LEGENDRE Siret : 410 368 351 00012 NAF : 4778C:

R. LEGENDRE 38 rue Taine – 75012 PARIS. Tél : 01 43 40 54 56
Mobile : 06 08 82 60 79 - E. Mail : legendre38@yahoo.com

Pôle Maintenance

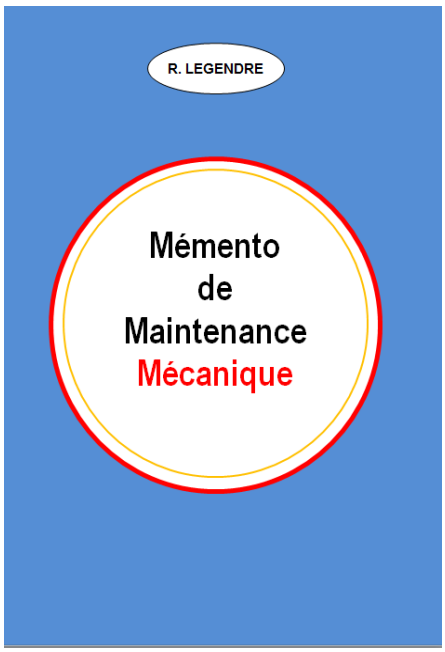
Après 50 ans de carrière dont 28 d'ingénieur conseil en maintenance, avec la collaboration de Responsables de Maintenance, l'auteur réalise les livres techniques suivants:

- Maintenance Mécanique : voir ci-après
- Maintenance Electrique (Prévu en Juillet)
- Maintenance Préventive (Prévu en Juillet)
- Techniques d'atelier
- Analyses causales (Dépannages + Historiques)
- Organisation de la maintenance.

Il a l'intention de créer un **Pôle maintenance** avec les ouvrages précités et les normes pouvant intéresser un responsable maintenance : maintenance - environnement - sécurité.
Un site internet sera créé dès que les 3 premiers ouvrages auront été réalisés.

NB : Actuellement le premier livre présenté ci-après est édité par IN SITU et NORMADOC

Mémento de Maintenance mécanique
Description + 73 pages en exemples



Prix à l'unité : 260 €. TTC

Ouvrage grand format 21 x 29 cm
710 pages - Noir et couleur

Papier 115 g couché satin, reliure de qualité

- **Bon de commande :** cliquez ici

"La Bible de la maintenance mécanique en France"

Conçu et rédigé par M. Robert LEGENDRE, l'un des meilleurs spécialistes de la maintenance industrielle en France de ces 25 dernières années, cet ouvrage de plus de 700 pages, unique en son genre, vient répondre de manière concrète et pratique à l'essentiel des préoccupations techniques en maintenance mécanique.

Sa réalisation a profité des propres connaissances et expériences de l'auteur dans de très nombreuses usines, de l'avis de responsables de maintenance mais aussi de documentations techniques anglo-saxonnes qui existent encore outre-manche et outre-atlantique.

Le contenu du Mémento de Maintenance mécanique est également utile au stade de la conception.

Cet ouvrage est l'outil indispensable à tout Responsable, Agent de maîtrise ou Technicien de Maintenance ainsi qu'à tout Responsable d'étude.

Organisation de l'ouvrage

Le Mémento Maintenance mécanique est organisé en deux grandes parties :

1ère Partie (358 pages) : Analyses des causes et remèdes pour les différents types de défaillances en mécanique

Notre expérience nous a conduit à distinguer 3 types de défaillances du matériel :
Défaillances extrinsèques – Défaillances dispersées – Défaillances intrinsèques

Une défaillance extrinsèque a une cause qui est spécifique à un organe, à une fonction, à un produit où elle apparaît ; cette cause n'est pas due à la dégradation normale d'un organe.
La défaillance peut survenir plusieurs fois par an.
Notre démarche consiste à analyser systématiquement le phénomène du point de vue physique.

Le chapitre **« Aides aux diagnostics de défaillances »** apporte des solutions en termes de causes et remèdes pour ce type de défaillance.

Les défaillances dispersées ont une cause qui est générale à plusieurs organes, ou plusieurs fonctions, ou plusieurs produits où elles apparaissent.
Il s'agit de trouver un point commun à des défaillances semblables. Ce point commun est ***très souvent une ou plusieurs règles de l'art*** non respectées.

Le chapitre « **Règles de l'art en maintenance »** présente 75 règles de l'art.

Une défaillance intrinsèque a pour cause l'usure ou dégradation normale d'un organe.
En général, elle nécessite le remplacement de l'organe et elle ne survient qu'au maximum une fois dans l'année.
On évite les pannes par la maintenance préventive.
Les chapitres **« Contrôles de maintenance préventive »** et **« Standards de maintenance préventive »** apportent les réponses d'ordre technique quant à ce besoin.
Il existe également des défaillances inopinées qui se manifestent en dehors des données habituelles. Etant causées par une variation inattendue des conditions de fabrication, il faut simplement prendre des mesures de remise en état pour revenir à l'état normal.

2ème Partie (347 pages) : Documentation pratique

Sécurité

- Principes généraux de prévention
- Consignations et déconsignations
- Plan de prévention
- Visites et formations réglementaires
- Evaluation des risques

Techniques spéciales

- Colles en maintenance
- Lubrification
- Soudage des pièces métalliques
- Soudage des pièces en matières plastiques
- Métallisation et rechargement de pièces
- Revêtements et solutions maintenance
- Protection cathodique
- Traitements thermiques
- Levage et manutention

Codification, symboles et normes

- Codification en boulonnerie
- Codification des métaux ferreux
- Codification des métaux non ferreux
- Symboles en robinetterie
- Symboles en hydraulique
- Symboles en pneumatique
- Codification des roulements
- Normalisation des cotes et états de surface
- Normes de maintenance

Lois et valeurs physiques

- Unités de mesure françaises et anglo-saxonnes
- Densités des solides et liquides
- Températures matières plastiques et métaux
- Coefficients de dilatations
- Informations techniques diverses
- Algèbre et géométrie
- Duretés
- Propriétés des différents métaux
- Production de vapeur d'eau
- NPSH et hauteur manométrique

Matériels courants

- Boulonnerie
- Roulements
- Chaines
- Courroies
- Accouplements
- Réducteurs
- Joints
- Garnitures mécaniques
- Pompes
- Vannes
- Hydraulique

- Organes divers
- Purgeurs

Témoignages

Raphaël WITMAN, Directeur Technique de **Wrigley** à Biesheim (Production de chewing-gums) :
« Un ouvrage truffé d'informations pratiques, de données et de valeurs concrètes, accessibles à l'ensemble des interlocuteurs de maintenance ».

Gilles HEYRAUD, Chef du Service Maintenance de **Volvic** à Volvic (Production d'eau minéralisée en bouteilles) :
« Ce mémento contient des outils résolument pratiques et ancrés dans le quotidien de la maintenance ».

Vincent BESTAVEN, Chef du Service Maintenance de **Egger** à Rion des Landes (Fabrication de panneaux et décors) :
« Le mémento technique de la maintenance me permet quotidiennement d'étoffer nos modules de formation pour nos apprentis et nos mécaniciens. Il apporte des données « terrain » difficiles à trouver dans les ouvrages standards »

Gaston DOUL, Chef du Service de Maintenance & TN de **Continental** à Sarreguemines (Production de pneumatiques) :
« Enfin un ouvrage pratique et pragmatique pour la maintenance »

Joêl HOUSSEMAND, Chef du Service de Maintenance des **Papeteries de Clairefontaine** à Etival-Clairefontaine (Production de papier) :
« C'est un ouvrage essentiel et complet pour tous les responsables de maintenance ».

Louis MAY, Chef du Service de Maintenance de **Tata Steel France Rail** à Hayange (Fabrication de rails ferroviaires) :
« Enfin un ouvrage proche des préoccupations de terrain du personnel de maintenance, avec beaucoup de vécu et d'expérience »

Yves RIGAL, Expert judiciaire auprès de la **Cour de Cassation** et de la **Cour d'Appel** de Douai :
« Cet ouvrage est très utile pour la profession dans le cadre d'expertises techniques. Il fait le rappel des éléments de base professionnels »

Gilles BOUVRESSE, Responsable de la Maintenance Centrale de **Solvay** à Dombasle-sur-Meurthe (Chimie) :
« Très bel ouvrage, très complet ».

Fabien SCHNEIDER, Responsable d'activités régionales de **KSB Service Est** à Saint-Avold (Sous-traitance : Réparations de pompes) :
« L'ouvrage ne comprend que des informations pratiques collant avec la réalité de la maintenance ».

Jean-Pierre BOURROUX Responsable de Maintenance Production de **Bristol-Myers Squibb France** à Agen (Production pharmaceutique) :

« Un excellent guide pratique pour tous les mainteneurs, riche en détails pratiques, à mettre entre toutes les mains des techniciens. »

Patrick PISSOT, Responsable technique de **Arjowiggins Graphic** à Saint Mars La Brière (Production de papier) :
« C'est un ouvrage très complet, pratique et pragmatique »

Christian DECHET Chef du Service de maintenance de **AMIS** à Montluçon (Fabrication de pièces pour l'industrie automobile) :
« C'est un guide truffé de données et d'informations pratiques, accessibles à tout le personnel de maintenance ».

Frederic GEBHARD Chef du Service de maintenance et TN de **Novacarb** à Laneuville devant Nancy (Production de carbonate de sodium) :
« Ce mémento a été conçu comme un outil au service du personnel de maintenance, avec des informations précises, pragmatiques et concrètes ».

André STARZYK, Chef du Service de Maintenance de **Tarkett** à sedan (Production de revêtements de sol)
« Ce livre est très complet, pratique et pragmatique, fruit de beaucoup d'expérience »

Jean-Paul SOURIS, Consultant en Maintenance, spécialiste du conseil en organisation et de la méthode Maxer :
« Cet ouvrage, porteur d'une grande expérience en maintenance, est précieux pour tous ceux qui sont chargés de faire progresser les performances des équipements ».

Emile SOULIER, Chef du Service de maintenance de **Foraco** à Lunel (Forages et prospections minières) :
« Un ouvrage accessible à tout le personnel de maintenance, avec plein de données, de valeurs concrètes et d'informations pratiques ».

Robert Legendre

De formation Ingénieur Ensam (Arts & Métiers), **Robert Legendre** a travaillé en conception, production et maintenance dans des usines en France, Angleterre, Etats-Unis et Belgique et dans ce cadre il a aussi réalisé des audits de productivité en Allemagne, Suède, Ecosse et Mexique.

Après ces expériences opérationnelles Robert Legendre a alors exercé la fonction d'ingénieur conseil en maintenance pendant plus de 28 ans comme salarié, directeur d'un cabinet puis à son compte. De ce fait il est intervenu dans environ 350 usines d'industries diverses : grosse mécanique, automobile, chimie, sidérurgie, papeterie, verrerie, mécanique, transformations diverses, fonderie, raffinerie, agro-alimentaire, divers.

Durant les 10 dernières années les interventions ont été surtout axées sur la maintenance préventive et la fiabilisation, avec par ailleurs la réalisation de carnets de règles de l'art en maintenance, vendus à 5 000 exemplaires en 4 ans.

➔ **Voir ci-après 73 pages en exemple**

1ère Partie Défaillances : causes et remèdes

Différents types de défaillances

Aides aux diagnostics de défaillances
- 101 pages
  - Comment trouver la cause
  - Différents types de ruptures et remèdes
  - Différentes détériorations de surface et remèdes
  - Différentes corrosions et remèdes
  - Analyses des bourrages
  - Analyses des blocages
  - Défaillances de roulements et remèdes
  - Défaillances d'engrenages et remèdes
  - Défaillances de garnitures mécaniques / remèdes
  - Défaillances de pompes hydrauliques / remèdes
  - Défaillances de courroies / remèdes
  - Tableaux causes-effets

Règles de l'art en maintenance – 140 pages,
- Serrages (1 r.a)
- Roulements et coussinets (10 r.a)
- Joints (6 r.a)
- Accouplements (4 r.a)
- Chaînes et courroies (2 r.a)
- Tuyauterie et robinetterie (6 r.a)
- Pompes et turbines (8 r.a)
- Hydraulique (9 r.a)
- Pneumatique (3 r.a)
- Divers (16 r.a)
- Sécurité (3 r.a)
- Stockage (5 r.a)
- Tolérances ISO (2 r.a)

Contrôles de maintenance préventive– 72 pages
- Contrôles sensoriels
- Inspection du sous-sol
- Inspection des bâtiments
- Inspection des tuyauteries et circuits
- Inspection des machines
- Moyens de contrôles assez simples
- Endoscopie
- Mesures de vibrations
- Analyses d'huile
- Thermographie
- Courant de Foucault
- Ressuage
- Magnétoscopie
- Contrôles par ultrasons
- Contrôle des vannes

Standards de maintenance préventive
43 pages – 109 standards par types de matériels

2ème Partie Documentation pratique

Sécurité – 36 pages
- Principes généraux de prévention
- Consignations et déconsignations
- Plan de prévention
- Visites et formations réglementaires
- Evaluation des risques

Techniques spéciales – 78 pages
- Colles en maintenance
- Lubrification : roulements, coussinets et glissières, réducteurs, compresseurs, chaînes et câbles
- Soudage des pièces métalliques
- Soudage des pièces en matières plastiques
- Métallisation et rechargement de pièces
- Revêtements et solutions maintenance
- Protection cathodique
- Traitements thermiques
- Levage et manutention

Codification, symboles et normes – 41 pages
- Codification en boulonnerie
- Codification des métaux ferreux
- Codification des métaux non ferreux
- Symboles en robinetterie
- Symboles en hydraulique
- Symboles en pneumatique
- Codification des roulements
- Normalisation des cotes et états de surface
- Normes de maintenance

Lois et valeurs physiques – 40 pages
- Unités de mesure françaises et anglo-saxonnes
- Densités des solides et liquides
- Températures matières plastiques et métaux
- Coefficients de dilatations
- Algèbre et géométrie
- Duretés Brinell, Rockwell, et Vickers
- Propriétés des différents métaux
- Production de vapeur d'eau (diag. de Mollier)
- NPSH et hauteur manométrique
- Informations techniques diverses

Matériels courants – 151 pages
- Boulonnerie
- Roulements
- Chaines
- Courroies
- Accouplements
- Réducteurs
- Joints
- Garnitures mécaniques
- Pompes
- Vannes
- Hydraulique
- Organes divers et Purgeurs

Extrait A

de

Mémento
de
Maintenance mécanique

Mémento Technique de Maintenance 710 pages – format A4

1ère Partie Défaillances : causes et remèdes

Différents types de défaillances

Aides aux diagnostics de défaillances
- 101 pages
  - Comment trouver la cause
  - Différents types de ruptures et remèdes
  - Différentes détériorations de surface et remèdes
  - Différentes corrosions et remèdes
  - Analyses des bourrages
  - Analyses des blocages
  - Défaillances de roulements et remèdes
  - Défaillances d'engrenages et remèdes
  - Défaillances de garnitures mécaniques / remèdes
  - Défaillances de pompes hydrauliques / remèdes
  - Défaillances de courroies / remèdes
  - Tableaux causes-effets

