustement dans le logement (fonte ou acier)

Roulements radiaux (sauf roulements de précision) dans paliers avec ou sans joint diamétral
 Calculs et présentation de graphiques

Conditions d'utilisation	Exemples	Tolérance	Déplacement de la bague extérieure
Direction de la charge indéterminée			
Charges faibles et normales ($P \leq 0,12 C$), déplacement axial de la bague extérieure souhaitable	Machines électriques de taille moyenne, pompes, paliers de vilebrequins	J7	Peut être déplacé selon le réglage
Charge fixe sur bague extérieure			
Charges de tous types	Mécanique générale, boîtes d'essieu ferroviaires	H7 ¹⁾	Peut être déplacé
Charges légères et normales ($P \leq 0,12 C$) avec conditions de travail simples	Mécanique générale	H8	Peut être déplacé
Conduction thermique à travers l'arbre	Cylindres sécheurs, machines électriques de grande taille avec roulements à rotule sur rouleaux	G7 ²⁾	Peut être déplacé

SKF

Donner les produits Fermer

Tolérances des logements et ajustements

Roulement G75-TRGH

Classe de tolérance de roulement
 Normal, C1N, C17C P5 P4, P4A, P1
 P2, P3, P3A SP UP

note: Veuillez vérifier que le roulement spécifique est disponible dans la classe de tolérance demandée. Voir également la part e du texte relatif au type de roulement.

Classe de tolérance de logement
 F7 G6 G7
 H4 H5 H6 H7 H8 H9 H10
 JS4 JS5 JS6 JS7
 K4 K5 K6 K7
 M4 M5 M6 M7
 N6 N7
 P5 P7

Diamètre extérieur du roulement tolérance [µm]
 0 maxi
 13 mini

Diamètre d'alésage de logement tolérance [µm]
 48 maxi
 0 mini

D [mm] 52
 Tolerance bars are scaled 1/2 for diameters > 120 mm and 1/4 for diameters > 1250 mm.

Ajustements [µm]
 positif = interférence
 négatif = dégageant
 maxi mini
 théorique 0 -50
 probable 6 -53
 moyen 29,5

Tolérances d'arbre et ajustements
 Ajustements recommandés

Cet utilitaire permet d'obtenir la valeur tolérancée du logement et du roulement en fonction de la classe de tolérance du logement choisie précédemment. Le jeu théorique est calculé en fonction des conditions limites, tandis que le jeu probable est basé sur les probabilités statistiques. Le jeu moyen de 29.5 microns correspond à un ajustement libre qui pourra être assemblé à la main.

Roulements rigides à billes à une rangée

Déversement admissible

Les roulements rigides à billes à une rangée ne peuvent supporter que de très légers défauts d'alignement. L'angle de déversement admissible entre les bagues intérieure et extérieure, qui n'entraînera pas de contraintes additionnelles trop importantes, dépend

- du jeu du roulement en fonctionnement,
- de la taille du roulement,
- de la conception interne et
- des efforts et couples extérieurs appliqués.

En raison du lien complexe qui régit ces facteurs, il est impossible de fournir des valeurs spécifiques applicables de manière générale. Cependant, en fonction de l'influence des différents facteurs, le défaut d'alignement angulaire admissible est compris entre 2 et 10 minutes. Tout défaut d'alignement entraînera un bruit de fonctionnement accru et une réduction de la durée.



Données produits

[Roulements rigides à billes](#)

[Roulements rigides à billes à une rangée](#)

[Roulements d'exécution de base](#)

[Roulements avec points d'arrêt](#)

[Roulements à côtes en inches](#)

[Roulements à rainure pour segment d'arrêt](#)

[Roulements appariés](#)

[Roulements de la gamme SKF Explorer](#)

[Dimensions](#)

[Tolérances](#)

[Jeu interne](#)

Déversement admissible

[Cases](#)

[Charge minimale](#)

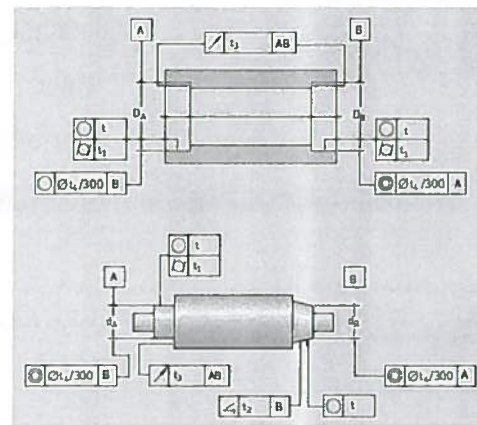
[Capacité de charge axiale](#)

[Charge dynamique équivalente](#)

[Charge statique équivalente](#)

[Désignations complémentaires](#)

Accuracy of form and position for bearing seats on shafts and in housings



Characteristic	Symbol	Tolerance zone	Permissible deviations for bearings to tolerance class P4A, P7, SP, P4C	Permissible deviations for bearings to tolerance class PA9A, P9, UP
Roundness	○	t	IT2/2	IT1/2
Cylindricity	⊘	t ₁	IT2/2	IT1/2
Angularity	∠	t ₂	IT3/2	IT2/2
Circular axial runout	/	t ₃	IT1	IT0
Coaxiality	⊙	t ₄	IT4	IT3

Le défaut de coaxialité admissible pour les roulements à jeux normaux est beaucoup plus grand que dans le cas des roulements de précision. Par exemple, si l'on utilisait des roulements de précision P4A, le défaut de coaxialité admissible serait de 0,006 mm (IT4 pour 25 mm). Dans le cas des roulements à jeux normaux, le déversement admissible permet d'évaluer la tolérance de coaxialité ou de positionnement des portées de roulements sur l'arbre et des alésages dans le logement. Pour une distance entre centres de 5 pouces, un déversement de 2 à 10 minutes correspond à un décalage d'axe de 0.0029 à 0.0145 po, ce qui est relativement large comme tolérance. Malgré le fait que les roulements puissent accepter un léger désaxement, celui-ci pourrait facilement générer une vibration en fonctionnement. Les tolérances de coaxialité entre les portées et logements des roulements seront déterminées en fonction de la capacité des procédés de fabrication. En tournage conventionnel ou à commande numérique, on peut facilement respecter une tolérance de coaxialité de 0,001 po si les deux portées sont usinées dans le même montage ou en reprise sur mors doux.

Études des montages

Fixation radiale des roulements - Précision dimensionnelle et exactitude de forme des portées de roulements et appuis

Les portées cylindriques des roulements sur l'arbre et dans le logement, les surfaces recevant les rondelles de butées et les épaulements d'appui des bagues de roulements doivent avoir une précision correspondant à celle des roulements utilisés. Des valeurs de précision sont données ci-après pour la précision dimensionnelle et l'exactitude de forme requises. Ces valeurs doivent être prises en compte pour l'usinage des portées et des appuis.

Précision dimensionnelle
 Pour les roulements usinés aux tolérances normales, la précision dimensionnelle des portées cylindriques doit atteindre au moins la qualité 6 sur l'arbre et la qualité 7 dans le paker. En présence de manchons de serrage ou de démontage, des tolérances de diamètres plus larges (qualités 9 ou 10) sont admissibles, voir **Tableau 1**. Les valeurs des tolérances de base IT normalisées selon la norme ISO 286 1:1988, sont données dans le **Tableau 2**. Pour les roulements de plus grande précision, il faut choisir des classes de tolérance supérieures adaptées à ces roulements.

Tolérance de cylindricité
 La tolérance de cylindricité selon la norme ISO 1101:1983 doit être meilleure que la tolérance dimensionnelle prescrite, dans la proportion de 1 ou 2 qualités IT en fonction des exigences. Par exemple, si la portée d'arbre a été usinée à la tolérance m6, l'exactitude de forme devra atteindre IT5 ou IT4. La valeur de la tolérance de cylindricité t_1 , pour un diamètre d'arbre de 150 mm par exemple, sera de $t_1 = IT5/2 = 13/2 = 6,5 \mu\text{m}$. La tolérance t_1 étant calculée pour un rayon, la tolérance de diamètre d'arbre sera donc de $2t_1$. Le **Tableau 2** fournit des valeurs indicatives de tolérance de cylindricité et de tolérance de faux-ronf total pour les différentes classes de tolérance des roulements.

Lorsque les roulements sont montés sur manchon de serrage ou de démontage, la cylindricité de la portée du manchon doit être de IT5/2 (pour H9) ou IT7/2 (pour H10) (Tableau 3).

Tolérance de perpendicularité
 Les épaulements d'appui des bagues de roulements doivent avoir une tolérance de perpendicularité selon la norme ISO 1101:1983 qui soit meilleure que la tolérance sur le diamètre de la portée cylindrique associée d'au moins une qualité IT. Pour les portées cylindriques associées d'au moins une qualité IT. Pour les portées des rondelles de butées, la tolérance de perpendicularité ne doit pas dépasser IT5. Le **Tableau 2** fournit des valeurs indicatives pour la tolérance de perpendicularité et de battement total axial.

Tableau 3 : Exactitude de forme et de position des portées de roulements sur l'arbre et dans le logement

Surface
 Caractéristique Symbole pour zone de tolérance caractéristique

Portée cylindrique

Caractéristique	Symbole pour zone de tolérance caractéristique	Roulements de la classe de tolérance ¹⁾ Normale, CLN P6	IT4/2	IT3/2	IT2/2
Cylindricité	t_1	IT5/2	IT4/2	IT3/2	IT2/2
Faux-ronf radial total	t_2	IT5/2	IT4/2	IT3/2	IT2/2
Appuis plats					
Rectangularité	t_3	IT5	IT4	IT3	IT2
Faux-ronf axial total	t_4	IT5	IT4	IT3	IT2

¹⁾ Pour les roulements de plus grande précision (classe de tolérance P4, etc.), se reporter au catalogue « High-precision bearings » (Tolbou).

Ce tableau indique les tolérances de formes à indiquer sur les portées et épaulements. La valeur de l'IT dépend du diamètre correspondant.

Sur l'arbre, la tolérance de cylindricité sera IT5/2 de 25 mm = 0.0045 mm et la tolérance de perpendicularité de l'épaulement sera de IT5 de 25 mm = 0.009 mm.

Dans le logement, la tolérance de cylindricité sera IT5/2 de 52 mm = 0.0065 mm et la tolérance de perpendicularité de l'épaulement sera de IT5 de 52 mm = 0.013 mm

Tolérances fondamentales (en µm) en fonction du palier (en mm)

Qualité	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
≤3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	400	600	
>3 à 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
>6 à 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
>10 à 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1 100
>18 à 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1 300
>30 à 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1 000	1 600
>50 à 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1 200	1 900
>80 à 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1 400	2 200
>120 à 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1 000	1 600	2 500
>180 à 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1 150	1 850	2 900
>250 à 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1 300	2 100	3 200
>315 à 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1 400	2 300	3 600
>400 à 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1 550	2 500	4 000

Les qualités 14, 15 et 16 ne sont prévues qu'au-delà de 1 mm

SKF.com / Produits / Solutions techniques internes / Roulements / Technologie des roulements /

Études des montages / Études des montages

Études des montages

Fixation radiale des roulements - Rugosité de surface des portées de roulement

L'état de surface des portées de roulements n'a pas la même influence sur les performances des roulements que la précision dimensionnelle et l'exactitude de forme ou de rotation. Cependant, plus les surfaces de contact sont lisses, plus l'ajustement serré requis peut être atteint avec précision. Pour les applications simples, des valeurs de rugosité relativement élevées sont admissibles.

Pour les montages qui requièrent une très grande précision, le [tableau 4](#) présente des valeurs indicatives de rugosité moyenne R_a pour différentes précisions dimensionnelles des portées de roulements. Ces valeurs s'appliquent à des portées rectifiées, normalement prévues comme portées d'arbre.

Technologie des roulements

Études des montages

Fixation radiale des roulements

Choix de l'ajustement

Ajustements recommandés

Tolérances d'arbre et de logement

Ajustements pour les arbres creux

Précision dimensionnelle et exactitude de forme des portées de roulements et appuis

Rugosité de surface des portées de roulement

Chemins de roulement sur les arbres et dans les aléages

Tableau 4 : Valeurs indicatives pour l'état de surface des portées de roulements

Imprimer Fermer

Diamètre de portée d (D) ¹⁾	Rugosité R_a recommandée pour les portées rectifiées	Tolérance de diamètre selon		
		IT7	IT6	IT5
sup. à 50 mm				
50	1,6 (N7)	0,8 (N6)	0,4 (N5)	
60	1,6 (N7)	1,6 (N7)	0,8 (N6)	
500	3,2 (N8) ¹⁾	1,6 (N7)	1,6 (N7)	

¹⁾ Si l'on recourt à la méthode à pression d'huile pour le montage, R_a ne doit pas dépasser 1,6 μ m

²⁾ Pour des diamètres > 1 250 mm, consulter le service applications SKF

En ce qui concerne la rugosité des portées de roulement, il n'y a que sur l'arbre qu'une indication peut être pertinente (ajustement k5). La valeur de rugosité à indiquer sera de 0,4 R_a . Pour le logement (ajustement H8), il n'est pas nécessaire d'imposer une tolérance de rugosité supplémentaire.

4.5 Étape 6 : Étude du montage des anneaux élastiques

Objectifs d'apprentissages :

- Reconnaître l'importance de valider les informations des manufacturiers avec un recueil de standards d'ingénierie.
- Trouver les cotes fonctionnelles des rainures pour installer les anneaux élastiques.
- Trouver les tolérances géométriques de positions requises et choisir l'intervalle de tolérance.

Durée de l'activité :

Cette étape requiert environ 2 heures de démonstration guidée en classe avec interaction et discussion sur la théorie sous-jacente et 1 heure de travail hors classe pour que l'étudiante ou l'étudiant puisse maîtriser les concepts.

La sélection des anneaux élastiques se fait avec le Machinery's Handbook et le catalogue de Rotor Clip téléchargeable sur le site¹⁸ de la compagnie. Les cotes fonctionnelles sont validées dans les deux documents. La section sur les anneaux élastiques débute à la page 1684 du MHB.

Table 1. American National Standard Metric Tapered Retaining Rings — Basic External Series — 3AM1 ANSI B27.7-1977, R1993

Shaft Dia.	Ring			Groove				Shaft Diam	Ring			Groove			
	Free Dia.	Thickness	Dia.	Width	Depth	Edge Margin	Free Dia.		Thickness	Dia.	Width	Depth	Edge Margin		
4	3.60	0.25	3.80	0.32	0.1	0.3	36	33.25	1.3	33.85	1.4	1.06	3.2		
5	4.55	0.4	4.75	0.5	0.13	0.4	38	35.20	1.3	35.8	1.4	1.10	3.3		
6	5.45	0.4	5.70	0.5	0.15	0.5	40	36.75	1.6	37.7	1.75	1.15	3.4		
24	22.20	1.1	22.60	1.2	0.70	2.1	75	69.0	2.4	71.2	2.55	1.90	5.7		
25	23.10	1.1	23.50	1.2	0.75	2.3	78	72.0	2.4	74.0	2.55	2.00	6.0		
26	24.05	1.1	24.50	1.2	0.75	2.3	80	74.2	2.4	75.9	2.55	2.05	6.1		

All dimensions are in millimeters. Sizes -4, -5, and -6 are available in beryllium copper only.

These rings are designated by series symbol and shaft diameter, thus: for a 4 mm diameter shaft, 3AM1-4; for a 20 mm diameter shaft, 3AM1-20; etc.

Ring Free Diameter Tolerances: For ring sizes -4 through -6, +0.05, -0.10 mm; for sizes -7 through -12, +0.05, -0.15 mm; for sizes -13 through -26, +0.15, -0.25 mm; for sizes -27 through -38, +0.25, -0.40 mm; for sizes -40 through -50, +0.35, -0.50 mm; for sizes -52 through -62, +0.35, -0.65 mm; and for sizes -65 through -100, +0.50, -0.75 mm.

Groove Diameter Tolerances: For ring sizes -4 through -6, -0.08 mm; for sizes -7 through -10, -0.10 mm; for sizes -11 through -15, -0.12 mm; for sizes -16 through -26, -0.15 mm; for sizes -27 through -36, -0.20 mm; for sizes -38 through -55, -0.30 mm; and for sizes -57 through -100, -0.40 mm.

Groove Diameter F.I.M. (full indicator movement) or maximum allowable deviation of concentricity between groove and shaft: For ring sizes -4 through -6, 0.03 mm; for ring sizes -7 through -12, 0.05 mm; for sizes -13 through -28, 0.10 mm; for sizes -30 through -55, 0.15 mm; and for sizes -57 through -100, 0.20 mm.

Groove Width Tolerances: For ring size -4, +0.05 mm; for sizes -5 and -6, +0.10 mm, for sizes -7 through -38, +0.15 mm; and for sizes -40 through -100, +0.20 mm.

Groove Maximum Bottom Radii R: For ring sizes -4 through -6, none; for sizes -7 through -18, 0.1 mm; for sizes -19 through -30, 0.2 mm; for sizes -32 through -50, 0.3 mm; and for sizes -52 through -100, 0.4 mm. For manufacturing details not shown, including materials, see ANSI B27.7-1977, R1993.

¹⁸ <http://www.rotorclip.com/downloads.php>

Dans le tableau 1, on trouve autant les dimensions fonctionnelles de l'anneau que celles de la rainure pour l'anneau extérieur qui correspond au diamètre du roulement SKF 6205-2RSH, soit 25 mm. Les tolérances sont inscrites dans les notes au bas du tableau.

Table 2. American National Standard Metric Tapered Retaining Rings — Basic Internal Series — 3BM1 ANSI B27.7-1977, R1993

Shaft Dia.	Ring			Groove				Shaft Dia.	Ring			Groove			
	Free Dia.	Thickness	Dia.	Width	Depth	Edge Margin	Free Dia.		Thickness	Dia.	Width	Depth	Edge Margin		
S	D	t	G	W	d ref	Z min	S	D	t	G	W	d ref	Z min		
8	8.80	0.4	8.40	0.5	0.2	0.6	65	72.2	2.4	69.0	2.55	2.00	6.0		
9	10.00	0.6	9.45	0.7	0.23	0.7	68	75.7	2.4	72.2	2.55	2.10	6.3		
10	11.10	0.6	10.50	0.7	0.25	0.8	70	77.5	2.4	74.4	2.55	2.20	6.6		
50	55.35	1.6	53.1	1.75	1.55	4.6	190	207.7	4.8	198.8	5.10	4.40	13.2		
52	57.90	2.0	55.3	2.15	1.65	5.0	200	217.8	4.8	209.0	5.10	4.50	13.5		
55	61.10	2.0	58.4	2.15	1.70	5.1	210	230.3	4.8	219.4	5.10	4.70	14.1		
57	63.25	2.0	60.5	2.15	1.75	5.3	220	240.5	4.8	230.0	5.10	5.00	15.0		
58	64.4	2.0	61.6	2.15	1.80	5.4	230	251.4	4.8	240.6	5.10	5.30	15.9		
60	66.8	2.0	63.8	2.15	1.90	5.7	240	262.3	4.8	251.0	5.10	5.50	16.5		
62	68.6	2.0	65.8	2.15	1.90	5.7	250	273.3	4.8	261.4	5.10	5.70	17.1		
63	69.9	2.0	66.9	2.15	1.95	5.9	...	...	...	...	...	...	...

