

GUILLOTIN Bernard

Elève de l'ENSEM de NANCY

Rapport de Stage d'Instruction

aux Ateliers d'Hellemmes

RÉPARATION DES ESSIEUX DE LOCOMOTIVES

Réparation des essieux de locomotives

I- Généralités

Avant de décrire les différentes opérations faites sur des essieux de locomotive et les méthodes employées, il convient de connaître les différents éléments qui composent un essieu, leur disposition, qui va déterminer la succession des travaux effectués, et enfin l'ordre des opérations.

1- Description d'un essieu

Un essieu se compose, en général, lorsqu'il arrive à l'Atelier des Roues, de quatre éléments principaux :

- l'axe, composé d'une tige d'acier tourné, qui assure la liaison entre les roues d'une part et la caisse et les bogies de la locomotive de l'autre ;
- les roues, qui sont calées et bloquées sur l'axe ;
- la transmission, formée le plus souvent d'un engrenage lié à l'axe par un accouplement élastique ou tout simplement par calage ;
- les boîtes d'essieu, qui relient par frottement ou roulement l'axe aux bogies, et supportent ainsi tout le poids de la locomotive.

Il y a bien entendu des exceptions. Ainsi, les essieux de BB 16500 et 17000, dont la transmission n'est pas entre les roues mais à l'extérieur, sont livrés sans engrenage. Ainsi encore, de nombreux essieux arrivent aux ateliers sans boîtes.

2- Disposition des éléments

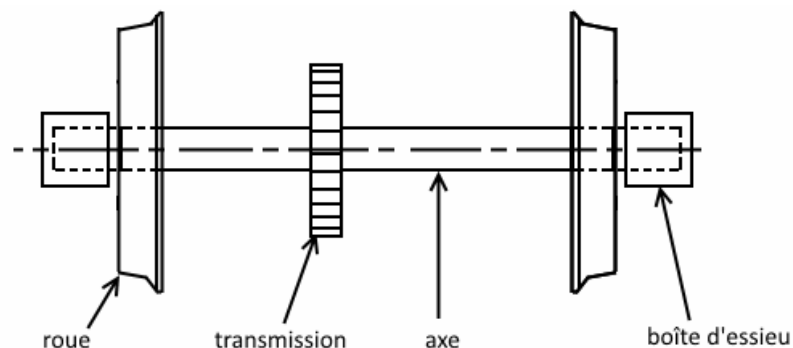
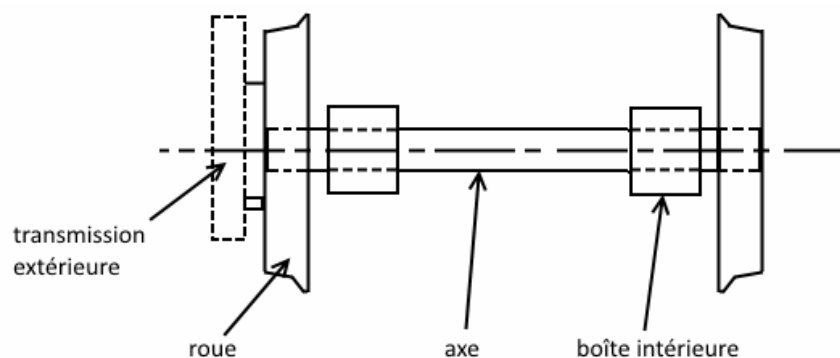


Schéma d'un essieu (cas général)



Cas particulier : BB 16500, 17000, 25500

On voit que les différents cas qui se présentent vont poser des problèmes particuliers.

3- Ordre des opérations

À son arrivée, l'essieu tel qu'il est décrit ci-dessus va subir le *déboîtage* (démontage des boîtes d'essieu) s'il a des boîtes extérieures. Dans le cas contraire, il les conserve.

Il va passer ensuite à l'*expertise aux ultrasons*, puis au *lessivage*, pour le débarrasser de la plus grande partie de la boue et de la poussière qui le recouvre.

Il est ensuite *expertisé* en ce qui concerne les différentes cotes à respecter.

Les opérations précédentes sont effectuées sur tous les essieux entrant aux Ateliers, ainsi que le *ressuage* et la *magnétoscopie*, qui visent tous deux à repérer des avaries.

Mais, à l'issue d'une (ou de plusieurs) de ces expertises, chaque essieu va prendre une direction différente selon la nature des réparations à effectuer.

Il subira donc une ou plusieurs des opérations suivantes :

- le décalage (séparation des roues d'avec l'axe) ;
- le désemblage (séparation des bandages d'avec le corps de roue) ;*
- l'usinage et la rectification de certains éléments (roues, axes) ;
- la visite et la réparation des transmissions ;
- le réglage des coussinets de boîte d'essieu (dépôt de métal anti-friction)

Il sera enfin remonté : recalage, emblage, boîlage, puis contrôlé avant d'être renvoyé au destinataire.

On voit que la diversité des types d'essieux et d'avaries rend nombreuses les opérations à effectuer, et on comprend la complexité qui en résulte pour livrer plusieurs essieux d'un même type à peu près en même temps, de façon à pouvoir équiper une locomotive (qui possède quatre ou six essieux).

II - Description des techniques employées sur les essieux

Il y a trois grandes sortes d'opérations : celles qui consistent à expertiser les éléments et à déceler les avaries, celles, purement mécaniques, qui comprennent le démontage et le remontage des éléments, et enfin celles de l'usinage qui modifient plus ou moins certaines parties de l'essieu.

1- L'expertise

Comme on l'a déjà vu, elle se compose de l'examen aux ultrasons, de l'expertise proprement dite, du *ressuage* et de la *magnétoscopie*.

a- Examen aux ultrasons

- Appareillage

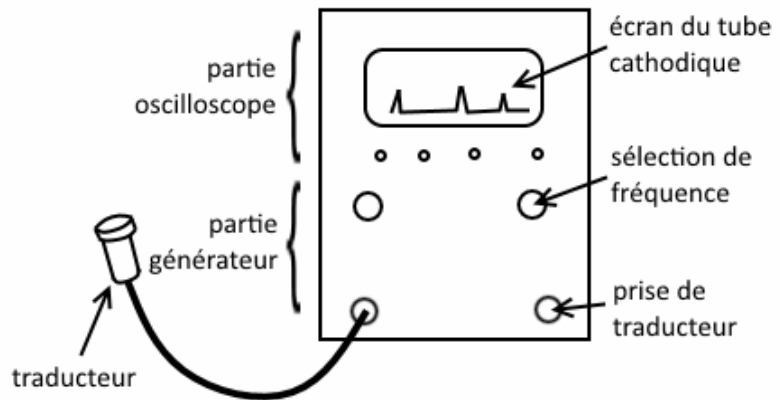
Il se compose d'un générateur de courant de haute fréquence (fréquence correspondant à celle des ultrasons) qui alimente un « traducteur » (ce traducteur est un émetteur-récepteur d'ultrasons) ; et d'un dispositif de contrôle visuel qui est un oscilloscope.