Règles de l'art en maintenance – 140 pages,
- Serrages (1 r.a)
- Roulements et coussinets (10 r.a)
- Joints (6 r.a)
- Accouplements (4 r.a)
- Chaînes et courroies (2 r.a)
- Tuyauterie et robinetterie (6 r.a)
- Pompes et turbines (8 r.a)
- Hydraulique (9 r.a)
- Pneumatique (3 r.a)
- Divers (16 r.a)
- Sécurité (3 r.a)
- Stockage (5 r.a)
- Tolérances ISO (2 r.a)

Contrôles de maintenance préventive
– 72 pages
- Contrôles sensoriels
- Inspection du sous-sol
- Inspection des bâtiments
- Inspection des tuyauteries et circuits
- Inspection des machines
- Moyens de contrôles assez simples
- Endoscopie
- Mesures de vibrations
- Analyses d'huile
- Thermographie
- Courant de Foucault
- Ressuage
- Magnétoscopie
- Contrôles par ultrasons
- Contrôle des vannes

Standards de maintenance préventive
43 pages – 109 standards par types de matériels

2ème Partie Documentation pratique

Sécurité – 36 pages
- Principes généraux de prévention
- Consignations et déconsignations
- Plan de prévention
- Visites et formations réglementaires
- Evaluation des risques

Techniques spéciales – 78 pages
- Colles en maintenance
- Lubrification : roulements, coussinets et glissières, réducteurs, compresseurs, chaînes et câbles
- Soudage des pièces métalliques
- Soudage des pièces en matières plastiques
- Métallisation et rechargement de pièces
- Revêtements et solutions maintenance
- Protection cathodique
- Traitements thermiques
- Levage et manutention

Codification, symboles et normes – 41 pages
- Codification en boulonnerie
- Codification des métaux ferreux
- Codification des métaux non ferreux
- Symboles en robinetterie
- Symboles en hydraulique
- Symboles en pneumatique
- Codification des roulements
- Normalisation des cotes et états de surface
- Normes de maintenance

Lois et valeurs physiques – 40 pages
- Unités de mesure françaises et anglo-saxonnes
- Densités des solides et liquides
- Températures matières plastiques et métaux
- Coefficients de dilatations
- Algèbre et géométrie
- Duretés Brinell, Rockwell, et Vickers
- Propriétés des différents métaux
- Production de vapeur d'eau (diag. de Mollier)
- NPSH et hauteur manométrique
- Informations techniques diverses

Matériels courants – 151 pages
- Boulonnerie
- Roulements
- Chaines
- Courroies
- Accouplements
- Réducteurs
- Joints
- Garnitures mécaniques
- Pompes
- Vannes
- Hydraulique
- Organes divers et Purgeurs

Cet extrait contient le thème entouré d'un rectangle rouge, moins 8 pages

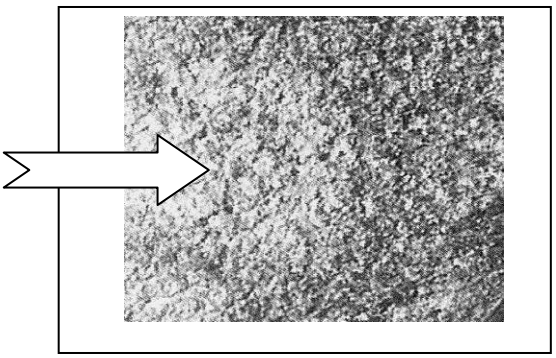
Ruptures dues à la charge

Types de ruptures

Il y a deux grands types de ruptures :

- ✓ les ruptures brutales ;
- ✓ les ruptures par fatigue.

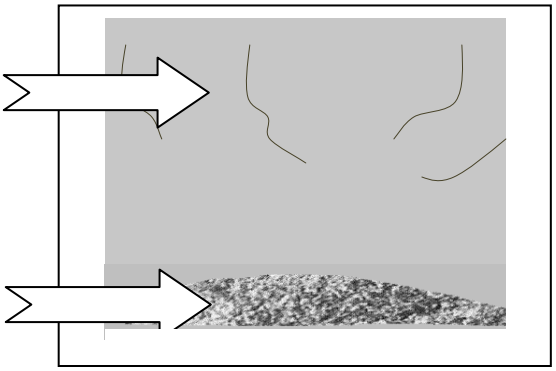
Les ruptures brutales sont des ruptures obtenues par dépassement de la charge maximale admissible, ou sous l'effet d'un choc.
Elles présentent un aspect grenu plus ou moins important de la cassure, avec parfois une déformation plastique de la pièce.



Une rupture par fatigue présente deux zones

1. une zone lisse qui constitue la zone de fatigue proprement dite, c'est-à-dire celle dans laquelle la fissuration a été progressive ;

2. une zone dite « à grain » qui correspond à la rupture finale brutale, c'est-à-dire à la destruction de la pièce. Son aspect s'apparente à celui d'une rupture brutale sous chargement croissant ou statique.



Il est bien sûr important de distinguer de quel cas de figure il s'agit, car cela orientera le sens des recherches pour trouver la cause de la défaillance.

Ruptures brutales

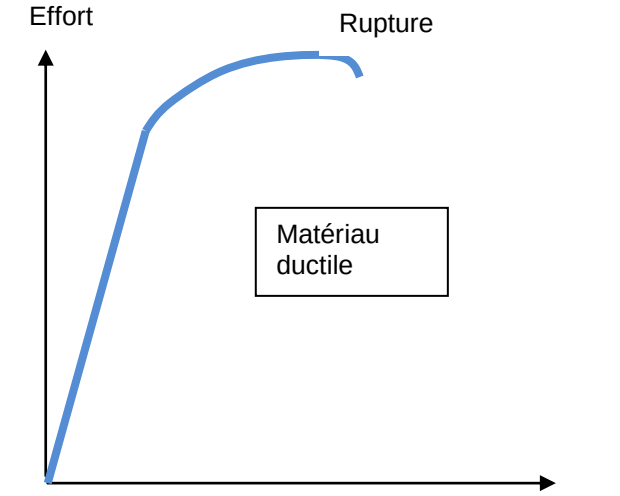
S'il s'agit d'un dépassement de la charge admissible ou d'un choc, il est nécessaire de connaître alors d'où cela provient : d'une forte sollicitation en traction, en compression, en torsion, en flexion ? Cela peut être découvert par examen de l'aspect de la cassure.
Dans tous les cas, on est amené à distinguer s'il s'agit :

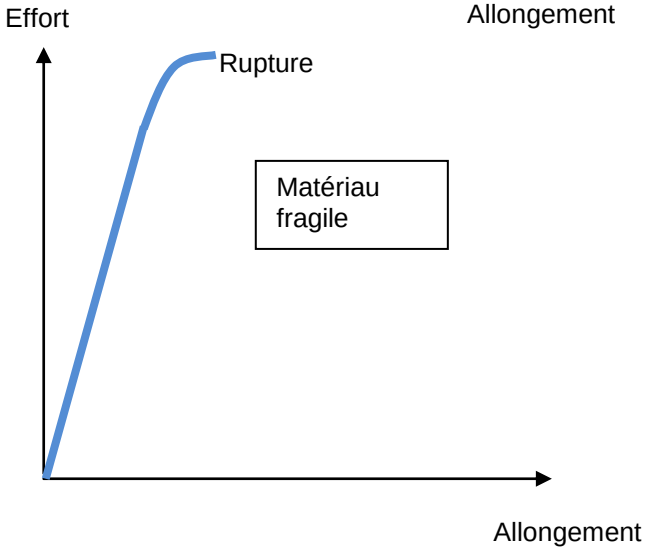
- d'un matériau ductile, c'est-à-dire à forte capacité de déformation ;
- ou d'un matériau fragile, c'est-à-dire à très faible capacité de déformation.

Un matériau ductile présente une grande déformation plastique avant de se rompre (ex : l'or) ; ce n'est pas le cas d'un matériau fragile qui se déforme peu et casse rapidement (ex : verre, fonte).

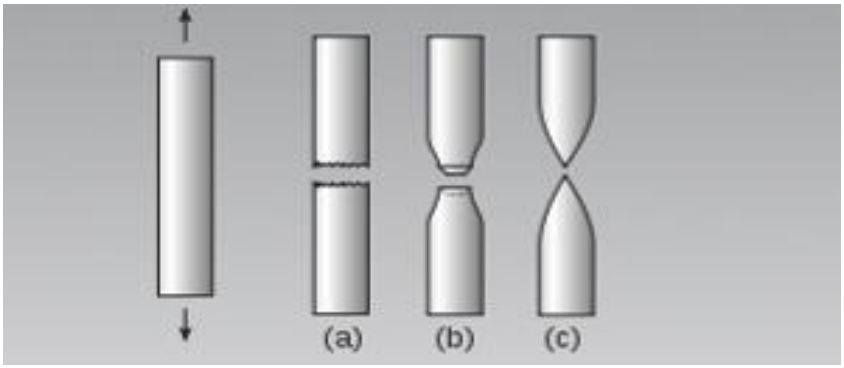
Matériaux allant du plus ductile au moins ductile :

1. Or
2. Argent
3. Platine
4. Aluminium
5. Cuivre
6. Etain
7. Fer
8. Plomb
9. Zinc
10. Nickel
11. Acier rapide, ou trempé
12. Fonte
13. Béton
14. Verre



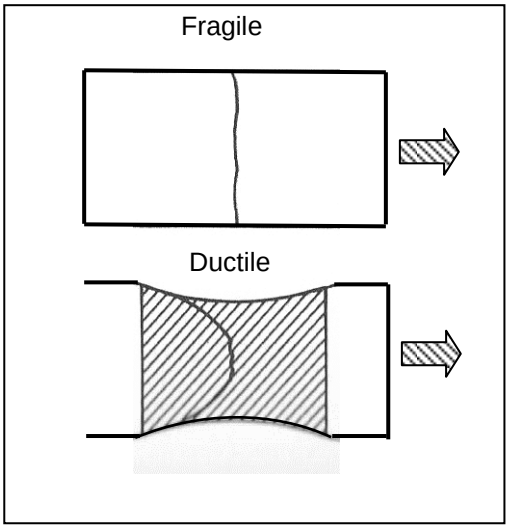


Les ruptures dites fragiles ou semi-fragiles présentent peu ou pas de déformation plastique ; leur aspect comporte des marques radiales ou des chevrons qui permettes de localiser avec précision les zones d'amorçage. Parmi les ruptures brutales, ce sont celles que l'on rencontre le plus fréquemment en mécanique.



Comportements à la rupture en traction :
(a) Fragile, (b) ductile et (c) complètement ductile.

Rupture par Traction



Dans un matériau ductile , les contraintes de cisaillement sont responsables de plastifications importantes (striction et allongement) avant rupture. Les cassures s'amorcent près du centre puis se propagent vars la surface ; elles se terminent par des lèvres de cisaillement inclinées à 45° sur l'axe de la sollicitation.

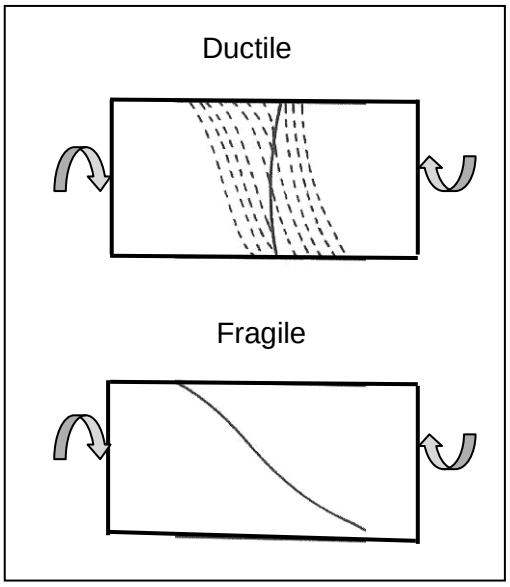
Dans un matériau fragile, la rupture est rigoureusement perpendiculaire à l'axe de la sollicitation en traction. La rupture peut s'initier en n'importe quel point du volume le plus contraint.

Rupture par Compression

Dans un matériau ductile, les contraintes de compression ne se traduisent que rarement par une rupture. La pièce devient plus courte et ventrue.

Dans un matériau fragile, la direction des ruptures est parallèle à l'axe de la sollicitation et ces ruptures s'amorcent en tout point de la section.

Rupture par Torsion

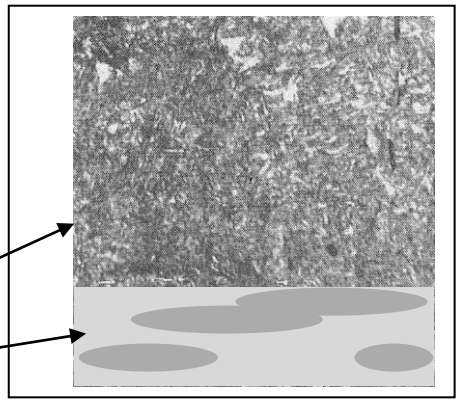


Dans un matériau ductile, les contraintes sont toujours la cause de déformations importantes. Souvent le vrillage du fibrage du matériau en surface est l'indice de ce type de rupture.

Dans un matériau fragile la rupture se produit dans un plan perpendiculaire à la composante de tension qui est inclinée à 45° sur l'axe de la sollicitation. Une rupture de type hélicoïdal est donc une caractéristique pour un matériau fragile.

Rupture par Flexion

Dans ce cas les cassures s'amorcent sur les fibres les plus tendues.
Mais l'ensemble est soumis à une combinaison de contraintes de traction (fibres tendues) et de compression (fibres comprimées). On en voit le résultat dans l'aspect de la cassure.



Rupture par choc thermique

Avec un matériau fragile on peut avoir une rupture par choc thermique, ce qui est assez rare. Dans ce cas il y a une coloration due à la température et l'aspect de la cassure présente un aspect grenu.

Amorces

Dans une rupture, il y a bien souvent une amorce qui est le point qui a fragilisé la pièce. Il y a plusieurs cas possibles :

- Entaille accidentelle.
- Soudure mal placée ou mal réalisée.
- Rainure de clavette mal réalisée.
- Congé de raccordement.
- Filet de vis.
- Perçage ou poinçonnage.
- Gorge mal usinée.
- Un desserrage.

La découverte de l'amorce est souvent le meilleure indicateur pour trouver la cause de la défaillance. Il faut donc bien regarder toutes les facette de la rupture pour découvrir cette amorce.

Recherche de la cause

1. S'agissant d'une rupture brutale il s'git de déterminer s'il s'agit d'un dépassement de la charge admissible ou d'un choc.
   - Rupture par traction : cette rupture peut être due à un choc brutal sans doute difficile à retrouver ou une surcharge importante et momentanée.
   - Rupture par compression : bien que rare, il faut rechercher la surcharge possible à un instant donné.
   - Rupture par torsion : il faut rechercher quelle a été l'origine du blocage dans la chaine cinématique.
   - Rupture par flexion : quel a été le choc ou la surcharge entre les deux points d'appui ?