All dimensions are in millimeters.

These rings are designated by series symbol and shaft diameter, thus: for a 9 mm diameter shaft, 3BM1-9; for a 22 mm diameter shaft, 3BM1-22; etc.

Ring Free Diameter Tolerances: For ring sizes -8 through -20, +0.25, -0.13 mm; for sizes -21 through -26, +0.40, -0.25 mm; for sizes -27 through -38, +0.65, -0.50 mm; for sizes -40 through -50, +0.90, -0.65 mm; for sizes -52 through -75, +1.00, -0.75 mm; for sizes -78 through -92, +1.40, -1.40 mm; for sizes -95 through -155, +1.65, -1.65 mm; for sizes -160 through -180, +2.05, -2.05 mm; and for sizes -185 through -250, +2.30, -2.30 mm.

Groove Diameter Tolerances: For ring sizes -8 and -9, +0.06 mm; for sizes -10 through -18, +0.10 mm; for sizes -19 through -28, +0.15 mm; for sizes -30 through -50, +0.20 mm; for sizes -52 through -98, +0.30; for sizes -100 through -160, +0.40 mm; and for sizes -165 through -250, +0.50 mm.

Groove Diameter F.I.M. (full indicator movement) or maximum allowable deviation of concentricity between groove and shaft: For ring sizes -8 through -10, 0.03 mm; for sizes -11 through -15, 0.05 mm; for sizes -16 through -25, 0.10 mm; for sizes -26 through -45, 0.15 mm; for sizes -46 through -80, 0.20 mm; for sizes -82 through -150, 0.25 mm; and for sizes -155 through -250, 0.30 mm.

Groove Width Tolerances: For ring size -8, +0.10 mm; for sizes -9 through -38, +0.15 mm; for sizes -40 through -130, +0.20 mm; and for sizes -135 through -250, +0.25 mm.

Groove Maximum Bottom Radii: For ring sizes -8 through -17, 0.1 mm; for sizes -18 through -30, 0.2 mm; for sizes -32 through -55, 0.3 mm; and for sizes -56 through -250, 0.4 mm.

For manufacturing details not shown, including materials, see ANSI B27.7-1977, R1993.

Dans le tableau 2, on trouve autant les dimensions fonctionnelles de l'anneau que celles de la rainure pour l'anneau intérieur qui correspond au diamètre du roulement SKF 6205-2RSH, soit 52 mm. Les tolérances sont inscrites dans les notes au bas du tableau.

On trouve ensuite les anneaux correspondants à la norme ANSI dans le catalogue Rotor-Clip.

**CIRCLIPS À SECTION ÉVOLUTIVE ROTOR CLIP,
DIMENSIONS MÉTRIQUES ANSI**

CIRCLIPS INTÉRIEURS, À MONTAGE AXIAL



MHO
Pages 104-107

CIRCLIPS EXTÉRIEURS, À MONTAGE AXIAL



MSH
Pages 108-111



MSR
Pages 112-113

Anneaux MSH

Diamètre et dimensions de l'anneau à l'état libre avec Section B-B

Diamètre de l'Arbre
Dimensions de la Gorge

Diamètre de tolérance Dilaté sur l'Arbre


Diamètre de tolérance largeur de l'écart Relâché dans la Gorge

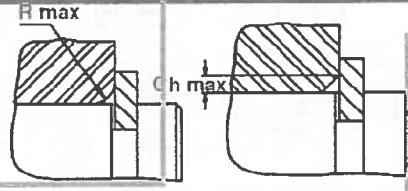
ANNEAU REF.	ARBRE DIAMÈTRE		TAILLE DE GORGE					TAILLE & POIDS DE L'ANNEAU					TOLÉRANCE DIAM.			FORCE DE BUTÉE (kN)	
			DIAMÈTRE		LARGEUR	PROF.	DIAMÈTRE ETAT LIBRE	ÉPAISSEUR ***	Poids/1000 pcs	Dilate sur arbre	Relâche dans gorge	Pr	Pg				
			Dg	tol										F.I.M.**	W	tol	d	Df	tol	T	tol	L1	L2
MSH-4*	4	0.157	3.80		0.03	0.32	+0.05	0.10	3.60	+0.05	0.25	+0.05	0.017	7.0	6.8	0.6	0.2
MSH-5*	5	0.197	4.75	-0.08	0.03	0.50	+0.10	0.13	4.55	-0.10	0.40		0.029	8.2	7.9	1.1	0.3
MSH-6*	6	0.236	5.70		0.03	0.50		0.15	5.45		0.40		0.040	9.1	8.8	1.4	0.4
MSH-7	7	0.275	6.60		0.05	0.70		0.20	6.35		0.60		0.10	12.3	11.8	2.6	0.7
MSH-8	8	0.315	7.50	-0.10	0.05	0.70		0.25	7.15		0.60		0.12	13.6	13.0	3.1	1.0
MSH-9	9	0.354	8.45		0.05	0.70		0.28	8.15	+0.05	0.60		0.15	14.5	13.8	3.5	1.2
MSH-10	10	0.393	9.40		0.05	0.70		0.30	9.00	-0.15	0.60		0.19	15.5	14.7	3.9	1.5
MSH-11	11	0.433	10.35		0.05	0.70		0.33	10.00		0.60		0.23	16.4	15.6	4.3	1.8
MSH-12	12	0.472	11.35		0.05	0.70		0.33	10.85		0.60		0.24	17.4	16.6	4.7	2.0
MSH-13	13	0.512	12.30	-0.12	0.10	1.00		0.35	11.90		0.90		0.44	19.7	18.8	7.5	2.2
MSH-14	14	0.551	13.25		0.10	1.00		0.38	12.90		0.90		0.49	20.7	19.7	8.1	2.6
MSH-15	15	0.591	14.15		0.10	1.00		0.43	13.80		0.90		0.54	21.7	20.6	8.7	3.2
MSH-16	16	0.630	15.10		0.10	1.00		0.45	14.70		0.90		0.59	22.7	21.6	9.3	3.5
MSH-17	17	0.669	16.10		0.10	1.00		0.45	15.75		0.90	+0.06	0.64	23.7	22.6	9.9	4.0
MSH-18	18	0.708	17.00		0.10	1.20	+0.15	0.50	16.65		1.10		0.92	26.2	25.0	16.0	4.4
MSH-19	19	0.748	17.95		0.10	1.20		0.53	17.60	+0.15	1.10		0.95	27.2	25.9	16.9	4.9
MSH-20	20	0.787	18.85		0.10	1.20		0.58	18.35	-0.25	1.10		1.0	28.2	26.8	17.8	5.7
MSH-21	21	0.826	19.80	-0.15	0.10	1.20		0.60	19.40		1.10		1.1	29.2	27.7	18.6	6.2
MSH-22	22	0.866	20.70		0.10	1.20		0.65	20.30		1.10		1.3	30.3	28.7	19.6	7.0
MSH-23	23	0.905	21.65		0.10	1.20		0.67	21.25		1.10		1.4	31.3	29.6	20.5	7.6
MSH-24	24	0.945	22.60		0.10	1.20		0.70	22.20		1.10		1.5	32.4	30.4	21.4	8.2
MSH-25	25	0.984	23.50		0.10	1.20		0.75	23.10		1.10		1.6	33.1	31.3	22.3	9.2
MSH-26	26	1.023	24.50		0.10	1.20		0.75	24.05		1.10		1.8	36.0	34.2	23.2	9.6

À la page 108, on peut valider les cotes fonctionnelles fournies par le MHB et obtenir un numéro de pièce, soit :MSH-25

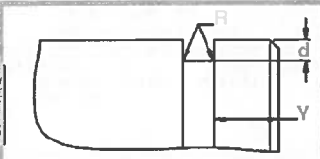
A montage axial, externes, dimensions métriques ANSI

Une fois installé dans la gorge d'un arbre,
l'épaulement maintient le montage en place.

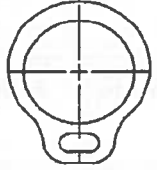




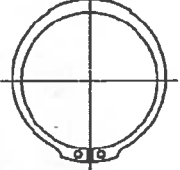
Arrondi et Chanfrein maximum



Vue éclatée du profil de la Gorge et de la Marge latérale
(γ) Arrondi (R) intérieur maximum, 0,10 pour les anneaux de tailles 7 à 18; 0,2 pour les anneaux de tailles 19 à 30; 0,3 pour les anneaux de tailles 32 à 55; 0,4 pour les anneaux de tailles 56 à 100.



Conception alternative d'oreille Pour tailles MSH-4 à MSH-6

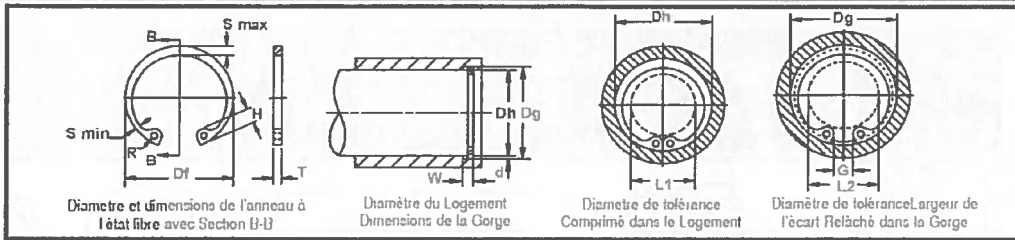


Conception alternative (Choix du fabricant)

ANNEAU REF.	HAUTEUR OREILLE	SECTION MAXIMUM	SECTION MINIMUM	DIAMETRE DU TROU	DIAMETRE CALIBRAGE	R.ARRONDIS & CHANFREINS ADMISSIBLES		CHARGE MAX. Avec Arr. (R) Max. ou Chanf. max. (kN)	MARGE LATÉRALE	LIMITES VITESSE DE ROTATION Matériaux Standard
	H nom	S max	S min	R min	Gd	R max	Ch max	P'r	Y	RPM
MSH-4*	1.35	0.65	0.40	0.6	4.90	0.35	0.25	0.2	0.3	70000
MSH-5*	1.40	0.65	0.40	0.6	5.85	0.35	0.25	0.5	0.4	70000
MSH-6*	1.40	0.75	0.50	0.6	6.95	0.35	0.25	0.5	0.5	70000
MSH-7	2.05	0.90	0.60	1.0	8.05	0.45	0.3	2.1	0.6	60000
MSH-8	2.20	1.00	0.65	1.0	9.15	0.5	0.35	2.1	0.8	55000
MSH-9	2.20	1.15	0.75	1.0	10.35	0.6	0.35	2.1	0.8	48000
MSH-10	2.20	1.30	0.80	1.0	11.50	0.7	0.4	2.1	0.9	42000
MSH-11	2.20	1.40	0.85	1.0	12.60	0.75	0.45	2.1	1.0	38000
MSH-12	2.20	1.50	0.90	1.0	13.80	0.8	0.45	2.1	1.0	34000
MSH-13	2.80	1.60	0.95	1.2	15.05	0.8	0.5	4.0	1.0	31000
MSH-14	2.80	1.70	1.00	1.2	15.60	0.9	0.5	4.0	1.2	28000
MSH-15	2.80	1.80	1.05	1.2	17.20	1.0	0.6	4.0	1.3	27000
MSH-16	2.80	2.05	1.15	1.2	18.35	1.1	0.6	4.0	1.4	25000
MSH-17	2.80	2.10	1.15	1.2	19.35	1.1	0.6	4.0	1.4	24000
MSH-18	3.45	2.25	1.25	1.3	20.60	1.2	0.7	6.0	1.5	23000
MSH-19	3.45	2.35	1.30	1.3	21.70	1.2	0.7	6.0	1.6	21500
MSH-20	3.45	2.40	1.35	1.3	22.65	1.2	0.7	6.0	1.7	20000
MSH-21	3.45	2.50	1.40	1.3	23.80	1.3	0.7	6.0	1.8	19000
MSH-22	3.45	2.70	1.50	1.3	24.90	1.3	0.8	6.0	1.9	18500
MSH-23	3.45	2.80	1.60	1.3	26.00	1.3	0.8	6.0	2.0	18000
MSH-24	4.20	2.80	1.60	1.9	27.15	1.4	0.8	6.0	2.1	17500
MSH-25	4.20	2.90	1.70	1.9	28.10	1.4	0.8	6.0	2.3	17000

Ce tableau permet de valider que l'anneau peut retenir le roulement qui a un rayon de 1 mm maximum sur la bague intérieure.

Anneaux MHO

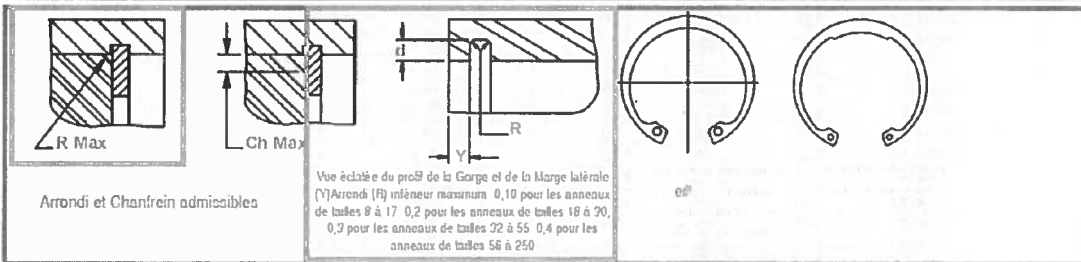


ANNEAU REF.	LOGEMENT DIAMETRE	TAILLE DE GORGE			TAILLE & POIDS DE L'ANNEAU				TOLERANCE DIAM.		FORCE DE BUTEE (kN)						
		DIAMETRE	LARGEUR	PROF.	DIAMETRE ETAT LIBRE	EPAISSEUR ***	POIDS/1000 pcs	Comprime dans le logement	Relache dans la gorge	Coef. Securite de 4 Anneau	Coef. Securite de 2 Gorge						
	Ds	Ds	Dd	tol	F.I.M.*	W	tol	d	Df	tol	T	tol	ka	L1	L2	Pr	Pn
	mm	INCH											kg				
MHO-52	52	2.047	55.30		0.20	2.15		1.65	57.90		2.0		8.1	38.6	41.9	99.0	50.0
MHO-55	55	2.165	59.20		0.20	2.15		1.70	63.20		2.0		9.8	43.0	46.7	109.0	54.0
MHO-57	57	2.244	60.50		0.20	2.15		1.75	63.25		2.0		9.9	42.2	45.7	109.0	58.0
MHO-58	58	2.283	61.60		0.20	2.15		1.80	64.40		2.0		10.1	43.2	46.8	111.0	60.0
MHO-60	60	2.362	63.80		0.20	2.15		1.90	66.80		2.0		10.5	45.5	49.3	115.0	66.0
MHO-62	62	2.441	65.80		0.20	2.15		1.90	68.60	+1.00	2.0	±0.08	11.5	47.0	50.8	119.0	68.0
MHO-63	63	2.480	66.90		0.20	2.15	+0.20	1.95	69.90	-0.75	2.0		11.6	47.8	51.7	120.0	71.0
MHO-65	65	2.559	69.00		0.20	2.55		2.00	72.20		2.4		15.4	49.4	53.4	149.0	75.0
MHO-68	68	2.677	72.20		0.20	2.55		2.10	75.70		2.4		15.9	52.0	56.2	156.0	82.0
MHO-70	70	2.756	74.40	+0.30	0.20	2.55		2.20	77.50		2.4		16.1	53.8	58.2	161.0	88.0
MHO-72	72	2.835	76.50		0.20	2.55		2.25	79.60		2.4		16.3	55.9	60.4	166.0	93.0
MHO-75	75	2.953	79.70		0.20	2.55		2.35	83.30		2.4		19.3	58.2	62.9	172.0	101.0

À la page 104, on peut valider les cotes fonctionnelles fournies par le MHB et obtenir un numéro de pièce, soit :MHO-52.

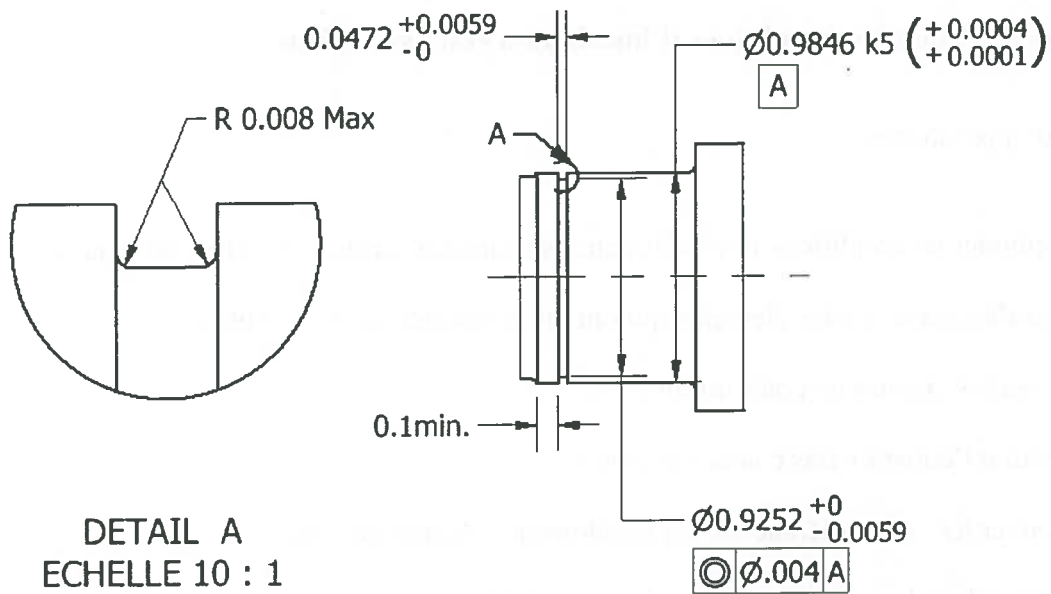
À montage axial, internes, dimensions métriques ANSI

Une fois installé dans la gorge d'un logement ou d'un alésage, l'épaulement maintient un élément en place.