Le générateur et l'oscilloscope sont montés dans le même boîtier.

- Fonctionnement et méthode d'utilisation

Le courant de fréquence choisie par l'utilisateur (2,2 ou 5 MHz) provoque la vibration et la résonance d'un élément piézoélectrique contenu dans le traducteur.

Cet élément est un cristal soit de quartz, soit de titanate de baryum. Les vibrations électriques sont donc transformées en vibrations acoustiques.



Lorsque l'onde ultrasonique rencontre un obstacle (changement de densité brusque du matériau expertisé, fissure ou détail de forme, elle est réfléchiée, captée par un traducteur et reconvertie en énergie électrique. On voit apparaître sur l'écran un écho caractéristique en forme de pic vertical.

Lorsqu'on veut vérifier une pièce d'un essieu monté (bandage de roue, axe), il faut commencer par choisir une fréquence compatible avec l'épaisseur de la pièce : 2 MHz pour l'axe testé par ses extrémités ; 3 MHz pour les bandages ; 5 MHz pour les petites pièces.

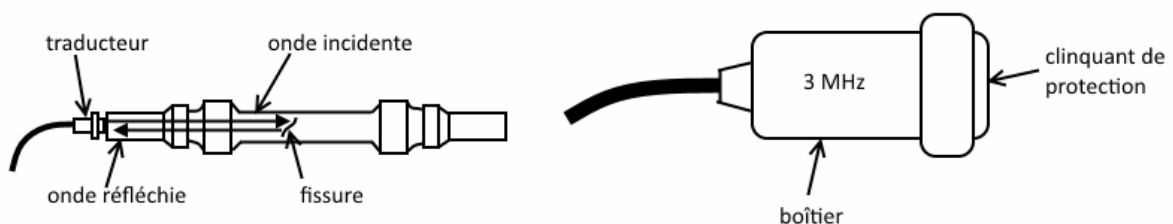
Il est alors nécessaire d'étalonner l'écran de l'oscilloscope ; à cet effet, on utilise un *étalon*, en forme de cylindre, contenant soit un liquide (alcool ou eau), soit un solide (acier). Les échos provoqués par cet étalon sont connus d'avance en position ; en posant les traducteurs dessus, on peut alors régler la position de ces échos sur le cadran.

On peut alors commencer l'expertise. Après avoir graissé les parties de l'essieu sur lesquelles sera appliqué le traducteur (ceci pour éviter une usure trop rapide du clinquant de protection), on déplace celui-ci de manière à couvrir toute la surface où sont susceptibles de se trouver des fissures. Si la pièce est saine, les seuls échos seront : l'écho de fond provoqué par l'extrémité opposée ; et les éventuels échos dus à la forme de cette pièce.

Si la pièce comporte une fissure, l'écho se distingue des précédents par sa position quelconque sur l'écran. Elle est dite alors « mauvaise aux ultrasons ».

Remarque : les traducteurs ne se différencient pas seulement par leur fréquence d'utilisation, mais aussi par leur forme :

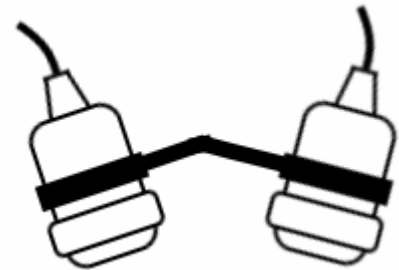
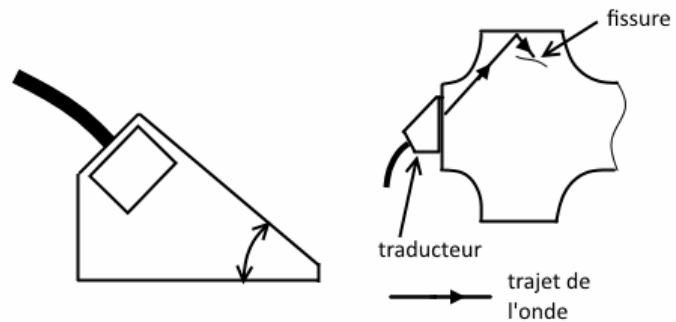
- traducteurs droits



- traducteurs d'angle, dans lesquels le dispositif est noyé dans un bloc de résine synthétique, de façon que l'angle d'incidence de l'onde ne soit pas nul.

Ils servent à créer, par réflexion sur des parois, des ondes qui peuvent atteindre des endroits dont l'accès serait autrement impossible.

- traducteurs doubles (deux traducteurs droits liés), dont l'un fonctionne en émetteur et l'autre en récepteur.



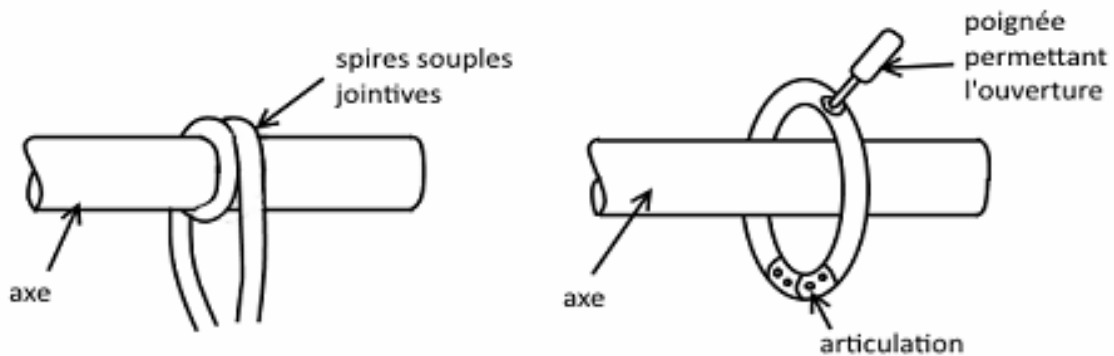
Les ultrasons permettent de déceler des fissures à des endroits inaccessibles par les autres méthodes ; cependant, dans certains cas, la forme des échos obtenus ne permet pas de décider s'ils sont l'indice d'une fissure ou non ; il faut donc avoir recours à la magnétoscopie (surtout pour les axes) et au ressuage (pour les corps de roue).

b- Magnétoscopie

Cet examen consiste à repérer les défauts (fissures) dans les axes d'essieux, défauts situés en surface ou à faible profondeur.

