



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche Scientifique



UNIVERSITE BADJI MOKHTAR –ANNABA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master
Génie mécanique
Option

Fabrication mécanique et Productique

Présenté Par :

Maiza Walid

Intitule

Usure et correction des côtes et du profil de l'essieu d'un wagon

Directeur de mémoire : Pr A. M. BOUCHELAGHEM

Jury de soutenance

Président	Mekhilef Slimane	MCA	UBM Annaba
Encadrant	Bouchelaghem Abdelaziz	Prof.	UBM Annaba
Examineur	Laouar Lakhdar	Prof.	UBM Annaba

Année 2019/2020



Remerciement

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant et miséricordieux, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance à mon Directeur de mémoire le professeur BOUCHELAGHEM Abdelaziz Mahmoud, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je désire aussi remercier les enseignants des départements de Génie Mécanique et du Tronc commun-ST de l'UBMA, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Je tiens à remercier les équipes et les personnes de l'entreprise chemin de fer, qu'ont su trouver un peu de temps pour m'aider durant mon stage.

Mes vifs remerciements vont également à mes chers parents, mon frère et ma sœur, pour leurs amours, leurs conseils ainsi que leur soutien moral et intellectuel tout au long de mes formations.

Enfin, je voudrais exprimer ma reconnaissance envers mes amis et collègues pour leurs encouragements et leur soutien inestimable et à toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail.

Merci

Dédicace

Je dédie particulièrement ce modeste travail en signe de respect, de reconnaissance et de remerciement :

**A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leurs amours, leurs tendresses, leur soutien inconditionnel et leurs prières tout au long de mes études.*

« Que dieu me les gardes »

**A ma chère sœur et mon frère et toutes les familles Maïza, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.*

** A mon amour Linda pour leur encouragement et leur soutien morale*

**A mon chère ami : Amara Mouhamed Taher pour leur appuis et leur encouragements.*

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allègues, et le fruit de votre soutien infaillible,

Merci d'être toujours là pour moi.

SOMMAIRE

Remerciement	2
Dédicace	3
Résumé	7
Introduction générale	8
<u>Chapitre I : Recherche bibliographique</u>	
I.1 Introduction	11
I.2 Les éléments de dessous de train ferroviaire	11
I.3 Usure des roues ferroviaires	12
I.4 Fatigue des essieux ferroviaires	20
I.5 Usinage avancé	26
I.6 Machine-outil à commande numérique, CFAO et centre d'usinage	27
I.7 Usinage des pièces de formes complexes	29
I.8 Stratégie et modes d'usinage	31
I.9 Programmation en fabrication et les logiciels	32
<u>Chapitre II : Problématique et solution</u>	
II.1 Introduction	36
II.2 Constitution de la partie inférieure d'un wagon	36
II.3 Caractéristiques de la roue ferroviaire	38
II.4 Etapes de fabrication des roues	40
II.5 Usures de la roue ferroviaire	40
<u>Chapitre III : Reprofilage des roues de chemin de fer usées</u>	
III.1 Considérations de départ	46
III.2 Types de machines	46
III.3 Mesures et contrôles	48
III.4 Dessin de définition de la roue	50
III.5 Contrat de phase	51
<u>Chapitre IV : Reprofilage Proposé</u>	
IV.1 Introduction	56
IV.2 Rappel sur la commande numérique (cas Tournage)	56
IV.3 Contrat de Phase	58
IV.4 Programme du nouveau profil	61
IV.5 Le tour CNC à 2 axes proposé	61
IV.6 Outillage proposé	62
Conclusion générale	64

Liste des figures

Figure I.1 : Images d'essieu ferroviaire monté (images Siemens)	12
Figure I.2 : Importance relative des mécanismes d'usure dans l'industrie	12
Figure I.3 : Usure par adhésion	13
Figure I.4 : Mécanisme de l'usure adhésive	14
Figure I.5 : Manifestation sévère de l'usure adhésive	14
Figure I.6 : L'usure abrasive	15
Figure I.7 : Déformations plastiques d'une surface d'aluminium après passage d'un poinçon en V ...	15
Figure I.8 : Apparences d'une usure par corrosion	16
Figure I.9 : Usure ondulatoire	17
Figure I.10 : Paramètres géométriques caractéristiques de l'usure ondulatoire	17
Figure I.11 : Evolution du profil de roue suivant le processus d'usure	19
Figure I.15 : Simulation numérique du profil de la pression de frettage	
Figure I.22 : Evolution de l'usinage avancé et élimination de phase de fabrication exemple de l'outillage de forgeage	
Figure I.24 : Les modes d'usinage (A : modes de balayage ; B : usinage à Z constant)	
Figure 2.1 : Schéma d'un bogie ferroviaire (image Siemens). On y retrouve les roues, montées sur des essieux. Le boudin des roues est aussi visible.....	
Figure 2.2 : Les différentes parties de la roue.....	

Figure 2.3 : Types des roues A : Roues droites : locomotives et métros. B : Roues courbes : wagons de marchandises.....

Figure 2.4 : Matières utilisées pour fabrication des roues ferroviaires.....

Figure 2.5 : Action de freinage

Figure2.6. a : Usure de la table de la roue ferroviaire.....

Figure2.6. b : Usure du boudin de la roue ferroviaire

Figure2.7 : Un essieu ferroviaire orienté vers le reprofilage.....

Figure3.1 : Tour en fosse en repos.....

Figure3.2 : Emplacement de la roue sur galets.....

Figure3.4 : Jauge QR.....

Figure 4.1 : Jauge de diamètre

Figure 4.2 : Profilomètre

Figure 4.3 :Machine-outil CNC a 2axes

Figure 4.4 : Emplacement de l'essieu dans le mandrin.....

Liste des tableaux

Tableau 4.1 : Caractéristiques de la machine-outil.....

Tableau 4.2 : Liste des ordres G.....

Tableau 4.2 : Liste des ordres M.....

Tableau 4.2 : Liste des cycles.....

Résumé

Ce travail du projet de fin d'étude traite un problème très important dans le domaine ferroviaire. C'est l'usure et la fatigue d'un essieu ferroviaire, ses causes, et ses solutions.

Pour développer ce sujet on a parlé des composants du train et leur rôle aussi on a proposé une solution qui s'appuie sur l'outil informatique ainsi la commande numérique des machines-outils pour des résultats plus rapides, plus efficaces et plus précis. Accompagnée d'une gamme d'usinage et d'un programme.

ملخص

يعالج هذا العمل الذي يُعنى به مشروع نهاية الدراسة مشكلة بالغة الأهمية في قطاع السكك الحديدية. إنه ارتداء وتعب محور السكك الحديدية، وأسبابه، وحلوله.

لتطوير هذا الموضوع تحدثنا عن مكونات القطار ودورها كما اقترح حلا يعتمد على أداة الكمبيوتر وكذلك التحكم الرقمي في الآلات المجهزة بأدوات لنتائج أسرع وأكثر كفاءة وأكثر دقة. مرفقا بمراحل التصنيع وبرنامجا

Abstract

This work of the end of study project deals with a very important problem in the railway field. It is the wear and fatigue of a railway axle, its causes, and its solutions. To develop this subject, we talked about the components of the train and their role also we proposed a solution which is based on the informatic tool and numerical control of machine tools for faster, more efficient and more precise results. Accompanied by a range manufacturing stages and a program.

Introduction générale

Le transport par rail a joué dès le début de première industrielle, un rôle central dans le développement économique des pays. La conception du bogie ferroviaire, fut l'une des premières grandes innovations technologiques qui a donné une impulsion à une série d'importantes mutations en matière de transport terrestre.

Le transport ferroviaire constitue actuellement l'un des moyens les plus importants et les plus performants du transport terrestre de passagers et de marchandises. Ce développement qui s'est produit sur plus d'un siècle, s'est accompagné d'une augmentation régulière des vitesses des trains, des charges et du trafic que les voies de chemins de fer doivent supporter.

L'augmentation du trafic ferroviaire est accompagné par l'apparition d'un certains nombres de problèmes d'exploitation dus essentiellement à des défaillances relevées par plusieurs références et rapport d'expertise au niveau des principaux éléments du bogie. Le contexte de l'étude a été choisi suite à l'apparition de dysfonctionnements survenus au niveau des autorails, de manière générale, où il est constaté que les causes principales sont imputées au bogie.

Parmi les causes relevées, la fatigue et la fissuration de l'essieu ferroviaire ce qui a provoqué une réduction de la durée de vie.

La prédiction de la durée de vie en fatigue du l'essieu ferroviaire représente un enjeu industriel important. Ce phénomène est induit par des sollicitations cycliques dont l'amplitude peut être inférieure à la limite d'élasticité du matériau. Des méthodes et outils numériques permettent d'optimiser le dimensionnement et ainsi d'augmenter la résistance des structures tout en diminuant leur masse. Les trois étapes du phénomène : amorçage, propagation des fissures et rupture de la pièce recouvrent des phénomènes complexes et difficiles à prédire.

Les bureaux d'étude sont parfois confrontés à des problèmes de conception et d'intégration, exploitent de plus en plus les résultats des modèles numériques. Aujourd'hui, on parle de maquette numérique de comportement mécanique globale. La modélisation numérique est devenue un outil incontournable pour gagner plus de temps et pour faciliter la mise en forme des systèmes complexes. La présente étude s'inscrit dans cette thématique.

Le mécanisme étudié est donc l'essieu ferroviaire de l'autorail afin de contribuer à la détermination des causes probables ayant conduit à la fatigue précoce de certains éléments, tel que les bogies et les châssis. Il est important de rappeler que les axes contribuent à la transmission du couple des moteurs jusqu'aux roues et la transmission des efforts exercés par la caisse jusqu'aux roues. Le bogie constitue un dispositif mécanique d'une grande importance dans l'architecture du train. D'un point de vue fonctionnel, les organes qui le constituent sont les suivant : le châssis, les deux ensembles (essieux roues), les trois ensembles (ressort, boîtes d'essieux, disques de freins).

L'objectif de ce travail consiste à présenter une maquette numérique en utilisant EMCO WinNC SINUMERIK 810D/840D et de faire une modélisation des organes critiques sous chargement statique et dynamique dans le but de donner des explications logiques concernant les causes des dysfonctionnements de ces organes. Ainsi notre mémoire est structuré en quatre chapitres avec une introduction et une conclusion générale.

- Le premier chapitre est consacré à une revue bibliographique traitant; d'une part, le processus de fonctionnement des bogies, des essieux et ainsi conduire à la compréhension du processus de fatigue et d'usure des roues, éléments de bogies les plus exposés à ces processus de détérioration et d'autre part, à une présentation synthétisée de l'usinage avancé et de la fabrication moderne.

- Le deuxième chapitre est, quant à lui, consacré à la présentation des essieux, des roues de wagons, les étapes de leur fabrication et le type d'usure des roues ferroviaires qui se présente au traitement dans l'atelier de maintenance ferroviaire de Annaba.

- Le troisième chapitre énonce la retouche ainsi que les moyens mis à cette fin par l'atelier de maintenance ferroviaire d'Annaba pour régénérer les roues.

- Le quatrième chapitre est la présentation de la contribution modeste dans le cadre de ce projet de fin d'étude.

Chapitre 1

Recherche

bibliographique

I.1 Introduction

Le transport ferroviaire est un moyen rapide, confortable et plus écologique. Les voitures ou les wagons des trains sont supportés par des bogies, chaque bogie possède deux essieux-axes et quatre roues.

Ce chapitre est consacré à une revue bibliographique récente, traitant de la question des différents accidents ferroviaires et les causes qui les provoquent, l'accent a été mis sur le ou les approches expérimentales et numériques sur le rôle de l'axe et du châssis ferroviaire où plusieurs incidents sont imputés à la fatigue du châssis et à la fissuration de l'axe.

I.2 Les éléments de dessous du train ferroviaire

Le bogie (ou boggie) est un chariot situé sous un véhicule ferroviaire. Il désigne l'ensemble composé par la structure, les essieux et les roues qui y sont fixés (Figure I.1). Il sert de liaison mobile entre les essieux et le châssis du véhicule (locomotive ou motrice, wagon ou voiture). La fonction essentielle des bogies est de faciliter l'inscription en courbe. En effet, les bogies peuvent pivoter indépendamment les uns des autres, ce qui autorise des rayons de courbure plus faibles, et un éloignement plus important entre les essieux, qu'ils soient moteurs ou porteurs. Le bogie assure aussi les rôles de freinage, d'interface entre la signalisation sur voie et la caisse de suspension de la voiture ou de la motrice, et parfois de traction.

Les essieux sont les organes essentiels des dispositifs de roulement des engins sur rails. Ils supportent les véhicules, permettent leur déplacement, leur guidage, et transmettent les efforts de traction et de freinage grâce à l'adhérence de leurs roues sur les rails.

Un essieu de wagon est composé d'un axe cylindrique qui supporte le poids du véhicule, de deux roues solidaires de l'axe et, suivant la technologie de freinage, de deux disques. L'ensemble rigide formé par ces différentes parties assemblées porte le nom « d'essieu monté ». Le montage garantit la solidité de l'ensemble, le comportement dynamique aux différentes sollicitations et le respect de l'écartement des rails.

L'axe tourne avec les roues. Ceci est une différence importante entre le matériel roulant ferré et les modes de transports routiers pour lesquels les roues tournent autour des moyeux fixes. Cette disposition des essieux montés de chemins de fer est nécessaire pour maintenir l'écartement des roues rigoureusement constant ainsi que pour assurer leur montage aux extrémités du bogie.

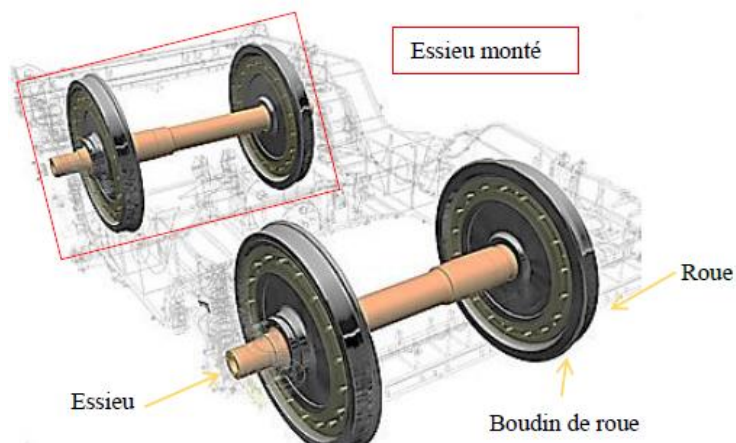


Figure I.1 : Images d'essieu ferroviaire monté (images Siemens).

Les roues sont constitutives d'essieux rigides, les inscriptions en courbe sont réalisées par le profil conique de la roue. Le déplacement latéral est limité par les boudins de roue qu'il faut graisser pour éviter une usure prématurée des rails. Le boudin est la partie intérieure d'une roue, il assure le guidage sur la voie ferrée et réduit les risques de déraillement [1]

I.3 Usure des roues ferroviaires

I.3.1 Définition de l'usure et ses différents mécanismes

L'usure d'un solide est généralement défini comme une perte de matière, un mouvement de matière ou une transformation de matière en surface du solide sous l'effet d'une interaction avec un autre milieu solide, dans notre cas, mais ça peut également être un fluide.

Une répartition des mécanismes à l'origine de l'usure dans l'ensemble des milieux industriels a été proposée (figure I.2).

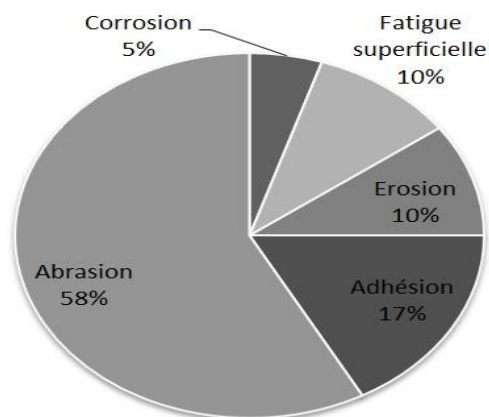


Figure I.2 : Importance relative des mécanismes d'usure dans l'industrie.