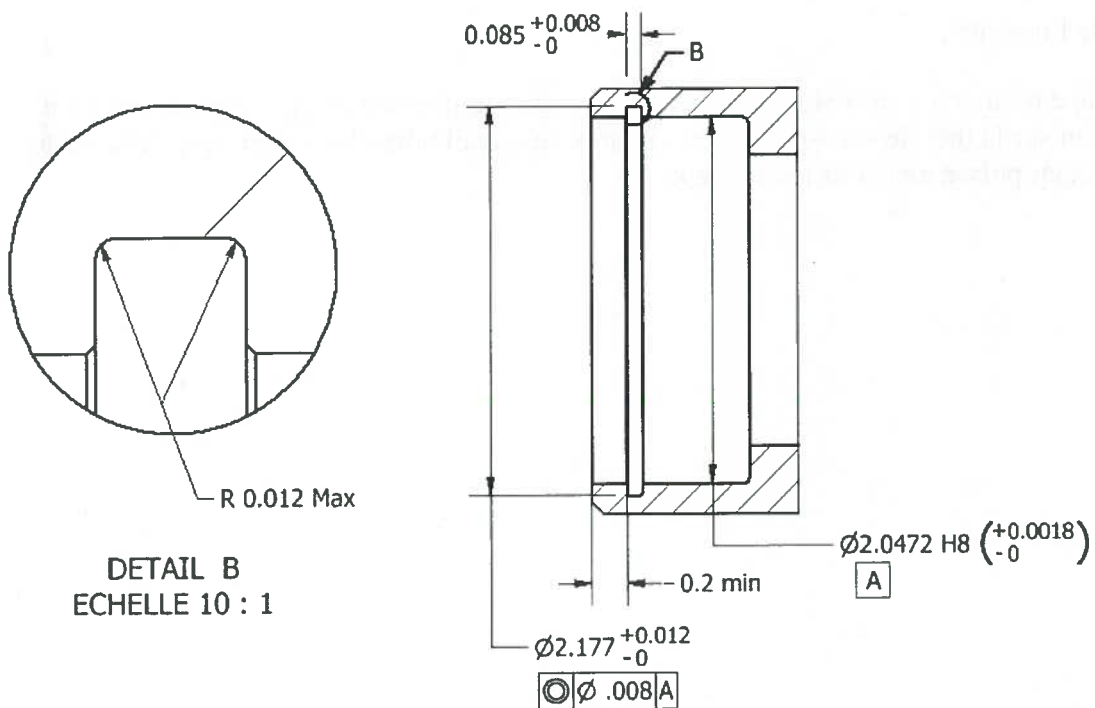


ANNEAU REF.	HAUTEUR OREILLE	SECTION MAXIMUM	SECTION MINIMUM	DIAMETRE DU TROU	ECART LARGEUR Anneau dans la Gorge	RARRONDIS & CHANFREINS ADMISSIBLES	CHARGE MAX. Avec Arr. Max. ou Chanf. Max.	MARGE LATERALE
	H nom	S max/Ref.	S min/Ref.	R min	G	R max	Pr	Y
MHO-52	6.4	4.70	2.30	2.3	11.70	2.0	27.4	5.0
MHO-55	6.7	5.10	2.60	2.3	13.00	2.0	27.4	5.3
MHO-57	6.9	5.20	2.50	2.3	12.50	2.0	27.4	5.3
MHO-58	6.9	5.30	2.60	2.3	13.00	2.0	27.4	5.4
MHO-60	6.9	5.30	2.60	2.3	12.70	2.0	27.4	5.7
MHO-62	7.1	5.30	2.60	2.7	14.00	2.0	27.4	5.7
MHO-63	7.1	5.40	2.70	2.7	14.20	2.0	27.4	5.9

Ce tableau permet de valider que l'anneau peut retenir le roulement qui a un rayon de 1 mm maximum sur la bague extérieure.



Croquis des cotes fonctionnelles relatives aux rainures dans l'arbre



Croquis des cotes fonctionnelles relatives aux rainures dans le logement

4.6 Étape 7 : Étude des conditions d'installation et d'assemblage

Objectifs d'apprentissages :

- Appliquer les conditions imposées entre les surfaces terminales correspondantes.
- Identifier les cotes des éléments qui ont une influence sur la condition.
- Tracer les chaînes de cotes minimales.
- Déduire l'équation des chaînes de cotes.
- Trouver les cotes tolérancées des maillons des chaînes de cotes.
- Estimer la valeur ou la tolérance des cotes variables.
- Résoudre l'équation des chaînes de cotes.

Durée de l'activité :

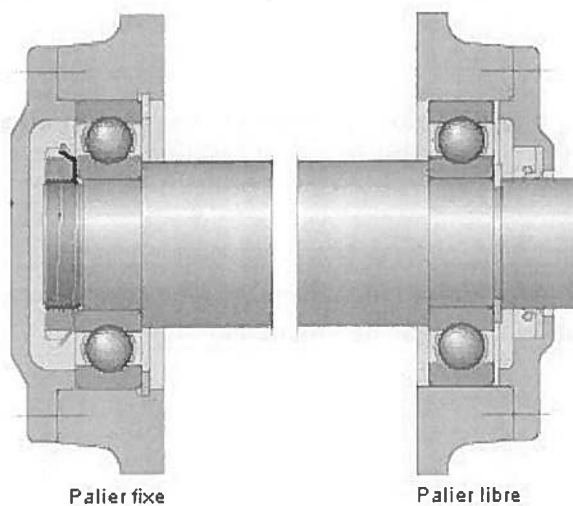
Cette étape requiert environ 4 heures de démonstration guidée en classe avec interaction et discussion sur la théorie sous-jacente et 4 heures de travail hors classe pour que l'étudiante ou l'étudiant puisse maîtriser les concepts.

Le montage de roulement proposé dans cet exercice représente un cas commun tel que présenté sur le site www.skf.ca. Puisque l'arbre est en rotation, il s'agit d'un cas de charge tournante sur la bague intérieure. Quand le roulement tourne, la charge est appliquée sur toute la surface de la bague intérieure, tandis que sur la bague extérieure la charge est toujours appliquée au même endroit puisque celle-ci ne tourne pas et que la direction de la charge ne change pas dans ce genre d'application.

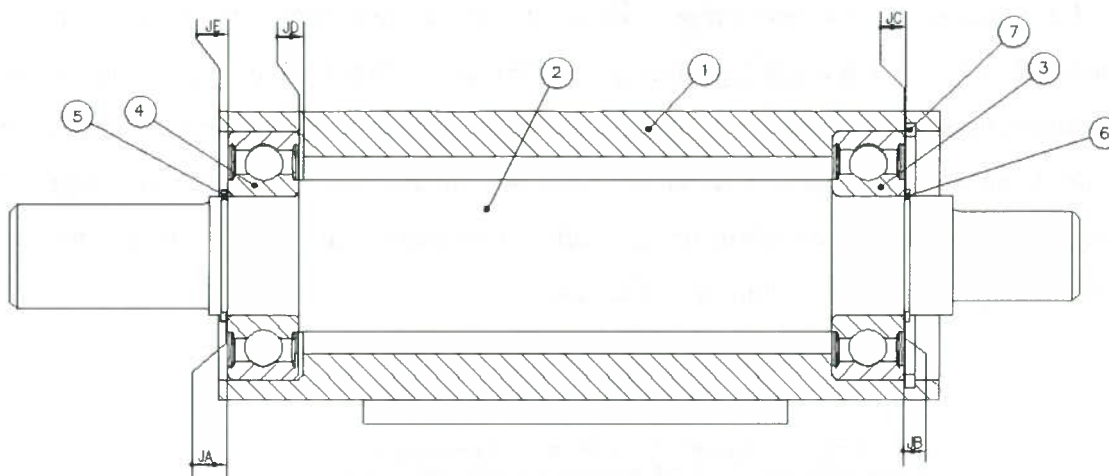
Dans le cas de montages avec une charge tournante sur la bague intérieure, où les dilatations longitudinales de l'arbre doivent se répartir entre le roulement et sa portée, le déplacement axial doit s'effectuer entre la bague extérieure du roulement et le palier. Les combinaisons les plus courantes sont les suivantes :

- roulement rigide à billes/roulement rigide à billes (fig. 8)

Fig. 8



Pour placer les conditions et tracer les chaînes de cotes, il faut préparer un croquis du montage.



Les conditions à respecter doivent d'abord être positionnées sur le croquis à partir des contraintes imposées dans le devis :

JA, JB et JC :

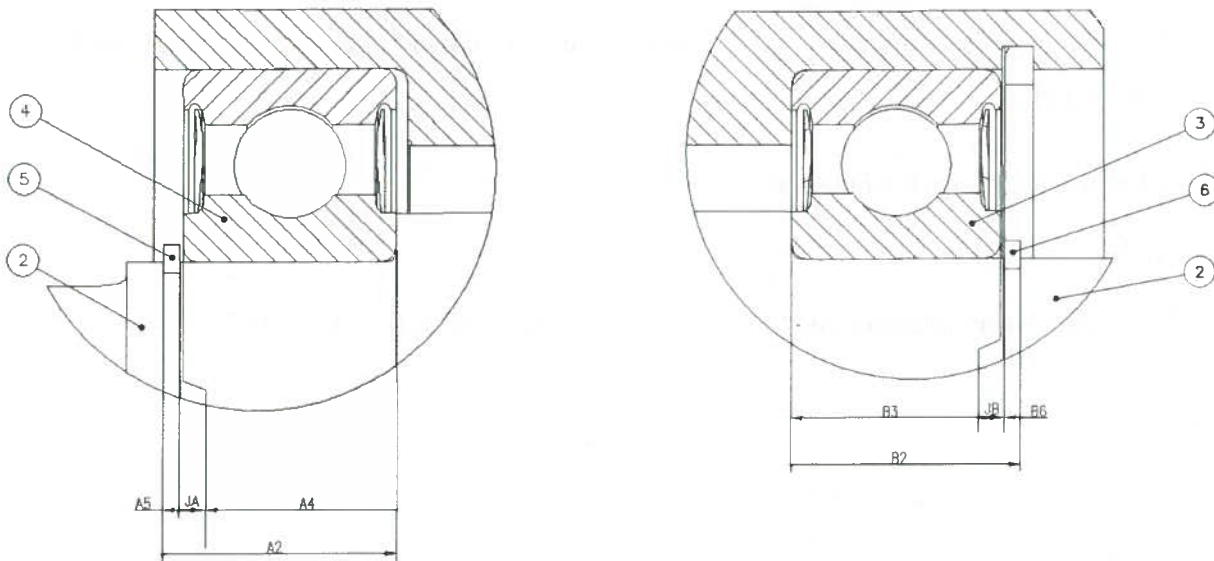
Pour mettre en place les anneaux élastiques, on demande un jeu minimum de 0.005 po.

JD :

Dans tous les cas d'assemblage, il doit y avoir un jeu minimum de 0.005 po entre le roulement libre axialement et l'appui adjacent dans le logement.

JE :

Dans tous les cas d'assemblage, le roulement libre axialement doit être en retrait de 0.05 po au minimum par rapport au bout du tube de logement.



- Conditions à respecter :

$$JA = JB = 0.005 \text{ po minimum}$$

- Équations des chaînes de cotes :

$$JA \text{ min} = A2 \text{ min} - (A4 \text{ Max} + A5 \text{ Max}) \quad JB \text{ min} = B2 \text{ min} - (B3 \text{ Max} + B6 \text{ Max})$$

- Valeurs connues:

$$A4 = B3 = \text{largeur du roulement} = 15 \text{ mm } \begin{matrix} 0 \\ -.120 \end{matrix} = 0.5905 \text{ po } \begin{matrix} 0 \\ -.0047 \end{matrix}$$

$$A5 = B6 = \text{Largeur de l'anneau MSH-25} = 1.1 \text{ mm } \pm 0.06 = 0.0433 \text{ po } \pm .0023$$

- Résolution des chaînes de cotes :

$$\begin{array}{ll} JA \text{ min} = A2 \text{ min} - (A4 \text{ Max} + A5 \text{ Max}) & JB \text{ min} = B2 \text{ min} - (B3 \text{ Max} + B6 \text{ Max}) \\ 0.005 = A2 \text{ min} - (0.5905 + 0.0456) & 0.005 = B2 \text{ min} - (0.5905 + 0.0456) \\ A2 \text{ min} = 0.6411 & B2 \text{ min} = 0.6411 \end{array}$$

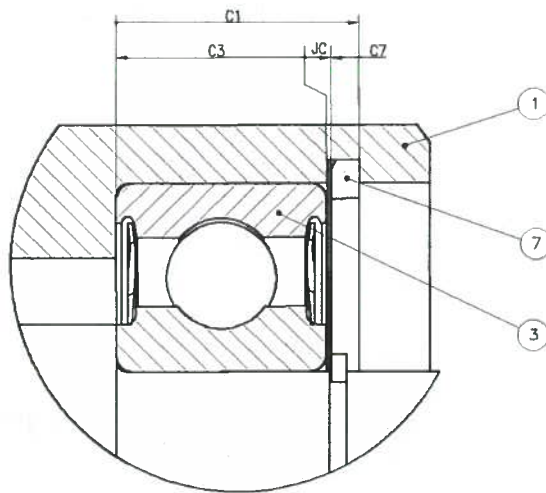
Comme il n'y a pas de contrainte maximale imposée, on peut attribuer un intervalle de tolérance de qualité 12, ce qui est facile à réaliser en tournage selon le tableau du MHB, à la page 654. La valeur de l'intervalle de tolérance sera de 0.007 po.

Les cotes fonctionnelles A2 et B2 peuvent être reportées sur le croquis de l'arbre avec les valeurs suivantes, en prenant soin d'indiquer que la valeur minimale est fonctionnelle :

$$A2 \text{ min} = B2 \text{ min} = 0.6411 \text{ (fonctionnel)}$$

$$A2 \text{ Max} = B2 \text{ Max} = 0.6481$$

En arrondissant la dernière décimale on obtient : $A2 = B2 = 0.6445 \pm .0035$



- Condition à respecter :

$$JC = 0.005 \text{ po minimum}$$

- Équation de la chaîne de cotes :

$$JC \text{ min} = C1 \text{ min} - (C3 \text{ Max} + C7 \text{ Max})$$

- Valeurs connues:

$$C3 = \text{largeur du roulement} = 15 \text{ mm } \begin{matrix} 0 \\ -0.120 \end{matrix} = 0.5905 \text{ po } \begin{matrix} 0 \\ -0.0047 \end{matrix}$$

$$C7 = \text{Largeur de l'anneau MHO-52} = 2.0 \text{ mm } \pm 0.08 = 0.0787 \text{ po } \pm .0031$$

- Résolution de la chaîne de cotes :

$$JC \text{ min} = C1 \text{ min} - (C3 \text{ Max} + C7 \text{ Max})$$

$$0.005 = C1 \text{ min} - (0.5905 + 0.0818)$$

$$C1 \text{ min} = 0.6773$$

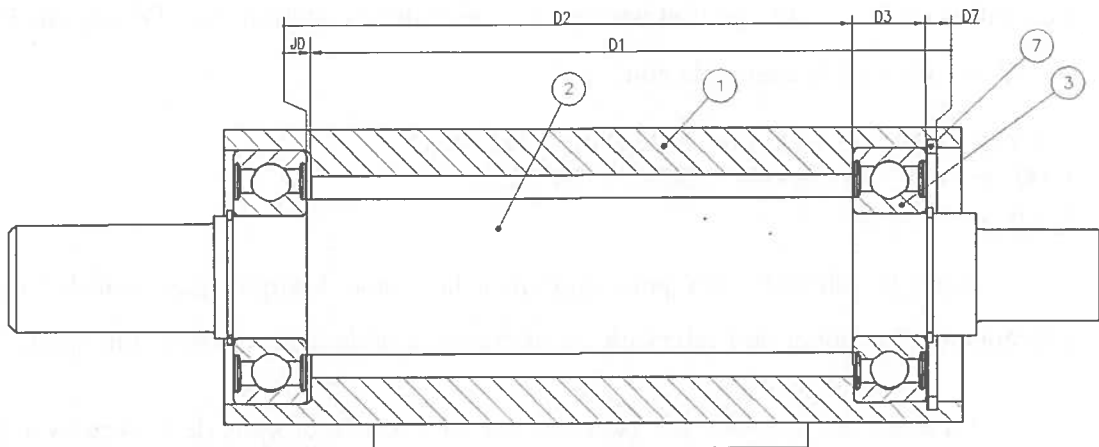
Pour la tolérance, on peut appliquer la même logique que pour les conditions précédentes. La valeur de l'intervalle de tolérance sera de 0.007 po.

La cote fonctionnelle C1 peut être reportée sur le croquis de l'arbre avec la valeur suivante, en prenant soin d'indiquer que la valeur minimale est fonctionnelle :

$$C1 \text{ min} = 0.6773 \text{ (fonctionnel)}$$

$$C1 \text{ Max} = 0.6843$$

En arrondissant la dernière décimale on obtient : $C1 = 0.681 \pm .0035$



- Condition à respecter :

$$JD = 0.005 \text{ po minimum}$$

Cette condition étant dépendante des jeux entre les pièces, il faut tracer la chaîne de cote en tenant compte de la position la plus défavorable, soit en poussant le roulement 4 vers la droite et le bâti 1 vers la gauche. Les roulements sont considérés comme des pièces solidaires compte tenu de leur jeu interne qui est négligeable.

- Équation de la chaîne de cotes :

$$JD \text{ min} = (D2 \text{ min} + D3 \text{ min} + D7 \text{ min}) - (D1 \text{ Max})$$

- Valeurs connues:

$$D3 = \text{largeur du roulement} = 15 \text{ mm } \begin{matrix} 0 \\ -0.120 \end{matrix} = 0.5905 \text{ po } \begin{matrix} 0 \\ -0.0047 \end{matrix}$$

$$D7 = \text{Largeur de l'anneau MHO-52} = 2.0 \text{ mm } \pm 0.08 = 0.0787 \text{ po } \pm .0031$$

- Valeurs inconnues:

D2 et D1

On peut cependant imposer une valeur à D2 à partir d'une contrainte de départ qui est la distance de centre en centre des roulements à environ 5 pouces. D2 est obtenu en soustrayant une largeur de roulement à la distance de 5 po. On obtient donc $(5 - 0.5905) = 4.4095$, qui peut être arrondi à 4.4 po. En appliquant encore un IT de qualité 12, on obtient une valeur de $4.4 \pm .007$ po. On peut ensuite résoudre l'équation avec D1 comme inconnu.

- Résolution de la chaîne de cotes :

$$JD \text{ min} = (D2 \text{ min} + D3 \text{ min} + D7 \text{ min}) - (D1 \text{ Max})$$

$$0.005 = (4.393 + 0.5858 + 0.0756) - (D1 \text{ Max})$$

$$D1 \text{ Max} = 5.0494$$

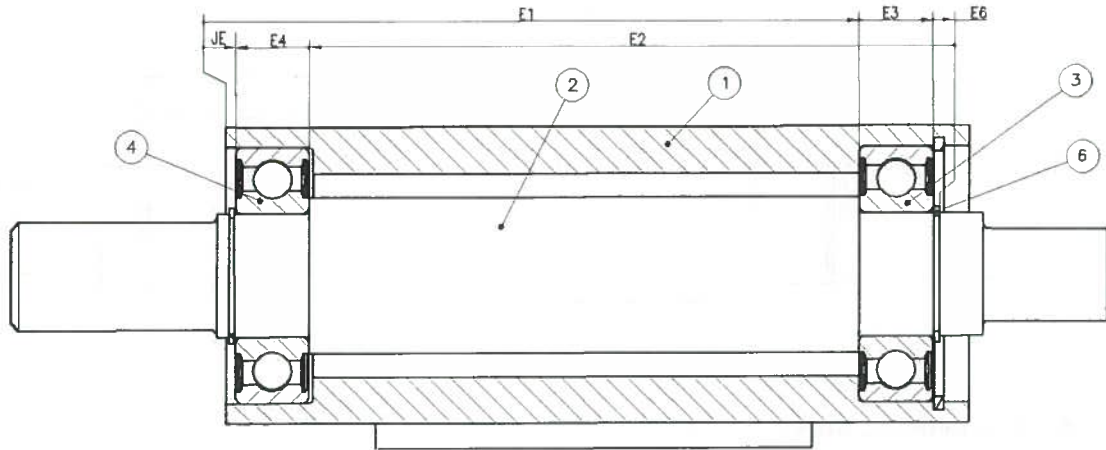
Pour la tolérance, on peut appliquer la même logique que pour les conditions précédentes. La valeur de l'intervalle de tolérance sera de 0.016 po pour une qualité 12.