Le principe est de créer un *champ magnétique* dans la pièce ; ce champ subit des anomalies au droit des failles. On le matérialise par de l'oxyde magnétique de fer pulvérulent en suspension dans un mélange d'huile et de pétrole, le tout étant appelé *liqueur magnétique*.

Le champ est créé autour de l'axe par des spires parcourues par un courant de 20 V environ, donc sans danger pour l'opérateur. On utilise soit des spires simples, soit un appareil à spire rigide plus puissant.



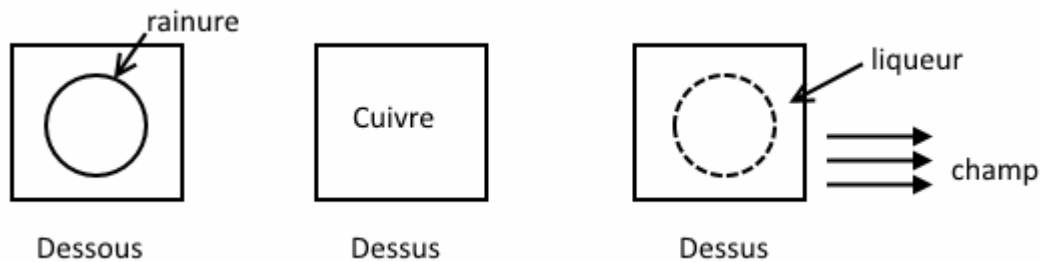
La liqueur magnétique doit être préparée peu de temps avant l'opération, pour éviter le dépôt de l'oxyde en suspension.

Elle est répandue sur l'axe à proximité de la spire (dont le champ est efficace dans une zone de 10 cm environ de part et d'autre). Si la pièce est saine, le champ est

constant et la répartition des grains d'oxyde est homogène. S'il y a une fissure, le champ est perturbé ; l'oxyde s'y concentre, et le dessine en noir sur le fond très clair spécialement préparé.

Pour mettre en évidence l'existence du champ magnétique, on utilise un témoin, qui est une petite plaque (2 cm × 2 cm) recouverte sur une face de cuivre.

De l'autre côté, on a gravé une rainure circulaire très mince. Lorsqu'on met le témoin dans le champ et qu'on verse un peu de liqueur magnétique sur la face non rainurée, l'oxyde dessine le cercle correspondant à la rainure qui fait office de fissure.



L'apparition du spectre doit être immédiate.

c- Ressuage

On s'occupe ici des corps de roue. Après avoir subi un nettoyage complet (white-spirit, eau, air comprimé), le corps de roue est entièrement passé au « rouge organol » liquide très mouillant qui pénètre donc facilement dans les fissures débouchantes.

On laisse agir 10 minutes, puis on lave à l'eau et on sèche à l'air comprimé. On passe ensuite le corps de roue au « blanc », sorte de peinture blanche très absorbante.

Il suffit alors de laisser sécher. S'il existe des failles, le « rouge organol » qui s'y trouve est absorbé par le « blanc » et les dessine d'une manière très lisible. Cette apparition du rouge se produit théoriquement au bout de 24 heures.

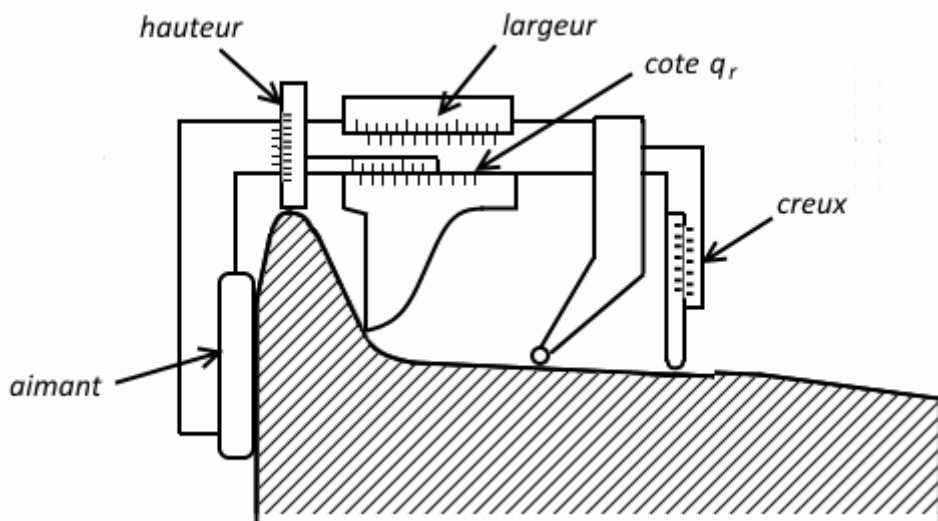
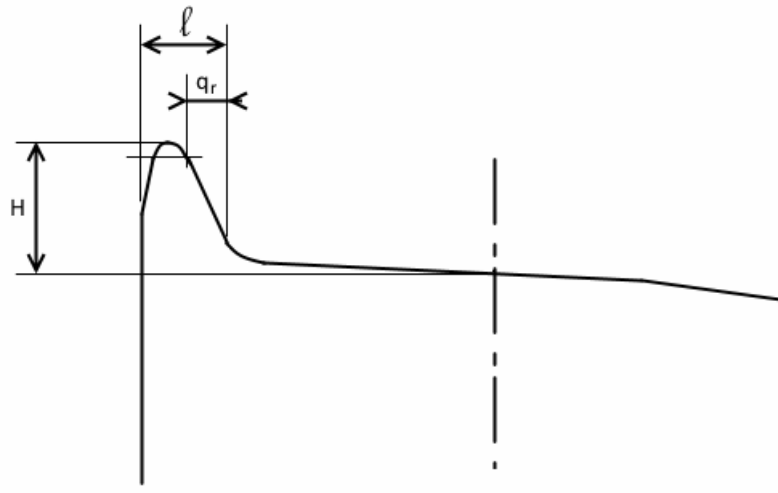
On comprend qu'avant de blanchir la roue, il est nécessaire de la débarrasser complètement du rouge qui pourrait produire des taches n'ayant aucune signification, et perturberait ainsi l'expérience.