2. Bien observer l'amorce et comparer ces constats avec les propositions du chapitre ci-après : « Précautions à prendre »

3. Si l'on ne peut pas trouver facilement la cause, il est recommandé de demander un examen au microscope par le Cetim ou une autre société compétente.
   Les différentes causes sont nombreuses :
   - Rupture ayant une autre origine telle que corrosion sous tension, cavitation, etc.
   - Résistance trop faible, erreur de nuance d'acier.
   - Structure grossière obtenue lors de la transformation à chaud de l'acier.
   - Surchauffe au forgeage.
   - Présence de défaut dans une soudure.
   - Présence de porosités dans le matériau.
   - Oxydation interne lors des traitements thermiques.
   - Etc.

Ruptures par fatigue

Toute rupture de fatigue présente deux zones distinctes :

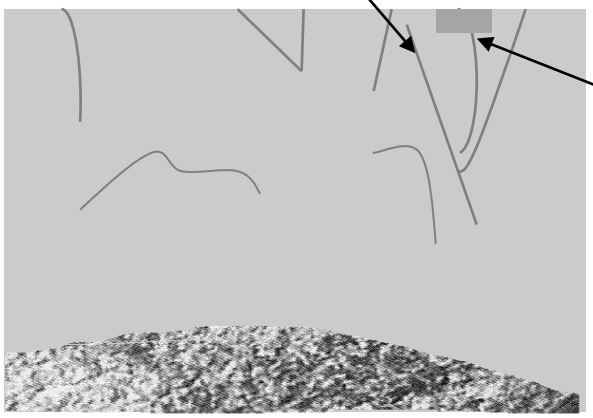
- une zone lisse qui constitue la zone de fatigue proprement dite ;

une zone « à grain » qui correspond à la rupture finale brutale ; son aspect s'apparente à ceux des ruptures brutales (le relief sera plus grossier si la fissuration a été rapide).

Par ailleurs, la zone de fissuration progressive présente très souvent deux sortes de lignes caractéristiques :

- des lignes frontales ou lignes d'arrêt dont les causes sont dues aux arrêts et variations de régime de la machine, les premières d'entre elles étant situées au voisinage des points critiques ;
- des lignes radiales ou lignes de crête (surtout quand la pièce est ronde).

Pour l'analyse, les lignes frontales sont les plus intéressantes.



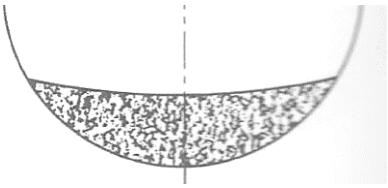
Sollicitations par traction ou compression

Les cas de ruptures de fatigue par efforts de traction ou compression sont rares. S'il y a rupture, c'est sous l'effet de sollicitations parasites de flexion ou de torsion.
Si toutefois il y a fissuration progressive, la rupture présente les caractéristiques suivantes :

- l'amorçage se situe en surface de la pièce dans le cas de défauts géométriques, ou à cœur dans le cas de défauts métallurgiques ;
- le plan de rupture est perpendiculaire à l'axe des sollicitations.

Sollicitations en flexion plane répétée

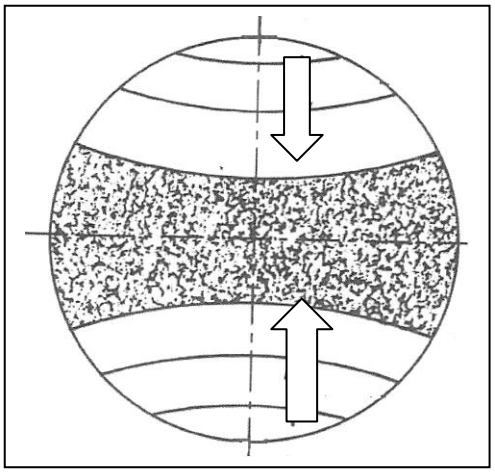
Dans le cas de sollicitations en flexion, les ruptures s'amorcent sur les fibres extérieures les plus tendues.
S'il s'agit d'une flexion plane répétée et s'il n'y a pas d'effet, d'entaille, les fronts de propagation se présentent sous l'aspect de portions d'ellipse dont le petit axe est orienté dans le sens de la propagation et dont la concavité diminue au fur et à mesure que la fissuration progresse. Bien sûr dans le cas où la pièce est très chargée, la zone de fissuration progressive est très réduite.



Sollicitations en flexion plane alternée

Dans le cas de flexion alternée, la rupture s'amorce de chaque côté de la pièce.

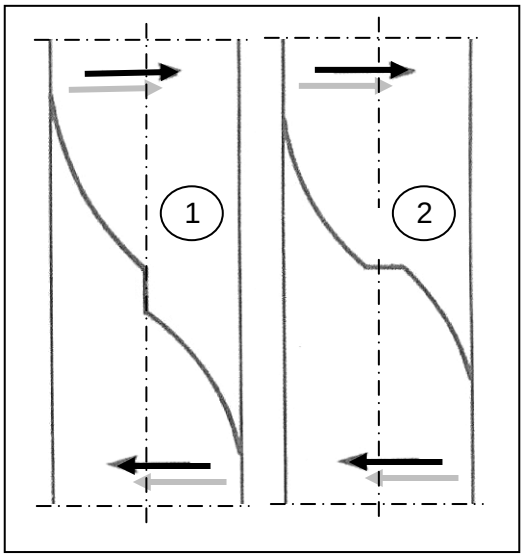
Généralement, les deux fissurations progressent à la même vitesse.



Sollicitations en torsion

La forme de la cassure présente deux formes possibles :

1. Un amorçage dans le sens axial, ce qui est la forme la plus courante.
2. Un amorçage dans le sens transversal. La raison peut en être des coups d'outils ou autres effets d'entaille transversaux.



Amorces

Dans une rupture, il y a bien souvent une amorce qui est le point qui a fragilisé la pièce. Il y a plusieurs cas possibles :

- Entaille accidentelle.
- Soudure mal placée ou mal réalisée.
- Rainure de clavette mal réalisée.
- Congé de raccordement.
- Filet de vis.
- Perçage ou poinçonnage.
- Gorge mal usinée.
- Un desserrage.

La découverte de l'amorce est souvent le meilleure indicateur pour trouver la cause de la défaillance. Il faut donc bien regarder toutes les facettes de la rupture pour découvrir cette amorce.

Recherche de la cause

1. S'agissant d'une rupture par fatigue il s'git de vérifier deux points en priorité.
   - Rupture par flexion alternée (fixe ou en rotation) : quels éléments se sont desserrés permettant un mouvement alterné ?
   - Dans les autres cas : la charge actuelle correspond-elle au modèle pris en compte lors de la conception de la pièce ?

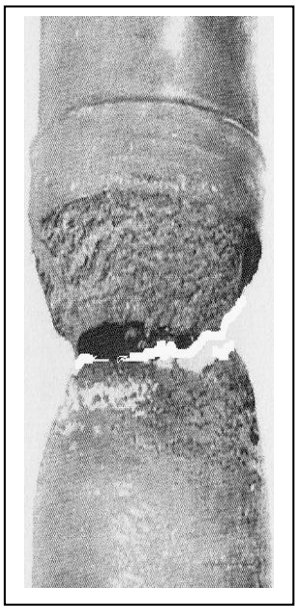
2. Bien observer l'amorce et comparer ces constats avec les propositions du chapitre ci-après : « Précautions à prendre »

3. Si l'on ne peut pas trouver facilement la cause, il est recommandé de demander un examen au microscope par le Cetim ou une autre société compétente.
   Les différentes causes sont nombreuses :
   - Rupture ayant une autre origine telle que corrosion sous tension, cavitation, etc.
   - Résistance trop faible, erreur de nuance d'acier.
   - Structure grossière obtenue lors de la transformation à chaud de l'acier.
   - Surchauffe au forgeage.
   - Présence de défaut dans une soudure.
   - Présence de porosités dans le matériau.
   - Oxydation interne lors des traitements thermiques.
   - Etc.

Ruptures par fluage

Les ruptures par fluage se reconnaissent à la coloration qui va du bleu foncé au rougeatre.
Il y a toujours une déformation importante de la pièce avant rupture.

La cause doit être recherchée dans l'élévation de température : manque de graissage – lubrification, panne du refroidissement, apport extérieure de température.



Précautions à prendre

Introduction

L'expérience montre que, le plus souvent, les ruptures dues à la charge ont pour origine une forme défectueuse ou un mauvais état de surface.
Les imperfections du métal ou les mauvaises conditions de traitement thermique n'interviennent que d'une manière assez exceptionnelle. En effet, dans 90 % des cas, d'après diverses estimations, les ruptures de fatigue sont dues à des erreurs de tracé dans l'étude des formes ou à des défauts d'usinage, tandis que 10 % seulement peuvent être attribuées au choix du métal ou à sa mise en œuvre.

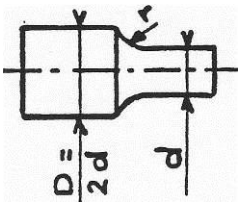
S'il est vrai que l'amélioration de la résistance à la fatigue peut être recherchée par le choix d'aciers ou d'alliages à haute résistance, cette solution n'est pas toujours efficace lorsque le tracé des pièces est très incorrect, car les métaux sont d'autant plus sensibles à l'entaille que leur résistance est élevée.
Le gain que l'on peut escompter de cette manière est d'ailleurs d'un ordre de grandeur très inférieur à celui que procure l'étude d'une forme rationnelle dont le principe fondamental est d'éviter les fortes concentrations de contraintes ou pointes de contraintes.
Ces pointes de contraintes se révèlent dans les changements de section de pièces et, à l'échelle micro géométrique, dans les imperfections de la surface telles que les rayures d'usinage.

Examinons, avec des exemples, les caractères des cassures de fatigue et les moyens de supprimer ces ruptures, ou tout au moins d'augmenter l'endurance, en agissant sur la forme et l'état de surface.

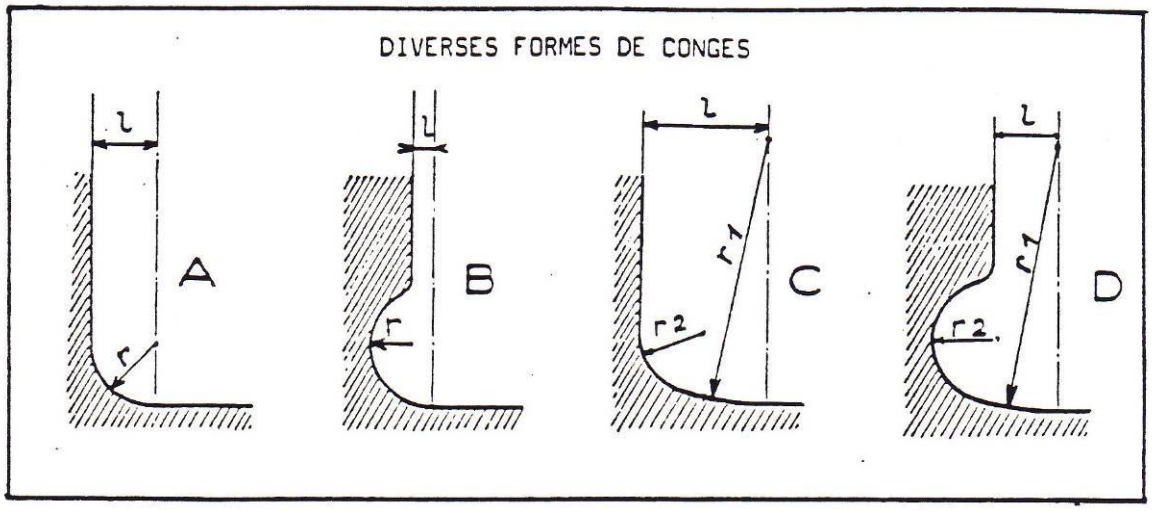
Cassures et forme des pièces

Arbres à épaulement

L'expérience montre qu'il suffit d'un faible changement de section pour que s'amorce une cassure : par exemple pour un arbre le facteur principal n'est pas le rapport D / d, mais bien le rapport r / d du rayon de congé au petit diamètre.
Le tableau ci-après montre l'influence du rapport r / d sur la limite d'endurance. Cette influence est nettement plus forte pour l'acier dont la résistance est la plus élevée, de sorte que pour r = 0, celui-ci perd tout avantage sur l'acier ordinaire.

INFLUENCE DES CONGES DE RACCORDEMENT SUIVANT LEHR ET MAILANDER				
	r. en mm	r / d	f. kg / mm^2	Diamètre de l'éprouvette d. mm
Acier demi-dur au carbone R = 59 E = 28 A % = 28	400 15 6 3 1 0	13,3 0,5 0,2 0,1 0,03 0	25,5 24 20 17,5 14 11	30
	8 4,3 2 0	0,89 0,48 0,22 0	29 27 24 15	9
Acier au Ni – Cr – Mo Pour Vilebrequins R = 121 E = 103 A % = 14	400 15 6 3 1 0	13,3 0,5 0,2 0,1 0,03 0	57 48 36 21 19 14	30
	11,7 4,5 1,8 0,9 0,2 0	1,3 0,5 0,2 0,1 0,02 0	68,5 64 50 42 26 17	9

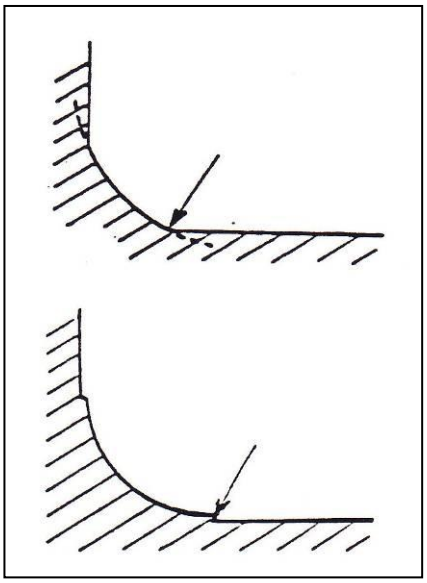
Examinons 4 formes de congés :
A : congé en arc de cercle
B : congé en arc de cercle en retrait
C : raccordement de décharge formé de deux arcs de cercle
D : raccordement de décharge en retrait



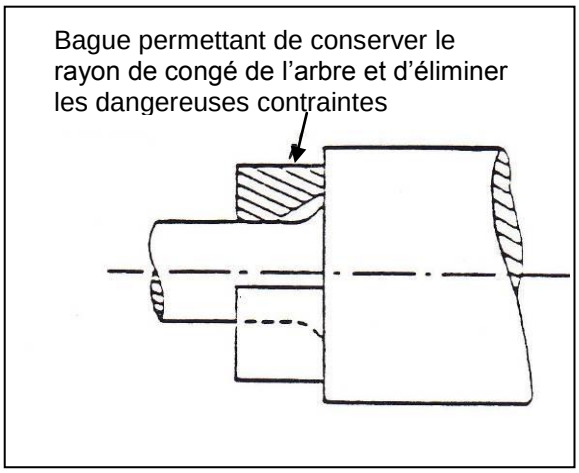
L'exécution d'un congé à rayons raccordés r_1 et r_2 (cas C), tels que $r_1 = 4\ r_2$, est favorable mais réduit sensiblement la partie utile de l'arbre.
Pour éviter cet inconvénient, il y a avantage à exécuter un congé en arc de cercle en retrait formant gorge de décharge (cas B) ou, de préférence (cas D) un congé à deux arcs de cercle et en retrait, le congé de petit rayon formant gorge de décharge.