La cote fonctionnelle D1 peut être reportée sur le croquis de l'arbre avec la valeur suivante, en prenant soin d'indiquer que la valeur maximale est fonctionnelle :

$$D1 \text{ min} = 5.0334$$

$$D1 \text{ Max} = 5.0494 \text{ (fonctionnel)}$$

En arrondissant la dernière décimale on obtient : $D1 = 5.0414 \pm .008$



- Condition à respecter :

$$JE = 0.05 \text{ po minimum}$$

Cette condition étant dépendante des jeux entre les pièces, il faut tracer la chaîne de cote en tenant compte de la position la plus défavorable, soit en poussant le bâti 1 vers la droite et l'arbre 2 vers la gauche. Les roulements sont considérés comme des pièces solidaires compte tenu de leur jeu interne qui est négligeable.

- Équation de la chaîne de cotes :

$$JE \text{ min} = (E1 \text{ min} + E3 \text{ min} + E6 \text{ min}) - (E2 \text{ Max} + E4 \text{ Max})$$

- Valeurs connues:

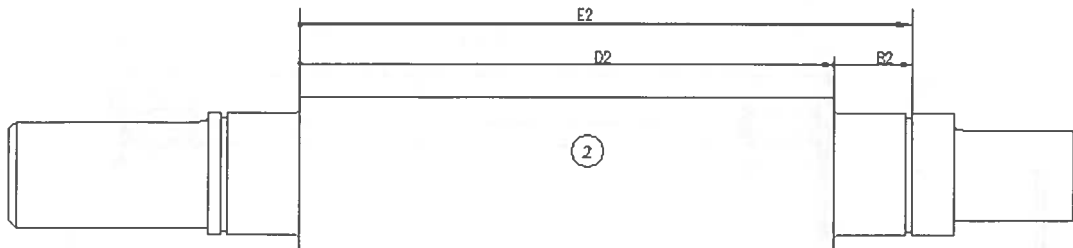
$$E3 = E4 = \text{largeur du roulement} = 15 \text{ mm } \begin{matrix} 0 \\ -.120 \end{matrix} = 0.5905 \text{ po } \begin{matrix} 0 \\ -.0047 \end{matrix}$$

$$E6 = \text{Largeur de l'anneau MSH-25} = 1.1 \text{ mm } \pm 0.06 = 0.0433 \text{ po } \pm .0023$$

- Valeurs inconnues:

E2 Max et E1 Min

On peut cependant calculer la de E2 Max à partir des cotes fonctionnelles déjà calculées.



- Calcul de E2 Max :

$$E2 \text{ Max} = D2 \text{ Max} + B2 \text{ Max}$$

$$E2 \text{ Max} = 4.407 + 0.648$$

$$E2 \text{ Max} = 5.055$$

- Résolution de la chaîne de cotes :

$$JE \text{ min} = (E1 \text{ min} + E3 \text{ min} + E6 \text{ min}) - (E2 \text{ Max} + E4 \text{ Max})$$

$$0.05 = (E1 \text{ min} + 0.5858 + 0.041) - (5.055 + 0.5905)$$

$$E1 \text{ min} = 5.0687$$

Pour la tolérance, on peut appliquer la même logique que pour les conditions précédentes. La valeur de l'intervalle de tolérance sera de 0.016 po pour une qualité 12.

La cote fonctionnelle E1 peut être reportée sur le croquis de l'arbre avec la valeur suivante, en prenant soin d'indiquer que la valeur minimale est fonctionnelle

$$E1 \text{ min} = 5.0687 \text{ (fonctionnel)}$$

$$E1 \text{ Max} = 5.0847$$

En arrondissant la dernière décimale on obtient : $E1 = 5.077 \pm .008$

4.7 Étape 8 : Modélisation du bâti, de l'arbre et des clavettes

Objectifs d'apprentissages :

- Reconnaître l'importance de l'intention de conception lors de la modélisation des pièces avec un logiciel de modélisation.
- Reconnaître la pertinence d'indiquer les valeurs métriques dans les esquisses et fonctions en unités impériales.
- Reconnaître la pertinence de régler la valeur des tolérances des cotes d'esquisses ou de fonctions.
- Reconnaître la pertinence de documenter les cotes fonctionnelles par des notes ou des commentaires dans les différentes interfaces d'un logiciel de modélisation.

Durée de l'activité :

Cette étape requiert environ 2 heures de démonstration guidée en classe avec interaction et discussion sur la théorie sous-jacente et 4 heures de travail hors classe pour que l'étudiante ou l'étudiant puisse maîtriser les concepts.

Dans le processus de modélisation des pièces, il y a lieu de respecter certains principes de base, tels :

Les pièces doivent être modélisées en ayant en tête leurs fonctionnalités, ce principe s'appelle : l'intention de conception. Cette approche permet de créer des pièces facilement modifiables tout au long du processus de conception.

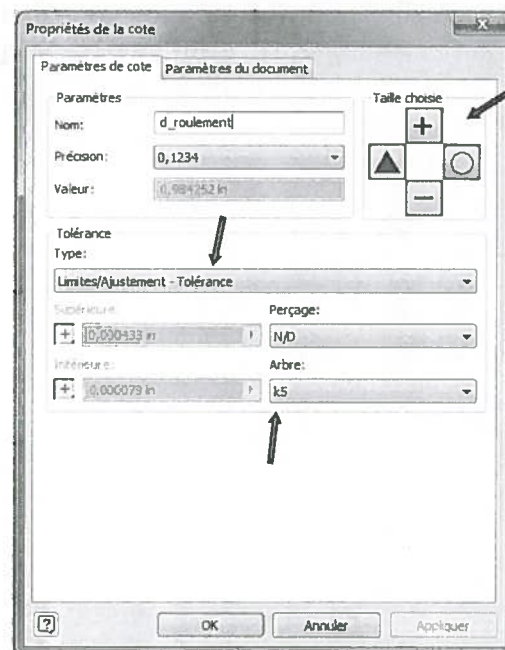
Les pièces doivent être modélisées en référence aux origines du fichier. Cette approche facilite la création des contraintes géométriques dans les esquisses et la mise en place des contraintes à l'assemblage. Les esquisses des pièces doivent être entièrement contraintes en utilisant les cotes fonctionnelles et les contraintes géométriques appropriées.

Lors de la création des cotes d'esquisses, il est facile de définir une variable. Il est aussi possible d'indiquer la cote en mm, même si le projet est en po.

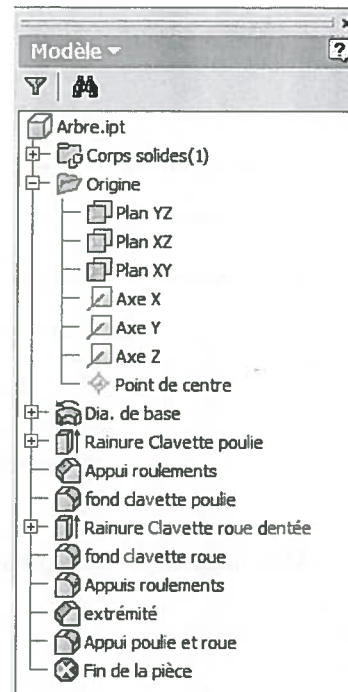


$\varnothing,9843 \text{ k5 } \begin{matrix} (+,0004) \\ (+,0001) \end{matrix}$

Le nom de la variable doit être significatif, par exemple, le nom du maillon d'une chaîne de cote ou le nom d'une variable correspondant à un élément standard. Il est aussi possible d'indiquer la tolérance de fabrication en mode esquisse, ce qui évitera les erreurs lors de la préparation des dessins techniques. En plus, cette fonctionnalité permet de modéliser la cote selon la valeur nominale, médiane, minimale ou maximale. On peut utiliser cette fonction pour valider un ajustement ou une chaîne de cote.



Pour faciliter les modifications ultérieures, il est préférable de renommer les fonctions et les esquisses dans le navigateur.



Le tableau des variables est aussi un endroit privilégié pour renommer les variables et ajouter des commentaires.

Nom du paramètre	Unité/Type	Equation	Valeur nominale	Tol.	Valeur du modèle	Clé	Paramètres à exporter	Commentaire
Paramètres du modèle								
D2	in	4,4 in	4,400000		4,400000			Pour respecter 5 po c/c des roulements
da_roulement	in	1,25 in	1,250000		1,250000			Diamètre standard de la matière première
d_roue	in	0,75 in	0,750000		0,750000			
l_poulie	in	1,775 in	1,775000		1,775000			Modifiable pour ajustement axial de la poulie
d_poulie	in	0,875 in	0,875000		0,875000			
l_roue	in	1,175 in	1,175000		1,175000			Modifiable pour ajustement axial de la roue
S_poulie	in	0,771 in	0,771000		0,771000			
W_clavette_poulie	in	3 in / 16 nd	0,187500		0,187500			
d28	deg	0,0 deg	0,000000		0,000000			
S_roue	in	0,644 in	0,644000		0,644000			
W_clavette_roue	in	3/16"	0,187500		0,187500			
d37	deg	0,0 deg	0,000000		0,000000			
r_roulement	in	0,03 in	0,030000		0,030000			
d46	in	0,05 in	0,050000		0,050000			
R_outil_coupe	in	0,02 in	0,020000		0,020000			
d_roulement	in	25 mm	0,984252		0,984252			
Dg_anneau_MSH	in	23,5 mm	0,925197		0,925197			
A2	in	0,6445 in	0,644500		0,644500			
Y_anneau_MSH_roue	in	0,35 in	0,350000		0,350000			Modifiable pour position axiale de la roue
d99	in	d_roulement	0,984252		0,984252			
d60	in	Dg_anneau_MSH	0,925197		0,925197			
B2	in	A2	0,644500		0,644500			
Y_anneau_MSH_poulie	in	0,1 in	0,100000		0,100000			Modifiable pour position axiale de la poulie
W_anneau_MSH	in	0,0472 in	0,047200		0,047200			
d64	in	W_anneau_MSH	0,047200		0,047200			
R_clavette	in	3 in / 32 nd	0,093750		0,093750			
d66	in	R_clavette	0,093750		0,093750			
d67	in	0,015 in	0,015000		0,015000			
Paramètres utilisateur								

Il est important de compléter le tableau des propriétés du fichier. En plus de fournir des informations sur les propriétés physiques du modèle, ces informations sont récupérables dans les dessins techniques et dans les listes de pièces.



Pour le dimensionnement des entraxes de la base, il faut faire un calcul de positionnement. Selon la méthode proposée par Chevalier (2004), cette tolérance se calcule en faisant la somme des jeux minimums des ajustements de l'assemblage qui est ensuite répartie entre les tolérances de positionnement.

Le jeu minimum entre la vis 1/2-13 NC 2B et le taraudage de la plaque correspond au jeu minimum entre les deux diamètres primitifs des filetages :

Cette valeur est de $(0.45 - 0.4485) = 0.0015$ po. selon le Machinery's Handbook.

Le jeu minimum entre la vis et le trou de passage dans le bâti est de $(0.53 - 0.4985) = 0.0315$

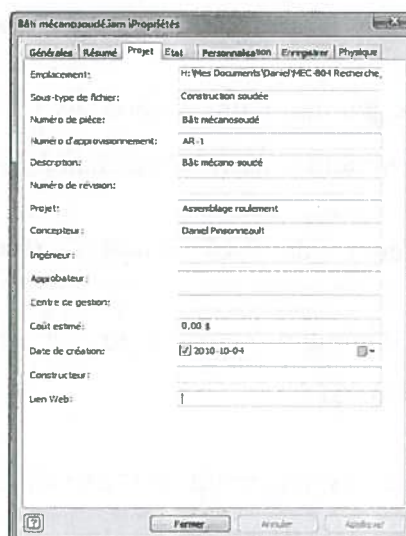
La somme des jeux minimums est donc $(0.0015 + 0.0315) = 0.033$. Puisque la base est déjà tolérancée à 0.010, il reste 0.023 pour le positionnement des trous dans la base du bâti.

Les applications de simulation fournies¹⁹, permettent de valider cette méthode de calcul.

Pour la modélisation du bâti mécanosoudé, il est préférable de créer les symboles de soudure en même temps que les cordons pour faciliter la préparation des dessins techniques et éviter les erreurs.



Si les propriétés de chaque pièce ont été définies correctement, les propriétés de l'assemblage seront conformes.



¹⁹ Projet Inventor : Entre axe 1 trou
Projet Inventor : Entre axe 2 trous

4.8 Étape 9 : Assemblage du mécanisme

Objectifs d'apprentissages :

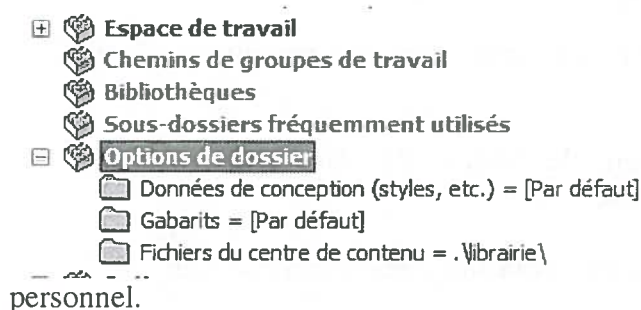
- Juger des éléments de référence à utiliser pour contraindre les pièces dans un assemblage tout en respectant l'intention de conception.
- Reconnaître la pertinence de contraindre les pièces en respectant les principes de l'isostatisme pour ne pas surcontraindre les assemblages.
- Juger de la position de l'assemblage pour créer les vues de représentations à utiliser dans les présentations techniques.
- Utiliser les outils d'affichage des degrés de liberté et d'analyse des interférences pour valider la justesse de l'assemblage.
- Préparer une séquence d'assemblage du mécanisme conforme à la réalité.

Durée de l'activité :

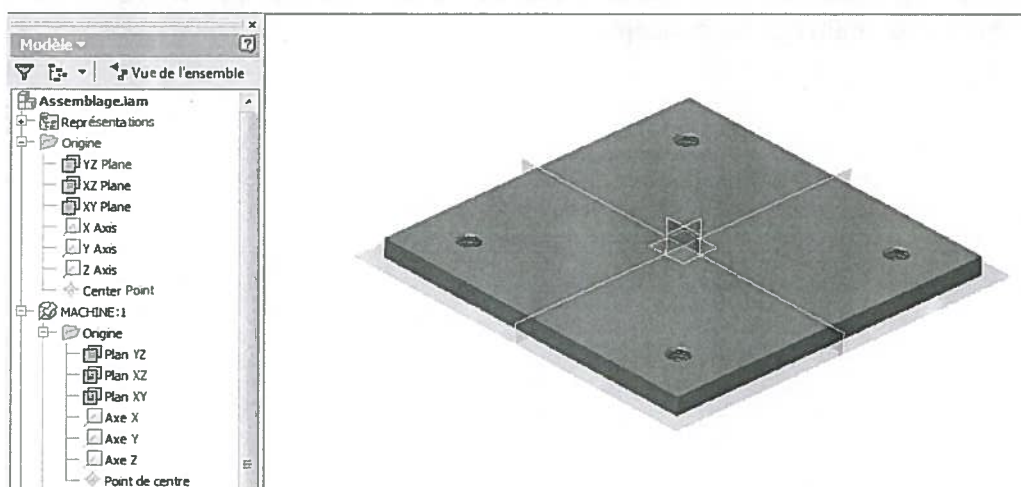
Cette étape requiert environ 2 heures de démonstration guidée en classe avec interaction et discussion sur la théorie sous-jacente et 4 heures de travail hors classe pour que l'étudiante ou l'étudiant puisse maîtriser les concepts.

Dans le processus d'assemblage, il y a lieu de respecter certains principes de base, tels :

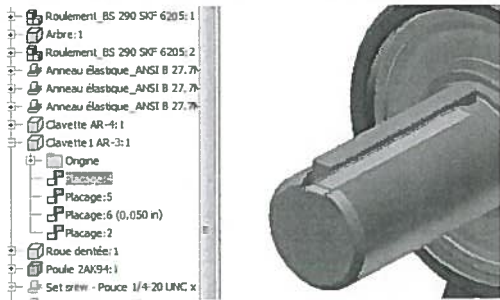
Avant de commencer l'assemblage, il faut s'assurer que le projet est actif et que la librairie de pièces standards est définie dans le répertoire de travail (.Librairie). De cette manière, tous les fichiers seront dans le même répertoire de travail et l'étudiante ou l'étudiant pourra plus facilement copier son projet sur sa clef USB ou dans son répertoire



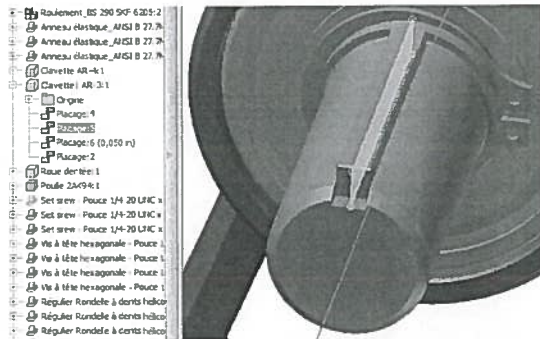
La première pièce insérée sera automatiquement placée de telle sorte que ses origines coïncideront avec les origines du fichier d'assemblage et elle sera bloquée dans cette position.



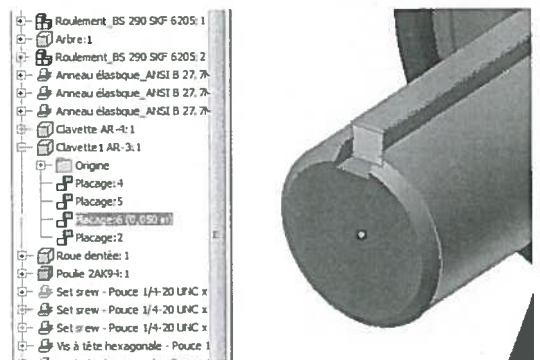
Les contraintes d'assemblage doivent correspondre à l'intention de conception, c'est-à-dire qu'elles doivent correspondre aux interactions mécaniques fonctionnelles entre les pièces. Il faut aussi garder en tête le positionnement isostatique des pièces en éliminant le nombre de degrés de liberté requis seulement. Par exemple, la clavette sera placée au fond de la rainure de l'arbre par une contrainte plan/plan (-3 degrés de liberté),



par la suite, elle sera alignée par une contrainte plan/axe (-2 degrés de liberté)



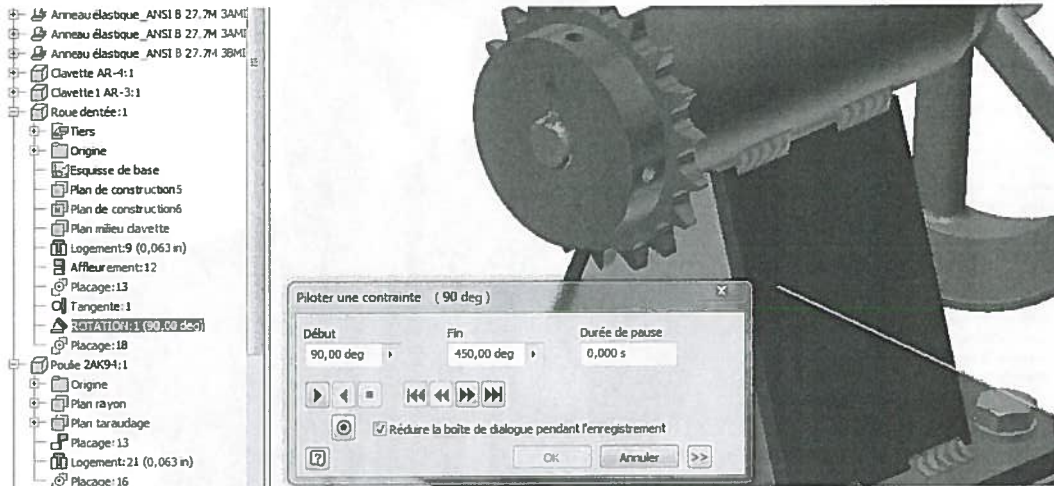
et finalement elle sera positionnée par une contrainte plan/point (-1 degré de liberté).