La corrosion qui résulte d'une interaction chimique de la surface avec le milieu environnant ne sera pas abordée dans ce projet. L'érosion est provoquée par l'écoulement d'un fluide, généralement chargé de

particules, contre une surface alors que la fatigue superficielle est provoquée par le passage répété d'un contact localisé.

Ce processus d'usure de contact avec un autre corps est particulièrement caractéristique dans les roulements et les engrenages. Des contraintes de cisaillement élevées se développent sous la surface et conduisent progressivement à l'écaillage de la surface (voir figure...). L'usure des roues ferroviaires est expliquée justement par les deux principaux mécanismes qui sont l'abrasion et l'adhésion. Ils apparaissent dans les contacts où les surfaces sont en glissement relatif, comme c'est le cas des roulements et des engrenages. Il faut noter aussi que ces deux mécanismes sont provoqués par un frottement. Une usure thermique peut être additionnée, elle est liée à une fusion locale d'un des matériaux en contact.

❖ Usure adhésive

Elle se développe lorsque des forces d'adhésion se développent entre les surfaces mises en contact. Elle est causée par le cisaillement des jonctions formées entre deux surfaces en contact et c'est pour cette raison que parfois elle est dénommée usure par glissement à sec.



Figure I.3 : Usure par adhésion

L'usure adhésive s'exprime :

$$\tau_a = f_a p_m$$

où p_m est la pression moyenne de contact

f_a est la contribution adhésive du coefficient de frottement.

Dans le cas du contact sphère plan, l'application d'une pression conduit à la création d'une contrainte de cisaillement sous la surface. Elle s'exprime :

$$\tau_0 \approx 0.31 p_0 = 0.2 p_m$$

Ces deux contraintes sont du même ordre de grandeur. On comprend alors qu'il est parfois plus facile de rompre le matériau, le moins résistant, sous sa surface, plutôt que de rompre la

liaison adhésive. C'est justement ce mécanisme qui est à l'origine de l'usure adhésive. Celle-ci se caractérise donc par des arrachements irréguliers de matière sur les surfaces. Les particules d'usure arrachées du matériau le plus tendre vont adhérer sur l'antagoniste. Le matériau le plus tendre va donc se retrouver à frotter contre lui-même. D'autre part, la topographie des surfaces et donc les pressions de contact vont changer.

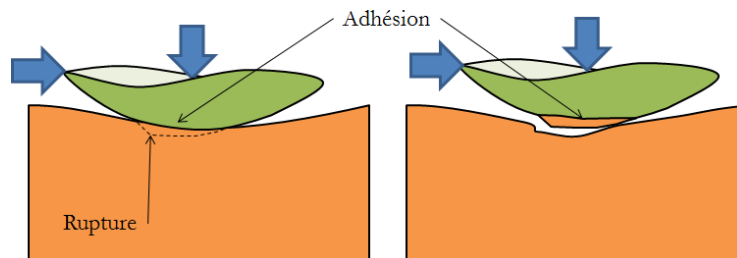


Figure I.4 : Mécanisme de l'usure adhésive

L'adhésion dépend de l'énergie de surface des matériaux et plus particulièrement de leur travail d'adhésion w_{ad} . Lorsque les pressions de contact sont élevées et que les matériaux ont un travail d'adhésion élevée, il est possible d'atteindre un régime sévère d'adhésion où les surfaces deviennent soudées. Dans ce cas, le mécanisme de contact est complètement bloqué, on parle alors de grippage (voir figure I.5).

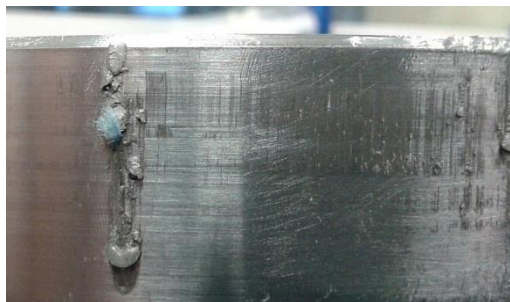


Figure I.5 : Manifestation sévère de l'usure adhésive..

❖ Usure abrasive

Un solide rigide vient indenter et labourer un matériau qui se déforme plastiquement (voir figure I.6-a). Le solide rigide peut être une particule dure qui s'est introduite dans le contact, on parle alors d'abrasion à trois corps. Le solide rigide peut être un des deux protagonistes du contact, il s'agit d'abrasion à deux corps.

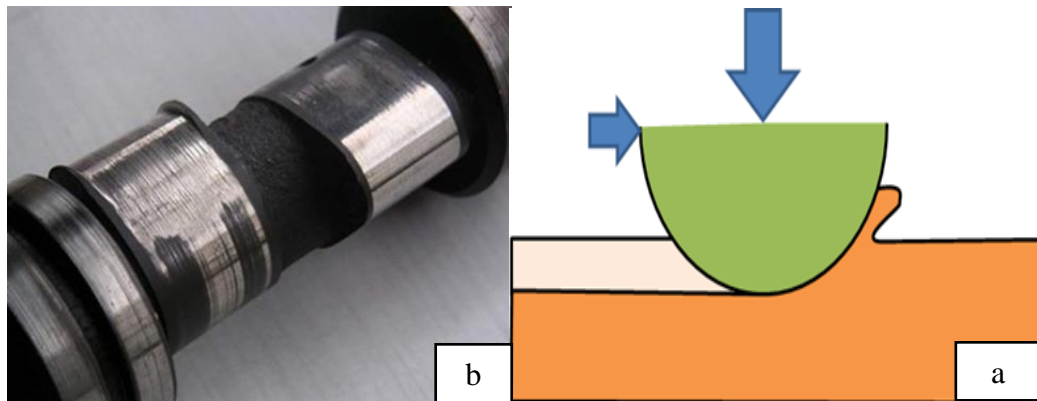


Figure I.6 : b) l'usure abrasive d'un arbre à cames. a) Mécanisme de l'usure abrasive.

L'usure abrasive est généralement limitée en augmentant la dureté du matériau le plus tendre.

Dans le cas d'abrasion à deux corps, il est souhaitable de réduire l'index de plasticité ψ afin de rester en régime élastique et limiter le labourage d'une des surfaces. Comme suggéré par l'index de plasticité, il est préférable que le matériau dur soit le plus lisse possible. Notons que l'usinage par abrasion, comme le rodage et le polissage, est une technique de production de surfaces.

La présente les déformations plastiques d'une surface métallique lors du passage d'un poinçon rigide. Dans le cas du passage d'un poinçon rigide sur une surface métallique, celle-ci se déforme plastiquement, il n'y a pas d'arrachement de matière mais une forte déformation avec notamment des plis de matière en surface (voir figure 1.7).

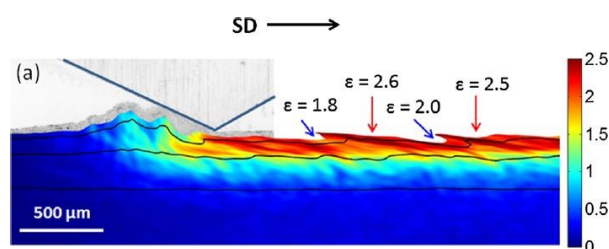


Figure I.7 : Déformations plastiques d'une surface d'aluminium après passage d'un poinçon en V.
(Mesures par PIV / MSY+15)

❖ Usure par corrosion

Ce type d'usure intervient dans les situations où le contact fonctionne en environnement corrosif. L'énergie dissipée dans le contact peut alors activer les phénomènes de corrosion et accélérer la dégradation des surfaces. Ce phénomène sera détaillé par la suite. Il n'est pas évident de trouver une bonne illustration des faciès caractéristiques de ce phénomène, mais d'une manière générale, il faut chercher sur les faciès l'indice d'une activité de la corrosion.



Figure I.8 : Apparences d'une usure par corrosion.

Les différents types d'usure dans l'industrie :

- l'usure par abrasion (+ usure par érosion) à 58%,
- l'usure adhésive (+ usure par petits débattements) à 23%,
- l'usure par fatigue de surface à 14%,
- l'usure-corrosion à 4%.

Il semble que les usures d'origine adhésive ou abrasive soient les plus fréquentes. En pratique, il convient toutefois de noter ici que les faciès d'usure observés expérimentalement présentent souvent des caractéristiques mixtes et qu'il n'est pas toujours évident de définir quelle forme d'usure prédomine.[2]

❖ Usure ondulatoire

L'usure ondulatoire est un phénomène d'usure périodique qui apparaît principalement sur la table de roulement des rails (Figure 1.9.a), mais aussi parfois sur celle de la roue (Figure 1.9.b), sous forme d'une alternance de zones brillantes et mates.

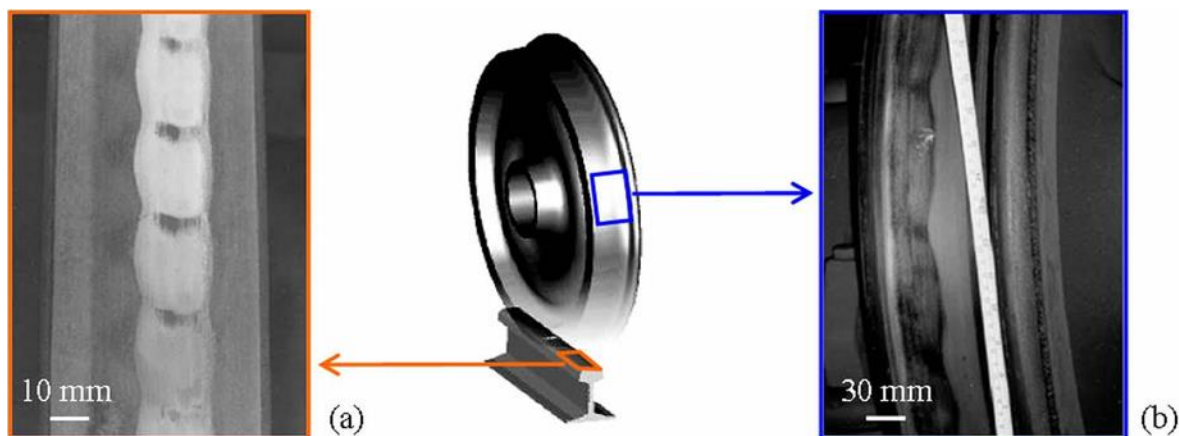


Figure I.9 : Usure ondulatoire présente à la surface d'un rail (a) et d'une roue (b)

L'espacement entre deux zones similaires (brillante-brillante ou mate-mate) est alors appelé longueur d'onde Λ de l'usure ondulatoire et peut varier entre 25 mm et 1 500 mm selon les sites observés. Sur une période, la différence de hauteur entre la zone la plus élevée, appelée bosse, et la zone la plus basse, appelée creux définit l'amplitude δ de l'usure ondulatoire (Figure 1.10).

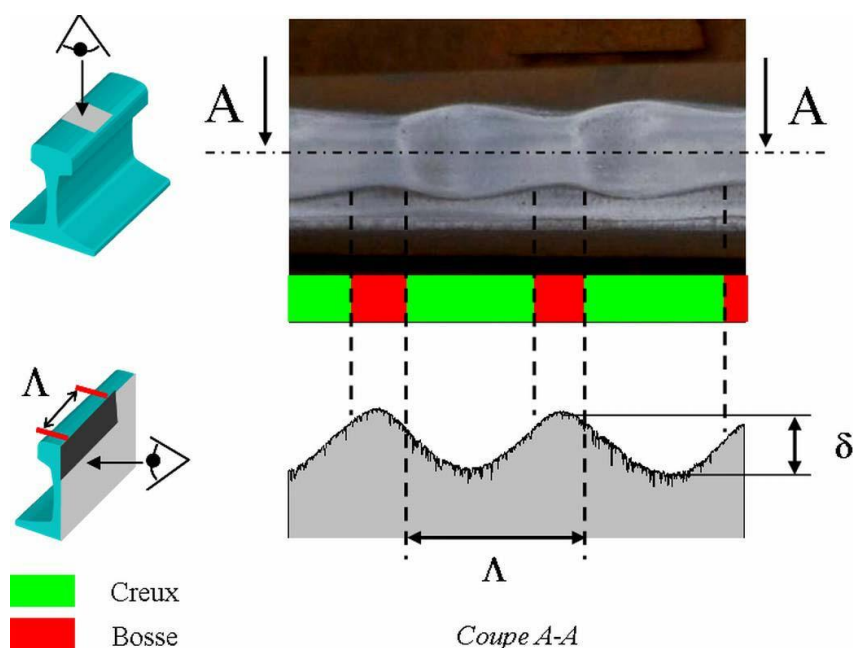


Figure I.10 : Paramètres géométriques caractéristiques de l'usure ondulatoire

L'usure ondulatoire a été l'objet de nombreuses études qui ont rapidement donné lieu à une abondance de publications scientifiques et techniques. Elle est mentionnée dans la littérature technique depuis 1889 en Grande Bretagne et depuis 1895 en Allemagne et aux Etats-Unis. En 2002

La revue bibliographique présentée au cours de cette partie n'a donc pas pour objectif d'être exhaustive mais de montrer simplement, au travers de l'évolution des démarches passées, comment l'étude des interactions dynamiques locales dans le contact roue-rail, pourtant à l'épicentre du phénomène d'usure ondulatoire, a été délaissée au profit d'analyses fréquentielles globales des interactions véhicule-voie [3].

I.3.2 Usure des roues pour deux couples de matériaux Semelle/Roue

➤ Matériaux des roues ferroviaires

Les matériaux les plus utilisés dans la production des roues ferroviaires sont les ER7 et ER8, définis dans la norme EN 13262. Ce sont des aciers à structure perlite-ferrite, avec une composition chimique aux teneurs maximales des différents éléments (voir tableau 1).

La jante de la roue est généralement durcie suivant le traitement thermique : 860 ° C / 5h / eau et 520 ° C / 5h / air.

Tableau 1 : Composition chimique des matériaux ER7 et ER8

Steel grade	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+Mo+Ni
ER7	0.52	0.40	0.80	0.020	0.020	0.30	0.30	0.08	0.30	0.06	0.50
ER8	0.56	0.40	0.80	0.020	0.020	0.30	0.30	0.08	0.30	0.06	0.50

Les propriétés mécaniques de base, qui devraient être atteintes après application du traitement thermique et avant l'usinage, c'est à dire à l'état final de production sont présentées dans le **tableau 2**.

Tableau 2 : Propriétés mécaniques des matériaux ER7 et ER8

Steel grade	Wheel rim			Wheel web	
	ReH	Rm	A5	dRm	A5
	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]	[%]
ER7	≥ 520	820–940	≥ 14	≥ 110	≥ 16
ER8	≥ 540	860–980	≥ 13	≥ 120	≥ 16

➤ Comparaison de l'usure des roues en ER8 pour des semelles en fonte et les semelles en composite

Cette comparaison est effectuée par analyse de la variation du diamètre des roues en fonction d'un parcours réalisé par les roues durant une période prédéfinie. Le taux d'usure est ainsi défini comme la diminution du diamètre de la roue en mm par 10000 Km de parcours.

Les résultats de cette analyse montrent que le taux d'usure pour les roues équipées de semelles en composite est de 4mm par 10000Km tandis qu'une valeur inférieure de 2mm par 10000km a été constatée pour les roues équipées de semelles en fonte.

L'écart constaté entre ces taux d'usure est dû d'une part à la différence de leur coefficient de frottement en contact avec l'acier ER8, et d'autre part au nombre de reprofilage subi par chaque type de roue. En effet, la diminution du diamètre est due essentiellement à la diminution du bandage de la roue suite au la reprise du profil conforme d'origine par usinage de la roue.

Comparativement aux semelles en fonte, les semelles en composite font évoluer rapidement les cotes caractéristiques du profil, comme indiqué dans les Figures I.11 et I.12, vers des valeurs hors intervalle de tolérance, ce qui impose la reprise conforme du profil original par l'usinage.