d- Expertise des caractéristiques de l'essieu

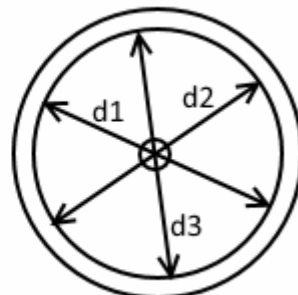
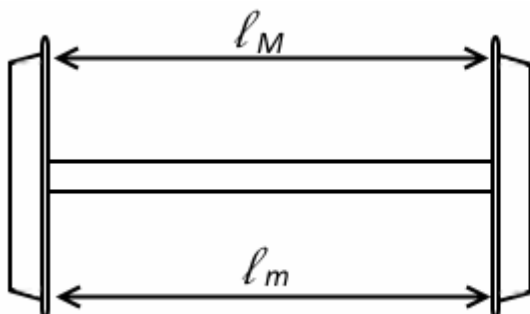
Il s'agit principalement de vérifier le profil du bandage ou de la roue (roue monobloc), son ovalisation éventuelle, et le parallélisme des deux roues.

Profil de bandage : ce profil est bien défini par des dessins, et il convient de savoir s'il pourra être rectifié par tournage sans trop amincir le bandage (qui doit avoir une épaisseur supérieure à 5 cm) ou trop réduire de diamètre des roues monobloc.

Un seul appareil (voir schéma) permet de mesurer quatre cotes en même temps : la hauteur du boudin, sa largeur, le creux de la table de roulement et la « cote q_r » :



D'autre part, l'expert mesure les distances maximale l_M et minimale l_m entre les deux faces internes des boudins et en déduit la différence $l_M - l_m$, et plusieurs diamètres des deux roues.



Détermination
du diamètre
moyen
 $\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}$

On se trouve donc en possession des mesures H , l_r , q_r , $l_M - l_m$ et $d_M - d_m$. L'expert les compare aux tolérances admises, par exemple :

$$q_r > 6,5 \text{ mm}$$

$$36 > H > 25 \text{ mm}$$

$$l_M - l_m < 3 \text{ mm}$$

$$d_1 - d_2 < 20 \text{ mm (différence d'usure diamétrale entre les deux roues)}$$

Si l'une de ces tolérances n'est pas respectée, l'élément incriminé est réformé.

2- Opérations de séparation et de remontage des éléments de l'essieu

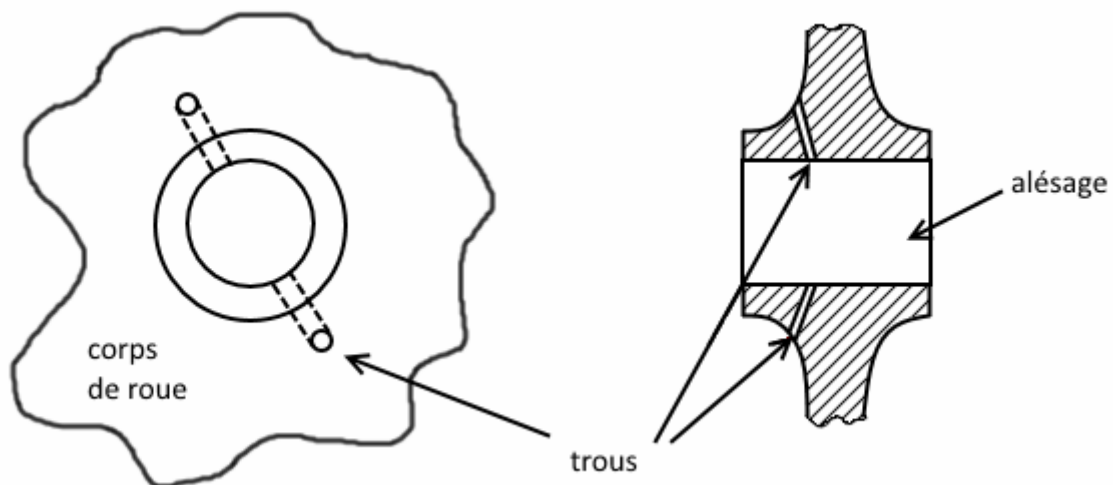
Après une ou plusieurs des expertises décrites précédemment, il faut souvent séparer les roues de l'axe (1), les bandages (lorsqu'ils existent) des corps de roues.

Ces opérations sont appelées *décalage* et *désempatage*.

a- Calage, décalage

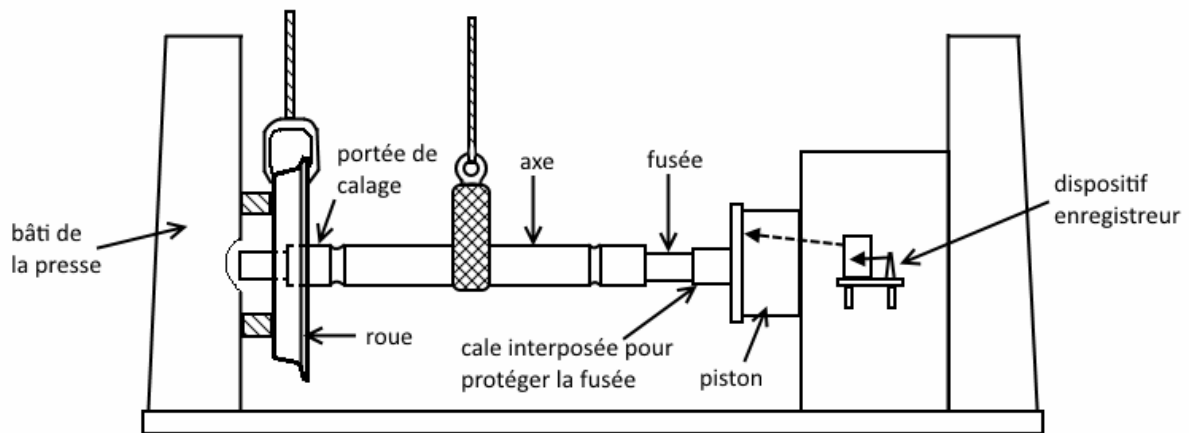
Pour séparer la roue de l'axe, il faudrait exercer des pressions énormes avec la presse à décaler. Aussi utilise-t-on une méthode qui facilite beaucoup l'opération.

Sur le corps de roue, au voisinage du centre, se trouvent deux trous diamétralement opposés débouchant à l'intérieur de l'alésage.