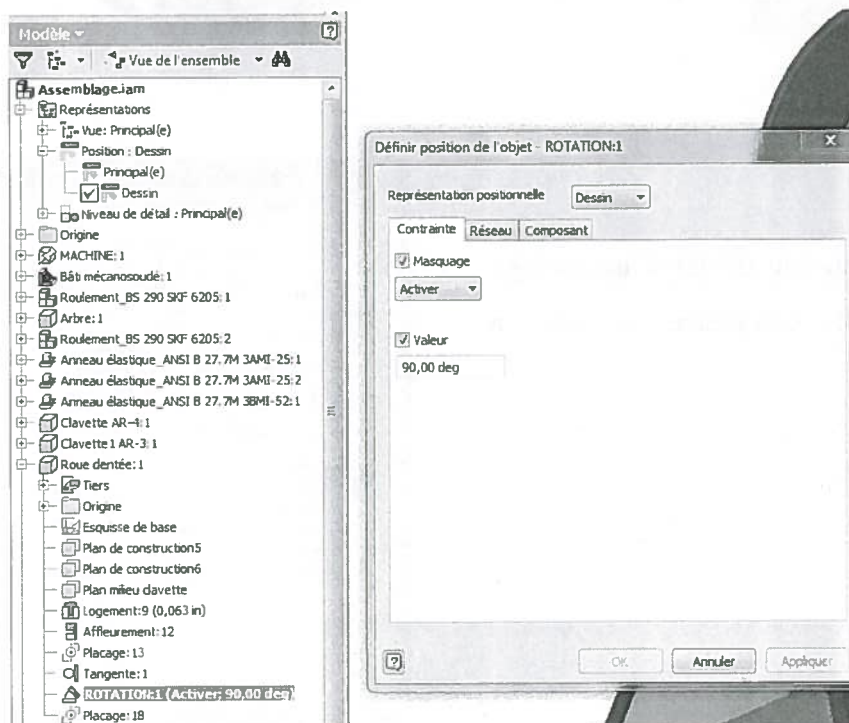
Cette façon de faire permet de préparer des assemblages qui ne sont pas hyperstatiques et qui sont faciles à modifier. Il peut être pratique d'afficher les degrés de liberté pour aider à la mise en place des contraintes.

Tout au long de l'assemblage, il peut être nécessaire d'éditer les pièces pour figurer le mécanisme. Cette opération sera d'autant plus facile si les pièces ont été modélisées selon les principes proposés précédemment.

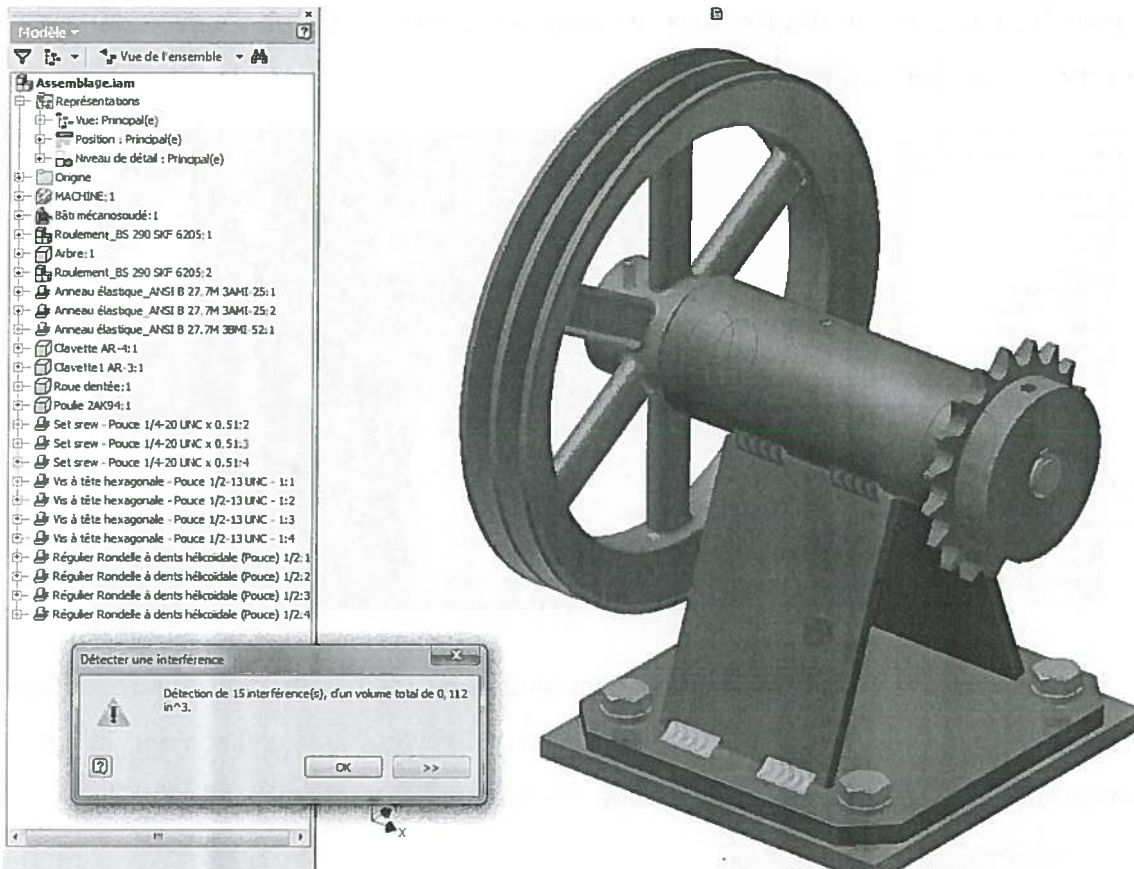
Lorsque l'assemblage est terminé, l'arbre et ses composants devraient être libres en rotation. Il y a lieu de mettre une contrainte d'angle entre une des pièces (roue dentée) et la base pour fixer la position désirée dans les dessins techniques. En plus, cette contrainte pourra être utilisée pour animer le mécanisme.



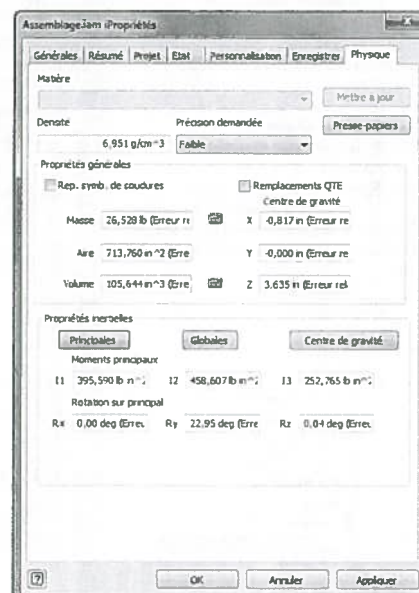
Pour s'assurer d'avoir une position constante dans les dessins techniques, il faut définir une position de référence. Cette position sera choisie lors de la création des vues des dessins et elle sera indépendante de la position courante de l'assemblage.



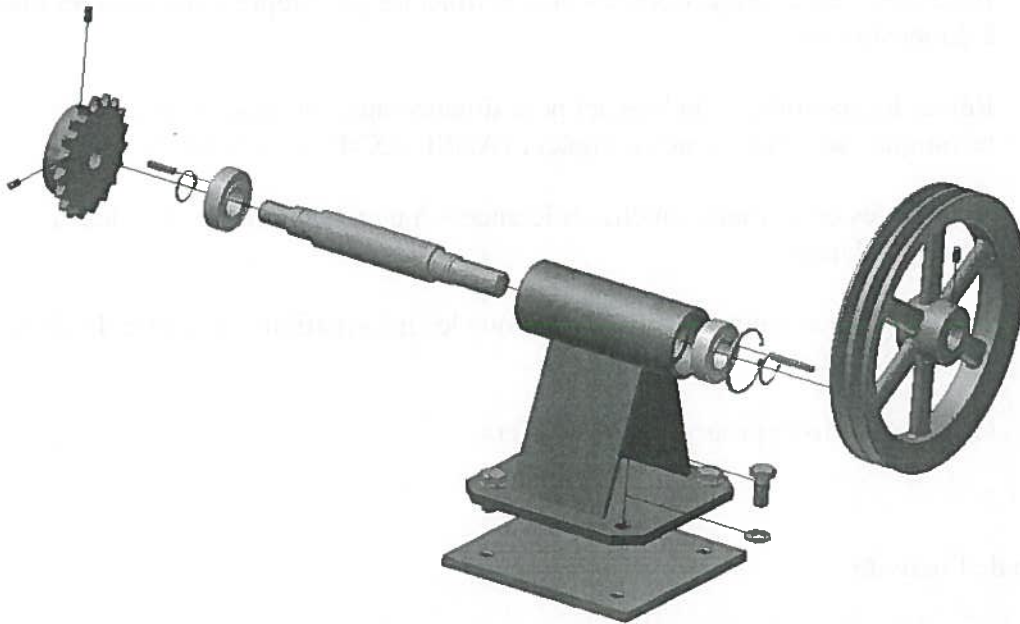
La fonction de détection des interférences permet de valider que les pièces soient bien assemblées. Les interférences des taraudages et des joints des roulements sont normales.



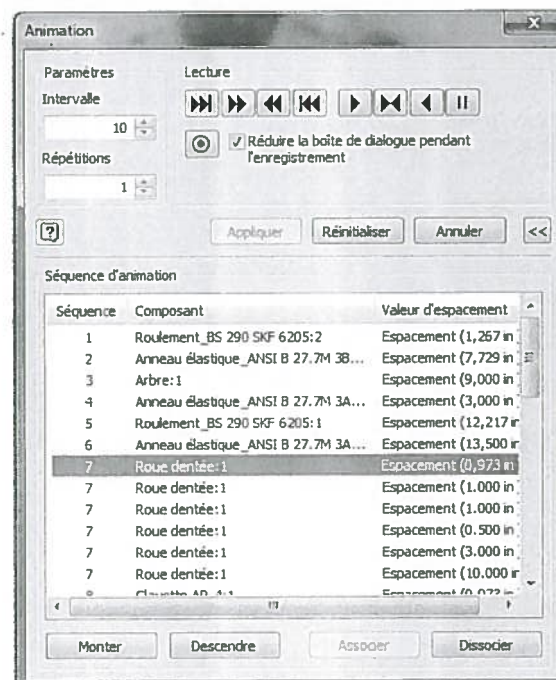
Les propriétés du fichier d'assemblage doivent aussi être complétées et mises à jour.



L'assemblage en vue éclatée doit être préparé pour montrer les pièces et préparer la liste de matériel, mais ce fichier peut aussi être utilisé pour préparer une animation simple de l'assemblage du mécanisme.



Quand la vue éclatée est préparée, il faut utiliser le menu d'animation pour préparer la séquence de montage. La séquence des mouvements peut être facilement modifiée et des mouvements peuvent être groupés pour générer une animation simple. Lorsque l'animation est conforme, il suffit de l'enregistrer en format WMV ou AVI et de choisir une résolution assez élevée pour obtenir une animation fluide.



4.9 Étape 10 : Préparation des dessins techniques

Objectifs d'apprentissages :

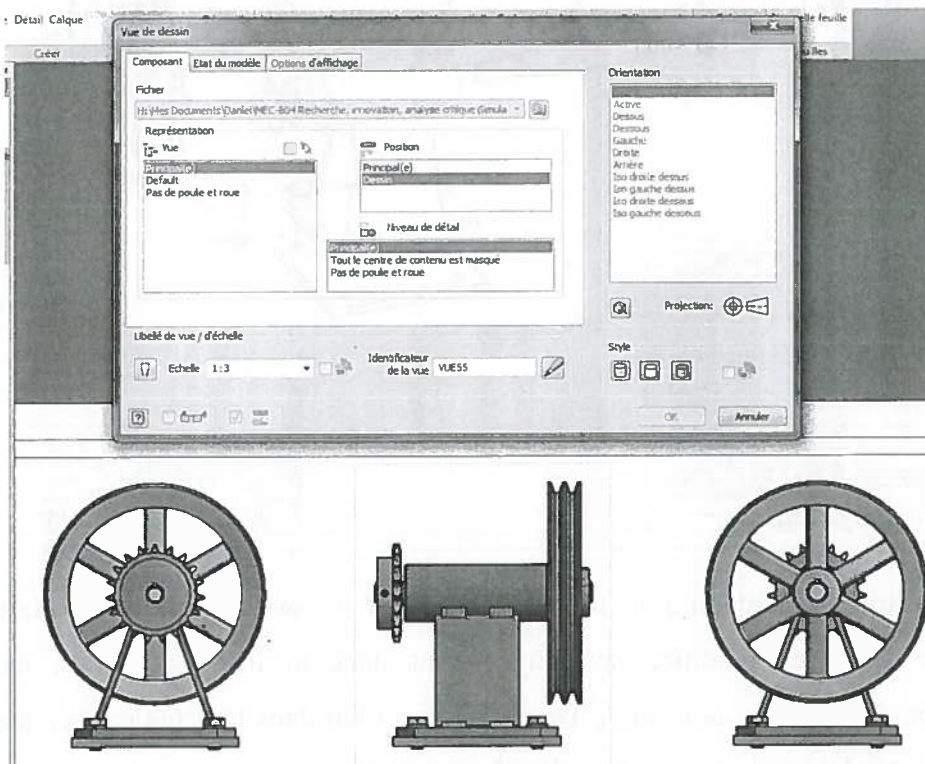
- Juger des vues et projections les plus pertinentes pour représenter tous les éléments à dimensionner.
- Régler les paramètres du logiciel pour dimensionner et annoter les dessins techniques selon la norme en vigueur (ANSI/ ASME Y14.5-2009).
- Extraire les cotes fonctionnelles tolérancées à partir du modèle dans les vues correspondantes.
- Gérer la nomenclature du projet pour que les informations de la liste de pièces soient conformes.
- Gérer les noms et propriétés des fichiers.

Durée de l'activité :

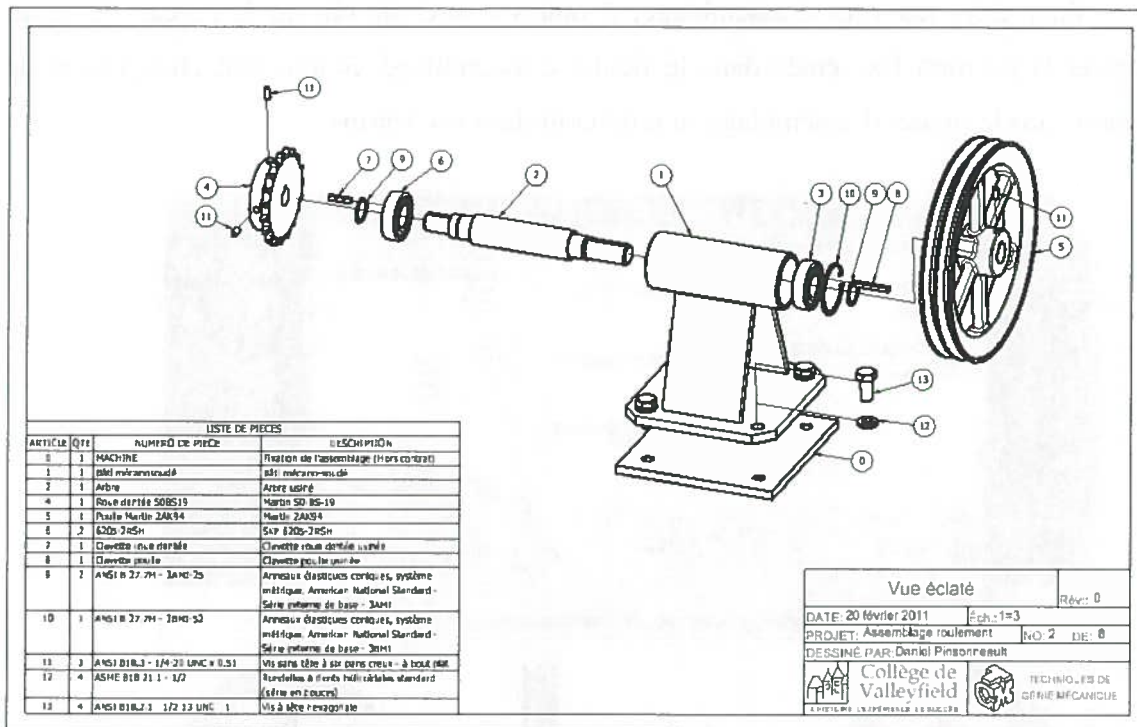
Cette étape requiert environ 2 heures de démonstration guidée en classe avec interaction et discussion sur la théorie sous-jacente et 4 heures de travail hors classe pour que l'étudiante ou l'étudiant puisse maîtriser les concepts.

Avant de commencer la préparation des dessins techniques, il y a lieu de s'assurer que le projet est actif et de choisir le bon fichier prototype.

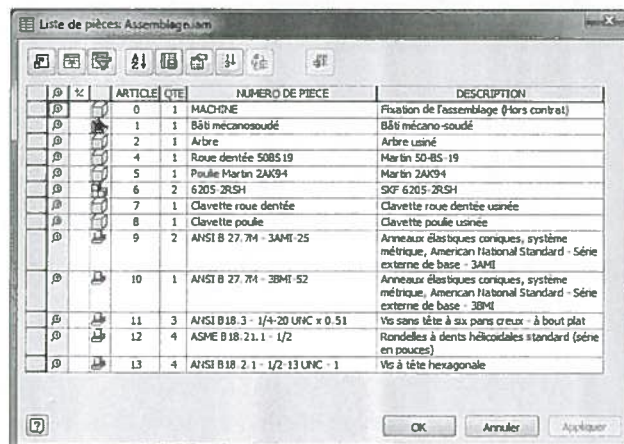
Pour créer les vues d'assemblage, il faut s'assurer de choisir le niveau de détail désiré et la position fixe créée dans le fichier d'assemblage. Sinon, tout changement de position dans le fichier d'assemblage se reflèterait dans les dessins.