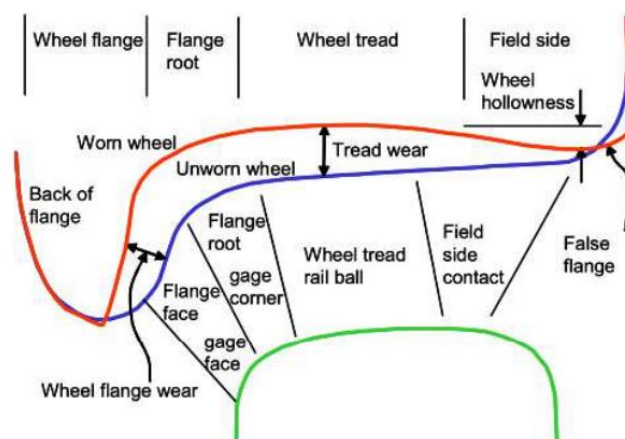


Figure I.11 : Evolution du profil de roue suivant le processus d'usure

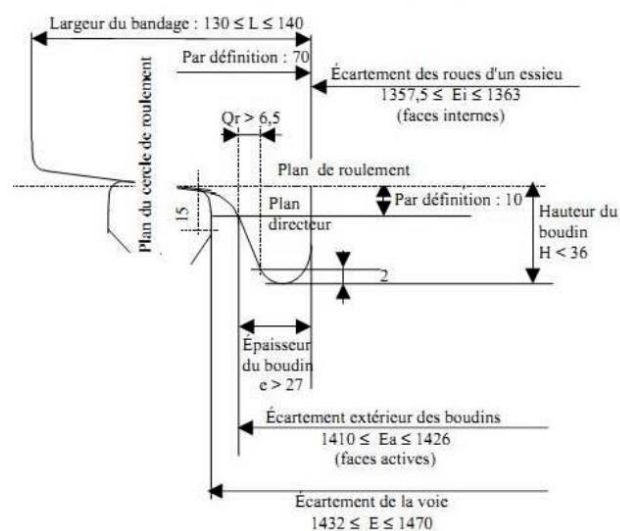


Figure I.12 : Cotes caractéristiques du profil de la roue

I.4 Fatigue des essieux ferroviaires

I.4.1 Fatigue et endurance

Les ruptures mécaniques dues au phénomène de fatigue ont engendré de nombreuses catastrophes. Toutefois, il convient de relativiser le nombre de structures ayant rompues par rapport au nombre de celles ne présentant pas de rupture grâce à un dimensionnement adapté. Les ruptures par fatigue sont bien souvent le fruit de l'interaction pénalisante de plusieurs éléments (chargements complexes, temps, environnement, multi axialité etc).

Sous chargement d'amplitude constante, il est généralement admis que les matériaux métalliques possèdent une limite de fatigue, c'est-à-dire qu'il existe un niveau de contrainte en dessous duquel aucun endommagement macroscopique de fatigue n'apparaîtra au bout d'un nombre de cycles très grand (infini en théorie). Différentes définitions physiques de la limite de fatigue existent. Dans certains cas, elle correspond à la contrainte minimale permettant l'amorçage d'une fissure à l'échelle du grain, celle-ci étant supposée se propager sous le même niveau de chargement jusqu'à rupture complète de la structure. Dans d'autres cas, la limite de fatigue est définie comme une limite de non propagation d'une fissure amorcée depuis un défaut sous chargement cyclique. Cette définition fait suite à des observations microscopiques ayant permis de mettre en évidence la présence de fissures de fatigue amorcées dans certains grains situés à la surface d'une éprouvette et bloquées contre des barrières microstructurales pour des niveaux de contraintes inférieures à la limite d'endurance. Ce dernier cas est plus délicat à traiter dans la mesure où l'estimation de durée de vie à l'amorçage d'une fissure macroscopique fait intervenir de nombreux paramètres inhérents à la microstructure.

I.4.2 Définition du phénomène de fatigue

On entend par fatigue ou endommagement par fatigue la modification des propriétés du matériau suite à l'application de cycles d'efforts, dont la répétition peut conduire à la rupture des pièces.

La rupture par fatigue apparaît de façon soudaine et imprévisible, contrairement à l'usure, à la déformation ou à la corrosion, qu'il est possible de détecter bien avant la rupture. L'étude de la fatigue des matériaux est particulièrement importante ; elle permet de déterminer la résistance mécanique d'éléments de machines et de structures soumises à des contraintes périodiques **et encore plus aux vibrations.**

I.4.3 La fatigue des essieux

L'assemblage entre l'essieu-axe et la roue est appelé opération de calage. Le serrage entre les deux pièces est obtenu par le fait que l'alésage de l'essieu à caler possède un diamètre légèrement inférieur à celui de la portée de calage de l'axe. La différence entre les deux diamètres définit le serrage. L'essieu-axe et les roues des trains sont assemblés par le mode de calage à la presse figure I.13

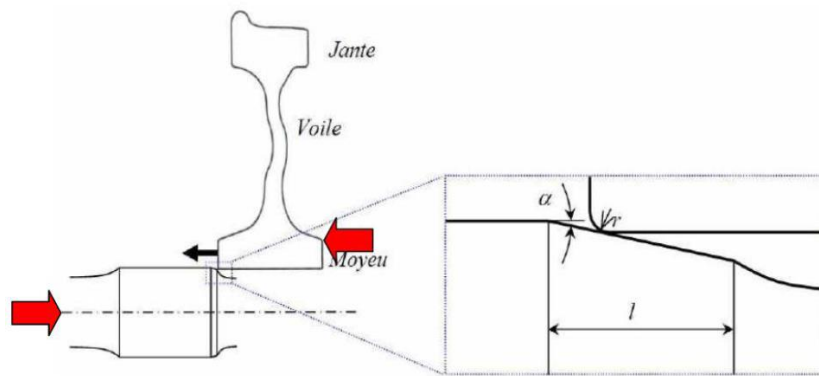


Figure I.13 : Opération de calage à la presse (assemblage) de l'essieu-axe et de la roue.

La portée de calage est lubrifiée au suif avant assemblage, le suif est un produit résiduel obtenu par la fonte de la graisse d'espèces animales, comme le mouton et le bœuf. Le suif présente l'avantage de perdre rapidement ses propriétés lubrifiantes, la liaison roue/essieu s'en trouve améliorée.

Les expertises par contrôles non destructifs, des composants industriels, révèlent des amorçages très précoces qui n'induisent pourtant pas de ruptures catastrophiques. Ainsi, on peut supposer que le système fonctionne dans les conditions de fissures amorcées non propageantes.

L'opération de calage est très sévère pour la surface d'essieu et aussi pour la sous-couche du matériau. Malgré la lubrification **au** suif, les contraintes de cisaillement sur la surface sont suffisamment importantes pour déformer le matériau dans le sens de glissement de la roue (voir figure I.14).

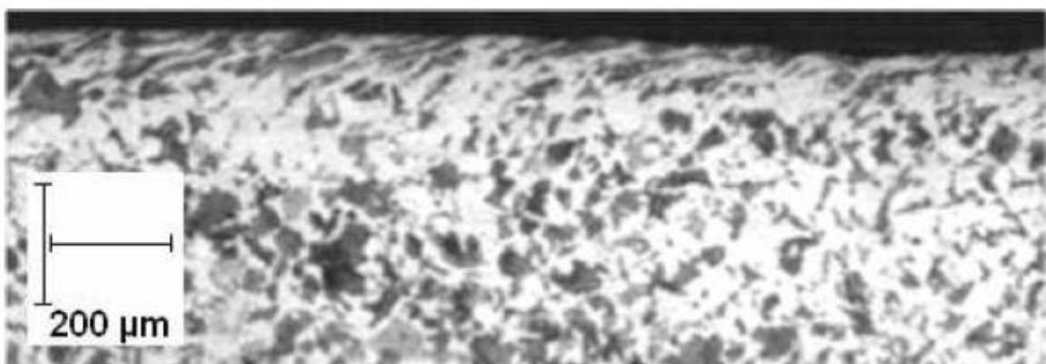


Figure I.14 : La zone déformée lors du passage de la roue pendant l'opération de calage.

La taille de la zone déformée dépend des propriétés mécaniques de la roue et de l'axe, ainsi que du coefficient de frottement dans le contact lubrifié, d'une part et d'autre part des caractéristiques géométriques locales de l'assemblage. Une autre incidence du calage est la génération de contraintes résiduelles importantes dans les deux pièces.

Cependant, les évolutions futures du design des axes (augmentation des vitesses) impliquent des niveaux de chargement plus sévères et donc des sollicitations de fatigue plus importantes. Ainsi, outre la condition d'amorçage, il devient nécessaire d'appréhender la condition d'arrêt de fissuration.

La position de la fissuration se situe entre la zone corrodée et la zone écrouie de la portée de calage. Les fissures sont toujours inclinées et orientées vers le centre de la portée de calage.

Le modèle d'assemblage essieu-axe/roue par Eléments Finis (EF) réalisé, a permis de calculer le profil de pression dans le contact après calage et un chargement de fatigue représentatif. La valeur maximale de pression est égale à $P_0 \text{ max} = 450 \text{ MPa}$ après, le décalage décroît jusqu'à une valeur de 400 MPa, après l'application d'un chargement de fatigue.

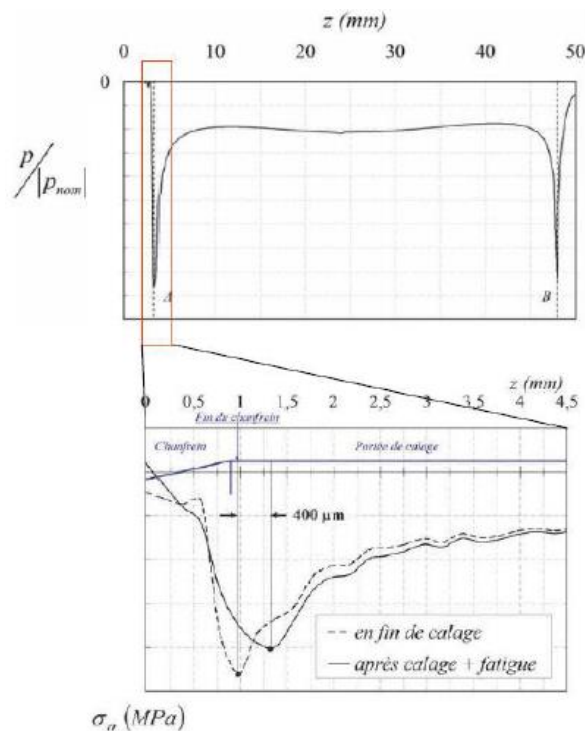


Figure I.15 : Simulation numérique du profil de la pression de frottement et de la contrainte radiale près du chanfrein.

L'expertise effectuée a montré la présence de corrosion et de transfert de matière entre la roue et l'essieu-axe. Cette zone de transfert se situe entre la zone de corrosion et la zone de fissuration (voir figure I.16).

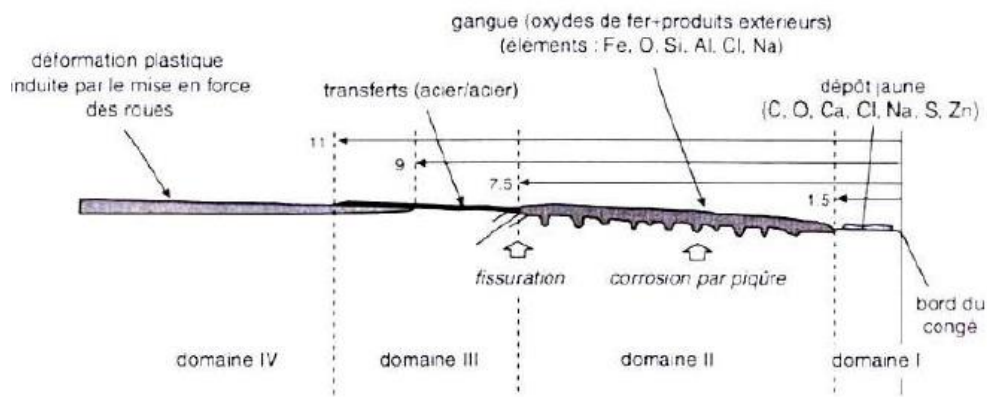


Figure I.16 : Représentation des dégradations du contact roue/essieu-axe, sur la portée de calage coté chanfrein.

Les premiers travaux sur l'étude de la rupture des systèmes ferroviaires ont commencé après l'accident de Versailles en 1842, cet accident a causé 100 morts à l'époque, quelques années plus tard en 1884 un autre accident a eu lieu au Royaume uni, dans cet accident vingt-quatre personnes ont perdu la vie. Ces accidents ont favorisé la naissance des nouveaux champs d'essai de la fatigue des matériaux, comme par exemple ceux représentés dans la Figure I. 16.

Fondamentalement, la fatigue a été mise en évidence et étudiée pour la première fois par l'ingénieur allemand Wöhler qui analysait les nombreuses ruptures d'axes de wagons de chemin de fer (voir figure I.17 (a)). Il montra grâce à des essais que le nombre de cycles jusqu'à la rupture d'un arbre dépendait de la contrainte maximale dans l'axe, contrainte de flexion variante entre plus et moins l'amplitude maximale à chaque tour de roue, et des détails géométriques de l'axe.

Wöhler fut ainsi le premier à établir des courbes de fatigue qui aujourd'hui portent son nom. La figure I.17 (b) présente un exemple de ces courbes telles que présentées par Wöhler. Elles montrent le nombre de cycles avant rupture pour des aciers en fonction de la contrainte alternée appliquée aux échantillons. Ces résultats montrent la forte diminution du nombre de cycles ou de la durée de vie causée par la présence d'une concentration de contraintes dans l'éprouvette.

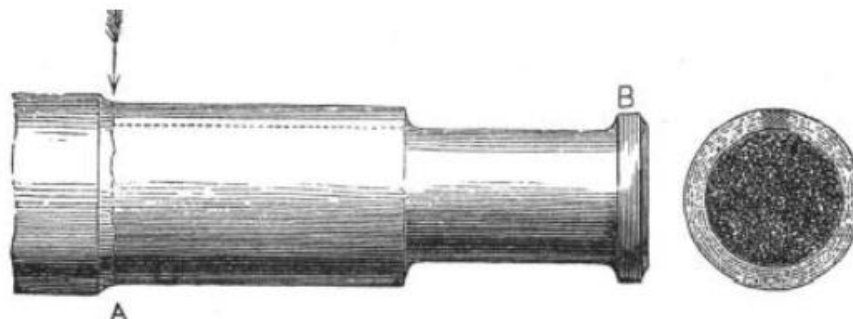


Figure I.17 (a) : Rupture d'un essieu ferroviaire.

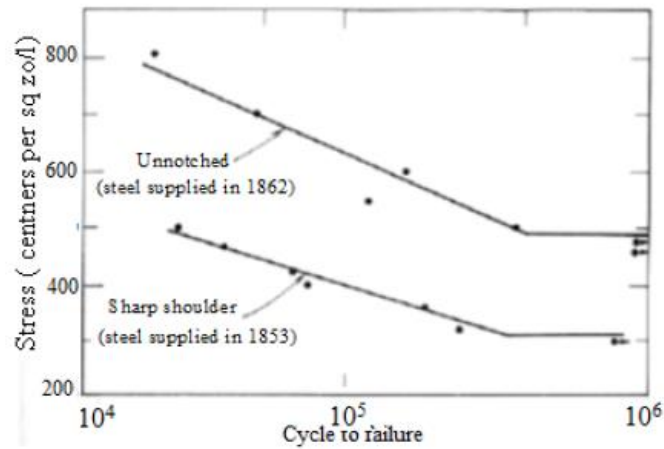


Figure I.17 (b) : Courbes de Wöhler.

Pour la mesure les efforts des essieux ferroviaire en service, Wöhler a utilisé la machine d'essai de fatigue des essieux, ce banc d'essai est illustré dans la figure I.18.