Ces trous habituellement obturés par une vis sont ouverts et on leur adapte un tube par lequel on envoie de l'huile sous pression. Cette huile s'infiltré entre la roue et l'axe et facilite ainsi grandement le décalage.

Le calage, ou recalage, s'effectue aussi à l'aide d'une presse hydraulique.

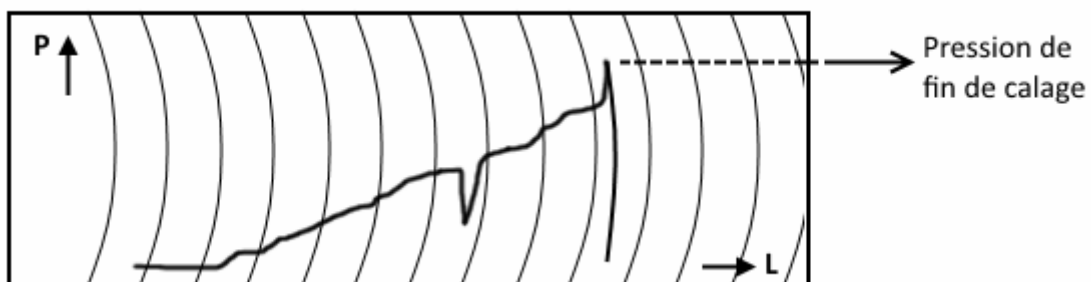


Cette opération pose des problèmes assez délicats : il faut en effet que la roue soit au départ bien perpendiculaire à l'axe, et surtout que le calage s'effectue régulièrement, sans à-coups qui seraient les indices d'une mauvaise adhérence entre les surfaces en contact.

De plus, les essieux de CC 40100 exigent un calage avec réglage angulaire, cela étant dû à une particularité de leur transmission. Or il peut arriver que, lors du calage, la roue tourne légèrement par rapport à l'axe. Il faut donc constamment la surveiller au moyen de repères et d'apporter en cours d'opération des corrections.

La presse est dotée d'un dispositif enregistreur à tambour qui enregistre sur un graphique spécial la pression de calage en fonction de l'avance du piston. Un à-coup s'y traduit par un pic négatif, car alors la pression baisse brusquement.

Un graphique de calage sera bon si la courbe est relativement régulière et de pente positive :



On définit la pression de fin de calage lorsque la roue a atteint sa position définitive. Elle admet un minimum et un maximum en dehors desquels le calage doit être recommencé :

$$\left. \begin{array}{l} \text{pression maxi} = 2,5 DL \\ \text{pression mini} = 2 DL \end{array} \right\} \begin{array}{l} D = \text{diamètre de la portée de calage} \\ L = \text{longueur de cette portée} \end{array}$$

On tolère une pression maxi = $1,2 \times 2,5 DL$.

On définit également le *serrage*, déterminé par l'usinage au tour de la portée de calage et de l'alésage de la roue :

$$\text{Serrage} = \text{diamètre de portée} - \text{alésage de la roue}$$

$$\text{Serrage minimum} = \frac{\text{diamètre}}{1000} + 0,10 \text{ (en mm)}$$

$$\text{Serrage maximum} = \frac{\text{diamètre}}{1000} + 0,15$$

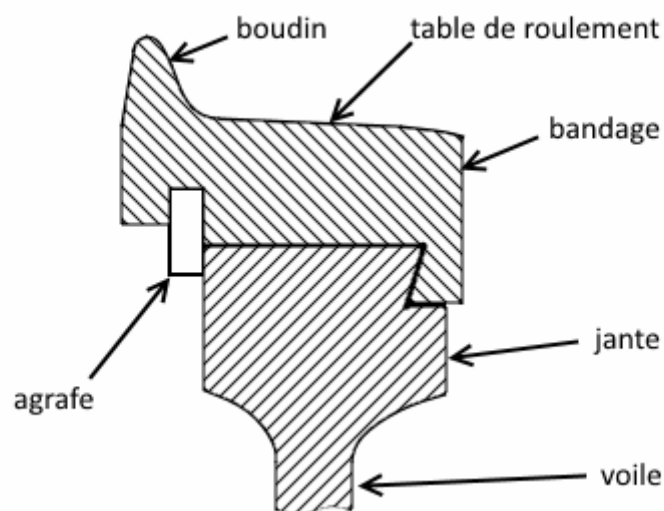
Lorsque plusieurs révisions ont entraîné un trop grand alésage de roue ou un trop petit diamètre de portée, sans que l'on soit obligé de réformer un élément, on recale en interposant une *fourrure*.

C'est une plaque de tôle parfaitement plane d'épaisseur variant de 0,5 à 2,5 mm enroulée autour de la portée et maintenue au début du calage par un colloer. Cette opération n'est autorisée qu'une seule fois pour une roue donnée.

b- Embatage - Désembatage

Cette opération ne porte que sur les roues à bandage, puisqu'il s'agit d'enlever et de remettre ceux-ci.

Le bandage en acier dut est maintenu sur la jante par pression et une agrafe l'empêche de bouger latéralement. Il faut donc l'enlever lorsqu'il est nécessaire de le réformer.

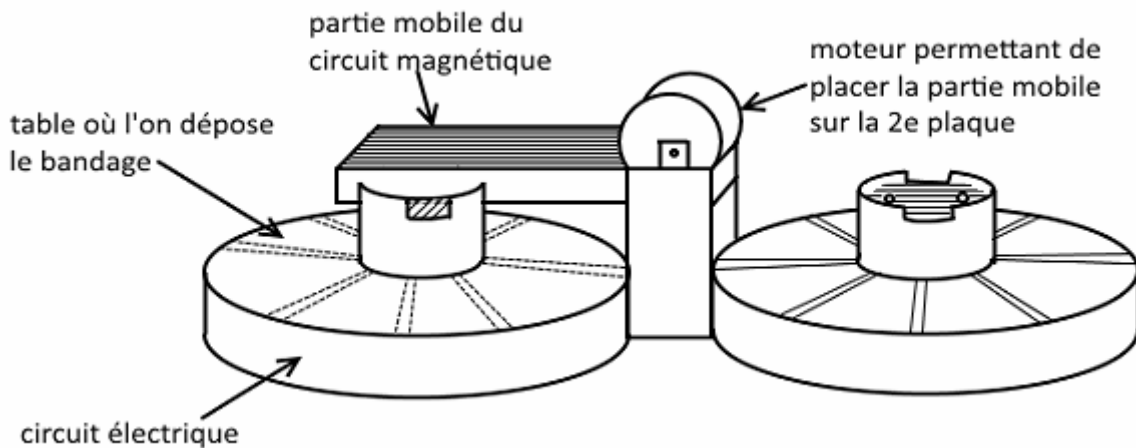


Coupe bandage + jante + agrafe

Pour désembater, on commence par couper l'agrafe circulaire en un point, puis on la fait sortir de son logement au marteau.