Il est à noter que dans le cas du simple raccordement par rayon, un très grand soin doit être apporté à l'exécution du congé, en évitant les angles et les ressauts.
Des expériences effectuées sur des éprouvettes présentant des défauts ont montré que les coefficients d'entaille propres au congé et au ressaut se multiplient, de sorte que l'effet résultant est toujours considérable.
Ce fait explique certaines ruptures survenues au congé de raccordement d'arbres à changement de section, par suite de stries transversales et de facettes produites par une attaque défectueuse de l'outil.

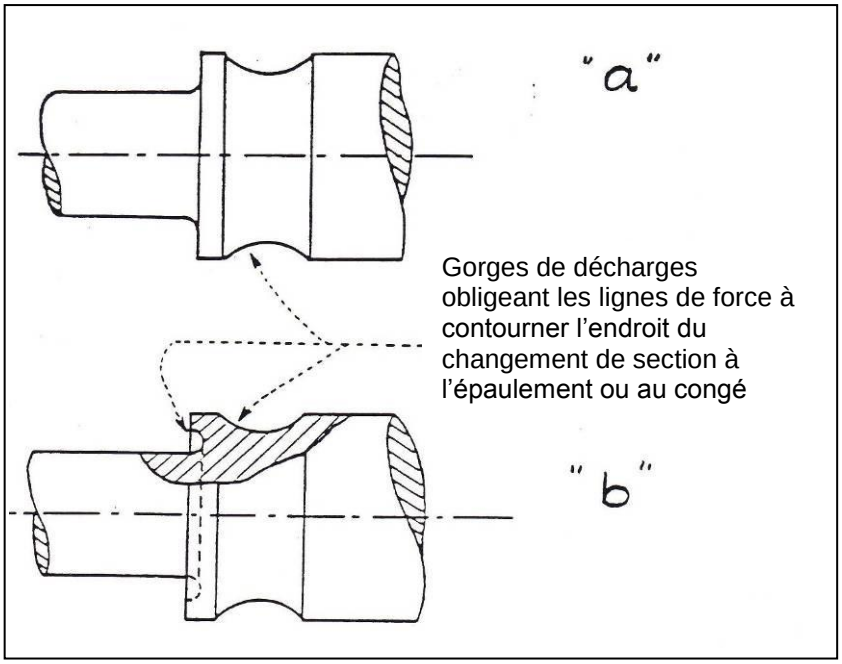
Exemples d'exécutions défectueuses de congés de raccordement, défavorables à l'endurance.



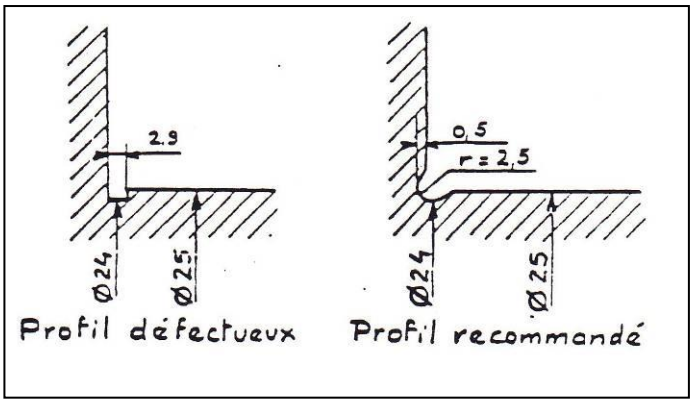
Lorsqu'il s'agit de monter un roulement sur un arbre à épaulement, l'arbre ne doit pas comporter un angle vif ou un rayon de congé trop petit pour éviter que les contraintes de serrage ne se superposent à la pointe de contrainte produite à la base du raccordement.
A cet effet, pour conserver un rayon de congé suffisant, il est nécessaire de prévoir une bague avec un dégagement à l'endroit du congé ; le roulement prend alors appui sur la bague sans serrer à la naissance du congé.



L'emploi d'une gorge de décharge dans la partie forte de l'arbre (cas « a » ci-après) est favorable, mais n'exclut pas le montage de la bague avec dégagement.
Une autre solution qui peut permettre de supprimer la bague est celle qui est représentée par le cas « b » ci-après. La gorge circulaire au changement de section et la gorge de décharge dans la partie forte de l'arbre ont pour effet de modifier favorablement les lignes de force.



Dans le cas d'un pignon arbré, on doit éviter tout angle vif au fond de la gorge de dégagement nécessaire à la rectification de la partie cylindrique de l'arbre.



Arbres à emmanchement à force

Dans les emmanchements à force, l'endurance à la flexion est affectée par les contraintes radiales dues au frettage, par la concentration des contraintes au ras de l'encastrement et par les effets de la corrosion par frottement qui se produisent inévitablement lorsque le serrage est insuffisant ou que les efforts alternatifs sont trop importants.
Il est fréquent de trouver, dans les emmanchements à force d'une bague sur un arbre, une réduction de 50 % de la limite d'endurance, par rapport à celle de l'arbre lisse.

		Limite d'endurance kg / mm2	Augmentation % de l'endurance
a	d = 14 mm	15,5	
b	Avec compression préalable de la surface de l'arbre d = 14 mm	27	74
c	Avec arrondi de rayon égal à : 3 mm 1 mm d = 14 mm	18 16	16 3
d	Avec gorges circulaires d' = 16 mm d = 14 mm	21	35
e	Avec compression préalable de la surface de l'arbre et gorges circulaires	30	93

Le tableau ci-après, qui reproduit des résultats d'essais dus à THUM et WUNDERLICH, montre que l'effet d'un arrondi au ras de la bague est assez faible, voire négligeable ; par contre, une gorge circulaire donnant de l'élasticité à la bague s'avère meilleure.

La compression par galetage de la surface de l'arbre est nettement favorable et l'emploi simultané du galetage de l'arbre et de la gorge circulaire permet d'obtenir pour l'emmanchement une limite d'endurance, par rapport à celle de l'arbre lisse (limite d'endurance de l'arbre lisse = 29 kg/mm^2.

L'efficacité du galetage est bien démontrée par les courbes d'endurance relatives à des emmanchements à la presse de bagues de roulements sur des essieux.

Sur ce thème, le livre contient 8 autres pages

RETOUR : Cliquez ici

Extrait B

de

Mémento
de
Maintenance mécanique

Mémento Technique de Maintenance 710 pages – format A4

1ère Partie Défaillances : causes et remèdes

Différents types de défaillances

Aides aux diagnostics de défaillances
- 101 pages
  - Comment trouver la cause
  - Différents types de ruptures et remèdes
  - Différentes détériorations de surface et remèdes
  - Différentes corrosions et remèdes
  - Analyses des bourrages
  - Analyses des blocages
  - Défaillances de roulements et remèdes
  - Défaillances d'engrenages et remèdes
  - Défaillances de garnitures mécaniques / remèdes
  - Défaillances de pompes hydrauliques / remèdes
  - Défaillances de courroies / remèdes
  - Tableaux causes-effets

Règles de l'art en maintenance – 140 pages,
- Serrages (1 r.a)
- Roulements et coussinets (10 r.a)
- Joints (6 r.a)
- Accouplements (4 r.a)
- Chaînes et courroies (2 r.a)
- Tuyauterie et robinetterie (6 r.a)
- Pompes et turbines (8 r.a)
- Hydraulique (9 r.a)
- Pneumatique (3 r.a)
- Divers (16 r.a)
- Sécurité (3 r.a)
- Stockage (5 r.a)
- Tolérances ISO (2 r.a)

Contrôles de maintenance préventive
– 72 pages
- Contrôles sensoriels
- Inspection du sous-sol
- Inspection des bâtiments
- Inspection des tuyauteries et circuits
- Inspection des machines
- Moyens de contrôles assez simples
- Endoscopie
- Mesures de vibrations
- Analyses d'huile
- Thermographie
- Courant de Foucault
- Ressuage
- Magnétoscopie
- Contrôles par ultrasons
- Contrôle des vannes

Standards de maintenance préventive
43 pages – 109 standards par types de matériels

2ème Partie Documentation pratique

Sécurité – 36 pages
- Principes généraux de prévention
- Consignations et déconsignations
- Plan de prévention
- Visites et formations réglementaires
- Evaluation des risques

Techniques spéciales – 78 pages
- Colles en maintenance
- Lubrification : roulements, coussinets et glissières, réducteurs, compresseurs, chaînes et câbles
- Soudage des pièces métalliques
- Soudage des pièces en matières plastiques
- Métallisation et rechargement de pièces
- Revêtements et solutions maintenance
- Protection cathodique
- Traitements thermiques
- Levage et manutention

Codification, symboles et normes – 41 pages
- Codification en boulonnerie
- Codification des métaux ferreux
- Codification des métaux non ferreux
- Symboles en robinetterie
- Symboles en hydraulique
- Symboles en pneumatique
- Codification des roulements
- Normalisation des cotes et états de surface
- Normes de maintenance

Lois et valeurs physiques – 40 pages
- Unités de mesure françaises et anglo-saxonnes
- Densités des solides et liquides
- Températures matières plastiques et métaux
- Coefficients de dilatations
- Algèbre et géométrie
- Duretés Brinell, Rockwell, et Vickers
- Propriétés des différents métaux
- Production de vapeur d'eau (diag. de Mollier)
- NPSH et hauteur manométrique
- Informations techniques diverses

Matériels courants – 151 pages
- Boulonnerie
- Roulements
- Chaines
- Courroies
- Accouplements
- Réducteurs
- Joints
- Garnitures mécaniques
- Pompes
- Vannes
- Hydraulique
- Organes divers et Purgeurs

Cet extrait contient les thèmes entourés d'un rectangle rouge, moins 20 pages.

Accouplements : réglages

Après avoir fait les mesures avec l’une des trois méthodes suivantes :

- mesure avec règle et calibre ;
- ou mesure avec comparateurs ;
- ou mesure avec laser,

(voir la règle de l’art correspondante)
il s’agit de réaliser les réglages nécessaires.

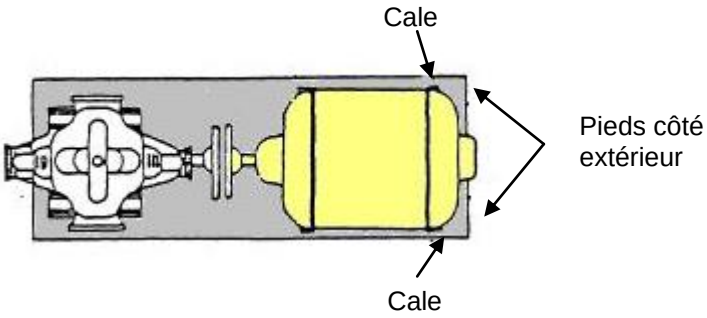
Défaut d’alignement vertical

Tous les défauts d’alignement vertical, qu’ils soient angulaires ou parallèles sont corrigés au moyen de cales.

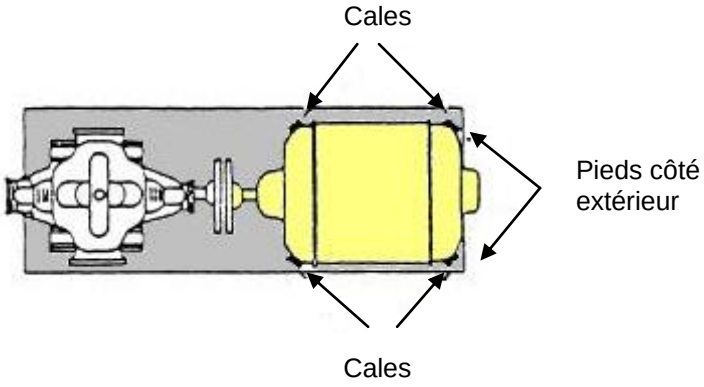
Les cales sont des plaquettes d’acier ou de laiton qui sont placées par paires sous les pieds des matériels.

Si la mesure montre que le jeu entre les moyeux est plus grand à midi qu’à six heures, on corrige le défaut d’alignement en inclinant un des arbres légèrement vers le bas.
Comme une pompe est reliée à des tuyauteries, il est généralement plus facile de corriger un défaut d’alignement en déboulonnant le moteur de son bâti et en corrigeant sa position par rapport à la pompe.

Dans le cas de figure ci-dessous, on a besoin de placer des cales sous les pieds du moteur côté extérieur pour que l’ensemble ait un alignement vertical angulaire correct.



S’il fallait corriger un défaut d’alignement vertical parallèle, on ajouterait ou on enlèverait des cales de même épaisseur sous les quatre pieds du moteur de façon à élever ou abaisser l’arbre sans l’incliner (figure ci-dessous).



Il faut prendre un certain nombre de précautions importantes lorsqu’on se sert de cales :

Les cales doivent toujours être au moins aussi grandes que la surface des pieds du matériel sous lequel on les place, ceci pour empêcher les pieds de glisser au bord des cales.

Il vaut toujours mieux utiliser une cale épaisse plutôt que plusieurs cales minces. Un empilement de cales provoque souvent un effet de ressort qui rend difficile un alignement précis.

N’utilisez que des cales propres, c’est-à-dire sans trace de graisse, de peinture et de salissures, pour être sûr qu’elles sont bien en place. Assurez-vous également que les pieds des matériels sont propres et grattez-les si nécessaire.

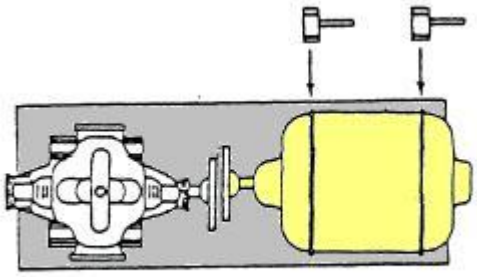
Sauf si le bâti du matériel n’est pas plat au départ, posez toujours les cales par paires. Si vous posez une cale sous un pied seulement vous risquez d’accentuer le défaut d’alignement en donnant de l’inclinaison au matériel.