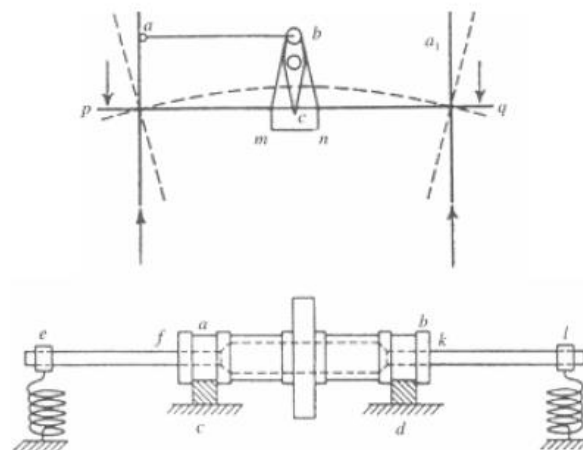


Figure I.18 : Machine d'essai de fatigue **des essieux** de Wöhler.

En 1848, des tests expérimentaux sur des barres de fer de grandes dimensions soumises à des charges alternées ont été effectués. Les résultats montrent que les charges de rupture sont abaissées jusqu'à deux tiers par rapport à la charge statique.

A titre indicatif et suite à un suivi global du comportement des essieux au Royaume Uni, un rapport établi a fait ressortir une moyenne de deux essieux défailants par année dans Royaume-Uni.

Les essieux-axes, réalisés en acier au carbone XC38 (EA1N) à l'état normalisé, sont soumis à des sollicitations de flexion rotative. Il existe donc un risque de rupture par la propagation de fissures en fatigue. Le dimensionnement actuel est réalisé à partir de méthode de calcul empirique développée **en** 1945. Cette méthodologie a pour objectif d'établir une durée de vie infinie de l'essieu. Cependant, l'augmentation de la vitesse et du poids des trains augmente le risque d'amorçage et de propagation

des fissures dans l'essieu. Il devient donc nécessaire d'améliorer la durée de vie des assemblages roue/essieu-axe de façon à garantir la sécurité de la circulation des trains.

En plus de la fatigue des essieux, l'initiation peut avoir lieu à d'autres endroits tels que la région de transition entre les deux principaux diamètres, le rayon de transition étant important (voir figure I.21). Aussi, une fracture dans la zone centrale des essieux est rapportée.

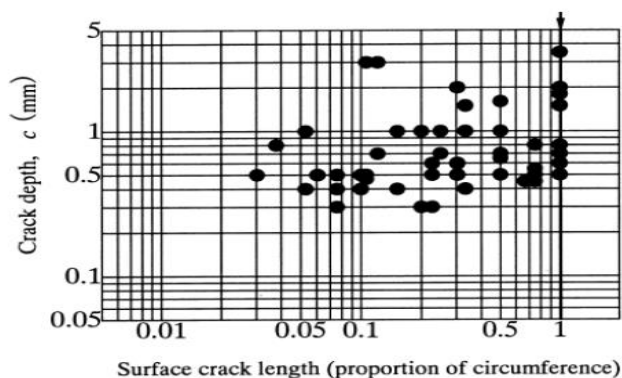


Figure I.19 : La taille des fissures détectées par ultrason.

A titre indicatif aussi sur le chemin de fer japonais, le nombre de défaillances des essieux des locomotives et leurs remplacements, entre 1955 et 1970, sont indiqués sur la figure I.20.

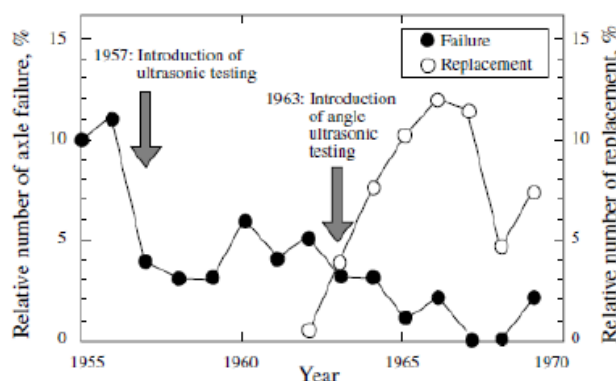


Figure I.20 : Nombre d'essieux défaillants et nombre d'essieux remplacés au Japon entre 1955 et 1970.

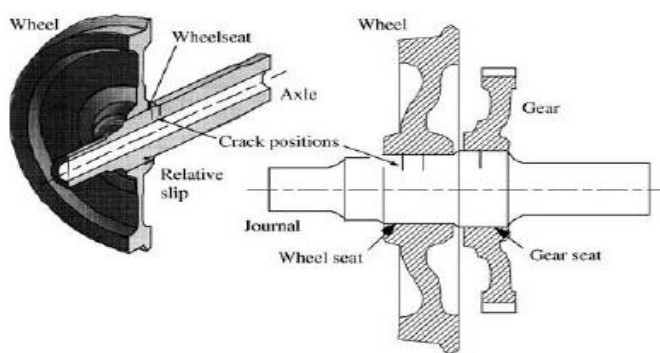


Figure I.21 : Positions typiques de l'initiation des fissures dans un essieu de chemin de fer [4].

I.5 Usinage avancé

I.5.1 Développement de l'usinage moderne

L'usinage par enlèvement de matière est le moyen le plus fiable pour obtenir des pièces de précision, à partir de pièces laminées, moulées, extrudées, forgées,...etc.

Le procédé est, par contre, relativement coûteux pour causes l'utilisation de machines-outils aux coûts élevés et d'opérateurs qualifiés. Il est considéré relativement lent par rapport aux procédés classiques de moulage et de forgeage. En mécanique, une tendance actuelle est au remplacement des pièces obtenues par moulage ne nécessitant pas d'usinage. Cela est confirmé par l'emploi excessif du plastique ou le Zamac (Zn, Al, Mg), mais les qualités techniques, comme la résistance à la chaleur ou la limite élastique, sont encore loin d'égaliser celles de l'acier ou des alliages d'aluminium.

Les pièces mécaniques en alliages et l'usinage occupent encore une place de choix dans les différentes industries, encore plus dans les industries mécaniques. Dans ce domaine technologique, la recherche scientifique marque aussi des pas et deux axes de recherche en fabrication mécanique se développent particulièrement, il s'agit de l'UGV ou Usinage à Grande Vitesse et les machines à axes parallèles qui offrent une grande mobilité de la tête d'usinage. Evidemment ces technologies ont fait leur apparition, grâce à la Commande Numérique ou CN.

Le développement qualitatif de la fabrication avancée et de la productique mécanique est du en grande partie à l'évolution technologique des machines-outils par la CNC, l'UGV et les multiaxes.

I.5.2 L'Usinage à Grande Vitesse UGV

En UGV, tout d'abord, les efforts de coupe sont considérablement réduits ce qui fait que la pièce subit moins de déformation. Ensuite, la chaleur est rapidement évacuée par les copeaux, elle n'a pas le temps de pénétrer dans la pièce. Enfin, moins sollicitée en température, la pièce conserve sa stabilité dimensionnelle originelle. La réduction des efforts de coupe et de la chaleur donnent un franc écoulement plastique du matériau dans la zone de cisaillement.

Ces principaux fondements de l'UGV donnent des avantages directs tels :

- l'amélioration de l'état de surface des pièces à usiner, leur donnant une précision supérieure;
- l'augmentation du débit des copeaux qui autorise une meilleure productivité pouvant être multipliée par un facteur de 3 à 10;
- l'usinage de pièces qu'il était impossible d'usiner auparavant avec les moyens conventionnels (comme les voiles minces en aéronautique, par exemple).

I.6 Machine-outil à commande numérique, CFAO et centre d'usinage

I.6.1 MOCN et CFAO

Une machine-outil à commande numérique (MOCN, ou simplement CN) est une machine-outil dotée d'une commande numérique. Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle parfois de machine CNC pour "Computer Numerical Command" en anglais et en "Commande Numérique par Calculateur" en français.

Par extension, on appelle "commande numérique" l'armoire de commande recevant le programme d'usinage sous forme d'un ruban perforé, d'une bande magnétique, ou d'une codification issue d'un ordinateur. On désigne parfois ainsi la machine complète équipée d'un tel dispositif. On parle d'un tour à commande numérique, ou d'une fraiseuse à commande numérique, par opposition à un tour conventionnel ou une fraiseuse conventionnelle, dont les mouvements sont commandés manuellement ou par un dispositif automatisé d'une façon figée.

Le fichier de définition numérique, qu'on appelle aussi DFN - numérisation ou même tout simplement « num », est un fichier informatique généré par CAO, qui remplace de plus en plus le plan sur la traditionnelle planche à dessin. CATIA est actuellement l'un des logiciels les plus utilisés pour établir les DFN dans les domaines de l'automobile et de l'aéronautique.

Sur ces définitions de CAO, doivent ensuite être calculés des parcours d'outil au moyen de logiciels de FAO. Ces parcours seront ensuite traduits dans un langage compréhensible par la « commande numérique».

On constitue ainsi la chaîne numérique de CFAO et on parle chez les anglo-saxons de *F2F* signifiant "*file to factory*", traduit en français "*du fichier à l'usine*".

I.6.2 Types de MOCN

Dans le domaine de la fabrication mécanique, le terme « commande » désigne l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine-outil :

- l'outil (ou les outils) d'usinage équipant la machine,
- les tables ou palettes où sont fixées les pièces,
- les systèmes de magasinage et de changement d'outil,
- les dispositifs de changement de pièce,
- les mécanismes connexes, pour le contrôle ou la sécurité, l'évacuation des copeaux, ...

On peut aussi découper la famille des machines à commandes numériques, par leurs opérations, en quatre sous familles :

- fraisage à commande numérique (FCN) ;

- tournage à commande numérique (TCN) ;
- usinage à commande numérique (CUCN) ;
- rectification à commande numérique (RCN);
- électro-érosion à commande numérique (EECN).

Dans chaque famille, les méthodes de montage et de travail sont totalement différentes, mais elles se rejoignent sur le principe de programmation, la grande majorité des machines utilisant un langage ISO. À cela peuvent se rajouter des interfaces dites conversationnelles ou par apprentissage qui simplifient l'utilisation de la machine.

Les machines à commande numérique s'étendent aussi au domaine de la chaudronnerie : découpage plasma, soudage, pliage.

I.6.3 Architectures et structure des machines-outils à commande numérique

Pour réaliser le lien structurel entre l'outil et la pièce, deux familles d'architecture existent (Figure 1.7)

- L'architecture série : Une seule chaîne cinématique réalise le lien entre l'outil et la pièce, elle est constituée de l'association en série de liaisons paramétrées élémentaires.
- L'architecture parallèle : L'outil est relié à la pièce par plusieurs chaînes cinématiques indépendantes qui sont chacune constituées d'une ou plusieurs liaisons paramétrées élémentaires associées en série.

Les programmes d'usinage sont réalisés à partir d'une origine, appelée « origine programme » (OP), positionnée par le programmeur. Le programme commande les déplacements relatifs entre le brut et les outils dans le but de réaliser l'usinage de la pièce finale. Ces déplacements sont réalisés dans un repère orthonormé normalisé basé sur la structure de la machine.

L'axe de ce repère est un axe confondu avec celui de la broche de la machine — axe de rotation de la fraise en fraisage et axe de rotation de la pièce en tournage. Le sens positif de cet axe est donné par le sens d'éloignement de l'outil par rapport à la pièce. La détermination de l'axe entre les 2 axes restants se fait en identifiant celui qui permet le plus grand déplacement. Le sens positif de celui-ci est déterminé par le sens logique d'éloignement de l'outil par rapport à la pièce.

L'axe est déterminé à partir de ___ et ___ grâce à la règle du trièdre direct.

I.6.4 Centres d'usinage

Les machines-outils spécialisées (aléseuses-perceuses, fraiseuses) à commande numérique ont évolué en centres d'usinage à commande numérique permettant de réaliser des opérations d'usinage diverses et donc de réaliser des formes complexes sans démontage de la pièce. Ces centres d'usinage sont généralement équipés de magasins d'outils (tourelles, tables, chaînes) sur lesquels sont disposés les

différents outils. Les changements d'outils équipant la (ou les) tête(s) d'usinage sont programmés en fonction de la définition numérique de la pièce.

Les pièces sont désormais usinées très rapidement, avec une précision toujours croissante. Seulement, l'usinage ne représente que 15 % du temps du cycle total de production. Celui-ci comprend : le changement d'outils, l'acheminement de la pièce, le positionnement broche/outil, l'évacuation de la pièce,...etc. Pour une performance maximale, le centre d'usinage doit prendre en compte, non seulement le temps d'usinage proprement dit (temps copeau), mais également et surtout, le temps hors usinage, qui représente à lui seul les 85 % restants du temps du cycle total de production.

I.7. Usinage des pièces de formes complexes

Dans l'industrie, il existe des pièces de formes complexes destinées à des différentes fonctions. Parmi les pièces aux formes complexes, on peut citer : les aubes de turbine, les pièces de poches complexes, les moules, ...etc. L'outillage est aussi concerné par les formes complexes.

Ainsi, les matrices d'emboutissage, les moules d'injection, les poinçons à petites cavités et les outillages de forges peuvent être classés dans la catégorie des pièces de formes complexes.

Les matrices d'emboutissage sont considérées comme telles parce qu'elles sont composées de formes tendues, décrites par des surfaces obtenues par modèle polynomiaux (BSpline, Bezier, NURBS). Les moules d'injection et les poinçons rentrent aussi dans cette catégorie, non pas par le format de description de leur géométrie, mais plutôt par la topologie de leur surface. Enfin les outillages de forges possèdent tous des cavités de formes et de tailles différentes. Ainsi leur topologie est plutôt qualifiée de compliquée c'est pourquoi ils font parties des pièces de formes complexes.

Par ailleurs, l'apparition des technologies de l'U.G.V, de l'usinage dur et des MO multiaxes, les procédés d'usinage se sont développés et les gammes d'usinage se sont fortement simplifiées. A titre indicatif, par exemple, la phase d'électroérosion, autrefois réalisée par une machine spécialisée, a presque disparue des gammes de fabrication car désormais les phases préalables de mise en forme, d'amélioration des ébauches sont devenues de plus en plus performantes et même réalisables par des MOCN (figure I.22). Aussi, grâce au phénomène adiabatique, lors de la coupe en U.G.V, la phase de traitement thermique peut se faire en amont de toutes les opérations d'usinage. L'autre réduction des phases de fabrication des pièces est donnée par la combinaison de l'UGV et de l'usinage dur. Cette combinaison élimine les phases de rectification et de polissage, même dans le cas des pièces de formes complexes à grandes cavités. L'apport de l'U.G.V va nous permettre d'obtenir la qualité souhaitée en resserrant les passes sans avoir un temps d'usinage trop important, car on peut avancer beaucoup plus vite qu'en usinage traditionnel.

Ces suppressions ne se feront qu'avec une maîtrise totale des technologies de l'U.G.V, de l'usinage dur et de la programmation des machines multi-axes.

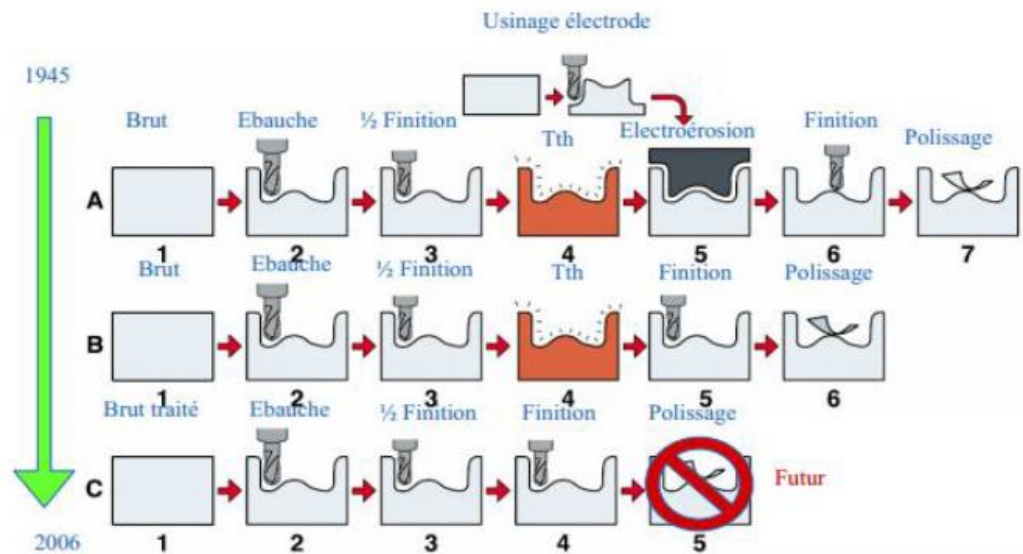


Figure I.22 : Evolution de l'usinage avancé et élimination de phase de fabrication, exemple de l'outillage de forgeage.