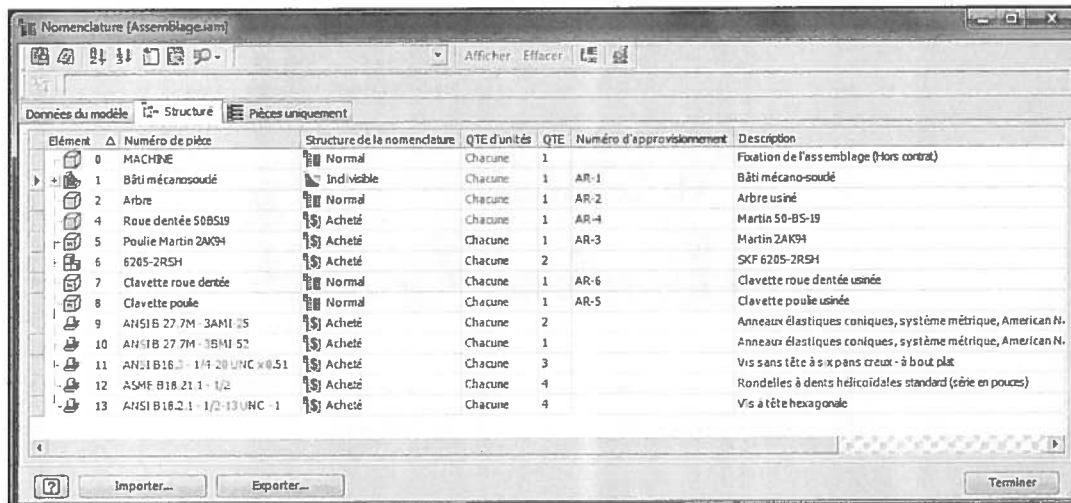
Pour préparer la vue avec ballons et liste de matériel, il est préférable d'utiliser une vue éclatée qui permet de bien identifier les pièces. La préparation de cette présentation est relativement facile, c'est au niveau de la liste de pièces que les choses se gâtent.



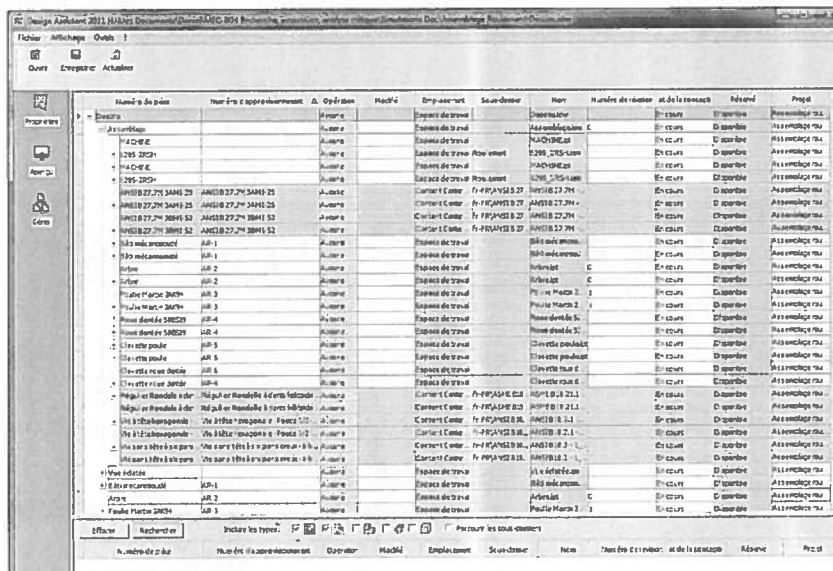
Pour modifier le contenu de la liste de pièces, il faut passer par la nomenclature. Il faut éviter de faire les modifications directement dans la liste de pièces, car ces changements ne seraient pas associatifs. Un changement fait dans la liste de pièce apparaît en bleu et il n'est valable que pour la liste de pièce courante.



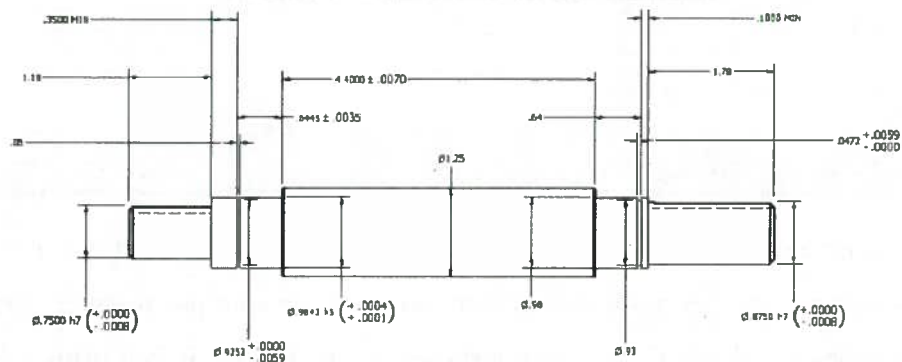
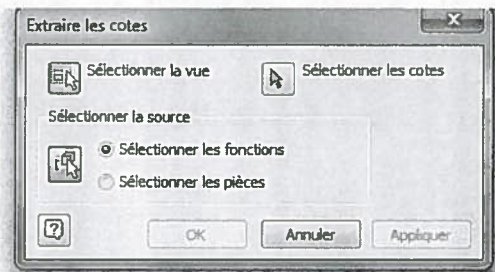
Les changements doivent se faire dans la nomenclature. Les changements qui sont faits dans cet environnement seront enregistrés dans les fichiers correspondants et ils seront entièrement associatifs.



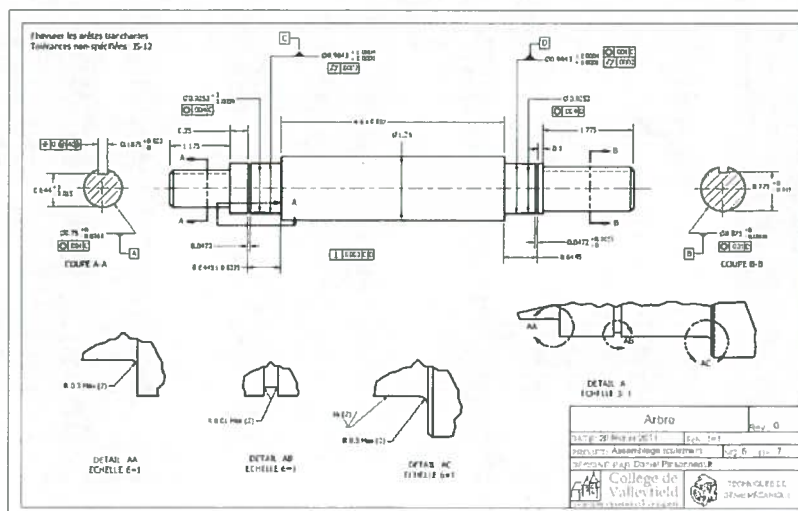
C'est généralement à ce moment que les étudiantes et les étudiants constatent qu'ils ont fait des erreurs dans les noms des fichiers ou qu'ils ne sont pas nommés correctement. Pour modifier les noms des fichiers et conserver les références, il faut utiliser le « Design Assistant ». Cet environnement permet de gérer les noms des fichiers tout en corrigeant les liens dans les fichiers parents et de modifier les propriétés de base.



Pour les dessins de détails de pièces, il y a lieu d'utiliser les fonctions « Extraire les cotes » et « extraire les annotations de soudage ». Les cotes récupérées des esquisses sont les cotes fonctionnelles qui doivent se retrouver sur les dessins. Il suffira de les organiser entre les vues.



Par la suite, il faudra ajouter les tolérances de formes, positions, états de surfaces et autres notes pour coter fonctionnellement les pièces selon les croquis réalisés depuis le début du projet.



4.10 Étape 11 : Préparation du document final.

Le document final est généralement présenté sous forme d'un cartable à anneaux avec des séparateurs selon l'ordre demandé dans le devis. En principe, les étudiantes ou les étudiants devraient préparer ce document au fur et à mesure du développement du projet. Il est important que les croquis soient clairs et que les pages de référence des catalogues soient bien identifiées et que les informations pertinentes apparaissent en surbrillance avec des commentaires au besoin.

Les fichiers seront regroupés dans un répertoire de travail sous le répertoire du professeur dans lequel celui-ci gère les droits d'accès et de modifications.

Ce document leur servira de référence lors de l'évaluation sous forme interrogatoire au minimum deux semaines après la remise du travail.

4.11 Étape 12 : Correction et évaluation

Après réception des travaux, la ou le professeur doit choisir quatre cotes fonctionnelles sur les dessins et les identifier clairement. Au moins deux semaines plus tard, les étudiantes et les étudiants sont rencontrés individuellement : elles ou ils disposent de quinze minutes pour retrouver la source des quatre cotes identifiées et les justifier verbalement au professeur.

Par la suite, le travail sera évalué selon le barème fourni avec le devis. Un exemple des dessins techniques attendus est présenté à l'annexe 3

Références bibliographiques

- Aubé, R. (2000). Des pistes pour favoriser la réussite scolaire des garçons. *In Actes AQPC juin 2000.* (p.1-8). Laval. Document téléaccessible à l'adresse : <http://www.cdc.qc.ca/pdf/rachel_aube_reussite_scolaire_Actes_AQPC.pdf>. Consulté le 24 mars 2011.
- Barbeau, D., Montini, A. et Roy, C. (1997). *Comment favoriser la motivation scolaire.* Pédagogie collégiale, 11(1), 9-13.
- Beaud, J. (2006). L'échantillonnage. *In B. Gauthier (dir.), Recherche sociale : De la problématique à la collecte de données* (p. 211-242), Montréal : Presses de l'Université du Québec
- Blais A. et Durand, C (2006). Le sondage. *In B. Gauthier (dir.), Recherche sociale : De la problématique à la collecte de données* (p. 387-429), Montréal : Presses de l'Université du Québec.
- Boudreault, P. (2004). La recherche quantitative. *In T. Karsenti et L. Savoie-Zajc, La recherche en éducation : étapes et approches* (p. 151-180), Sherbrooke : Éditions du CRP, Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke.
- Bourdet, P. (1987), *Contribution à la mesure tridimensionnelle : Modèle d'identification géométrique des surfaces, Métrologie fonctionnelle des pièces mécaniques, Correction géométrique des machines à mesurer tridimensionnelles.*, Nancy : Université de Nancy.
- Crête, J. (2006). L'éthique en recherche sociale. *In B. Gauthier (dir.), Recherche sociale : De la problématique à la collecte de données* (p. 243-265), Montréal : Presses de l'Université du Québec.
- Chevalier, A. (2004). *Le guide du dessinateur industriel.* (p. 96-101), Paris : Hachette technique.
- De Vecchi, G. (1987), *Utilisation des représentations enfantines en biologie et formation des maitres.* Thèse de troisième cycle, Université de Paris VII , Aster, No 3.
- DeVries, E (2001). *Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail ?.* Revue française de pédagogie. Volume 137, 2001. p. 105-116

- Dionne R., Mascle C. Baron L. (2004). *Modélisation et simulation du tolérancement à l'aide de la réalité virtuelle*. 5e Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation MOSIM'04 – du 1er au 3 septembre 2004 – Nantes (France)
- Fortin, M.-F., Côté, J. et Filion, F. (2006). La lecture critique d'articles empiriques. *In Fondements et étapes du processus de recherche* (p. 418-438). Montréal : Chenelière Éducation.
- Hernandez, P. (2005), *Gestion du tolérancement, un mal nécessaire*. Cad.magazine, Avri-mai 2005, No. 125.
- Laperrière, A. (2006). L'observation directe. *In B. Gauthier (dir.), Recherche sociale : De la problématique à la collecte de données* (p. 243-265), Montréal : Presses de l'Université du Québec.
- Lapierre, L. (2007). *Notes de cours, Rapport aux savoirs et contenus à enseigner (DID-868)*, dans le cadre du programme PERFORMA de l'Université de Sherbrooke.
- Lapierre, L.(2008). *Un cadre de référence pour le questionnement didactique au collégial*. Pédagogie collégiale, vol. 21 no 2.
- Lécuyer, R. (1988). L'analyse de contenu : notions et étapes. *In J-P. Deslauriers (dir.), Les méthodes de la recherche qualitative* (p. 49-65), Montréal : Presses de l'Université du Québec.
- Leplat, J. (1976), *Analyse du travail et genèse des conduites*. International Review of Applied Psychology. Vol. 25, No 1.
- Paillé, P. (2004), *Douze devis méthodologiques pour une recherche de maîtrise en enseignement.*, Performa, Université de Sherbrooke.
- Savoie-Zjac, L. (2004). La méthodologie *In T. Karsenti et L. Savoie-Zajc, La recherche en éducation : étapes et approches* (p. 109-121), Sherbrooke : Éditions du CRP, Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke.
- Savoie-Zjac, L. (2004). La recherche qualitative/interprétative en éducation. *In T. Karsenti et L. Savoie-Zajc, La recherche en éducation : étapes et approches* (p. 123-150), Sherbrooke : Éditions du CRP, Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke.
- Viau, R. (2005).. *L'apprentissage et l'enseignement dans les écoles de génie*, École de technologie supérieure, Montréal.

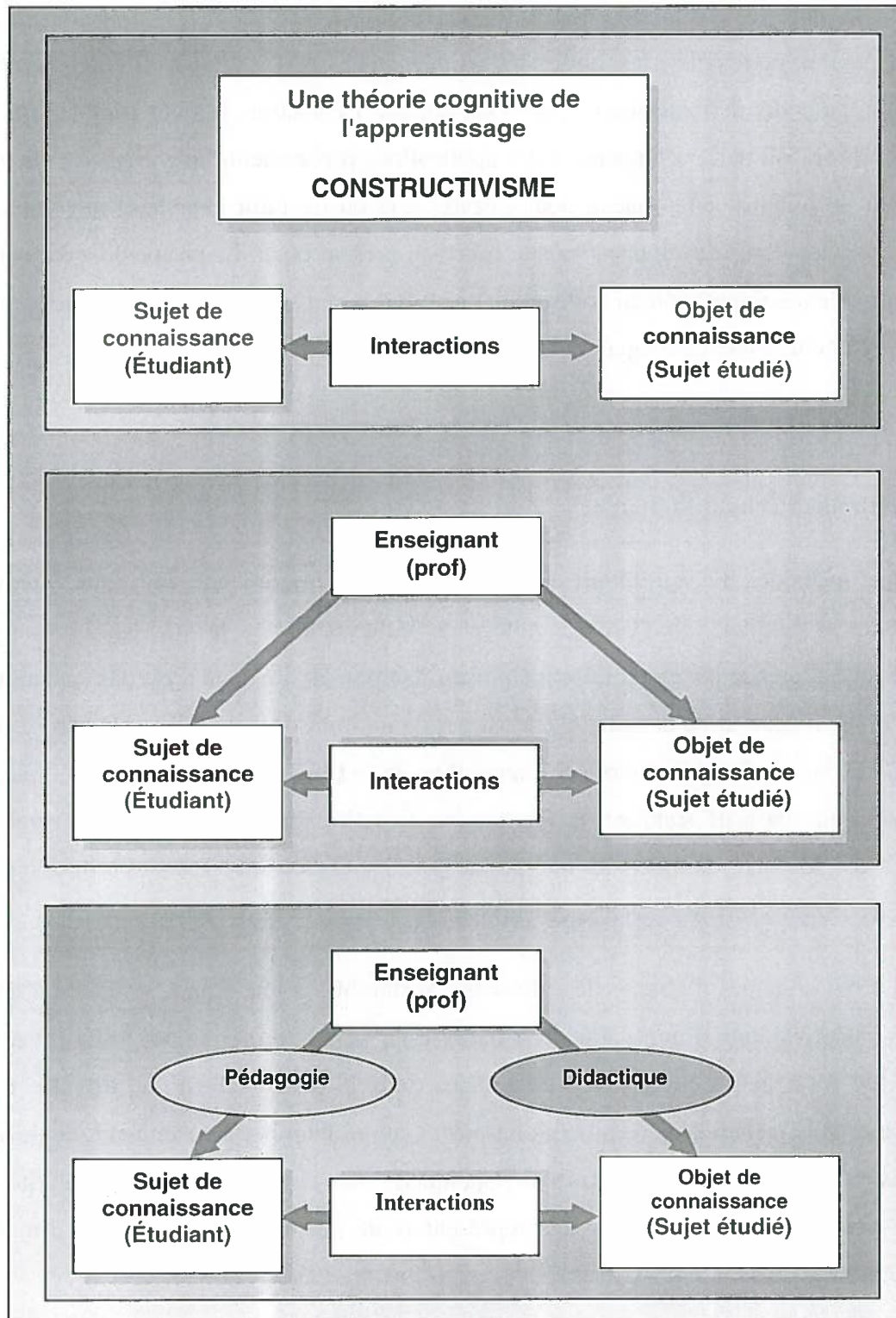
The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

In the second section, the author outlines the various methods used to collect and analyze the data. This includes both primary and secondary data collection techniques. The analysis focuses on identifying trends and patterns over time, which is crucial for making informed decisions.

The third part of the report details the challenges encountered during the data collection process. These include issues related to data quality, such as missing values and inconsistencies. The author provides strategies to address these challenges, such as data cleaning and validation procedures.

Finally, the document concludes with a summary of the findings and recommendations. It highlights the key insights gained from the analysis and suggests areas for future research. The author stresses the need for continuous monitoring and evaluation to ensure the long-term success of the project.

Annexe 1



Annexe 2

Cette annexe est proposée à titre de référence seulement. À l'origine, nous envisagions d'expérimenter les outils didactiques dans une situation d'enseignement. Cependant, en cours de réalisation, il nous est apparu irréaliste de le faire compte tenu de l'ampleur du travail de développement des applications proprement dites. Nous avons jugé intéressant de joindre cette annexe pour inspirer une ou un futur chercheur qui voudrait expérimenter les outils développés dans le cadre du présent essai. Le protocole a été conçu en vue d'une expérimentation au collège de Valleyfield, mais il serait facilement adaptable à tout autre établissement collégial.

1 Protocole d'expérimentation proposé

1.1 Méthode d'échantillonnage

La méthode d'échantillonnage non probabiliste parmi un ou deux groupes d'étudiantes et étudiants en TGM au collège de Valleyfield sera la méthode choisie par défaut. Elle est retenue par choix raisonné puisqu'une base de sondage n'est pas souhaitable et que l'objectif général de la recherche n'est pas de mesurer des variables, mais de vérifier si un outil de simulation peut favoriser l'apprentissage. « Dans certains cas, par exemple, en l'absence d'une base de sondage ou lorsque les objectifs sont moins de mesurer que de découvrir une logique, les méthodes non probabilistes sont souvent les seules utilisables, ou en tout cas, les plus adaptées. » (Beaud, 2006, p. 229)

Le but n'est pas d'obtenir des résultats transférables à une grande population, mais d'analyser les résultats d'une méthode à partir d'un petit groupe témoin. « Et si ce qui importe, ce n'est pas la précision des résultats, mais la découverte d'une logique, d'un mécanisme, si la recherche se veut exploratoire, si ce qui intéresse le chercheur, ce ne sont pas les variations même à l'intérieur de la population, mais plutôt quelques particularités de celle-ci, pourquoi alors rechercher une représentativité qui n'aura qu'un intérêt limité. » (Beaud, 2006, p. 225).