Défaut d’alignement horizontal

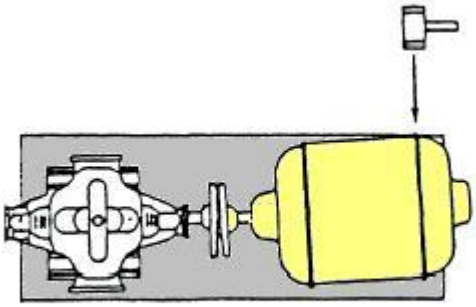
Pour corriger les deux types de défauts d’alignement vertical, on se sert de cales.

Pour corriger les deux types de défauts d’alignement horizontal (parallèle et angulaire), on déplace le moteur horizontalement sur son bâti.

S’il s’agit d’un défaut horizontal parallèle, on déboulonne le moteur de son bâti et on le déplace parallèlement à lui-même d’un côté ou de l’autre jusqu’à retrouver l’alignement.



Quand il s’agit d’un défaut d’alignement horizontal angulaire, on déboulonne le moteur de son bâti et on le fait pivoter horizontalement jusqu’à retrouver l’alignement.



Finition de l’alignement et du travail

Une fois que tous les défauts d’alignement vertical et horizontal ont été corrigés, il faut faire de nouvelles mesures pour s’assurer que l’alignement est bon.

Faites les mêmes mesures qu’au début en vous servant des comparateurs par exemple. Serrez tous les boulons de fixation du moteur avant de commencer.

Avant chaque mesure, remettez à zéro les comparateurs. Si l’alignement vertical est bon, les deux comparateurs doivent rester à zéro à midi et à 6 heures.
Si l’alignement horizontal est bon, les deux comparateurs doivent rester à zéro à 3 heures et à 9 heures.

Lorsque vous vous êtes assuré que l’alignement est bon, démontez la mâchoire de liaison des moyeux. Démontez ensuite les comparateurs et leurs potences. Il est bon de nettoyer les appareils de mesure après usage. Frottez donc les potences avec un chiffon gras. Lorsque tous les appareils de mesure et leurs supports ont été enlevés, remontez l’accouplement et remettez l’ensemble en service.

Après toute intervention pour alignement, il faut faire un essai de bon fonctionnement du matériel. Vérifiez d’abord que le matériel est bien monté, puis suivez les procédures de déconsignation en vigueur dans votre Etablissement. Ce n’est qu’alors que le matériel peut être démarré.

Lors de l’essai, soyez attentif à trois indices de défaut d’alignement :
- les vibrations excessives,
- les oscillations de l’arbre,
- le bruit excessif.

Si vous observez l’un ou l’autre de ces indices, vérifiez à nouveau l’alignement de l’ensemble.

En service, plus tard, n’oubliez pas les accouplements. La plupart des constructeurs recommandent de les entretenir régulièrement.

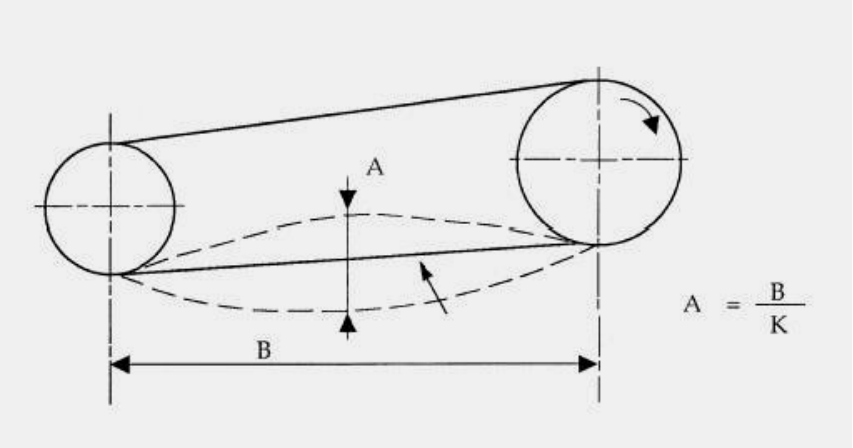
Note :

Cette règle de l’art est précédée par trois modes opératoires de mesure d’alignement :
- Mesure avec réglet et calibre ;
- Mesure avec 2 comparateurs.
- Mesure avec appareil laser.

Contrôle des chaînes

➔ Contrôle de la tension de la chaîne

- Consigner l'installation.
- Contrôler l'alignement des roues dentées.
- Contrôler la tension de chaîne, régler si nécessaire par déplacement de l'un des arbres. La chaîne doit être tendue de façon à permettre un battement A entre les positions haute et basse d'un point pris au milieu du brin mou.



A = battement total (en mm)

B = projection de l'entraxe sur l'horizontale (en mm)

K = coefficient
25 pour transmission à charge régulière
50 pour transmission avec coups

Pour les transmissions verticales, le battement total A doit être égal à la moitié du pas de la chaîne.

➔ Mesure de l'usure de la chaîne

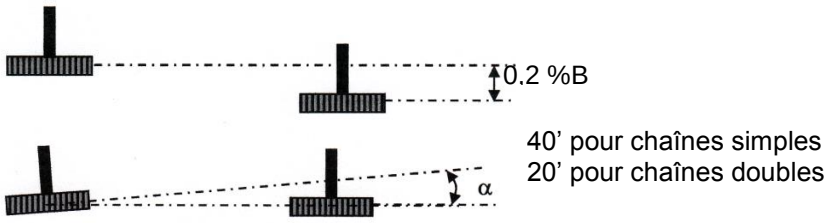
L'usure d'une chaîne doit être déterminée à l'aide de la
règle de mesure fournie par le fabricant de chaînes.

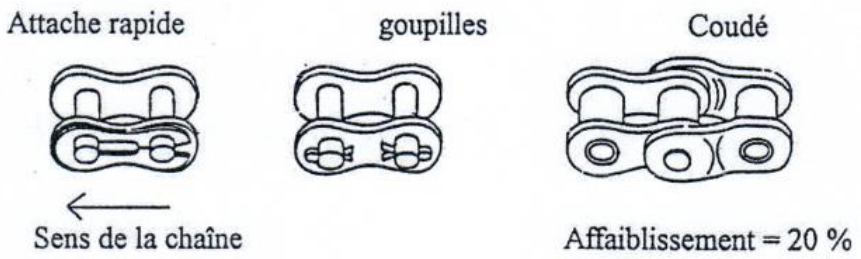
<u>Limite d'usure</u>

En règle générale, une chaîne est considérée comme usée quand le pourcentage d'allongement atteint :

2 % en général,
1 % pour les chaînes à pas long,
0,7 à 1 % pour les chaînes de transmissions sans réglage possible d'entraxe.

➔ Contrôle d’alignement





Contrôle des courroies de transmission

La durée de vie des courroies, et des roulements de poulies, dépend de leur montage et du contrôle de leur tension.

Démontage

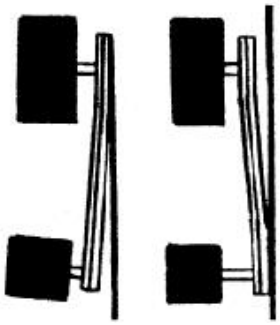
- Consignez l'installation.
- Démontez toutes les courroies : ne pas mélanger neuves et anciennes – ne pas utiliser tournevis ni burin.
- Avec calibres fournis par constructeurs, contrôlez l'état des gorges des poulies.

Montage

- Montez toujours un jeu complet de courroies appariées :
  - dimensions courroies de tolérances UNISET : ne se préoccuper de rien ;
  - autres : montez des courroies à repères identiques.
- Pour nettoyage : mélange glycérine – alcool (proportion 1/10).
  A proscrire : solvants et objets à arêtes vives.
- Montez les courroies à la main, sans forcer, en utilisant les possibilités de tensionnement.
  A proscrire : levier, « roulement » des courroies dans les gorges.
- Ne pas utiliser d'enduit adhésif.

Réglage de l'alignement, avec :

- une latte rectiligne
- ou un ruban d'acier pour les transmissions à entraxes importants,
- l'appareil de lignage laser pour courroies



Le déport sur l'alignement des poulies ne peut pas dépasser :
0,5° ou 5mm par 500 mm d'entraxe pour les courroies trapézoïdales
0,25° ou 2,5mm par 500 mm d'entraxe pour les courroies dentées

Réglage de la tension

- ✓ Une solution simple consiste à pouvoir tourner la courroie de 90°, mais pas plus.
- ✓ La solution moderne consiste à utiliser un contrôleur de tension appelé tensiomètre (vendu par les fabricants de courroies)

Tapez légèrement sur la courroie, et relevez la valeur vibratoire à l'aide de l'appareil spécifique.

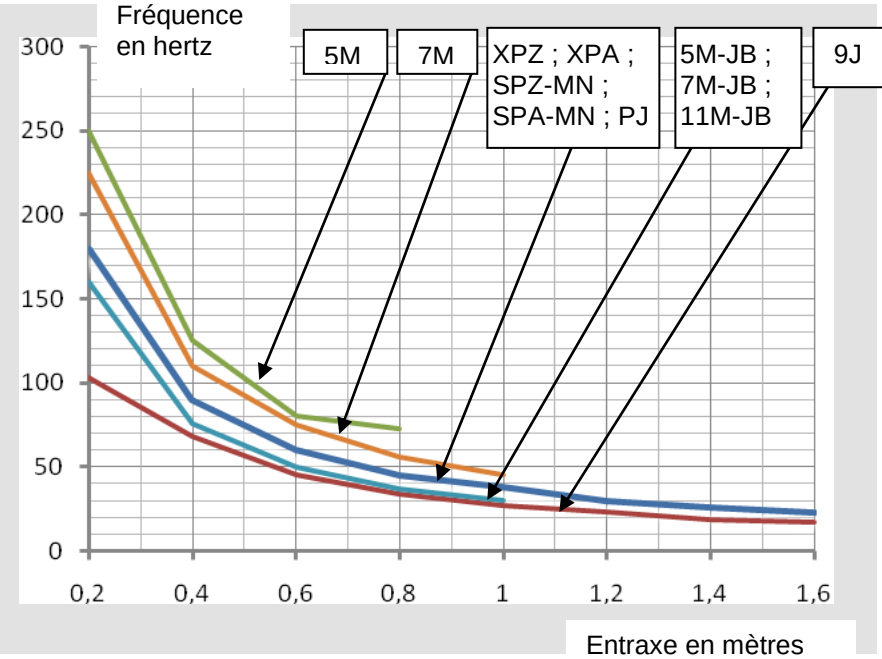
Comparez avec la valeur de référence .

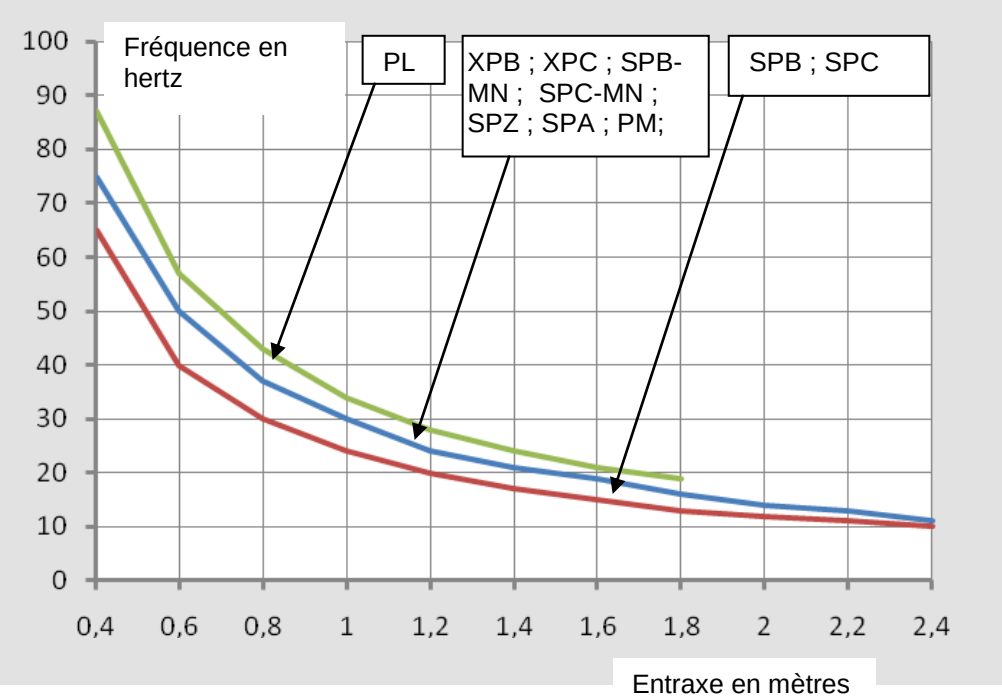
Tendez la courroie et refaites la mesure.

Répétez éventuellement l'opération jusqu'à l'obtention de la bonne valeur.

Une bonne formule est que le fabricant de courroies vous calcule les différentes références.
En l’absence de celles-ci l’abaque ci-après vous permet de trouver la valeur de fréquence correspondant à une bonne tension, pour les courroies trapézoïdales.

Pour les courroies dentées (ou synchrones) il faut demander le calcul de la valeur par le fabricant des courroies concernées.





Montage des flexibles

- Sous l’action de la pression, le diamètre du flexible augmente et sa longueur diminue. Cette réduction de longueur peut aller jusqu’à 4 % de la longueur totale.
  Pour cette raison, la longueur doit être calculée assez large.

- Le rayon de courbure doit être supérieur à 10- 12 fois le diamètre intérieur.
  A chaque extrémité, on laissera une longueur droite égale à au moins 4 fois le diamètre extérieur du flexible.

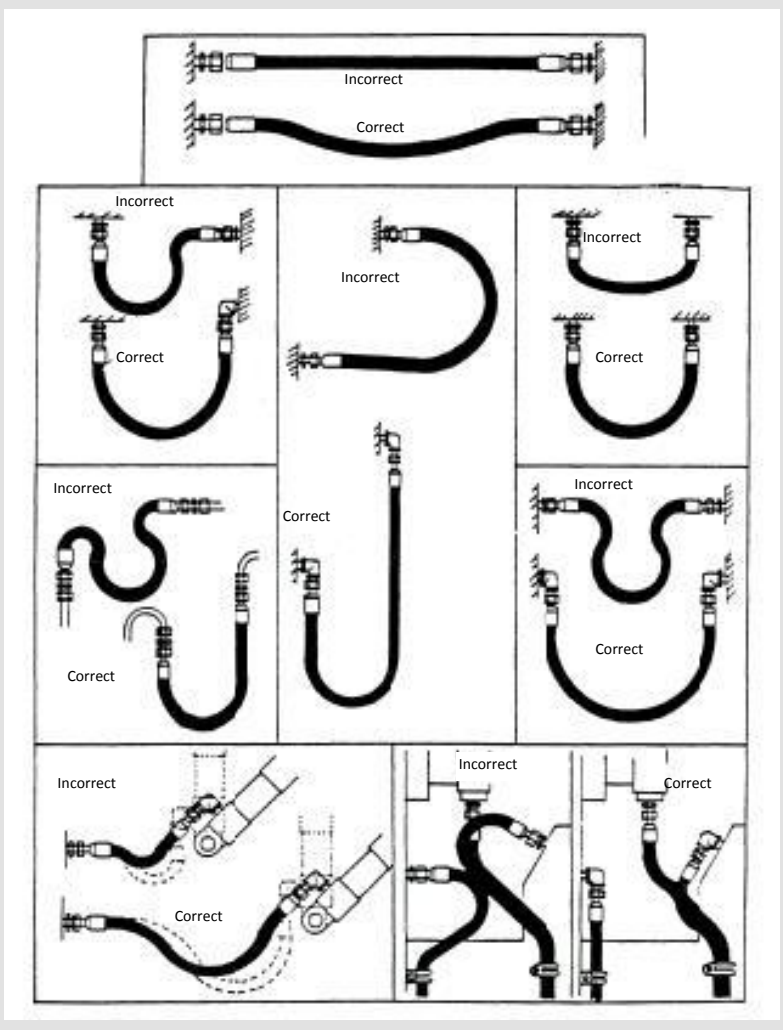
- Il faut veiller à ce que le flexible soit totalement libre dans ses débattements et à ce qu’il ne frotte sur aucune partie fixe ou mobile.