Le processus d'élaboration des pièces de formes complexes doit garantir la fidélité entre la pièce et les spécifications fonctionnelles exprimant l'idée initiale de design.

Le processus se découple en une activité de conception et une activité de fabrication. On construit tout d'abord un modèle géométrique, à partir des spécifications fonctionnelles. Il constitue le modèle de référence de la maquette numérique. Les trajectoires de l'outil, permettant l'usinage de la pièce ou de son empreinte (dans un moule ou une matrice), sont calculées par le module de FAO.

Finalement la pièce est usinée selon les trajectoires précédemment calculées.

Chaque maillon du processus est susceptible d'introduire des écarts entre la géométrie de la pièce réalisée et celle escomptée.

Le premier problème est la dégradation de l'information lors de l'expression de l'idée du concepteur en données géométriques dans le modèleur 3D.

En effet, les techniques de construction des surfaces restent limitées, elles ne permettent pas toujours de réaliser les formes souhaitées par le concepteur ainsi que les raccords entre surfaces nécessaires à un usinage précis.

L'utilisateur est tributaire des fonctionnalités du logiciel mis à sa disposition. La forme résultante ne correspond donc pas forcément à l'intention du concepteur mais est la plus proche représentation géométrique que le modelleur permette d'obtenir. En outre, les spécifications fonctionnelles ne sont pas exprimées en tant que telles, seule la géométrie les satisfaisant est définie dans le modèle CAO.

La construction du produit passe par la déclaration d'éléments géométriques dans le modelleur. Les surfaces canoniques sont spécifiées par des dimensions caractéristiques telles que des angles et des distances.

En ce qui concerne les surfaces complexes, leur construction repose sur l'association de surfaces par interpolation ou approximation d'éléments géométriques tels que des lignes de style ou des lignes d'écoulement hydrodynamique ou aérodynamique, ou bien des nuages de points.

Cependant, une telle démarche ne garantit pas la définition univoque d'une surface, car entre deux courbes d'interpolation, la forme de la surface dépend du mode d'association utilisé.

Dans la plupart des cas, l'évolution de la forme n'est pas spécifiée explicitement mais on s'assure qu'elle possède les qualités requises, telles qu'une évolution douce.

I.8 Stratégie et modes d'usinage

Chaque logiciel propose ses stratégies d'usinage. Il est donc difficile de dégager une généralité applicable à tous les systèmes. Nous rappelons que la stratégie d'usinage est le choix des mouvements de l'outil nécessaires à la réalisation de la forme attendue. Très simple, quand il s'agit d'une opération de surfacage en usinage conventionnel, la stratégie d'usinage peut être plus compliquée dans le cas de l'usinage d'une poche ou d'une pièce 3D en UGV.

Principalement, l'attention se focalise sur le mouvement de l'outil en contact avec la pièce, pour réaliser la forme attendue, et sur les modes d'entrée et de sortie de la matière.

Une stratégie d'usinage est une méthodologie utilisée pour générer une série d'opérations, dans le but de réaliser une forme donnée. Elle permet d'associer un processus d'usinage à une entité d'usinage, c'est-à-dire un ensemble d'opérations comprenant la définition des outils, des conditions de coupe et des trajets d'usinage (figure I.23).

Afin de préciser l'ensemble des paramètres intervenant dans l'application d'une stratégie d'usinage, nous développons maintenant la notion de stratégie d'usinage de finition des pièces de formes complexes. Une stratégie d'usinage de finition est une méthodologie utilisée pour générer une opération dans le but de réaliser une entité géométrique dans sa forme finale. Le choix d'une stratégie d'usinage de finition est un problème sous contraintes associées au défaut de forme et à l'état de surface.

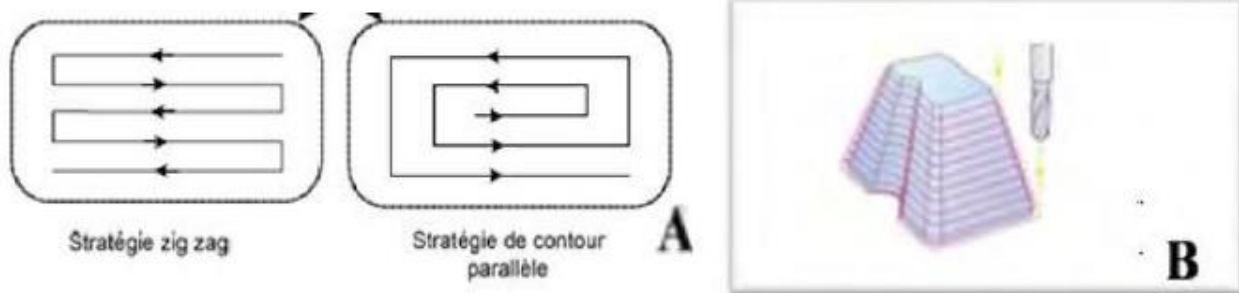


Figure I.23 : Les modes d'usinage (A : modes de balayage ; B : usinage à Z constant)

Parmi les stratégies les plus connues, on peut citer :

- **Stratégie d'usinage en contour zigzag** : où le déplacement de l'outil suit une seule direction parallèle à la surface usinée (figure I.24-A).
- **Stratégie d'usinage en contour spirale** : où la direction de déplacement de l'outil correspond à une opération d'usinage homothétique au contour de la poche. L'outil peut parcourir la poche de l'intérieur à l'extérieur ou inversement (figure I.24-A).
- **Stratégie d'usinage en contour parallèle** : où la direction de déplacement de l'outil correspond à des contours parallèles homothétiques au contour de la poche. On utilise les contours de la poche pour construire des trajectoires décalées les unes à l'intérieur des autres. Ces morceaux de trajectoires sont ensuite reliés entre elles par des trajectoires d'entrée en matière (figure I.24-B).

I.9 Programmation en fabrication et les logiciels

I.9.1 Généralités sur la programmation

La programmation émergente s'appuie sur plusieurs concepts véhiculés par le standard STEP-NC et la norme ISO 14649 :

- ❖ Le premier concept étudie l'évolution de la programmation actuelle vers la programmation basée entités et l'enrichissement du standard STEP-NC. Pour ceci, deux approches sont proposées : l'intégration de stratégies d'usinage à motifs avec pour application l'usinage trochoïdal, le tréfilage et l'élaboration d'un modèle fonctionnel STEP-NC des MOCN.
- ❖ Le deuxième concept étudie, quant à lui, l'évolution du système de fabrication pour tirer profit de la programmation basée entités. Là, un concept de système étendu de fabrication intégrée XMIS

(Extended Manufacturing Integrated System) ainsi qu'une déclinaison concrète à travers la CAO étendue et la CN étendue, ont été développés.

- ❖ le troisième concept propose une étude intégrant plusieurs procédés au sein d'une même gamme de fabrication STEP-NC ainsi qu'une organisation des outils de simulation avec la description des espaces de simulation.
- ❖ Le quatrième concept porte sur la validation et la mise en œuvre des concepts proposés avec le développement d'une plate-forme, appelée SPAIM (STEP-NC Platform for Advanced and Intelligent Manufacturing) qui peut intégrer la programmation basée entités du modèle à la pièce usinée sur des moyens industriels et montrer l'impact multidirectionnel des modifications tout au long de la chaîne numérique.

Le monde de la fabrication assistée par ordinateur est en pleine mutation, avec des logiciels qui s'enrichissent avec de nouvelles fonctions.

Les logiciels de fabrication assistée par ordinateur (FAO) sortent de leur champ d'application traditionnel. Leurs fonctions n'avaient pas beaucoup évolué depuis leur apparition dans les années 1980. Avec l'arrivée des logiciels de simulation, tout s'accélère. À tel point que, aujourd'hui, la limite entre FAO et simulation de fabrication s'estompe. Dans les deux cas, il s'agit de simuler un enlèvement de matière sur une pièce brute pour obtenir une pièce finie.

Mais la FAO consiste à définir une stratégie d'usinage (trajectoires d'outils, nombre de passes, vitesses d'avance, ...etc.), alors que la simulation d'usinage est une représentation virtuelle du programme qui sera exécuté sur la machine. Un logiciel FAO travaille sur le fichier de conception assistée par ordinateur (CAO) de la pièce, sans tenir compte de la géométrie de la machine-outil, tandis qu'un simulateur d'usinage exécute le programme de commande numérique ISO qui sera injecté dans la machine, où chaque mouvement est décomposé et réparti sur les différents axes de la machine. Or ces deux activités se retrouvent de plus en plus souvent associées au sein d'une même suite logicielle.

Ainsi, les industriels disposent de chaînes logicielles complètes, de la conception à la simulation. Le monde de la FAO ne lorgne pas qu'en direction de la simulation, il s'intéresse à d'autres nouveautés : les logiciels qui peuvent communiquer avec des robots, proposition de suivi en temps réel de la fabrication ou encore l'intégration de l'impression 3 D ou la fabrication additive.

Le but de la fabrication assistée par ordinateur ou FAO (en anglais Computer Aided Manufacturing ou CAM) est d'écrire le fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique. Ce fichier va décrire précisément les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la pièce demandée. On appelle également ce type de fichiers : programme ISO ou blocs ISO.

I.9.2 CAO/DAO logiciels 3D

Un logiciel de modélisation tridimensionnelle [x, y, z], ou modeleur 3D est un logiciel qui sert à créer des scènes 3D, composées de formes complexes, ou objets en trois dimensions à partir de primitives de bases ou de définitions analytiques.

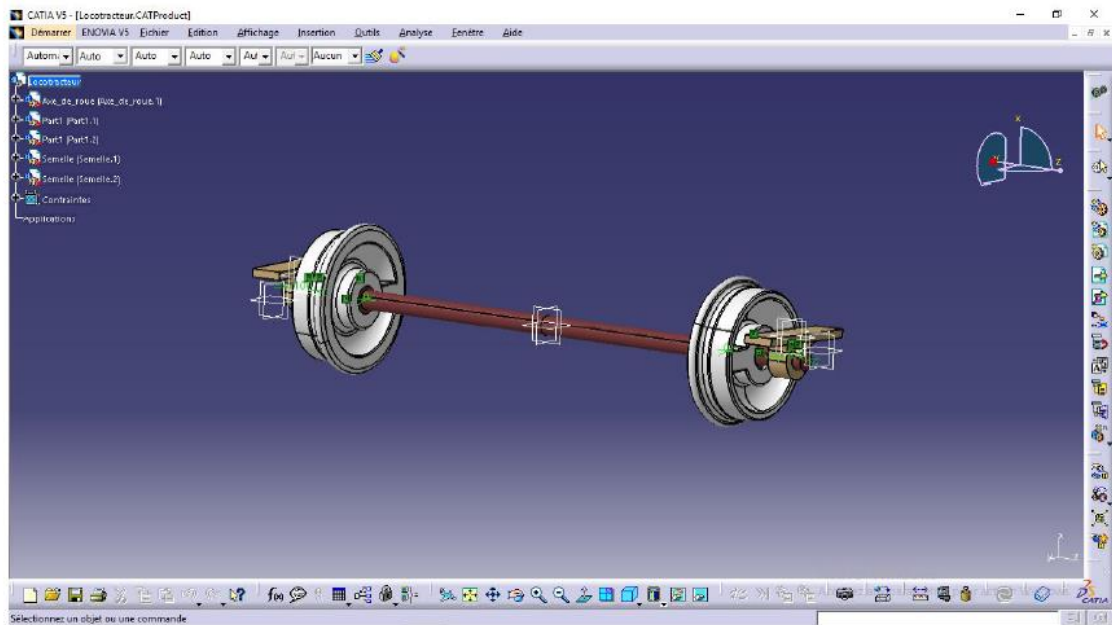


Figure I.25 : Modèle de réalisation d'un essieu ferroviaire avec CAO [5].

Chapitre 2

Problématique et solution

II.1 Introduction

Les trains sont l'un des moyens de transport les plus anciens et les plus importants. Ils étaient utilisés dans les pays en construction, même en temps de guerre, et sont encore aujourd'hui un moyen de transport des matières premières utilisées dans l'industrie.

Les trains se composent de plusieurs véhicules (wagons), dont la première est motrice (locomotive), et dans chaque véhicule une partie supérieure et inférieure, qui est considérée comme la partie la plus importante et comprend la plupart des pièces mécaniques.

Les principaux organes de la partie inférieure vont être étudiés, ainsi que les défauts et les usures qui surviennent durant l'exploitation. Ce travail présentera les modes de réparation des composants essentiels.

II.2 Constitution de la partie inférieure d'un wagon

II.2.1 Bogie

Le bogie (ou boggie) est un chariot situé sous un véhicule ferroviaire. Il désigne l'ensemble composé par la structure et les essieux, comprenant les roues qui y sont fixés (Figure I.1). Il sert de liaison mobile entre les essieux et le châssis du véhicule qui peut être la locomotive, ou la motrice, ou le wagon, ou simplement la voiture. La fonction essentielle des bogies est de faciliter l'inscription en courbe. En effet, les bogies peuvent pivoter indépendamment les uns des autres, ce qui autorise des rayons de courbure plus faibles, et un éloignement plus important entre les essieux, qu'ils soient moteurs ou porteurs. Le bogie assure aussi les rôles de freinage, d'interface entre la signalisation sur voie et la caisse, de suspension de la voiture ou de la motrice, et parfois de traction.

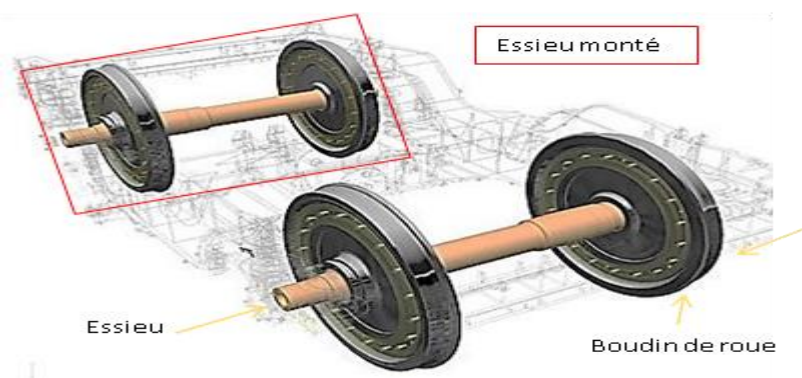


Figure II.1 : Schéma d'un bogie ferroviaire (image Siemens).

II.2.2 Essieu ferroviaire

Les essieux sont les organes essentiels des dispositifs de roulement des engins sur rails. Ils supportent les véhicules, permettent leur déplacement, leur guidage, et transmettent les efforts de traction et de freinage grâce à l'adhérence de leurs roues sur les rails.

On distingue sur un essieu un axe cylindrique qui supporte le poids du véhicule, deux roues solidaires de l'axe et, suivant la technologie de freinage, deux disques. L'ensemble rigide formé par ces différentes parties assemblées porte le nom "d'**essieu monté**". Le montage garantit la solidité de l'ensemble, le comportement dynamique aux différentes sollicitations et le respect de l'écartement des rails.