On dépose alors la roue bandagée au centre d'une rampe à gaz circulaire comprenant 12 becs qui chauffent le bandage par sa table de roulement. Après environ 10 mn (parfois plus), la roue se dégage facilement, du fait de la dilatation du bandage.

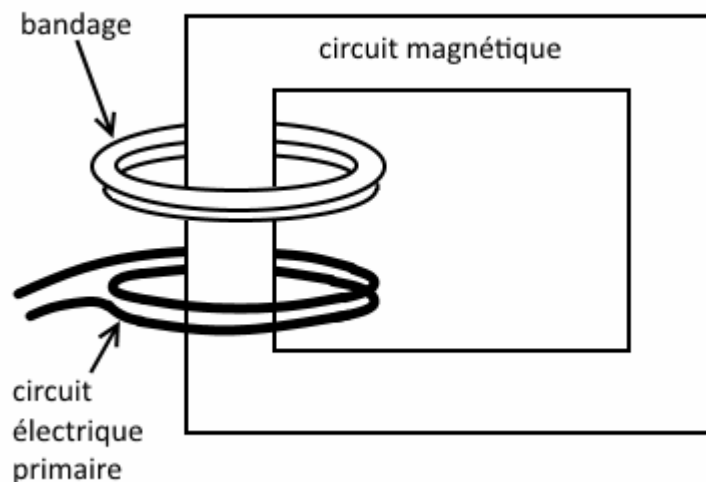
L'embatage se fait de la même façon, mais on utilise pour chauffer le bandage un *four à induction* :



Le fonctionnement schématique est le suivant :

Le champ magnétique produit par le circuit électrique primaire induit dans le bandage (qui est un secondaire en court-circuit) un courant très intense qui le fait chauffer.

Lorsque le bandage est suffisamment dilaté, il suffit d'y placer la jante, puis, après refroidissement, de placer l'agrafe dont les 2 extrémités seront soudées entre elles.



c- Boîtage

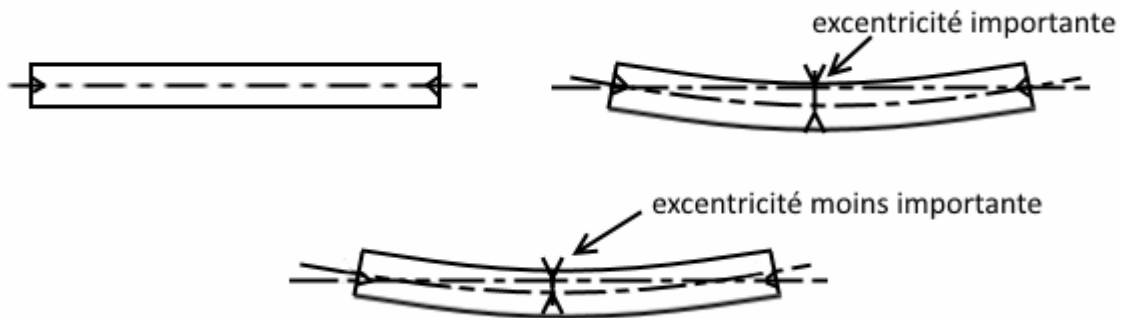
Le remontage des boîtes est aussi une opération mécanique, mais nous en parlerons après le réglage, car il est en est la continuation.

3- Usinages et rectifications des divers éléments

Dans ce paragraphe, il s'agit de décrire tout ce qui concerne le tournage des axes, des jantes, des bandages, et aussi les opérations faites sur les coussinets de boîtes, et principalement du réglage.

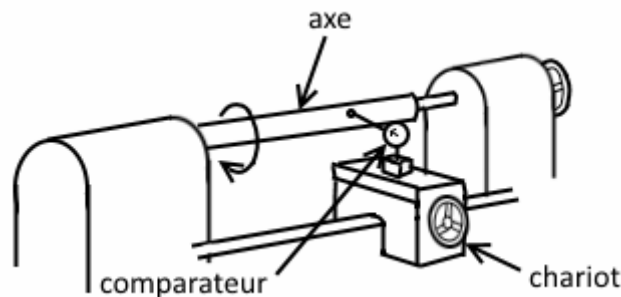
a- Tournage des axes

Lorsqu'un essieu est service, il peut être soumis à des chocs, des contraintes, etc. Il arrive donc que l'axe ne soit plus rectiligne. Il faut d'abord modifier l'axe de rotation pour rattraper le mieux possible l'excentricité.



On meule donc les trous de centrage de façon que l'excentricité mesurée au comparateur sur les fusées ne dépasse pas 1/10 de mm. S'il n'est pas possible d'y parvenir, l'axe est réformé.

Pour vérifier cela, on place l'axe sur le tour, le comparateur sur le chariot et on fait tourner lentement ; le maximum de déplacement de l'aiguille donne l'excentricité.



Il reste à rectifier les portées de calage et les congés de raccordement.

b- Alésage des roues et des bandages

Nous en parlerons pour mémoire. Il est effectué sur les tours verticaux, par outil tournant.

Signalons qu'il est nécessaire de meuler préalablement les trous servant au décalage pour éviter un arrachage de matière.

c- Tournage des jantes

Elles sont tournées montées sur leur axe (l'embarquement se faisant après le recalage). La finition s'effectue sur le tour, à la meule, et donne un état de surface et un poli remarquable.

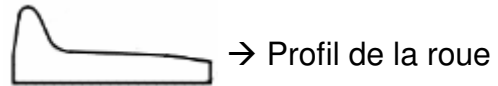
Le tourneur doit tenir compte ici aussi des cotes de serrage, c'est-à-dire de la différence de diamètre entre la jante et l'alésage du bandage.

d- Rectification et usinage des bandages montés et des roues monobloc

Pour cette opération, on dispose de 2 sortes de tours :

- *les tous Nills*, capables de faire des passes de grosse épaisseur, qui tournent lentement et ont une avance d'outil rapide. L'état de surface de la table de roulement présente un aspect de crêtes et d'écaillés.
- *les tours Betts*, sur lesquels on fait la finition, qui permettent la copie, le tournage des fusées et leur galetage.