- Le flexible ne doit pas être bridé dans ses fixations.
  Il doit épouser sans contrainte une courbe aussi large et aussi souple que possible. Certains montages seront préférés à d’autres, même si cela nécessite l’adjonction d’un coude ou d’un raccord oblique.

- Il faut veiller également à ce que le flexible ne subisse aucune torsion.
  L’enrobage extérieur porte généralement un filet de couleur sur une génératrice, ce qui permet de contrôler très vite s’il y a torsion.

- Périodiquement il faut resserrer les raccords, car les desserrages sont possibles sous l’effet des mouvements.

- Si les raccords se corrodent ne les remplacez pas par des raccords en inox car cela créerait de la corrosion galvanique. La solution consiste à mettre une feuille plastique fermée par 2 serflex pour protéger contre les projections.


Incorrect
Correct
Incorrect
Correct
Incorrect
Incorrect
Correct
Incorrect
Correct
Incorrect
Correct
Incorrect
Correct
Incorrect
Correct

Montage des tuyauteries

➔ Choix des tuyauteries

Pression inférieure à 7 bars
Pour les conduites d'eau, de gaz, d'air comprimé on emploie des tubes soudés assemblés par raccords filetés ou des tubes à brides vissées. Cet assemblage est généralement limité au DN 50.
Les tubes soudés par rapprochement peuvent résister à des épreuves de 20 à 30 bars. Mais il est cependant déconseillés de les employer pour des pressions de service supérieures à 7 bars (6 bars pour la vapeur)

Pression supérieure à 7 bars
Au-dessus de 7 bars, il est préférable d'adopter un assemblage par brides ou par soudure autogène.
Pour les pressions jusqu'à 10 bars, les joints peuvent être plats, mais au-dessus il est conseillé des brides à emboîtement simple. Les emboîtements seront simples jusqu'à 20 bars et doubles au-dessus de cette pression.
Les raccords soudés ou les brides fixées par soudure autogène conviennent pour les plus hautes pressions.
Pour les très hautes pressions hydrauliques, on utilise généralement des raccords filetés renforcés ou des brides renforcées à emboîtement.

Quand on utilise des tubes acier pour les canalisations d'eau potable, il faut toujours employer des tubes en cuivre ou galvanisés
Lorsque la tuyauterie doit être enterrée, on a intérêt à la goudronner et à enrouler autour des raccords de jonction de la bande asphaltée qui évite la corrosion des parties de métal mises à nu.

➔ Soins à apporter dans le montage

- D'une façon générale les tuyauteries doivent être montées à l'abri des chocs possibles qui peuvent engendrer des fuites immédiates ou à terme.
- Pour les tuyauteries de vapeur, prévoir une pente moyenne de 1 à 5 mm par mètre vers les collecteurs de purge.
- Pour les tuyaux assemblés par brides, il est recommandé de laisser entre les tubes et les murs un espace suffisant pour le serrage des boulons et la réfection des joints.
- Les caniveaux doivent être recouverts de tôles striées, facilement amovibles, notamment à l'aplomb des brides.
- On établira les tuyauteries multiples en lignes parallèles en évitant les croisements. Il faut en effet toujours prévoir que si on est obligé de démonter un tube, ce travail ne doit pas être gêné par les tubes voisins.
- Les tubes doivent être supportés régulièrement par des colliers suffisamment ajustés pour éviter les vibrations au moment des coups de bélier éventuels.
- En ce qui concerne les tuyauteries de vapeur il faut prévoir et calculer les efforts causés par la dilatation.
  A cet effet, on répartira les coudes à grand rayon, les lyres de dilatation pour que les effets des poussées soient absorbés au maximum. Il faudra localiser les effets de dilatation sur les organes compensateurs en rendant fixe un côté de la canalisation alors que l'autre côté restera toujours à dilatation libre.
  Lorsque la disposition des tubes empêchera l'utilisation des lyres, on utilisera les joints dits « de dilatation » à soufflet ou à presse-étoupe.

Manœuvre et montage de la robinetterie

Manœuvre des vannes et robinets à soupape ou à pointeau

Il s'agit d'une question importante pour la longévité de l'obturateur :

- **A l'ouverture** : ouvrir d'abord le robinet en grand, puis fermer d'un quart de tour afin que l'appareil ne puisse pas rester coincé dans la position ouverte.
- **A la fermeture** : fermer d'abord modérément, puis ouvrir d'un ou deux tours. On élimine ainsi les impuretés qui ont pu se déposer entre les surfaces de contact et qui sont chassées énergiquement par le laminage du fluide. Refermer ensuite l'obturateur.

Montage des détendeurs

- Avant montage, nettoyez les canalisations au moyen d'un jet de vapeur pour diminuer les principales impuretés, débris de joint, etc.
- Placez le détendeur verticalement, la tête en haut, sur tuyauterie horizontale, en respectant le sens de la flèche placée sur le corps.
- Pour la vapeur et l'air comprimé, il est rationnel de prévoir à la sortie du détendeur une tuyauterie d'un diamètre supérieur à celui de la tuyauterie d'entrée et de la raccorder par une manchette divergente, la vapeur détendue ou l'air ayant besoin d'une section de passage plus grande en aval qu'en amont.
- Pour augmenter encore la régularité de la pression détendue en diminuant les turbulences à la sortie du détendeur, il convient de ne pas placer celui-ci immédiatement devant l'appareil d'utilisation. On estime généralement que la distance doit être de 2 à 4 m.
- Tout détendeur possède une perte de charge propre ce qui entraîne un écart minimal entre la pression amont et la pression détendue : de l'ordre de 15 à 20%.
- Il arrive fréquemment qu'un détendeur marche par à-coups (phénomène de « pompage »). Deux causes sont possibles :
  - Le détendeur un un diamètre trop grand pour le débit à assurer.
  - Ouverture brusque et totale d'un robinet placé sur la tuyauterie de pression détendue.

Recommandations pour les purgeurs

- Pour vérifier le fonctionnement d'un purgeur, le laisser **débiter à l'air libre**. Ne pas confondre alors la vaporisation normale et inévitable d'une partie de l'eau évacuée qui se trouve détendue à la pression atmosphérique (vapeur non brûlante ou buées) avec un jet dangereux de vapeur vive qui montrerait que le purgeur ne remplirait pas son orifice.
- Les purgeurs évacuent des eaux boueuses et chargées, collectées aux points bas de l'installation. Toujours les faire précéder d'un filtre efficace accessible et régulièrement vérifié ; y adjoindre un robinet d'arrêt.
- La tuyauterie de sortie d'un purgeur ne doit jamais plonger dans l'eau : elle aspirerait celle-ci à l'arrêt par suite du vide produit à froid par la condensation.

Recommandations pour les régulateurs de température

Le plongeur renferme un tube plissé contenant un liquide à grand coefficient de dilatation, qui agit par l'intermédiaire d'un tube capillaire sur le piston solidaire duclapet du régulateur.
Le régulateur se monte sur l'arrivée de vapeurle piston vers le bas.
Le tube capillaire, qui doit faire le moins de coudes possibles, ne doit pas être aplati,ni être en contact avec un élément chaud.

Avant montage, ne pas exposer le plongeur thermostatique à une température supérieure à 30°C. En cas de démontage, attendre le refroidissement complet.
La partie supérieure du plongeur est munie d’un cadran gradué réglable à l’aide d’une clef. Agir très progressivement et attendre le refroidissement du fluide chauffé tout effort anormal sur la clef détériorant l’appareil. Il est recommandé d’amener l’aiguille du cadran sur la température minimale avant de commencer le chauffage et de régler ensuite par augmentation de température.

Cintrage des tubes

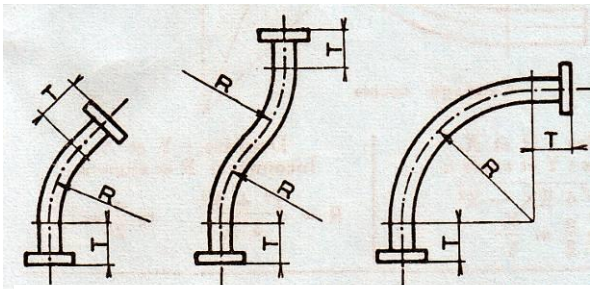
Tubes en acier

Lorsqu’on ne dispose pas d’une machine à cintrer on opère comme suit :
On emplit le tube avec du sable de grès bien sec que l’on tasse bien dans le tuyau dont une des extrémités a été bouchée. On bouche l’autre extrémité puis on chauffe la partie du tube à cintrer. On cintre alors au gabarit voulu en plaçant le tube entre les broches d’un marbre de chaudronnier. Pour éviter d’affaiblir la partie extérieure de la courbe, on la mouille progressivement, ce qui a pour effet de provoquer un refoulement du métal à l’intérieur de la courbe.
Lorsque l’on cintre des tubes soudés par rapprochement, on veille à placer la ligne de soudure sur le côté de la courbe, sinon le tube risquerait de s’ouvrir.

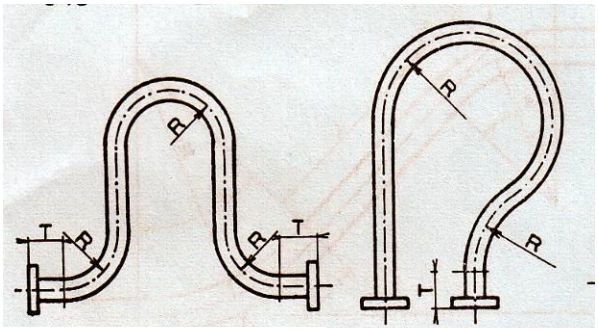
Tubes en cuivre

Lorsqu’on ne dispose pas d’une machine à cintrer on opère comme suit :
On peut cintrer à froid en se servant d’un ressort à boudin en fil carré que l’on glisse à l’extérieur ou à l’intérieur du tube. A défaut de cet accessoire, on cintre à froid en emplissant le tube au préalable de colophane ou de résine fondue.

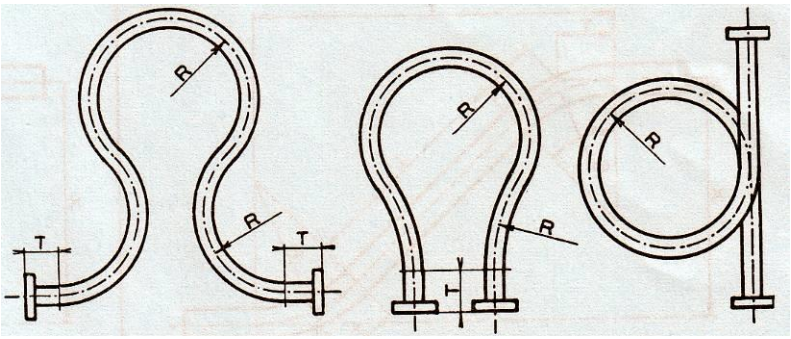
Valeur minimale des rayons de cintrage et des parties droites



Courbe à 45° Courbe de renvoi Courbe à 90°



Lyre droite à tubulures parallèles Lyre parallèle à une tubulure cintrée



Lyre droite à 2 tubulures cintrées Lyre parallèle à 2 tubulures cintrées Lyre en cor de chasse

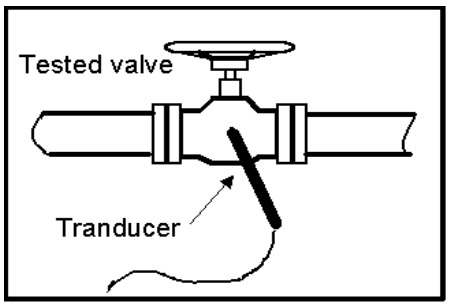
Orifice		Partie droite T mini pour brides		Rayon R en mm		
		Vissées mm	Soudées mm	Recom-mandé	Mini pour tube	
pouces	mm				Normal	Renforcé
1/2	15	25	50	65	40	25
3/4	20	38	75	100	75	40
1	25	50	75	125	90	50
1 1/4	32	50	100	160	100	60
1 1/2	40	65	100	190	115	75
2	50	75	100	250	150	100
2 1/2	65	100	125	315	175	150
3	80	100	150	375	225	175
3 1/2	90	125	150	440	270	225
4	100	125	150	500	300	250
5	125	150	175	625	375	300
6	150	175	200	750	450	375
8	200		200	1000	900	600
10	250		250	1250	1200	750
12	300		250	1500	1500	1050
14	350		350	1750	1750	1200
16	400		400	2400	2250	1650
18	450		450	2700	2550	1950
20	500		450	3000	3000	2400
24	600		450	3600	3600	3000

Valeurs Serseg

Recherche de fuites sur vannes

Le principe de base de la méthode acoustique, est d’identifier les signaux de fuites par l’intermédiaire des ultrasons au niveau de l’obturateur d’un organe de robinetterie **sans perte de production.**

Méthode de comparaison des signatures :
Cette méthode est utilisée lorsqu'il est possible d'éliminer la pression au niveau de l'obturateur. La différence entre les deux signatures traduit le niveau de fuite. La première mesure est effectuée avec la vanne fermée (signature de pression) ; ensuite la vanne est ouverte et une seconde mesure est prise (signature bruit de fond). La vanne ne fuit pas quand les signatures de pression et de bruit de fond sont sensiblement égales.



Méthode différentielle :
Cette méthode est utilisée lorsqu'il n'est pas possible d’ouvrir la vanne testée. Dans ce cas, trois mesures sont nécessaires. Les signatures sont mesurées sur la vanne au plus proche du siège, en amont (sur la vanne ou sur la tuyauterie) et en aval à égale distance.

Méthode de comparaison directe :
Quand l'objectif est de déterminer rapidement quelles sont les vannes non-étanches dans un groupe de vannes identiques (tailles identiques et mêmes technologies) à la même pression, il est possible de n'enregistrer que les signatures sous pression et de les comparer les unes aux autres en les classant selon la sévérité de la fuite.