1.2 Population

La population théorique pourrait être constituée de toutes les personnes qui étudient le tolérancement puisque cette technologie est enseignée partout dans le monde au niveau correspondant à celui de la deuxième année en techniques de génie mécanique, ou encore dans le cadre des formations sur mesure en entreprises. Cependant dans le cadre de cette recherche la population sera limitée aux étudiantes et étudiants inscrits au cours de Dessin de construction mécanique à la session d'automne. On peut déterminer à l'avance que la population sera composée de garçons âgés de 18 à 21 ans de race blanche originaires de la Montérégie. Il n'y aura probablement aucune fille, aucun adulte (retour aux études) et aucun membre d'une communauté ethnique; cette population est sûrement très différente de ce que l'on retrouverait dans un collège d'un grand centre urbain.

Toutefois, cette population est tout à fait typique des cohortes précédentes d'étudiantes et d'étudiants qui avaient les problèmes d'apprentissage que cette recherche veut améliorer. « Pour que la généralisation soit possible, il faut que l'échantillon soit représentatif de cette population, c'est-à-dire que les caractéristiques mêmes de la population soient présentes dans l'échantillon ou puissent y être retrouvées moyennant certaines modifications. » (Beaud, 2006, p. 219). Il s'agit donc d'une des limites de cette recherche puisqu'il sera très difficile de s'assurer que l'échantillon sera réellement représentatif de la population collégiale, en général; il y aura peut-être un groupe fort et un groupe faible ou encore un groupe à l'aise avec les outils de simulation et un groupe plus rébarbatif.

1.3 Échantillon

L'échantillon non probabiliste sera constitué des deux groupes d'étudiantes et étudiants inscrits dans le cours à la session d'automne en techniques de génie mécanique au collège de Valleyfield. C'est dans le cadre de ce cours que les calculs associés au tolérancement fonctionnel sont abordés.

« Traiter de l'échantillon, c'est s'arrêter au choix des personnes invitées à faire partie de l'étude. Dans une recherche qualitative/interprétative, ce choix est intentionnel, c'est-à-dire que le chercheur identifie un ensemble de critères, provenant d'un cadre théorique afin d'avoir accès, pour le temps de l'étude, à des personnes qui partagent certaines caractéristiques. » (Savoie-Zajc, 2004, p. 130). Le choix intentionnel sera donc ainsi fait.

1.4 Préoccupations éthiques

L'idéal serait de prendre un groupe expérimental composé de volontaires, et un groupe témoin composé des autres étudiantes ou étudiants. La population étant de deux petits groupes, pas nécessairement homogènes, les deux groupes participeront à l'expérience.

Tous les élèves participeront à l'activité pédagogique avec le nouvel outil de simulation du tolérancement, ils auront cependant le choix de répondre ou non au questionnaire qui accompagne l'activité et ils devront préalablement, et librement, exprimer leur accord et être volontaires pour être observés, participer aux entrevues et accepter que les résultats soient utilisés et publiés. Puisqu'il y aura peut-être enregistrement des données, nous devons obtenir l'accord par écrit des participantes et des participants, même si l'anonymat des participantes et des participants sera conservé lors de la diffusion des résultats. Bien entendu, ils ou elles pourront se retirer de la recherche en tout temps, tout en continuant de participer au cours, et ce, sans aucun préjudice. « La garantie d'anonymat va de soi en recherche sociale; c'est maintenant un postulat largement admis qu'en sciences sociales, comme en médecine ou en droit, les gens s'exprimeront plus franchement et seront moins inhibés dans leur comportement s'ils croient que ce qu'ils vont dire ou faire sera traité en toute confidentialité. » (Crête, 2006, p. 260).

Il pourrait arriver que des étudiantes ou des étudiants profitent de cette expérimentation pour dénigrer les méthodes d'enseignement d'autres professeurs; si tel est le cas, ces informations ne seront pas retenues. Comme le mentionne Harrison : l'étude

qualitative représente certaines particularités au plan éthique puisque le chercheur participe activement à la vie des gens durant le processus et qu'il est subjectif. « Même si les sujets humains donnent leur consentement, il faut être particulièrement vigilant, car le chercheur peut-être mit en présence de situations qui ne se rapportent pas directement à la recherche » (Harrison, 2004, p. 54).

1.5 Techniques de collecte de données

Les techniques de collecte des données seront : l'observation directe, les résultats des questionnaires et les entrevues semi-dirigées.

Tout d'abord, l'observation directe permettra de voir comment les étudiantes et les étudiants se représentent les concepts, lorsqu'ils réalisent des travaux en équipe. Utiliseront-ils les outils de simulation graphique pour valider leurs hypothèses? Seront-ils plus à l'aise pour discuter et argumenter avec leurs collègues? Cette observation aura lieu durant les périodes de laboratoires suivant les périodes théoriques durant lesquelles les outils de simulation graphique auront été exploités.

Les questionnaires prendront la forme d'exercices écrits, accompagnés de dessins, de graphiques, de questions à choix multiples ou à développement, d'exercices de calculs de tolérances, etc. En fait, cette approche s'inscrit dans l'optique de valider le niveau de compréhension des principes du tolérancement fonctionnel. « Les productions écrites et graphiques fournissent des matériaux extrêmement riches et précieux pour la recherche en éducation. Elles permettent à l'enseignant d'allier activités de classe et compréhension de l'évolution et les entrevues permettront de mesurer l'intérêt et le niveau de compréhension. Du processus d'apprentissage, de la résolution de problème ou de la représentation d'élèves à propos d'une certaine problématique ou de l'acquisition de certaines valeurs. » (Savoie-Zajc, 2004, p. 138). De plus, « Les questionnaires devront être construits rigoureusement et préalablement testés pour assurer les responsables de l'essai de la clarté des questions » (Gauthier, 2006).

1.6 Instruments de collecte de données

En parallèle des méthodes de cueillette des données présentées précédemment, l'utilisation d'un journal de bord nous permettra d'inscrire les réflexions et les interrogations du chercheur ainsi que toutes les informations pertinentes en cours de réalisations des outils didactiques; il servira de document de références pour compléter une des étapes de la recherche soit : Réflexion sur l'activité même de production du matériel. « L'usage du journal de bord dans la recherche est un document de référence. Il permet de retracer les raisons qui ont justifié l'ajout, par exemple, de nouvelles questions au schéma d'entrevue; il documente l'évolution de la recherche et des relations avec les participants; il renferme des indices sur le degré d'ouverture et de confiance que les personnes ont graduellement manifestée à l'égard de la présence du chercheur dans leur milieu et les rapports établis pendant la recherche. » (Savoie-Zajc, 2004, p. 148).

L'observation directe se fera durant les périodes de laboratoires suivant des périodes d'exposés théoriques (autour de la sixième semaine de la session) en utilisant les outils pédagogiques de simulation graphiques que nous avons spécialement développés. Lors de ces séances d'observations, les étudiantes et les étudiants auront à réaliser en équipe des exercices d'applications pour vérifier leur compréhension de la matière; le chercheur se transformera alors en observateur pour noter des éléments clés dénotant un niveau de maîtrise des concepts. Au début de la séance, suite aux explications d'usage, les étudiantes et les étudiants seront avertis à l'avance qu'ils seront observés et que le chercheur n'interviendra pas durant cette période. « Une première approche que nous désignerons comme objective, assigne à l'observation directe le seul but de décrire, de façon exhaustive, les composantes objectives d'une situation sociale donnée.... La démarche a des buts strictement descriptifs. » (Laperrière, 2006, p. 273).

Lors de l'observation directe, les principaux éléments observés seront : le niveau de participation aux discussions de l'équipe de chacune et chacun dénotant une certaine maîtrise de la matière, la représentation graphique ou théorique utilisée par les participantes

et les participants, le niveau de complexité des exercices réalisés. Pour ne pas indisposer les étudiantes et les étudiants, nous ne croyons pas qu'il soit nécessaire d'enregistrer d'une quelconque manière ces séances de laboratoires. Les techniques d'enregistrement audio ou vidéo étant si rarement utilisées dans le cadre des cours en TGM, nous aurions une grande crainte à les indisposer gravement en leur imposant ce moyen d'observation intimidant.

Les questionnaires prendront la forme de courts examens. Nous en prévoyons deux et ils seront administrés aux deux groupes deux semaines après chaque séance d'exercices pratiques observées (autour de la dixième semaine de la session). Ils contiendront des questions à développement ainsi que des exercices de calculs et d'interprétation de tolérancements. Les questions seront décortiquées pour morceler les notions théoriques et faciliter l'analyse des données. Ainsi, les résultats pourront facilement être traités quantitativement.

Les entrevues semi-dirigées auront lieu entre la treizième et la quinzième semaine, soit à la fin de la session alors que les projets finaux seront pratiquement terminés et avant l'examen final du cours. « Les thèmes qui seront abordés dans les grilles d'entrevues seront élaborés à partir du cadre théorique. » (Savoie-Zajc, 2004, p. 133)

« Les entrevues seront composées de questions ouvertes pour laisser plus de liberté à l'informateur et de questions fermées parce qu'elles sont plus facilement quantifiables. » (Durand, Blais, 2006, p. 414)

1.7 Méthode d'analyse des données

Les données de base seront majoritairement qualitatives, mais le chercheur développera des outils d'analyse simples pour coder ces données dans une perspective de regroupement des résultats. « La mesure est définie comme l'ensemble des opérations empiriques, effectuées à l'aide d'un ou de plusieurs instruments de mise en forme de l'information, qui permettent de classer un objet dans une catégorie pour une caractéristique donnée » (Durand, Blais, 2006, p.188).

Le nombre de résultats obtenus ne sera probablement pas suffisant pour obtenir des indices statistiques fiables, les données seront donc analysées par deux autres professeurs du département de TGM et le chercheur lui-même pour en extraire des tendances et des constatations tangibles. « L'appréciation de la validité et de la fidélité d'un indicateur est en partie qualitative et subjective. Il subsiste une part d'arbitraire que l'on ne peut éliminer. » (Durand, Blais, 2006, p. 204).

Pour analyser le contenu recueilli, le chercheur utilisera la méthode proposée par Lécuyer en 1988 soit :

Lecture préliminaire et établissement d'une liste des énoncés pour acquérir une vue d'ensemble du matériel recueilli et pressentir le type d'unités de savoir pour la classification ultérieure. « C'est une première familiarisation avec le matériel, une sorte de "pré analyse" pour en dégager une idée du "sens général", certaines "idées-forces" permettant d'orienter l'ensemble de l'analyse subséquente pour atteindre les objectifs visés. » (Lécuyer, 1988, p.55)

Choix et définition des unités de classification pour en définir des unités de sens relatives au niveau d'assimilation ou de compréhension de la matière. Ces unités de sens pourront être la référence à des notions importantes comme : le jeu minimal entre deux pièces, la somme des jeux minimums d'un assemblage, la somme des intervalles de tolérances, la répartition des intervalles de tolérances, la qualité des tolérances, etc. « Ce type d'unité est plus particulièrement recherché quand l'objectif est de procéder à des analyses quantitatives de contenu, car ces nombres confèrent finalement un sens aux unités ainsi compilées. » (Lécuyer, 1988, p.55)

Catégorisation et classification des données pour regrouper les énoncés dont le sens se ressemble pour en arriver à mettre en évidence le niveau de maîtrise de la matière. Cette catégorisation se fera selon le modèle mixte en ce sens qu'il y aura des catégories fixées au départ et d'autres qui pourront s'ajouter en cours d'analyse. « De manière simple, chaque

catégorie est une sorte de dénominateur commun auquel peut être ramené tout naturellement un ensemble d'énoncés sans en forcer le sens. » (Lécuyer, 1988, p.57)

Quantification et traitement statistique des données en termes de fréquences, de mode, de pourcentage et autres mesures statistiques utilisables en fonction du nombre de données recueillies. Description scientifique des données précédentes basées sur les analyses qualitatives et quantitatives des résultats. Interprétation des résultats en rapport avec le cadre théorique de départ. « L'analyse de contenu est une méthode visant à découvrir la signification du message étudié... » (Lécuyer, 1988, p.50)

Pour ce qui est de la triangulation, c'est-à-dire la validation des résultats par la combinaison de différentes méthodes visant à vérifier l'exactitude et la stabilité des observations des données, nous procéderons à l'analyse des observations, des questionnaires et des entrevues individuelles, en plus de la collaboration de deux autres professeurs.

1.8 Exemples de données qui seront recueillies

Parmi les données recueillies, le chercheur désire savoir si l'utilisation d'un outil de simulation graphique permet de mieux maîtriser la matière et facilite la compréhension de la répartition des tolérances entre les différentes dimensions des pièces de l'assemblage influençant des conditions fonctionnelles de départ. Il voudrait aussi que le principe du tolérancement soit mieux maîtrisé, autant au niveau du calcul qu'au niveau de l'interprétation.

1.9 Moyens pris pour éviter les biais ou pour assurer la scientificité

Au niveau de la crédibilité, pour éviter les biais possibles lors des échanges, que ce soit des problèmes de perceptions, d'interprétations, de jugement du non verbal, etc., le chercheur a prévu la triangulation des sources de données et la participation de deux professeurs du département de TGM pour analyser et coder les données.

Pour la fiabilité, les biais possibles sont au niveau des préconceptions. Pour éviter ce biais, le chercheur validera les grilles d'analyse avec des spécialistes d'origines variées, entre autres des professeurs du collège qui ont déjà réalisé des recherches semblables et bien sûr avec la direction d'essai pour s'assurer d'une adéquation avec le cadre de référence.

1.10 Limites

La limite principale de cette recherche se situe au niveau de la représentativité de l'échantillon et au fait que le chercheur est aussi un des professeurs des étudiantes et étudiants constituant la population. De plus, la transférabilité des résultats pourrait en souffrir puisque les deux groupes seront constitués d'éléments relativement homogènes (garçons de race blanche de 18 à 21 ans, originaires de la Montérégie), la présentation des résultats devra être accompagnée de cette limite.

Parmi les autres limites de cette recherche, il y a le fait que les étudiantes et les étudiants de TGM n'ont pas l'habitude d'être observés et rencontrés en entrevue. Ce n'est vraiment pas une pratique courante dans notre champ d'études; ils pourraient être indisposés et ne pas réagir normalement. Il faudra les mettre à l'aise et prendre soin de ne pas les distraire lors des observations et des entrevues dirigées.

Pour ce qui est de la validité des périodes d'observations directes en laboratoires qui ne seront pas enregistrées, le chercheur prévoit demander l'assistance de deux professeurs du département pour assister, observer et compléter les grilles d'analyse. Nous souhaitons ainsi assurer une crédibilité à ces données. « L'écueil le plus souvent mentionné, dans la littérature en question, est sans aucun doute celui de l'ethnocentrisme et de la subjectivité du chercheur, qui risque de pervertir son choix des situations à observer, sa perception des situations et, en conséquence, ses analyses. » (Laperrière, 2006, p.288)

Les questions ouvertes des questionnaires pourront aussi être problématiques : souvent, les étudiants n'aiment pas développer une idée en écriture, ils auront tendance à

simplifier leurs réponses pour éviter de composer un court texte. Il ne faudrait pas en conclure qu'ils n'ont pas compris ou qu'ils ne maîtrisent pas le sujet. Il y aurait donc lieu de privilégier des questions demandant des réponses courtes.

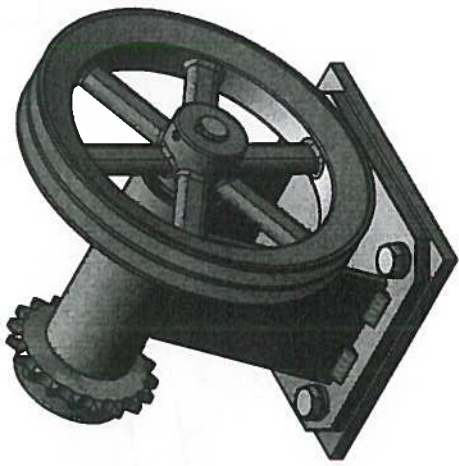
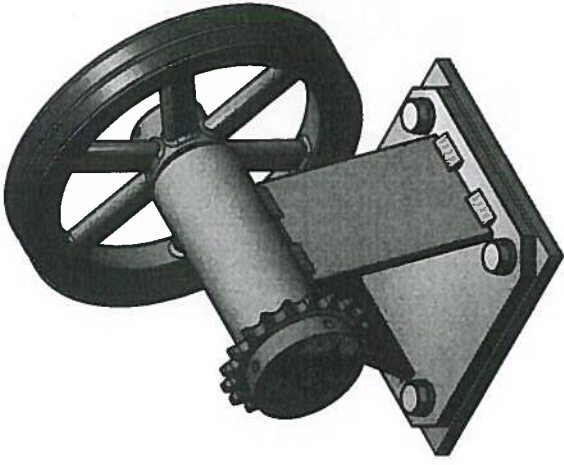
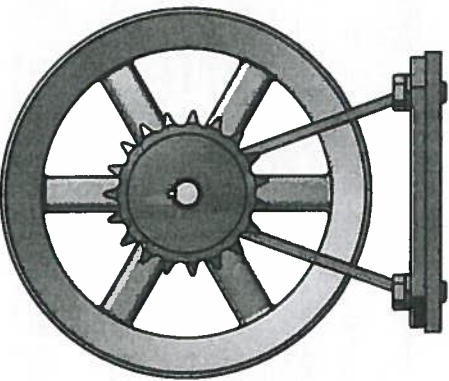
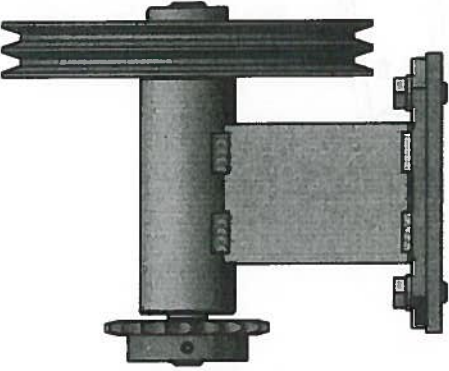
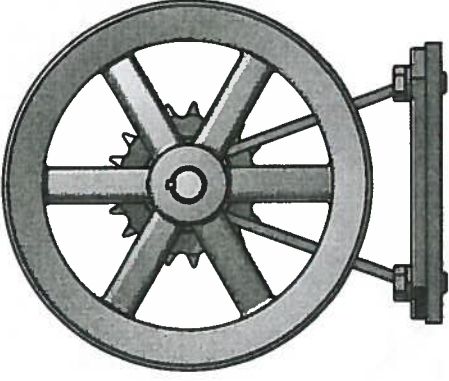
Avec de petits groupes d'étudiantes et d'étudiants, la familiarité s'installe facilement; lors des entrevues, il y a de forts risques pour que les étudiants réagissent positivement à l'expérimentation pour faire plaisir au professeur-chercheur sans vraiment y croire.

Bien que l'échange se fera sans doute dans un climat harmonieux, il se pourrait que la personne interviewée veuille rendre service ou faire plaisir, en surévaluant positivement l'expérimentation. Ainsi, une mise au point avant l'entrevue sera faite afin d'obtenir une plus grande objectivité de la part de l'interviewée puisqu'il faudra, par la suite, analyser le plus objectivement les données de l'entrevue.