L'axe tourne avec les roues. Ceci est une différence importante entre le matériel roulant ferré et les modes de transports routiers pour lesquels les roues tournent autour des moyeux fixes. Cette disposition des essieux montés de chemins de fer est nécessaire pour maintenir l'écartement des roues rigoureusement constant ainsi que par le montage des essieux aux extrémités du boggie [1].

II.2.3 La roue ferroviaire

La roue ferroviaire est un élément mécanique fonctionnel et sécuritaire essentiel du système ferroviaire, elle permet en effet de guider et de maintenir le train sur les rails et transmet les efforts du train à la voie via le rail.

La roue ferroviaire est constituée de 3 parties élémentaires :

- ❖ le moyeu, masse centrale enveloppant l'essieu;
- ❖ la jante, autre masse se trouvant à la circonférence extérieure;
- ❖ les rayons qui joignent le moyeu à la jante. Ils sont remplacés parfois par un disque à surface pleine, appelé toile. Les roues à toiles s'appellent à centre plein ou à plateau, celles à rayons portent le nom de roues à rayons.

Pour assurer une durée de vie importante à la roue et éviter donc une usure rapide de la jante, les concepteurs ont prévu la jante en deux parties avec une partie extérieure, appelée aussi bandage qui est composée de :

- la surface de roulement,
- le boudin.

Afin de ramener le véhicule dans l'axe de la voie, la surface de roulement présente deux inclinaisons qui sont l'une de 1/20 au centre et l'autre de 1/10 vers l'extérieure de la voie. La pose des bandages se fait à chaud et le serrage s'obtient par refroidissement. Pour augmenter la sécurité, on attache le

bandage à la jante par un cercle de retenu qui se place dans une rainure portée par le bandage et s'accroche d'autre part dans la jante.

L'usure des bandages doit être surveillée de très près car elle a pour résultat, si elle est poussée trop loin, de provoquer la rupture de la pièce et cet accident présente toujours des conséquences dangereuses.

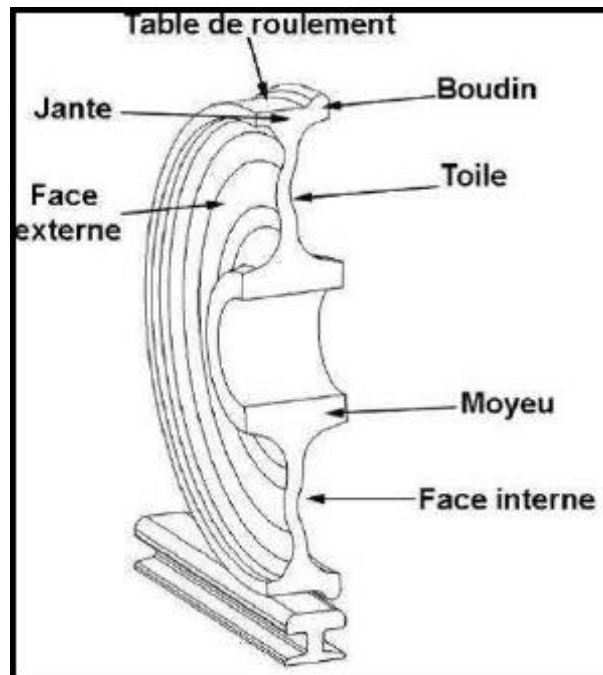


Figure II.2 : Les différentes parties de la roue [6].

II.3 Caractéristiques de la roue ferroviaire

II.3.1 Types de roues

Le profil global des roues de chemin de fer peut être droit ou courbe. Les différents profils s'utilisent sur tous les types de trains, mais le profil droit est plus courant sur les locomotives et les métros car l'espace pour les roues et le système de freinage est limité. Le profil courbe est plus courant sur les wagons de transport de marchandises. Le choix du profil dépend de la taille des roues, de l'utilisation, de l'emploi sur des wagons ou sur des locomotives, de la nécessité de réduire le bruit

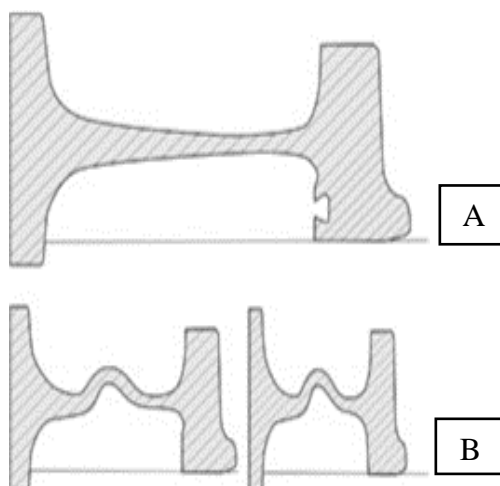


Figure II.3 : Types des roues. A) Roues droites : locomotives et métros.

B) Roues courbes : wagons de marchandises.

II.3.2 Dimensions des roues

Selon le type de train, le diamètre des roues va de 400 à 1200 mm

- Métros : 400 à 650 mm (15,7 à 25,6 pouces)
- Fret : 800 à 900 mm (31,5 à 35,4 pouces)
- Trains à grande vitesse : 900 à 1200 mm (35,4 à 47,2 pouces)

Il est fortement recommandé, en usinage des roues de petit diamètre, d'utiliser des petites plaquettes d'usinage car il faut, en effet, éviter l'engagement des arêtes de coupe sur une grande longueur afin d'éviter les forces de coupe trop élevées.

II.3.3 Matières des roues

Les matières de base sont les aciers, alliés ou non, mais il existe des normes et des dénominations différentes suivant les marchés. La majorité des roues de chemin de fer (95%) sont faites dans des aciers laminés. Une faible proportion est faite en acier coulé.

Les codes de dureté des matières varient de ER1 à ER9 (figure II.4). Les matières les plus couramment utilisées ont une dureté de ER6 à ER9.

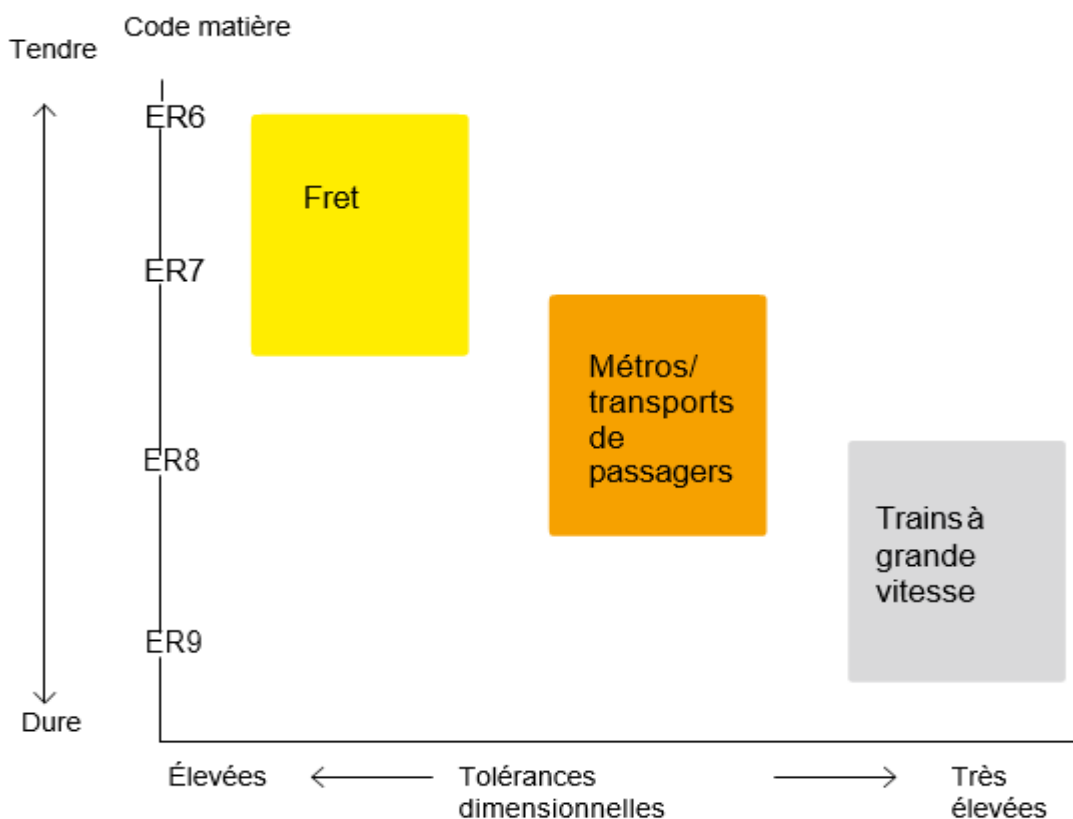


Figure II.4 : Duretés des matières utilisées pour la fabrication des roues ferroviaires

II.4 Etapes de fabrication des roues

- I. Préparation des ébauches par tronçonnage de barres;
- II. Chauffage des ébauches dans un four rotatif;
- III. Forgeage à la presse;
- IV. Poinçonnage;
- V. Formage aux galets;
- VI. Pliage;
- VII. Trempe à l'eau;
- VIII. Essais de résistance mécanique;
- IX. Tournage
- X. Tests non destructifs, par ultrasons, pour détecter d'éventuelles fissures [7].

II.5 Usures de la roue ferroviaire

Par son frottement sur les rails, le bandage des roues d'un bogie ferroviaire s'use avec le temps. Ainsi, le diamètre du bandage d'une roue ferroviaire diminue au cours du temps, et par conséquent la distance entre le châssis de support portant les bogies et les rails diminue également.

Aussi, en raison de l'interaction avec les semelles pendant le freinage, les roues ferroviaires subissent une usure.

L'action de freinage s'effectue par l'appui des semelles de freins sur la table de roulement de la roue comme indiqué sur la Figure II.5.

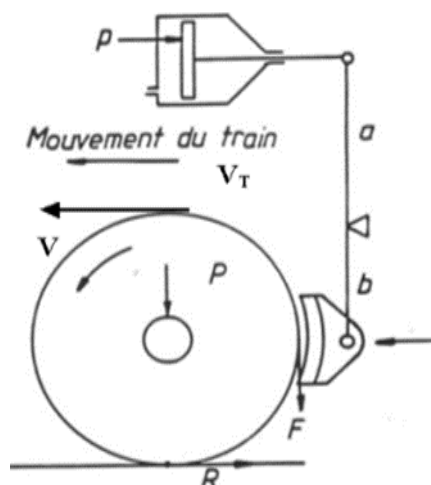


Figure II.5 : Action de freinage.

Les semelles de freins sont généralement fabriquées en fonte, en matériaux composites organiques ou en matériaux frittés. Des expériences ont été menées par **Verner** pour étudier l'influence de différents types de matériaux en bloc et pour suivre l'élévation de la température et les points chauds dans la bande de roulement. L'étude expérimentale a conclu que les semelles en fonte produisent immédiatement des points chauds sur la table de roulement, tandis que les semelles en composite nécessitent des vitesses plus élevées et des temps plus importants pour générer ces points chauds. Des essais dynamométriques comparatifs des semelles en fonte et celles en composite montrent que les semelles en fonte peuvent augmenter la formation des fissures thermiques dans la table de roulement, tandis que les semelles en composite ne changent pas la microstructure de la table de roulement [8].



Figure II.6.a : Usure de la table de la roue ferroviaire.

II.5.1 Usure en cratère sur la table du roulement de la roue

Aux contacts roue - rail et roue - sabot de freinage, une usure en cratère sur la table du roulement ou table du bandage de la roue ferroviaire apparaît (figure II.6.a). La solution préconisée à ce problème est l'usinage de la roue afin d'obtenir une surface plus lisse et plus efficace pour le glissement parfait de la roue sur la rail sans aucun danger.



Figure II.6.b : Usure du boudin de la roue ferroviaire.

II.5.1 Usure du boudin de la roue

Au contact du boudin avec le champignon du rail, une usure du boudin apparaît (figure II.6.b). La cote QR du boudin est altérée, son hauteur et sa largeur sont diminuées, donc le roulement de la roue sur le rail avec ces conditions risque de dérapage. La solution à ce problème est le recyclage à la fois de la hauteur et de la largeur du corps, en tenant compte du diamètre limité du bon roulement de la roue sur le rail.

La diminution de hauteur peut atteindre plusieurs centimètres au cours de la vie d'un bogie ferroviaire et peut être problématique, notamment pour les bogies ferroviaires de véhicules ferroviaires à plancher surbaissé, dont le châssis de support est situé à quelques centimètres à peine au-dessus des rails. Les véhicules ferroviaires doivent respecter un gabarit de chargement limité en hauteur afin de gagner un maximum de volume. Il est courant d'abaisser au maximum le châssis des véhicules ferroviaires. Ces derniers sont donc susceptibles de dépasser le gabarit ferroviaire si le diamètre du bandage d'une roue ferroviaire diminue.

En raison du prix élevé des essieux, en cas d'usure, ceux-ci ne sont pas remplacés mais subissent préférentiellement une requalification également dénommée reprofilage qui permet de l'utiliser à nouveau et c'est la problématique de ce projet.



Figure II.7 : Un essieu ferroviaire orienté vers le reprofilage.

Le nombre de qualifications autorisées que peut subir un bogie ferroviaire, dépend de la législation en vigueur dans le pays où doit circuler le véhicule qui en est équipé.

Une requalification d'un bogie ferroviaire est autorisée pour :

- * **une usure pouvant aller jusqu'à 35 millimètres du rayon des roues ferroviaires par rapport au rayon d'origine;**
- * **une requalification est habituellement exigée tous les 5 millimètres.**

Au cours de la requalification d'un bogie ferroviaire, le bandage et le boudin des roues ferroviaires, qui constituent les surfaces de roulement, sont reprofilés, généralement au tour, pour rétablir le profil original avec un diamètre de roue réduit. Alors que le châssis de support d'un bogie repose généralement sur une boîte d'essieu par l'intermédiaire d'une suspension, il est souhaité de conserver constante la hauteur du châssis des véhicules ferroviaires par rapport aux rails.

Cette conservation de hauteur se fait habituellement par l'introduction de cales ou par un autre moyen de déplacement vertical, permettant de rehausser le châssis des véhicules ferroviaires par rapport aux rails.

Il est également souhaité de conserver le comportement nominal des suspensions portant le châssis des véhicules ferroviaires sur les bogies suite au reprofilage des roues ferroviaires.

La fréquence de reprofilage des roues de chemin de fer dépend de leur utilisation. Les roues des trains à grande vitesse sont reprofilées plus fréquemment que celles des trains de marchandises pour des raisons de sécurité et de confort. Les profondeurs de coupe appliquées dans le reprofilage des roues de trains de marchandises sont beaucoup plus grandes.

- Trains de marchandises : reprofilage peu fréquent (tous les 5 à 10 ans)
- Trains régionaux, métros : reprofilage au moins une fois par an

- Trains à grande vitesse : Reprofilage fréquent, toutes les 5 à 8 semaines [7].

Chapitre 3

Reprofilage des roues de chemin de fer usées

III.1 Considérations de départ

Lors du reprofilage des roues de chemin de fer usées, il est souhaitable d'appliquer la plus grande profondeur de coupe possible pour accélérer l'usinage. Mais cela dépend beaucoup de l'état d'usure de la roue.

Lors du choix des porte-plaquettes et des plaquettes, il faut prendre en compte :

- le type de roue à reprofiler;
- l'état d'usure de la roue;
- la puissance machine disponible.

Comme pour tout usinage important en enlèvement de matière, le reprofilage peut se faire en une seule passe et cela dépend de la machine disponible ainsi que les autres conditions de coupe; il peut aussi être effectué en plusieurs passes afin d'obtenir le bon profil et les bonnes cotes.

Avec les tours en fosse, comme c'est le cas de l'Entreprise de maintenance des chemins de fer d'Annaba, il est recommandé de diviser l'usinage en plusieurs étapes où la friction est utilisée pour entraîner la roue.

Ce tour utilise la friction comme mode d'entraînement de la roue, l'usinage ou le reprofilage des roues se fait toujours à sec.