La copie consiste à placer à 'endroit prévu à cet effet un profil modèle du boudin et de la surface de roulement de la roue. Un copieur suit de profil et imprime le mouvement correspondant à l'outil qui le reproduit sur la roue.



Le fait que le Bett possède plusieurs chariots permet de tourner deux roues en même temps.

Le galetage intervient sur les fusées supportant les boîtes d'essieu. Son but est d'abord de renforcer la dureté du métal sur une certaine épaisseur, car c'est sur les fusées que s'exerce le poids de la locomotive, par l'intermédiaire des coussinets ou des boîtes à rouleaux.

Le galet en acier très dur, monté sur roulement à billes, est placé sur le chariot de tour. Un manomètre indique la *pression de galetage*, fixée à 2000 daN pour un axe neuf ou si l'on a dû enlever plus de 5 mm de métal sur le diamètre ; dans le cas contraire, elle est seulement de 900 daN, et l'opération prend alors le nom de *brunissage*.

L'état de surface, déjà très bon après le dernier passage de l'outil, est presque parfait (réflexion de la lumière).

4- Régulage des coussinets

La liaison entre le bogie et l'essieu d'une locomotive se fait par une boîte d'essieu, qui est soit à *rouleaux* soit à *coussinets*.

Un coussinet est une pièce en bronze ou en acier de forme sensiblement semi-cylindrique ; 2 coussinets enferment la fusée de l'essieu. Le frottement est diminué par l'emploi de *métal blanc antifricion*, dont voici une composition type :

Antifricion AE1	{	4,5 à 8,5 % Cu (cuivre)
		maxi 1,2 % Plomb (plomb)
		9,5 à 13,5 % SB (antimoine)
		81 à 85 % Sn (étain)

Le réglage consiste donc à déposer sur les coussinets le métal antifricion.

Nous allons suivre les opérations dans l'ordre réel.

a- Dérégulage

Les coussinets usagés ou chauffés (l'antifricion a fondu) doivent être débarrassés de l'antifricion restant. On les passe dans un four à gaz à 385° pour le bronze

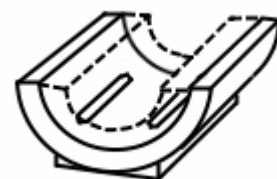


Schéma d'un coussinet sans antifricion

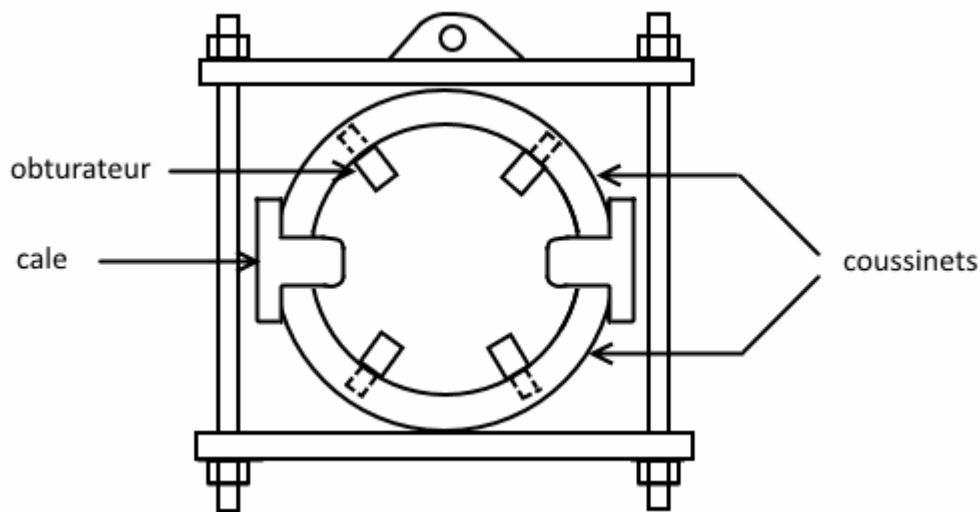
et à 430° pour l'acier ; le temps nécessaire à la fusion est variable (1 mn environ). Puis on les brosse pour éliminer totalement le métal blanc.

b- Préparation au réglage

Le coussinet ainsi nettoyé est meulé intérieurement, pour ébavurer les arêtes, les jours par lesquels le graissage et la lubrification s'effectuent, et pour donner au bronze un bon état de surface. Il arrive même que l'on sable les surfaces (projection de « sable » sous pression).

Puis on place dans les jours de graissage des obturateurs ; l'étanchéité est réalisée par de l'enduit Polyfilla. On évite ainsi la pénétration de l'antifriction dans ces trous. On passe les surfaces externes à ne pas régler au « ruber », enduit qui évite à l'antifriction de coller.

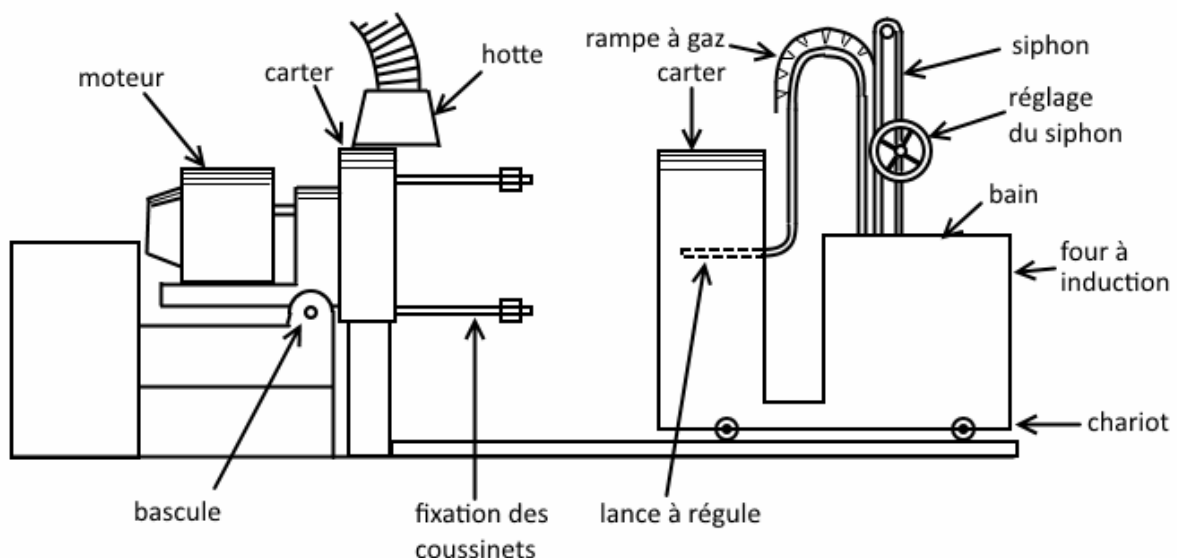
Pour assurer une meilleure adhérence, on passe à l'acide dilué puis on assemble deux coussinets ayant le même diamètre intérieur avec des cales et des serre-joints.