La sévérité des fuites est estimée en fonction de la différence entre les signatures de pression et de bruit de fond comme suit :

- Fuite importante Différence au-dessus de 24 dB
- Fuite moyenne Différence entre 10 dB et 24 dB
- Fuite minime Différence en dessous de 10 dB

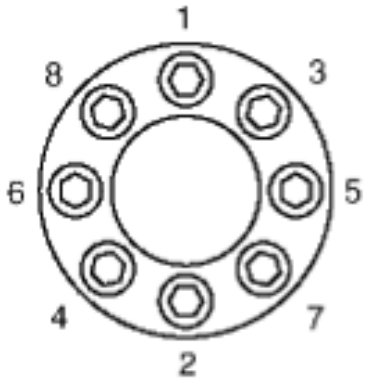
<u>Conditions requises</u>

- Vanne en position fermée,
- Pression différentielle minimale de 0.5 bar.

Montage des brides

- Les tuyauteries doivent toujours être montées en ligne, les brides et contre-brides étant absolument parallèles, surtout pour les canalisations vapeur.
  Les monteurs cherchent parfois à rattraper le manque de parallélisme des brides en agissant sur les boulons. Les conséquences sont toujours des fuites à court ou moyen terme.

- Pour le serrage des brides : mettre les boulons en place et les serrer d’abord à la main. Ensuite serrer deux boulons à 180°, avancer de 90° dans le sens des aiguilles d’une montre et continuer comme indiqué ci-dessous.



Si les boulons sont nombreux, on peut ensuite les resserrer tous de manière à effectuer plus facilement un effort égal sur tous.

- Concernant les boulons, toutes les règles de blocage en rotation s’appliquent : voir la fiche sur les serrages.

- Si l’étanchéité est obtenue avec un joint torique, voir la fiche correspondante « joints toriques »

Extrait C

de

Mémento
de
Maintenance mécanique

Mémento Technique de Maintenance 710 pages – format A4

1ère Partie Défaillances : causes et remèdes

Différents types de défaillances

Aides aux diagnostics de défaillances
- 101 pages
  - Comment trouver la cause
  - Différents types de ruptures et remèdes
  - Différentes détériorations de surface et remèdes
  - Différentes corrosions et remèdes
  - Analyses des bourrages
  - Analyses des blocages
  - Défaillances de roulements et remèdes
  - Défaillances d'engrenages et remèdes
  - Défaillances de garnitures mécaniques / remèdes
  - Défaillances de pompes hydrauliques / remèdes
  - Défaillances de courroies / remèdes
  - Tableaux causes-effets

Règles de l'art en maintenance – 140 pages,
- Serrages (1 r.a)
- Roulements et coussinets (10 r.a)
- Joints (6 r.a)
- Accouplements (4 r.a)
- Chaînes et courroies (2 r.a)
- Tuyauterie et robinetterie (6 r.a)
- Pompes et turbines (8 r.a)
- Hydraulique (9 r.a)
- Pneumatique (3 r.a)
- Divers (16 r.a)
- Sécurité (3 r.a)
- Stockage (5 r.a)
- Tolérances ISO (2 r.a)

Contrôles de maintenance préventive
– 72 pages
- Contrôles sensoriels
- Inspection du sous-sol
- Inspection des bâtiments
- Inspection des tuyauteries et circuits
- Inspection des machines
- Moyens de contrôles assez simples
- Endoscopie
- Mesures de vibrations
- Analyses d'huile
- Thermographie
- Courant de Foucault
- Ressuage
- Magnétoscopie
- Contrôles par ultrasons
- Contrôle des vannes

Standards de maintenance préventive
43 pages – 109 standards par types de matériels

2ème Partie Documentation pratique

Sécurité – 36 pages
- Principes généraux de prévention
- Consignations et déconsignations
- Plan de prévention
- Visites et formations réglementaires
- Evaluation des risques

Techniques spéciales – 78 pages
- Colles en maintenance
- Lubrification : roulements, coussinets et glissières, réducteurs, compresseurs, chaînes et câbles
- Soudage des pièces métalliques
- Soudage des pièces en matières plastiques
- Métallisation et rechargement de pièces
- Revêtements et solutions maintenance
- Protection cathodique
- Traitements thermiques
- Levage et manutention

Codification, symboles et normes – 41 pages
- Codification en boulonnerie
- Codification des métaux ferreux
- Codification des métaux non ferreux
- Symboles en robinetterie
- Symboles en hydraulique
- Symboles en pneumatique
- Codification des roulements
- Normalisation des cotes et états de surface
- Normes de maintenance

Lois et valeurs physiques – 40 pages
- Unités de mesure françaises et anglo-saxonnes
- Densités des solides et liquides
- Températures matières plastiques et métaux
- Coefficients de dilatations
- Algèbre et géométrie
- Duretés Brinell, Rockwell, et Vickers
- Propriétés des différents métaux
- Production de vapeur d'eau (diag. de Mollier)
- NPSH et hauteur manométrique
- Informations techniques diverses

Matériels courants – 151 pages
- Boulonnerie
- Roulements
- Chaines
- Courroies
- Accouplements
- Réducteurs
- Joints
- Garnitures mécaniques
- Pompes
- Vannes
- Hydraulique
- Organes divers et Purgeurs

Cet extrait contient une partie des thèmes entourés d'un rectangle rouge

Métallisation et Rechargement de pièces

Métallisation

Métallisation par pistolet à poudre

C'est incontestablement le procédé le plus simple pour le rechargement des pièces métalliques.

Son principe consiste à introduire une poudre métallique au sein du flamme oxy-combustible produite par un chalumeau ; cette poudre est transportée grâce à l'énergie transmise par les gaz de combustion.
Le pistolet est équipé d'un chalumeau, les gaz étant de l'oxygène et de l'acétylène ou du propane. Il est alimenté en poudre par un distributeur, connecté à l'air comprimé.

Les températures atteintes par les particules projetées ne dépassent pas 2000°C. La distance entre la buse du pistolet et la pièce est de l'ordre de 100 à 150 mm pour donner le temps au particules métalliques de s'échauffer.

Ce procédé permet d'obtenir des dépôts de quelques dixièmes de mm. Ces dépôts ont une faible adhérence (20 à 40 Mpa) et une porosité élevée, comparativement à d'autres procédés.
Les matériaux utilisés sont des alliages à base de nickel ou de cobalt, contenant du bore ou du silicium, éventuellement des carbures. Des dépôts à base d'acier, ou de polymères sont également réalisables.

Ce type de procédé et de matériel est assez répandu dans l'industrie. Il permet de résoudre des problèmes d'abrasion, de corrosion, d'usure.

Métallisation par pistolet avec fil cordon (procédé appelé aussi « projection »)

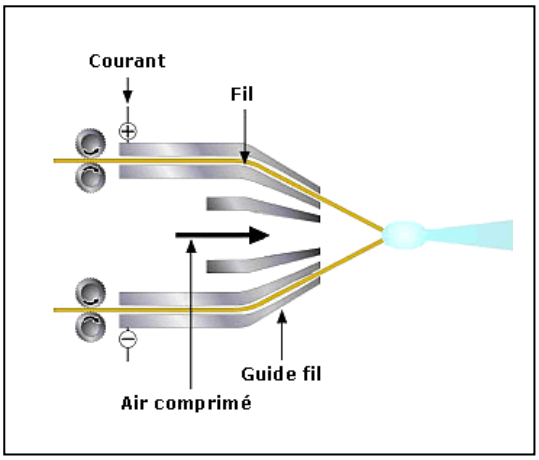
Le matériau sous forme de fil, cordon ou baguette, est introduit au sein de la flamme, mais ici la projection des gouttelettes sur la pièce est assurée par un jet d'air comprimé.
Le pistolet comporte deux parties :

- ✓ la partie chalumeau,
- ✓ la partie entrainement du fil, cet entrainement étant fait par une turbine, un moteur à air comprimé, ou un moteur électrique.

Ce procédé permet de gagner en productivité et en épaisseur de métallisation par rapport au procédé à poudre.

Métallisation par arc électrique
(procédé appelé aussi « projection »)

Son principe consiste à réaliser un arc électrique entre deux fils ductiles d'un métal d'pport. Le métal fondu dans l'arc est atomisé et projeté par un jet d'air comprimé.
Les 2 fils sont alimentés électriquement avec des polarités opposées.



Rechargement

Le procédé proprement dit de rechargement permet d'obtenir des épaisseurs plus importantes et moins poreuses qu'avec la métallisation, mais il est moins facile à pratiquer.
Ce sont les procédés de soudage à l'arc, TIC et MIG qui sont utilisés.
La procédure généralement appliquée est la suivante.

Préparation
Il convient d'abord d'éliminer le métal endommagé ou fissuré jusqu'à l'obtention d'une surface support saine.

Préchauffage
En général, le préchauffage n'est pas nécessaire. Cependant :

- ✓ pour les fontes et les aciers autotrempants, il faut un préchauffage à environ 300°C.
- ✓ pour les aciers demi-durs ou faiblement alliés, un préchauffage entre 150 et 200°C est recommandé.

Rechargement à l'arc électrique
Il est recommandé de déposer une sous-couche avec une électrode adaptée au métal à recharger, ceci pour faciliter l'accrochage.
Pour réaliser le rechargement il faut tenir un arc court en tenant l'électrode presque verticale. Avancer assez lentement et sans balancement.

Rechargement au chalumeau
Moins rapide que le procédé à l'arc électrique, le rechargement au chalumeau assure cependant une meilleure qualité de recouvrement.

Maintenance

Dans beaucoup cas il est préférable de réparer plutôt que de remplacer des pièces coûteuses. Le rechargement est un des techniques à utiliser. Cela nécessite d'avoir un bon soudeur et quelques moyens : chalumeau, poste de soudage à l'arc, pistolet à poudre (métallisation).
Le tableau ci-après donne une indication sur les méthodes à utiliser.

Métal	Forme	Procédé	Caractéristiques	Utilisation
Oxyde de Chrome	Poudre	Projection ou plasma	Excellente résistance en cas de très faible abrasion. Peut être meulé pour un excellent fini. Pas de distorsion à la	Faible effort Erosion
Acier inoxydable 431	Poudre	Métallisation	Bonne résistance à l'usure adhésive en cas de lubrification. Faible résistance à l'abrasion. Peut être meulé pour un excellent fini. Pas de	Usure par frottement. Ecaillages
Nickel-Chrome 4	Poudre	Métallisation ou fusion	Bonne résistance à l'usure adhésive; résiste à la corrosion. Epaisseur jusqu'à 0,125 mm. On pourrait utiliser le chalumeau mais le travail est plus lent.	Usure métal sur métal, cavitation, grippage. brinelling, coups.

Maintenance

Métal	Forme	Procédé	Caractéristiques	Utilisation
Acier au chrome 1	Electrode	Apport par soudure à l'arc	Résistance moyenne à une faible abrasion et usure adhésive. Peut être meulé pour un excellent fini. Bas coût. 50 HRC	Faible effort en général. Mais grand effort dans le cas d'un roulement de cylindres ou billes.
Acier au chrome 5	Electrode	Apport par soudure à l'arc (TIC)	Très bonne résistance à une faible usure abrasive. Facile à appliquer. 60 HRC	Faible effort. Formation de limaille. Coups.
Cobalt-Chrome	Baguette	Oxy-acetylène	Très bonne résistance à l'usure adhésive. Résistance modérée à une faible abrasion. L'alliage est cher et son application est lente. 43 HRC	Usure métal sur métal, grippage. brinelling, usure par frottement, cavitation, érosion.écaillages.
Cobalt-Chrome	Electrode	Apport par soudure à l'arc	Bonne résistance à l'usure adhésive. Facile à appliquer. Valable pour toute forme de soudage. L'alliage est cher. 43 HRC.	Usure métal sur métal, cavitation, grippage. écaillages, usure par frottement.
Nickel-Chrome 4	Baguette	Oxy-acetylène	Bonne résistance à l'usure métal sur métal. Usinable. Ne vas pas rouiller. Coût d'application. 35 HRC	Usure métal sur métal, grippage, écaillages.
Acier-Tungstène	Baguette	Oxy-acetylène	Excellente résistance à une abrasion modérée. A utiliser comme déposé. Coût d'application. < 60 HRC	Faible effort Erosion. Formation de limaille. Coups.
Acier-Tungstène Cobalt-Chrome	Baguette	Oxy-acetylène	Excellente résistance à une abrasion modérée. A utiliser comme déposé. Résistant à la corrosion. Coût d'application. < 60 HRC	Faible effort Erosion. Formation de limaille. Coups. Cavitation.

Revêtements

Revêtements métalliques

Nickelage

Le nickel est relativement inoxydable à l'air d'une part, il permet de donner une apparence brillante et de qualité d'autre part.
Le dépôt de nickel peut être obtenu par le procédé électrolytique classique.

Le **procédé Kanigen** est un procédé de revêtement obtenu par voie chimique sans faire appel au courant électrique. C'est un revêtement à 93% de nickel et 7% de phosphore. Le point de fusion est 800°C et dureté Brinell : 465.
Le nickelage chimique Kanigen assure une résistance à la corrosion analogue à celle du nickel. mais il ne convient pas pour les acides acétiques, sulforique, trichloracétique et aux chlorures.
On peut l'appliquer sur des supports très divers : fer, aciers, fonte, cuivre, laiton, bronze, aluminium, etc.

Chromage

Le chromage consiste à recouvrir une pièce d'une couche de chrome allant de 0,5 µ à 0,1 mm.
Il y a deux types de chromage :

- le chromage décoratif qui donne aux pièces un aspect brillant (épaisseur de 0,5 µ).
- Le **chromage dur utilisé comme revêtement anti-usure et anticorrosion** (épaisseur de l'ordre de plus de 0,1 mm) qui peut être rectifié.

Le procédé classique est galvanique avec l'utilisation de bains de chromage à base d'acide chromique et d'acide sulfurique. Il présente deux inconvénients :

- ✓ un faible rendement cathodique ;
- ✓ la formation d'hydrogène qui fragilise l'acier et diminue sa résistance à la fatigue.

Plusieurs améliorations ont été recherchées : électrodéposition sous courants pulsés, dépôt physique sous phase vapeur, pulvérisation cathodique magnétron, etc.
Parfois on applique une **sous-couche de nickel** pour renforcer la résistance à la corrosion.

Galvanisation

Avec la galvanisation on va recouvrir la pièce d'une **couche de zinc** pour la protéger **contre la corrosion.** En effet, le zinc a une tendance anodique et va donc s'oxyder à la place de l'acier avec une vitesse d'oxydation 25 fois plus faible. C'est pourquoi on parle aussi de protection cathodique passive.
Les différents procédés industriels sont les suivants.

- La galvanisation à chaud par immersion qui est notamment la galvanisation en continu des tôles d'acier. C'est la forme de galvanisation la plus connue.
- La **sherardisation**. Dans ce cas, les pièces sont chauffées à environ 400°C dans un caisson rotatif en présence de poudre de zinc et d'un matériau inerte. Il se forme deux couches d'alliage fer-zinc. La sherardisation présente de nombreux avantages :
  - ✓ une bonne résistance abrasive ;
  - ✓ une bonne tenue anticorrosion ;
  - ✓ une résistance à l'hydrogène.