III.2 Types de machines

En fonction du type de train, différentes machines sont utilisées, notamment des tours en fosse ou des tours à portique. D'autres types de machines sont aussi utilisés mais ils sont moins courants et nous n'en parlerons pas.

III.2.1 Tours en fosse

Un tour à fosse pour roue est une machine-outil spécialement conçue pour la maintenance corrective des trains de roulement et des disques de frein dans le domaine ferroviaire – réalisé sans avoir à démonter les essieux du train – et pour générer les profils des roues, sujettes à l'usure et à la déformation dues à la friction entre la roue et le rail.

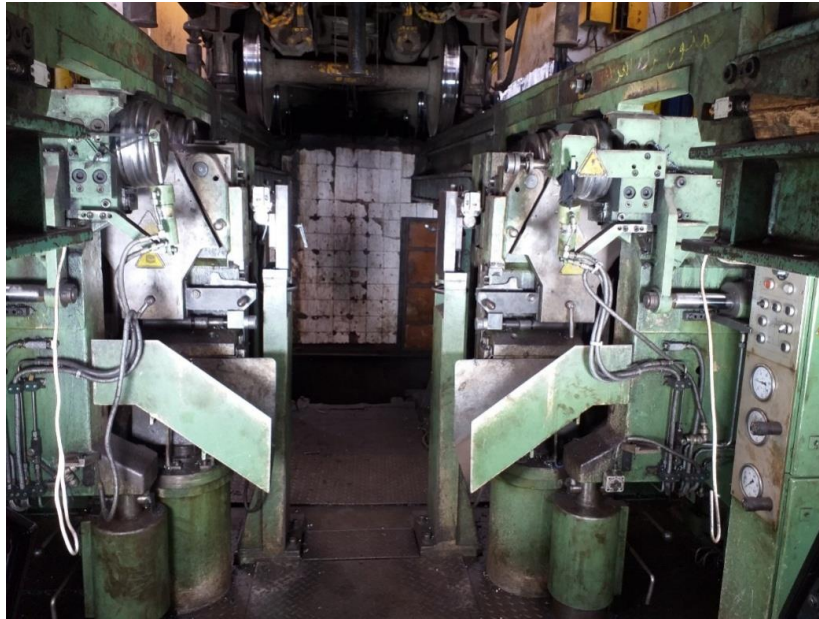


Figure III.1 : Tour en fosse au repos.

Fonctionnement

La roue est entraînée par la friction de deux rouleaux spéciaux sur la bande de roulement.

L'utilisation de ces rouleaux augmente le coefficient de friction et, par conséquent, la puissance d'entraînement et de coupe. Un système flottant et amortissant a été appliqué sur les deux essieux du tour à fosse pour roue de manière à ce que les déformations de la bande de roulement ne conduisent pas à l'application de forces sur l'essieu; ce qui assure un usinage adapté.



Figure III.2 : Emplacement de la roue sur les galets.



Figure III.3 : Un wagon sur le tour en fosse

III.2.2 Tours à portique

Ces machines sont surtout utilisées pour le reprofilage des roues de trains de transport de marchandises et de passagers. Leur utilisation, en usinage de reprofilage, exige que l'ensemble des roues montées + essieu soit démonté des wagons, ce qui nécessite l'exécution d'opérations particulières, post usinage, d'ajustage et de réglage au remontage. Les attentions à accorder au remontage sont :

- Caractéristiques du serrage : parce que l'ensemble des roues montées + essieu est démonté des wagons;
- Limites à respecter : à cause de la déformation des roues au diamètre intérieur;
- Méthode de serrage :
 - Les fusées aux extrémités de l'essieu, à l'extérieur des roues, sont maintenues dans des manchons. Les roues sont entraînées par un mandrin qui serre leur diamètre intérieur et l'entraînement peut aussi être fait par friction.
 - Le diamètre intérieur des roues, après démontage, est toujours endommagé et déformé [7].

III.3 Mesures et contrôles

Le contrôle de la roue ferroviaire, après un certain temps de fonctionnement, consiste principalement à vérifier la table de roulement ainsi que le boudin et le diamètre nominale. Ce contrôle permet de décider si la roue est usée et qu'elle nécessite un reprofilage. Parmi les cotes de roues et d'essieu à contrôler, il y a : les diamètres, l'épaisseur, la hauteur et la pente ou "cote QR" (hauteur de pente).

Pour faire ces contrôles d'essieu et de roues, il faut utiliser des instruments de mesure appropriés pour chaque partie de la roue. La partie la plus importante est le boudin et le diamètre nominal.

III.3.1 Mesure des cotes du boudin

Dans l'Entreprise de maintenance de chemins de fer d'Annaba, on utilise une jauge appelée "Jauge QR" qui est un appareil de mesure des cotes du boudin.

Jauge QR

Cet instrument de mesure est destiné à mesurer les côtes du boudin, il est composé de deux règles, la première mesure la **largueur** du boudin et la deuxième son **hauteur**. La Jauge QR mesure aussi la **pen**te du profil de la roue qui s'appelle aussi "le QR", par la mesure de la hauteur de l'inclinaison.

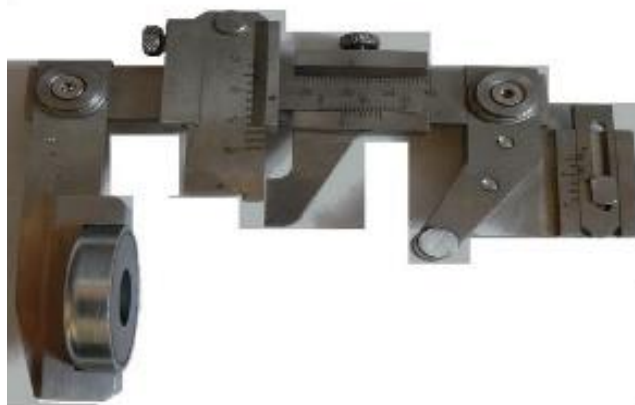


Figure III.4 : Jauge QR

❖ Cote QR :

La cote QR ne doit pas être égale ou inférieure à 6,5 mm.

❖ Epaisseur :

L'épaisseur du boudin ne doit pas être égale ou inférieure aux valeurs définies dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Les épaisseurs limites par rapport aux diamètres des roues.

	Diamètre < à 840 mm	Diamètre ≥ à 840 mm
Epaisseur limite (mini)	27,5	22

❖ Hauteur :

La hauteur du boudin ne doit pas être supérieure à 36 mm.

Pour les matériels circulants à 120 km/h et plus la différence de hauteur des boudins d'un même essieu est de l'ordre de 2 mm [9].

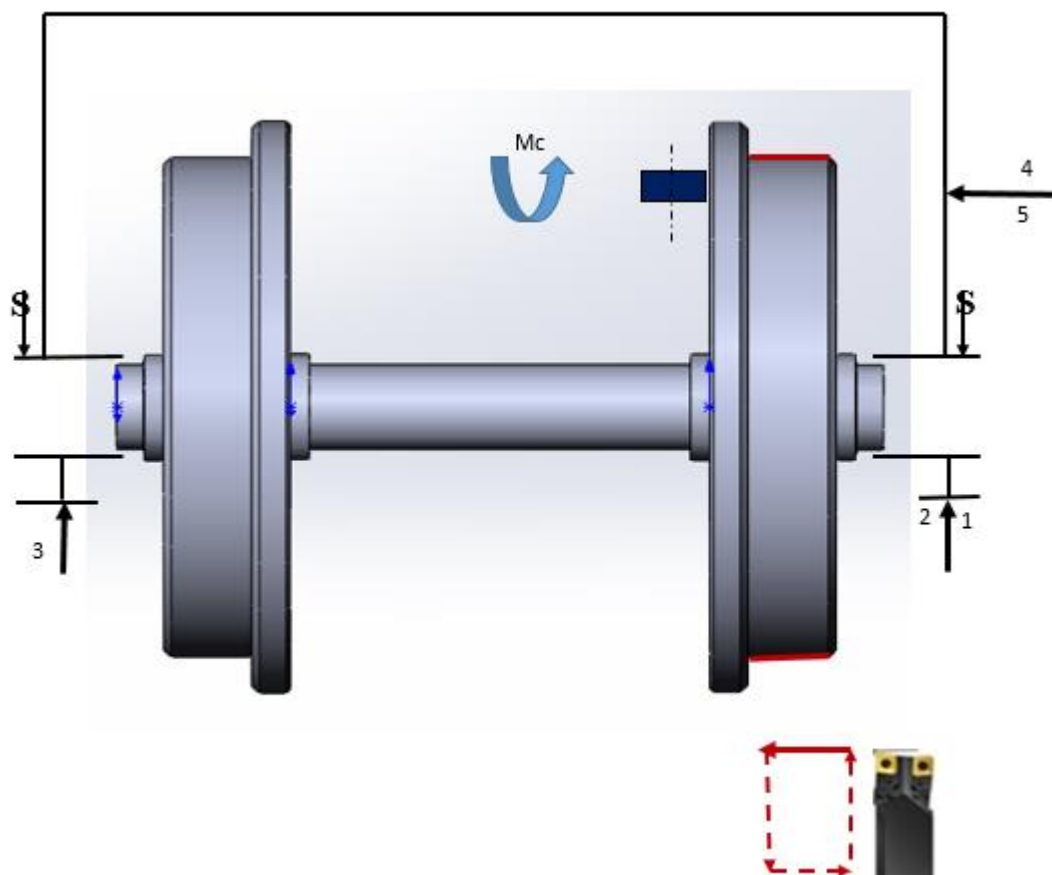
III.4 Contrat de phases de reprofilage des roues

Contrat de phase Phase n° 100	Ensemble : Essieu ferroviaire	Date	
	Pièce : Roue d'un essieu ferroviaire	Bureau de méthode	
	Matière : ER 7		
	Programme :		
Désignation : contrôle de la roue usée			
Machine: Poste de contrôle			
Opérations	Outil	v_c	D
Mesures de : <ul style="list-style-type: none"> ▪ la hauteur du boudin H_0 ▪ la largeur du boudin L_0 ▪ la largeur de la roue l_0 	Jauge QR		

Contrat de phase Phase n° 200 Sous phase 210	Ensemble : Essieu ferroviaire	Date
	Pièce : Roue d'un essieu ferroviaire	Bureau de méthode
	Matière : ER 7	
	Programme :	

Désignation : Tournage

Machine : Tour en fosse

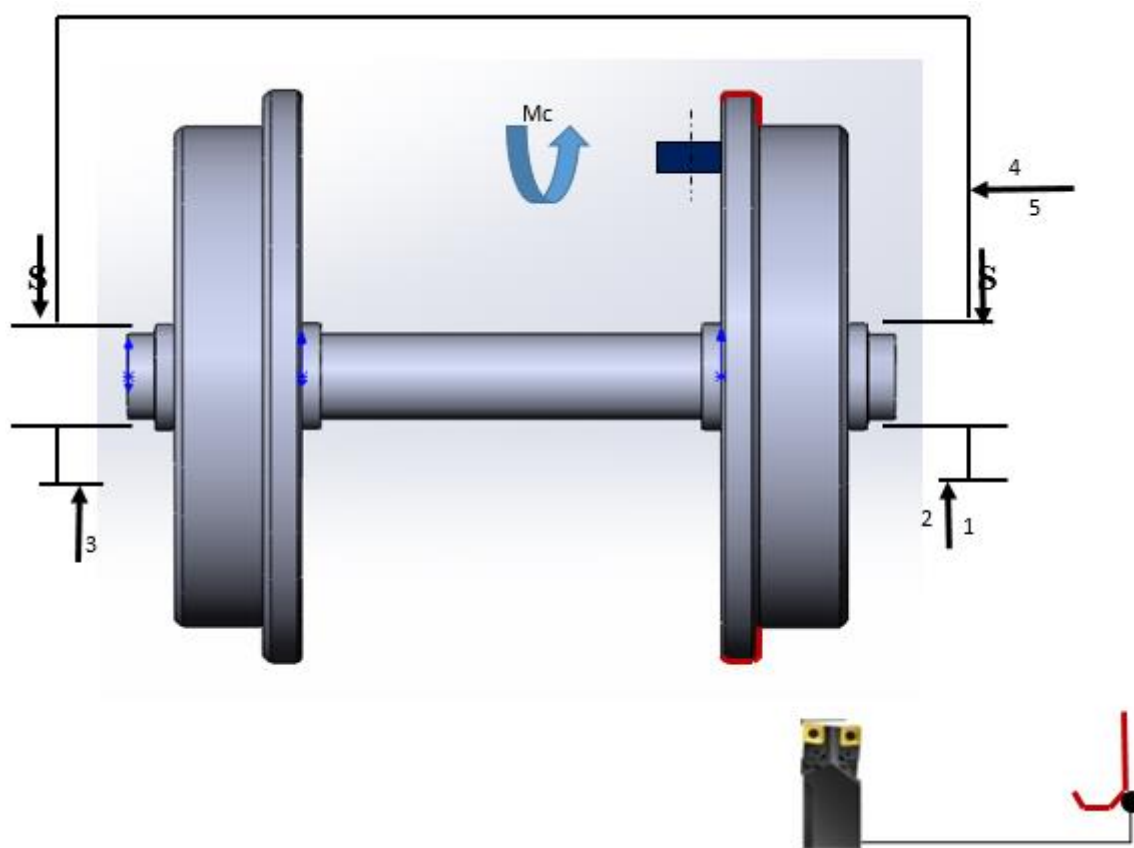


Opérations	Outils	Vc et f	D
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chariotage de la table Et chanfreinage (Ebauche et Finition) 	<ul style="list-style-type: none"> – Outil de chariotage + Plaquette en carbure – Outil de chanfreinage + Plaquette en carbure 	$V_{c_{éb}} = 70 \text{ m/min}$ $f_{éb} = 1.2 \text{ mm/tr}$	920 mm

Contrat de phase Phase n° 200 Sous phase 220	Ensemble : Essieu ferroviaire	Date
	Pièce : Roue d'un essieu ferroviaire	Bureau de méthode
	Matière : ER 7	
	Programme :	

Désignation : Tournage

Machine : Tour en fosse

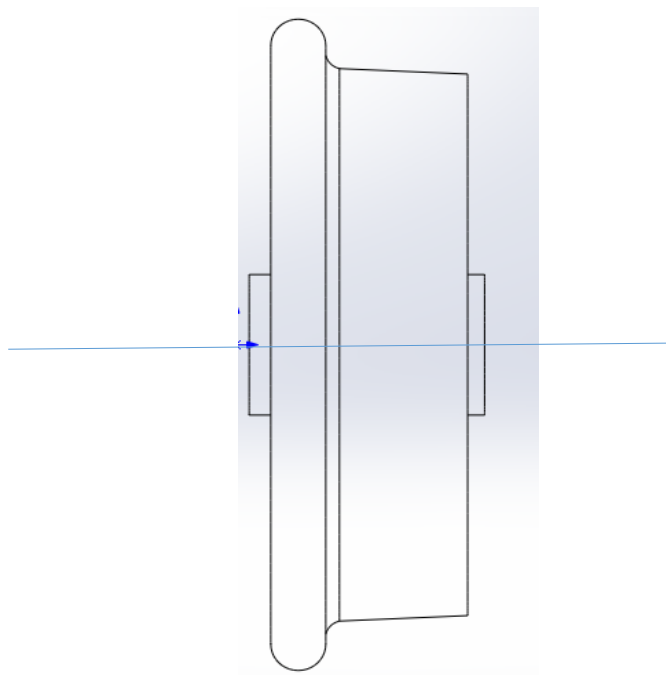


Opérations	Outils	Vc et f	D
<ul style="list-style-type: none"> Profilage du boudin par copiage 	Plaquettes en carbure	Vc=70m/min f=1.2mm/tr	920 mm

Contrat de phase Phase n° 300	Ensemble : Essieu ferroviaire	Date
	Pièce : Roue d'un essieu ferroviaire	Bureau de méthode
	Matière : ER 7	
	Programme :	

Désignation : Contrôle finale

Machine : Poste de contrôle



Opérations	Outils	V_c	D
Mesurer : <ul style="list-style-type: none"> ▪ la hauteur ▪ la largeur du boudin 	Jauge QR	---	---

Chapitre 4

Reprofilage Proposé

IV.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons vu comment l'usure des roues se produit, ses causes, les cotes corrigées et le reprofilage obtenu par l'Entreprise de Maintenance du Chemin de Fer de Annaba. Dans le chapitre qui suit, une autre approche de reprofilage sera présentée, elle nous paraît plus efficace et plus précise. Cette proposition est donc basée sur la commande numérique.