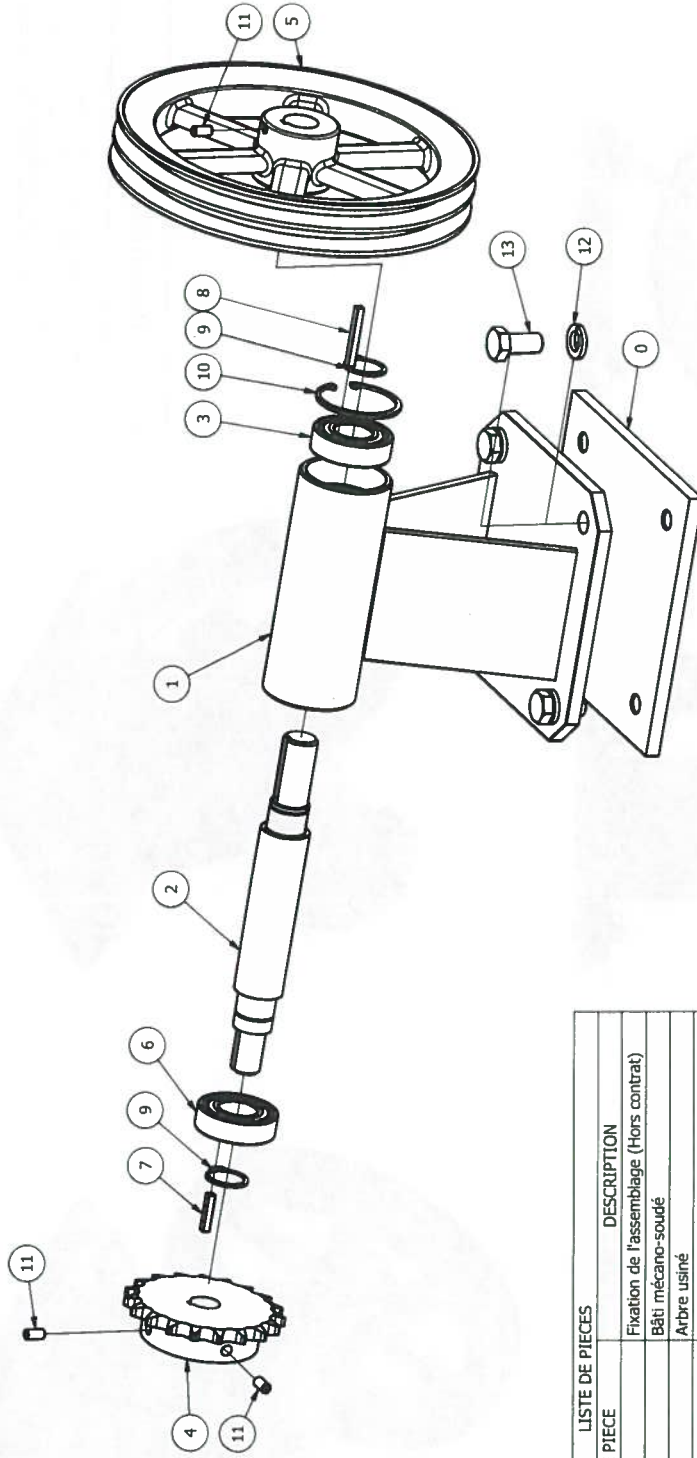
Ce mode de collecte des données comporte toutefois des limites. Ainsi, la qualité de l'échange dépend de la qualité de la relation qui s'établit entre les deux personnes. Un certain degré de sympathie et de confiance doit exister pour que l'entrevue se déroule dans un climat harmonieux. Les informations recueillies doivent donc être vues comme une approximation de la perspective que l'interviewé a bien voulu communiquer, constituant le troisième filtre de communication. (Savoie-Zajc, 2004, p. 134)

Annexe 3

Les dessins des pages suivantes représentent le type de dessins techniques attendus à la fin du projet « Assemblage roulement ».





Assemblage final		0
6 juin 2011	1=3	
Assemblage roulement	1	7
Daniel Pinsonneault		

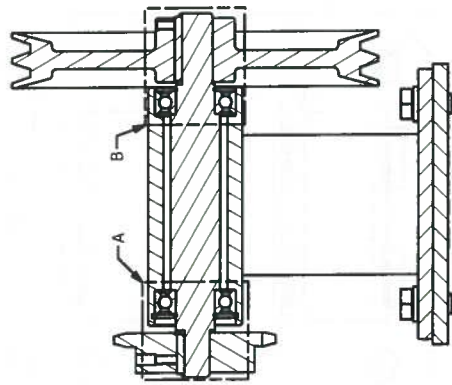
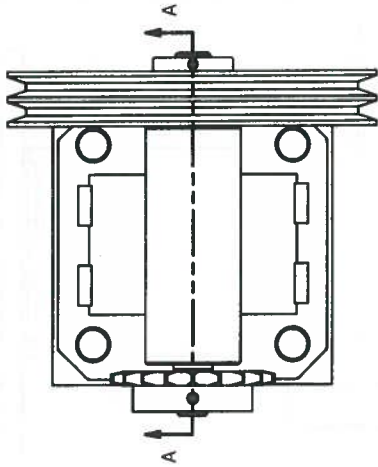


LISTE DE PIÈCES

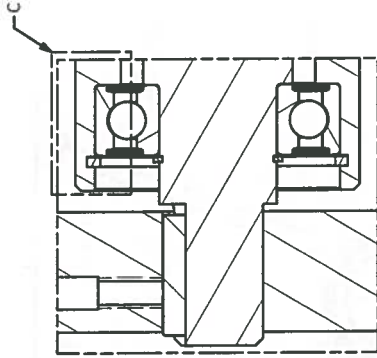
ARTICLE	QTE	NUMERO DE PIECE	DESCRIPTION
0	1	MACHINE	Fixation de l'assemblage (Hors contrat)
1	1	Bâti mécanosoudé	Bâti mécanosoudé
2	1	Arbre	Arbre usiné
4	1	Roue dentée 50BS19	Martin 50-BS-19
5	1	Poulie Martin 2AK94	Martin 2AK94
6	2	6205-2RSH	SKF 6205-2RSH
7	1	Clavette roue dentée	Clavette roue dentée usinée
8	1	Clavette poulie	Clavette poulie usinée
9	2	ANSI B 27.7M - 3AM1-25	Anneaux élastiques coniques, système métrique, American National Standard - Série externe de base - 3AM1
10	1	ANSI B 27.7M - 3BMT-52	Anneaux élastiques coniques, système métrique, American National Standard - Série externe de base - 3BMT
11	3	ANSI B18.3 - 1/4-20 UNC x 0.51	Vis sans tête à six pans creux - à bout plat
12	4	ASME B18.21.1 - 1/2	Rondelles à dents hélicoïdales standard (série en pouces)
13	4	ANSI B18.2.1 - 1/2-13 UNC - 1	Vis à tête hexagonale

Vue éclaté

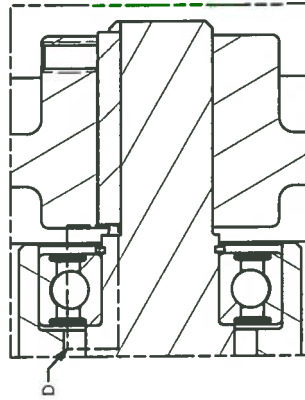
6 juin 2011	1-3	0
Assemblage roulement		2
Daniel Pinsonneault		7
		
		



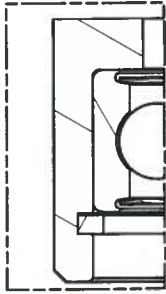
COUPE A-A
Échelle 1=3



DETAIL A
Échelle 1 : 1



DETAIL B
Échelle 1 : 1



DETAIL C
Échelle 2 : 1



DETAIL D
Échelle 2 : 1

Vues en coupe

0

6 juin 2011

1=3

Assemblage roulement

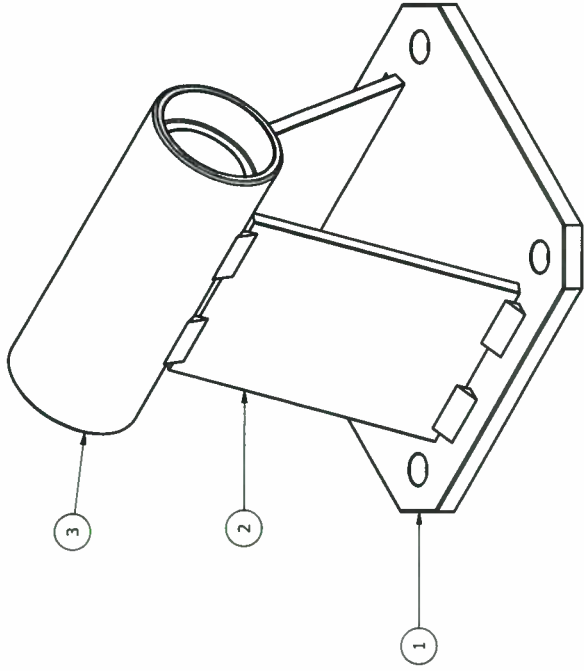
3

7

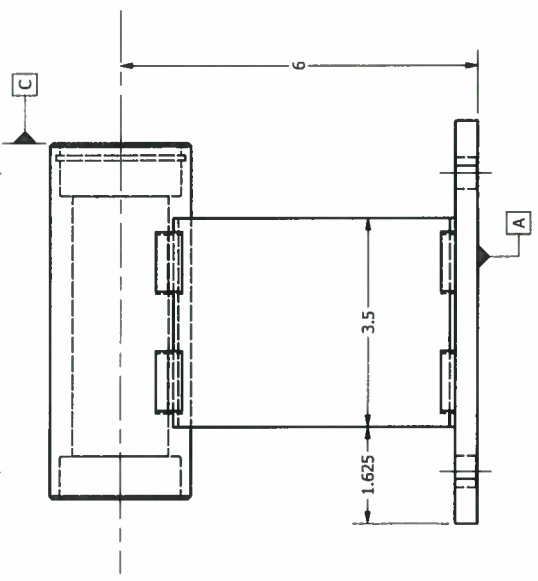
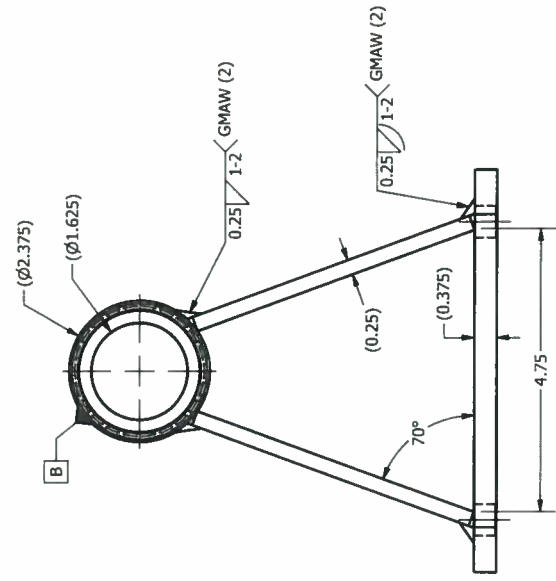
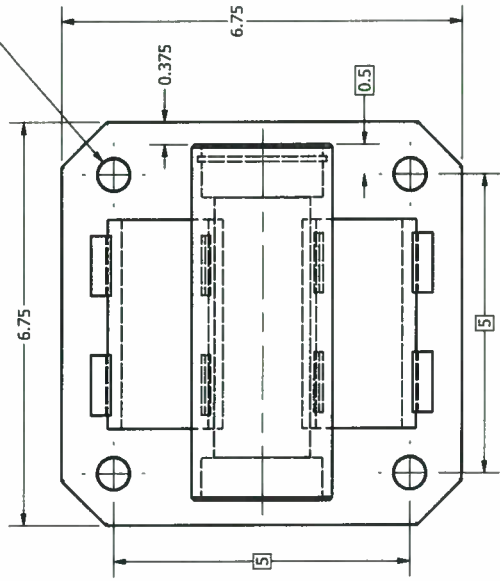
Daniel Pinsonneault



Toutes les dimensions sont en pouce.
 Tolérances non spécifiées : JS-15
 Ebavurer les arêtes tranchantes.



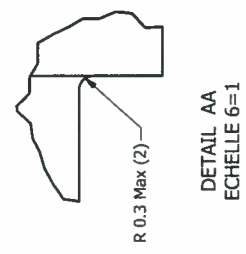
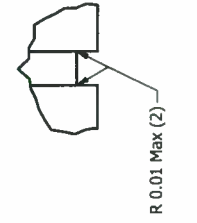
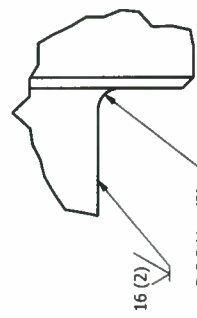
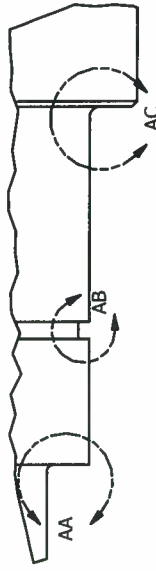
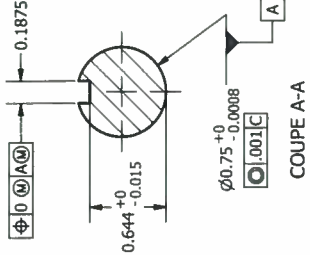
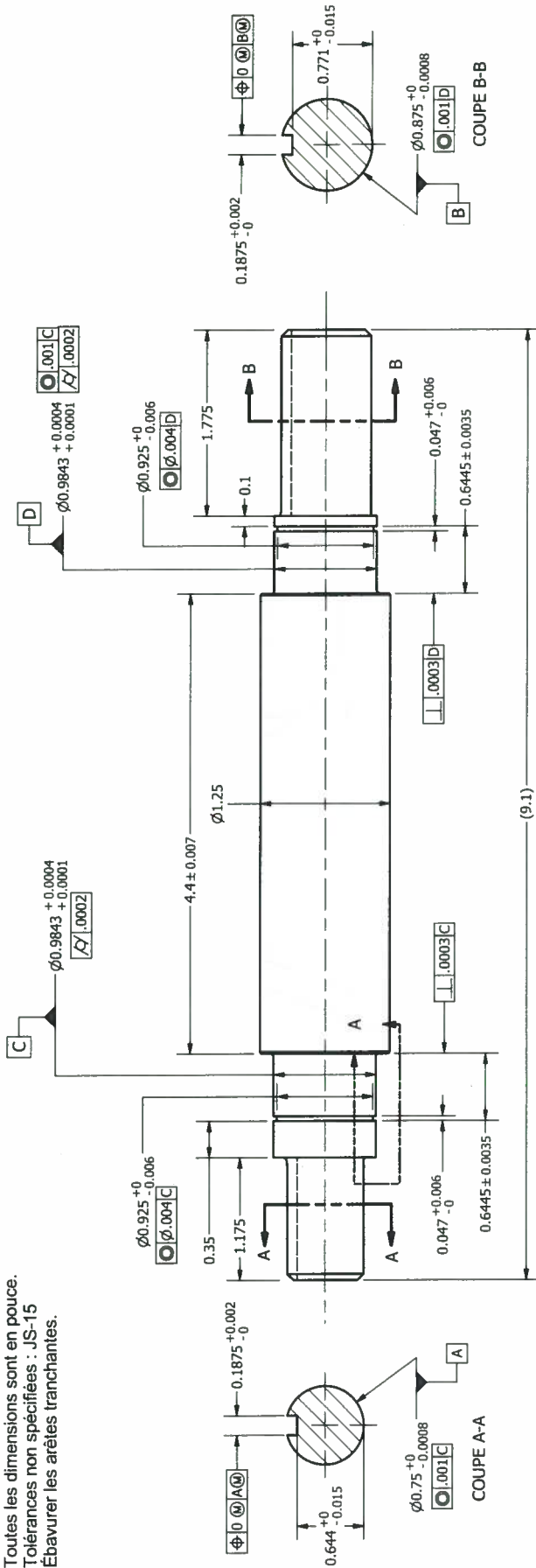
$\sqrt{\phi 0.53^{+0.01}_{-0}}$
 $\sqrt{\phi 0.55 \times 82^\circ}$
 $\oplus \phi 0.023 \text{ @ } \text{ABC}$



LISTE DE PIECES			
ARTICLE	QTE	NUMERO DE PIECE	DESCRIPTION
1		Plaque de base	ASTM A36 3/8 po
2		Plaque de soutien	ASTM A36 1/4 po
3	1	Tube	Tube mécanique
Bâti mécanosoudé			0
6 juin 2011			1:2
Assemblage Roulement			4
Daniel Pinsonneault			7

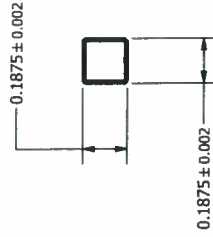
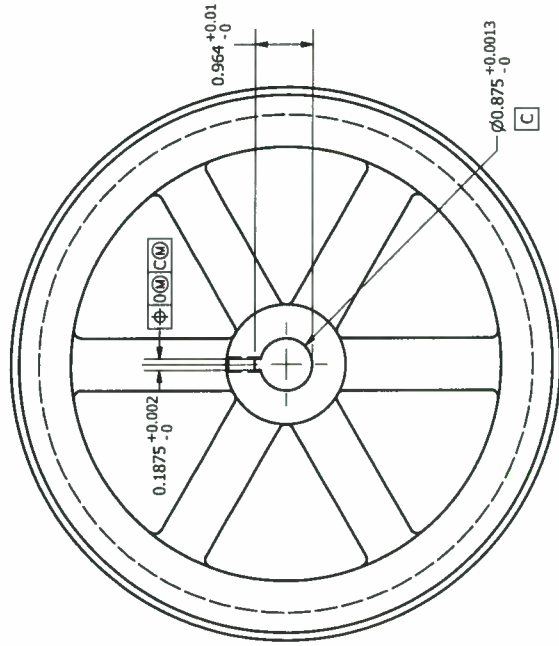
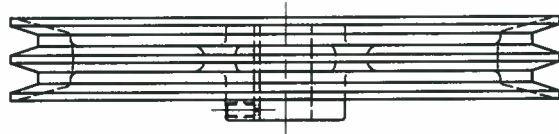


Toutes les dimensions sont en pouce.
 Tolérances non spécifiées : JS-15
 Ébavurer les arêtes tranchantes.

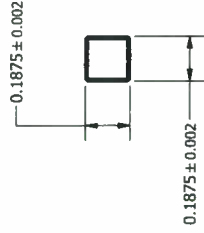
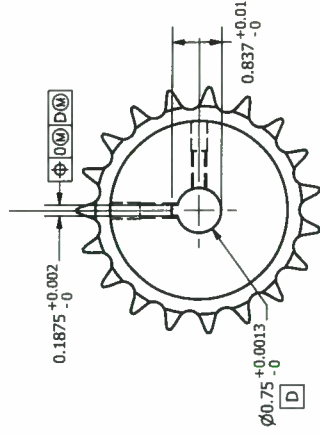


Arbre		0
6 juin 2011	1=1	
Assemblage roulement		6
Daniel Pinsonneault		7

Toutes les dimensions sont en pouce.
 Tolérances non spécifiées : JS-15
 Ebavurer les arêtes tranchantes.



Clavette poulie
 ECHELLE 2=1



Clavette roue
 ECHELLE 2=1

Poulie, roue et clavettes

6 juin 2011 1=2 0

Assemblage roulement 7 7

Daniel Pinsonneault