Le dernier stade de la réparation consiste à étamer superficiellement les pièces. Ceci est réalisé par un bain contenant 50 % d'étain et 50 % de plomb.

c- Réglage

Il se fait dans une machine dont voici le schéma.



La machine est représentée ouverte, les coussinets sont fixés, on place d'un côté une plaque formant bouchon ; dont l'étanchéité est réalisée par enduit séché au chalumeau. On répand aussi du bakélite en poudre sur les parties à ne pas réguler.

Le fonctionnement est le suivant : après avoir fait ces préparatifs, (avec l'ensemble moteur, hotte et carter vertical), la bascule met les coussinets en position horizontale, et on approche le chariot de façon à les enfermer complètement dans les carters.

Suivant le diamètre des coussinets, on règle la quantité de régule qu'on va envoyer à l'aide du siphon manœuvré par volant. Alors que les coussinets sont mis en rotation par le moteur, on envoie de l'azote sous pression (gaz inerte) dans le four, ce qui a pour effet de chasser la quantité de régule voulue par la lance sur les coussinets.

L'admission de l'azote est asservie à la température qui doit être bien déterminée, par 2 pyromètres.

On obtient par ce procédé une couche d'antifricction d'environ 3 cm d'épaisseur.

d- Opérations finales

Les coussinets toujours assemblés sont séparés, débarrassés des enduits divers et des obturateurs, et sablés pour enlever les multiples bavures de métal.

Ils sont alors passés à l'« écroûtage », qui consiste à enlever, par outil tournant, une certaine quantité de régule et de donner au coussinet son diamètre intérieur provisoire.

C'est au montage des boîtes que l'on fait la finition, pour adapter le diamètre à celui de la fusée qui va le recevoir.

5- Montage des boîtes d'essieu

Deux cas se présentent : celui des boîtes à coussinets et celui des boîtes à rouleaux.

a- Boîtes à coussinets

Elles existent sur les BB 16500, 17000, 25500 (intérieures). Sur les 16500, elles sont en 2 parties, ce qui permet leur montage sur l'essieu complet.

Sur les 17000 et 25500, elles sont d'une seule pièce, ce qui nécessite le montage avant recalage.

Dans les 2 cas, les coussinets sont emboîtés dans des logements prévus à cet effet, et les boîtes sont refermées avec interposition de joints d'étanchéité et d'obturateurs pour éviter les pertes de graisse.

On leur fixe également une plaquette sur laquelle sont poinçonnés divers renseignements.

b- Boîtes à rouleaux

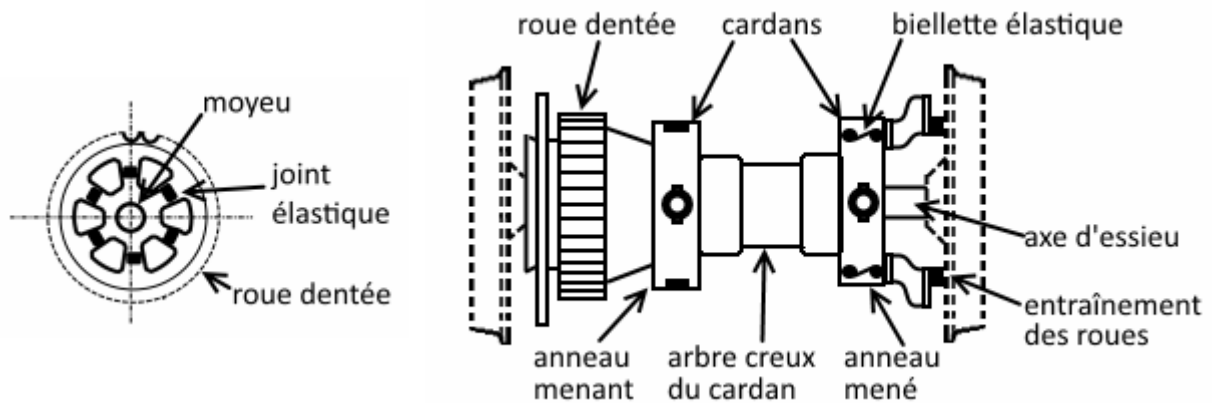
Les rouleaux sont des pièces d'acier tronconiques disposés sur une couronne entourant la fusée d'essieu.

Sur les BB 16000, 13000, 12000, il y a 2 couronnes par boîte, avec entre les deux, deux demi-couronnes qu'on emboîte à force et qui permettent le réglage de la pression des rouleaux.

III- Renseignements divers

1- Transmissions

Les transmissions vont de la simple roue dentée calée sur l'axe (CC 14000 et 14100) (remplaçant les précédentes qui possédaient des joints élastiques), à la transmission Jacquemin nettement plus élaborée.



*Ancienne transmission
CC 14000, 14100*

*Transmission Jacquemin BB 12000, 13000, 16000.
Les traits gras indiquent les bagues élastiques.*

2- Tolérances de différences d'usure entre essieux montés

Lorsqu'on usine les roues, il faut encore tenir compte du fait qu'elles seront montées sur un même engin, et particulièrement sur un même bogie.

Il ne faut donc pas que la différence d'usure diamétrale entre 2 essieux d'un même bogie soit supérieure à :

20 mm si les essieux sont couplés mécaniquement ;

40 mm si les essieux sont indépendants

4 mm si les moteurs sont triphasés.

IV- Conclusion

Pour le profane, un essieu de locomotive est une pièce d'une grande simplicité. Dans l'atelier des roues, on s'aperçoit bien vite qu'il n'en est rien, tout au moins en ce qui concerne la détection des défauts, indispensable à la sécurité et au bon rendement des engins.

Par ailleurs, l'atmosphère humaine et les rapports avec les ouvriers de l'atelier sont très bons, et chacun donne volontiers les explications demandées.

Ce stage fut donc intéressant et profitable aussi bien en ce qui concerne la technique que les rapports sociaux.