En tenant compte de l'actualité technologique dont le monde est témoin, en matière de fabrication et productique mécanique, notre pays doit s'adapter, encore plus quand il s'agit de l'industrie et du transport ferroviaire. C'est un élément important de l'économie nationale, en raison du service "transport" qu'il fournit aux voyageurs, aux marchandises, autres minerais tels le phosphate, le fer,...etc, et hydrocarbures tels le pétrole, les fuels, le GNL,...etc.

IV.2 Rappel sur la commande numérique (cas Tournage) [10]

✓ Ordres G

Tableau 4 : Liste des ordres G

ORDRE	SIGNIFICATION
G0	Avance rapide
G1	Mouvement d'avance
G2	Interpolation circulaire dans le sens des aiguilles d'une montre
G3	Interpolation circulaire dans le sens contraire
CIP	Interpolation circulaire par point intermédiaire
G4	Temporisation
G9	Arrêt précis
G17	Sélection du plan XY
G18	Sélection du plan XZ
G19	Sélection du plan YZ
G40	Désactiver la correction du rayon de l'outil
G41	Activer la correction du rayon d'outil à gauche
G42	Activer la correction du rayon d'outil à droite
G53	Désélection décalage d'origine réglable
G54-G57	Décalage d'origine réglable
G90	Cotation absolue
G91	Cotation relative
G94	Avance en mm/min, pouce/min
G95	Avance de rotation en mm/tr, pouce/tr
G96	Vitesse de coupe constante EN
G97	Vitesse de coupe constante HORS

✓ Ordres M

Tableau 5 : Liste des ordres M

ORDRE	SIGNIFICATION
M0	Arrêt programmé
M1	Arrêt conditionnel
M2	Fin de program
M3	Outils entraînés MARCHE dans le sens des aiguilles d'une montre
M4	Outils entraînés MARCHE dans le sens contraire
M5	Outils entraînés ARRET
M6	M- fonction pour changement d'outil

M8	Arrosage en marche
M9	Arrosage arrêt
M10	Freine à vis en Marché
M11	Freine à vis arrêt
M17	Fin de sous-programme

✓ Cycles

Tableau 6 : Liste des cycles

Cycles de tournage	
Cycle 93	Cycle de plongée
Cycle 94	Cycle de plongée à vide
Cycle 95	Cycle de chariotage
Cycle 96	Cycle de dégagement de filetage
Cycle 97	Cycle de filetage
Cycle 98	Enchaînement de filetages

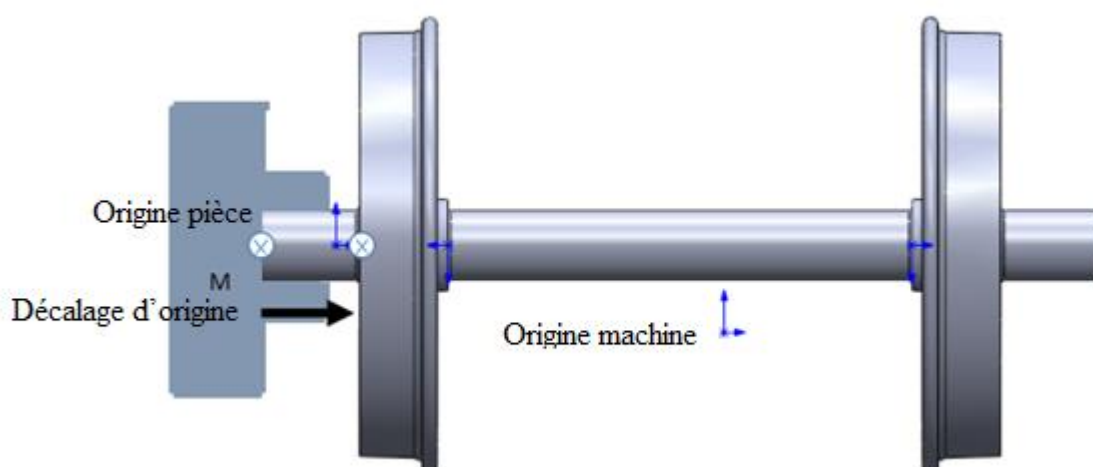
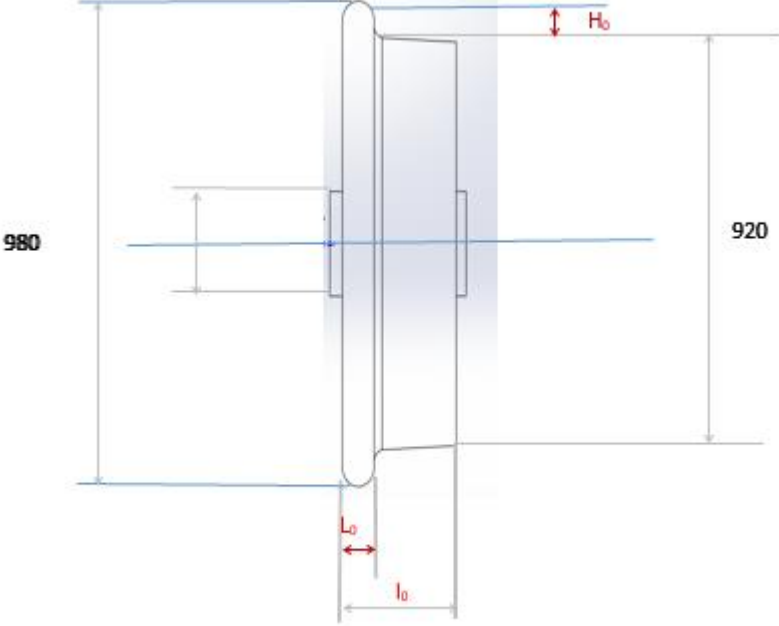


Figure IV.1 : Emplacement de l'essieu dans le mandrin

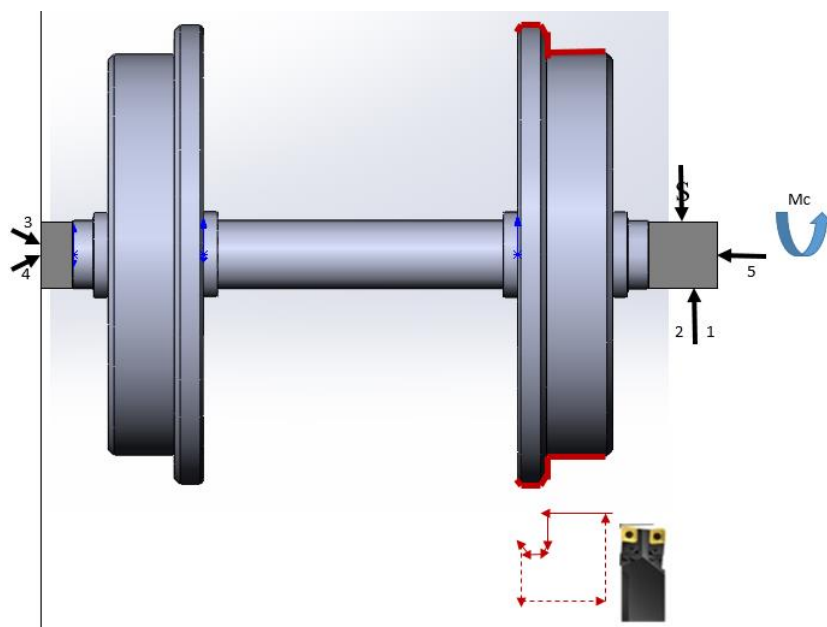
IV.3 Contrat de Phase

Contrat de phase Phase n° 100	Ensemble : Essieu ferroviaire	Date
	Pièce : Roue d'un essieu ferroviaire	Bureau de méthode
	Matière : ER 7	
	Programme	
Désignation : Contrôle de la roue usée		
Machine: Poste de contrôle		
		
Opérations	Outils	
Mesurer : <ul style="list-style-type: none"> ▪ la hauteur H_0 ▪ la largeur du boudin l_0 	Profilomètre	

Contrat de phase Phase n° 200	Ensemble : Essieu ferroviaire	Date
	Pièce : Roue d'un essieu ferroviaire	Bureau de méthode
	Matière : ER 7	
	Programme	

Désignation : Tournage

Machine: Tour CNC à 2 axes

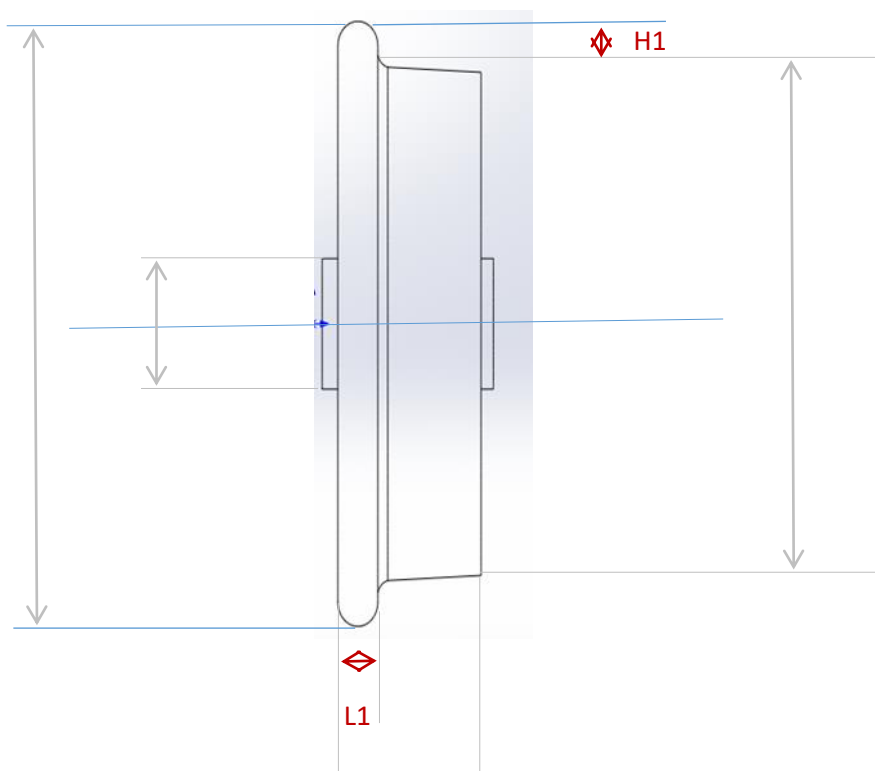


Opérations	Outils	Vc et f	D
Profilage du bandage + boudin	Outil en plaquette rapportée en carbure	$V_{c_{eb}} = 70\text{m/min}$ $f_{eb} = 1.2\text{ mm/tr}$	920 mm

Contrat de phase Phase n° 100	Ensemble : Essieu ferroviaire	Date
	Pièce : Roue d'un essieu ferroviaire	Bureau de méthode
	Matière : ER 7	
	Programme	

Désignation : contrôle final

Machine: Poste de contrôle



Les opérations

Mesurer :

- la hauteur **H.....**
- la largeur du boudin **l.....**

Les outils

Profilomètre pour roues

IV.4 Programme du nouveau profil

Nom du programme : Roue CN

N010 G54 x0 y0 z+68

N020 T1 D1 M03

N030 G 00 X+462

N040 G 01 X460 Z65 S f

N050 G 03 x 470 z 104.5 CR 10

N060G 02 z 135 CR 30.5

N070 G00 x 550 z 0

N080 M05

N090 M 30

IV.5 Le tour CNC à 2 axes proposé

Description

Le tour recommandé est une machine-outil spéciale à deux chariots à commande numérique qui peut réaliser le reprofilage des roues et des essieux montés ou de tout autre matériel roulant.

Le tour assure également l'usinage efficace des essieux neufs ou avec de nouveaux bandages. Les essieux peuvent être équipés des corps de roulements montés sur les fusées externes d'essieu, des roues dentées montées entre les roues et des disques de frein.

Grâce à l'application d'un système moderne de commande CNC et d'un équipement de mesure automatique des essieux usinés, l'usinage est économique, efficace et précis.

Un équipement universel ainsi que de larges possibilités de logiciels assurent un passage facile à l'usinage des profils atypiques des essieux sans changer l'équipement de la machine.

Le tour est commandé par un seul opérateur. Les séquences du processus technologique sont liées aux pages-écrans appropriées, affichées à l'écran du pupitre de commande.

Le système de commande est doté d'un diagnostic d'état de travail de la machine qui informe l'opérateur des perturbations enregistrées dans le fonctionnement de la machine et du mode d'élimination des perturbations.



Figure IV.2 :Machine-outil CNC à 2 axes

Caractéristiques

Tableau 7 : Caractéristiques de la machine-outil [11]

Type de commande	CNC
Nombre d'axes	2 axes
Diamètre	Max : 1250 mm Min : 0 mm
Vitesse de rotation	45 tr/min ~ 70 tr/min

IV.6 Outillage de contrôle proposé

Les jauges de diamètre et les profilomètres sont destinés aux mesures des cotes des roues de train, ils permettent des mesures précises sur matériel roulant ferroviaire. De dimensions et de formes variées, ces appareils s'adaptent aux particularités de véhicules différents tels que les trains, RER, métros ou tramways (figures IV.3 et IV.4).

❖ Jauges de diamètre

Les jauges de diamètre sont conçues pour assurer une mesure simple, sur ou hors rails; l'appareil se posant directement sur la roue et fonctionnant à la manière d'un palpeur.



Figure IV.3 : Jauge de diamètre

❖ Profilomètres pour roues

Les profilomètres permettent la détermination d'une variété de paramètres géométriques de la roue (hauteur et épaisseur du boudin, pente, diamètre et épaisseur de la roue) à l'aide d'un scan au laser, afin d'en vérifier le profil et de détecter d'éventuels défauts.



Figure IV.4 : Profilomètre [12]

Conclusion générale :

Au vu des évolutions technologiques en cours dans le monde, j'ai décidé d'aborder dans ce mémoire un sujet très important dans le domaine des chemins de fer, c'est le reprofilage des roues ferroviaires de manière moderne et en utilisant la commande numérique. J'ai mentionné les causes de l'usure des roues et la manière dont SNTF Annaba a traité ce problème avant que je propose un programme numérique de reprofilage des roues permet de gagner du temps et de rattraper le développement industriel.

Bibliographie

- [1] Evaluation de l'adhérence au contact roue-rail par analyse d'images spectrales/
Claire Nicodeme
- [2] Introduction à la tribologie /Noël Brunetière
- [3] Analyse tribologique du contact roue-rail .Modélisation et expérimentations- Cas de l'usure
ondulatoire-/Aurélien SAULOT
- [4] Modélisation du comportement a la fatigue et a la fissuration d'un boggie de train /Zellagui
Radouane
- [5] Etude de fabrication avancée du pivot de wagon / Chahi sara
- [6] Fabrication développée d'un essieu ferroviaire / Houamdi Imane UBMA 2018
- [7] GUIDE TECHNIQUE Tournage de roues de chemin de fer, SANDVIK Coromant
- [8]Publication : DISPOSITIF DE COMPENSATION D'USURE DE ROUE FERROVIAIRE POUR
BOITE D'ESSIEU DE BOGIE FERROVIAIRE 06.09.2017 Bulletin 2017/36
- [9]
- [10] Description du logiciel EMCO WinNC SINUMERIK 810D/840D Tournage
Ref.no.FR 1815 Edition G2007-06
- [11]Directindustry.fr/prod/rafamet/product
- [12] Directusine-mesure.fr/commandez-vos-instruments-de-mesure-ferroviaire-Les instruments de
mesure ferroviaire