  On trouve beaucoup d'applications dans la visserie, les chaînes, l'industrie navale, le bâtiment.
- L'électrozingage qui est donc le procédé par électrolyse. Il est utilisé pour des tôles destinées à l'industrie automobile principalement.

Avant galvanisation il convient de nettoyer les pièces à l'acide chlorhydrique ou sulfurique et de grenailler quand cela est possible.

Cadmiage

Le cadium est principalement extrait de la blende (minerai de zinc). Il est de couleur argentée.
Son apport par électrolyse améliore la tenue à la corrosion, la température limite d'emploi étant de 250°C.
Son emploi est limité à des cas très techniques en raison de sa toxicité.

Autres revêtements

Désignation	Support	Epaisseur	Propriétés
Anodisation	Aluminium et ses alliages	10 à 120µ	Bonne résistance à l'usure, à la corrosion et à la chaleur
Etamage	Métaux ferreux	5 à 30µ	Bonne résistance à la corrosion
Phosphatation	Métaux ferreux	20µ	Surfaces frottantes. Base d'accrochage pour peintures et vernis
Shérardisation	Métaux ferreux (pénétration de	15 à 70µ	Très bonne résistance à l'usure et à la corrosion. Très bonne résistance aux chocs.
Sulfinization	Métaux ferreux	0,2 mm	A méliore la résistance à l'usure et les qualités frottantes
Zingage	Métaux	5 à 30µ	Bonne résistance à la corrosion
Cataphorèse	Métaux ferreux	10 à 40µ	Film de peinture assurant une très bonne résistance à la corrosion

Revêtements en matières plastiques

Thermoplastiques

Les polymères thermoplastiques se déforment sous l'effet de de la chaleur et ils sont façonnables. Le phénomène est réversible.
Comme ils sont solubles dans certains solvants on peut les utiliser comme revêtements et colles.

CA : acétate de cellulose
*Cellidor A, Cellon, Lumarith, Rhodialite, **Rhodoïd,** Setilitte, Trialithe*
EPS : polystyrène expansé
Afcolène, Depron, Hostapor, Polyfoam, Roofmate, Sagex, Styrocell, Styrodur, Styrofoam, Styropor, Vestypor
PA : polyamides
*Akulon, Altech, Amilan, Bergamid, Capron, Durethan, Eratlon, **Ertalon**, Grilamid, Grilon, Igamid, **Kevlar**, Latamid, Lauramid, Maranyl, Minlon, Miramid, Nomex, Nylatron, **Nylon**, Nypel, Orgamide, Perlon, Polyloy, Radiflam, Radilon, Renyl, **Rilsan**, Schulamid, Sniamid, Stanyl, Staramide, Starflam, Tactel, Technyl, Trogamid, Ultramid, Versamid, Vestamid, Vydyne, Zytel*
PC : polycarbonates
Apec, Axxis, Durolon, Gerpalon, Latilon, Lexan, Makrolon, Panlite, Plaslube, Polyman, Sunglass, Tuffak, Xantar
PE : polyéthylène
Hostalen, Lacqtène, Lupolen, Manolène, Marlex, Moplen, Plastazote, Polythen, Sclair, Stamylan, Stamylex, Supralen, Surlyn, Tupperware, Tyvek, Vestolen A
PET ; Polytéréphtalate d'éthylène (polyester)
Arnite, Baydur, Bidim, Dacron, Diolen, Ektar, Ertalyte, Hostadur K et A, Kodar, Mélinex, Mylar, Pocan, Raditer, Rhodester, Rynite, Tenite, Tergal, Terphane, Terylene, Trevira, Ultradur
PP : polypropène (polyoléfine)
Amoco, Appryl, Carlona, Eltex, Hostalen PP, Luparen, Moplen, Novolen, Oléform, Polyflam, Profax, Propathene, Prylène, Stamylan P, Trovidur PP, Vestolen P
PS : Polystyrène
Carinex, Edistir, Empera, Gedex, Hostyrène, Lacqrène, Luran, Lustran, Lustrex, Noryl , Polyflam, Polystyrol, Riviera, Styranex, Styroflex, Styron, Trolitul, Ursaa, Vestyron
PVC : polychlorure de vinyle
Benvic, Breon, Corfam, Darvic, Duraform, Dynel, Garbel, Gedevyl, Hostalit, Lacovyl, Lacqvil, Lucolène, Lucovyl, Lucalor, Lucoflex, Micronyl, Mipolam, Nakan, Saran, Skaï, Solvic, Tefanyl, Trovidur, Ultryl, Vestolit, Vinidur, Vinnol, Vinnolit, Vinoflex, Vinylite
PMMA : polyméthacrylate de méthyle (acrylique)
***Acrigel**, Altuglas, Altulite, Bonoplex, Corian, Deglan, Limacryl, Lucite, Metacrilat, Oroglas, Perspex, **Plexiglass**, Resalit, Vitroflex*
ABS : copolymère acrylonitrile-butadiène-styrène
Afcoryl, Alliage PC/ABS), Cycolac, Isopak, Lastilac, Lustran, Novodur, Polyflam, Polylac, Polyman, Ronfalin, Terluran, Toyolac, Ugikral, Vestodur
SAN : copolymère styrène-acrylonitrile
Elvax, Lacqsan, Luran, Lustran, Restil, Vestoran
POM : polyformaldéhyde (polyacétal)
Acetaver, Bergaform, Celcon, Delrin, Ertacetal, Hostaform, Kematal, Kepital, Kocetal, Ultraform
PVAC : polyacétate de vinyle
Elvacet, Hostaflex, Mowilith, Rhovyl, Vinnapas, Vinyon
PBT : polytéréphtalate de butylène (polyester)
Arnite, Celanex, Crastin, Deroton, Hostadur, Pocan, PTMT, Tenite, Ultradur, Vestodur

Thermodurcissables

Ils prennent eux leur forme définitive après transformation. Le produit obtenu n'est ni transformable, ni recyclable.

EP : polyépoxydes
Araldite, *Devcon, DER, Doroxin, Epikote, Epon, Epotek, Epotuf, Epoxin, Eurepox, Lekutherm, Lopox, Rutapox*
ME : mélamine-formaldéhyde (aminoplastes)
Arborite, ***Formica****, Hostaset MF, Melochem, Melopas*
PF : phénol-formaldéhyde (phénoplastes)
Bakélite*, Cascophen, toile bakélisée (****Celoron****), papier bakélisé, bois bakélisé, Fluosite, Hostaset PF, Luphen, Micarta, Peracite, Trolitan, Tufnol*
PUR : polyuréthanes réticulés
*Baydur, Bayflex, Baygal, Cyanapren, Daltoflex, Defina*l, *Desmodur, Desmolin, Estolan, Lupranat, Lupranol, Luvipren, Moltopren, Napiol, Scurane, Urepan, Voranol, Vulkolian,* ***Vulkollan***
UF : urée-formaldéhyde (aminoplastes)
Aerodux, Beckamin, Cascamite, Hostaset UF, Pollopas, Prystal, Urochem
UP : polyesters insaturés
Alkyde, Hostaset UP, Leguval, Palatal, Pregmat, Ukapon, Vestopol

Elastomères

Ils peuvent subir de très grandes déformations jusqu'à 1000 % avant rupture. Ce sont des polymères qui sont thermoplastiques et qui deviennent thermodurcissables par vulcanisation.

PTFE : polytétrafluoroéthylène
Algoflon, Ertaflon, Fluon, Gaflon, Halon, Hostaflon, Polyflon, Soreflon, Téflon, Voltalef
Tous les silicones**Silicones**
Autres **Elastomères**

Propriétés des matières plasiques

Altuglas (ex **Plexiglas**) : C'est une matière plastique thermoplastique, à base de métacrylate de méthyle. Elle est incolore et transparente, se travaille aisément à chaud et elle est résistante. Sa densité est 1,18. Sa température de ramollissement est de 85°C, et son point d'inflammation est à 285°C.C'est un très bon isolant thermique et acoustique.
L'Attuglas résiste aux acides non oxydants et aux bases de concentratios 15 à 30%, à l'eau de javel, à l'eau de mer, aux huiles, etc. mais elle ne convient pas pour les solvants ni pour les alcools.

Caoutchouc naturel et ébonite : il résiste à de nombreux acides et à l'abrasion. Mais sa température est limitée à 65°C pour le caoutchouc naturel et 120°C pour l'ébonite qui est composée de caoutchouc naturel et de soufre.
Usage proscrit pour les solvants, huiles, mazout, chlore.

Delrin (polyoxyméthylène ou résine acétal) : c'est un thermoplastique.

Beaucoup de qualités : haute résistance, élasticité, stabilité dimensionnelle, avec une excellente tenue aux hydrocarbures, alcools, esters, solvants, eau de mer, etc. Sa résistance est près des métaux non-ferreux entre -40 et +125°C (fusion à 175°C).

Teflon (PTFE)
Ce polymère est thermostable, possède une grande inertie chimique et un pouvoir antiadhésif.
Il supporte des températures jusqu'à 200°C.

Nylon
C'est un polyamide. Le polyamide présente un très bon compromis entre les caractéristiques mécaniques, thermiques et chimiques. L'ertalon : Sa densité est de 1.15 g/cm3
Sa plage de température d'utilisation est -40 à +120°C

Un polyamide est un polymère contenant des fonctions amides − C(= O) − NH − résultant d'une réaction de polycondensation entre les fonctions acide carboxylique et amine.

Les polyamides sont en général des matériaux sensibles à l'humidité par la présence de groupements polaires. Les propriétés mécaniques et dimensionnelles peuvent donc être affectées selon les conditions de stockage et de mise en œuvre. Ils sont également assujettis à l'oxydation à haute température ainsi qu'une résistance limitée au feu. Pour pallier ce dernier, l'utilisation d'ignifugeant est possible à partir de composés halogénés (bromés ou chlorés) ou bien de composés inorganiques

Le nylon appartient plutôt à la famille des superpolyamides. Il résiste bien à la plupart des solvants et acides, sauf aux acides forts et aux phénols, jusqu'à 100°C. Le point de fusion est à 260°C.

Ethylène – propylène
C'est un caoutchouc synthétique.Il a une très bonne résistance aux températures de -50 à +150°C, aux graisses et huiles à base de silicone, à des acides et bases à faible concentration. Mais il ne convient pas aux produits pétroliers.

Hypalon
Son nom chimique : polyéthylène chlorosulfoné. C'est un élastomère qui a l'aspect du caoutchouc synthétique qui est thermodurcissable et peut être vulcanisé. Il présente une bonne résistance à la chaleur jusqu'à 150°C, aux intempéries, à l'ozone et aux produits chimiques.

Kel-F
Nochimique : copoolymère de fluorovinylidène et de monochlorotrifluoroéthylène. Il a une **inertie chimique exceprionnelle** : acides concentrés, ozone et oxydants, huiles et essences, certains solvants. Dureté shore 45, résistance 130 kg/cm^2, température d'utilisation : -15 à +100°C.

Néoprène
C'est l'un des plus anciens caoutchoucs synthétiques qui présente de bonnes propriétés mécaniques, avec une très bonne résistance aux huiles et hydrocarbures, à certains solvants et fréons, aux bases et acides dilués, à lozone, aux sels inorganiques. Dureté shore 50 à 80. Température d'utilisation : - 30 à + 110°C. Résistance 65 à 175 kg/^{2}.

Perbunan
Nom chimique : Copolymère de butadiène et nitrile acrylique. Il est **recommandé pour sa résistance** aux hydrocarbures, huiles minérales, fluides hydrauliques, lubrifiants à base de silicone, à l'essence, etc. Il a d'excellentes propriétés mécaniques de -40 à +100°C. Dureté shore : 40 à 90. Résistance mécanique : 120 à 200kg/cm^2.
Par contre il est déconseillé pour les solvants, produits chimiques, acides, ozone.

Plastef
C'est un **revêtement de résine polyester** spéciale à grande résistance s'appliquant sur tous métaux,**neutre, sans odeur, résistant aux chocs et vibrations et convenant jusqu'à 130°C.**

Il est préparé sous deux formes, l'une de couleur brune pour les acides, l'autre de couleur crème pour les bases, ce revêtement présente une grande inertie chimique.

Polyvinyle, polyéthylène
Le chlorure de polyvinyle (CPV) a une très grande inertie face à la plupart des produits corrosifs, sauf les solvants, hydrocarbures, essence, pétrole. Il ne vieillit pas. Sa température d'utilisation est entre -30°C et +60°C. **Il peut remplacer l'acier inoxydable dans certaines applications.**
Sa dureté shore : 100.

PTFE
Son nom chimique est : polytétrafluoréthylène. Le PTFE a des **qualités exceptionnelles**. Il résiste à tous les solvants, à tous les produits chimiques métaux alcalins fondus exceptés. Sa température d'utilisation va de -196°C à + 200°C. Il ne fond pas et sa dureté shore esr supérieure à 70.

Rhodoïd
C'est une matière plastique à base d'acétate de cellulose de type thermoplastique. Sa température limite est 60°C. Le rhodoïd résiste aux acides et bases dilués, aux essences, aux huiles, au pétrole, au benzol et aux alcools supérieurs. Mais il est attaqué par les alcools inférieurs, les phénols et des solvants tels que l'acétone.

Rilsan
Cette matière plastique appartient à la famille des superpolyamides. Le rilsan est tenace, léger, **résistant parfaitement à l'abrasion** et a une grande inertie chimique face aux sels, essences, huiles, certains solvants et acides, et l'eau de mer. Le seul solvant du rilsan est le crésol. Sa température d'utilisation varie de -40 à +100°C.

Silicones
Ce sont des élastomères qui possèdent une résistance exceptionnelle entre -60 et +200°C, et une bonne résistance à l'oxydation, aux bases et acides à température et concentration moyennes. Sa résistance mécanique est faible : 40 à 70 kg/cm^2.
Silicones
Les **silicones**, ou polysiloxanes, sont des composés inorganiques formés d'une chaine silicium-oxygène (...-Si-O-Si-O-Si-O-...) sur laquelle des groupes se fixent, sur les atomes de silicium. Certains groupes organiques peuvent être utilisés pour relier entre elles plusieurs de ces chaines (...-Si-O-...). Le type le plus courant est le poly(diméthylsiloxane) linéaire ou PDMS. Le second groupe en importance de matériaux en silicone est celui des résines de silicone, formées par des oligosiloxanes ramifiés ou en forme de cage.
Leur consistance va du liquide (implant mammaire) au plastique dur, en passant par le gel et la gomme. Les silicones sont présents un peu partout dans le quotidien, sous forme de mastics, colles, joints, additifs antimoussants pour poudres lessivielles, cosmétiques, matériel médical, gaines isolantes de câbles électriques, graisses haute performance, etc.

Viton
C'est un caoutchouc synthétique fluoré, offrant en particulier une excellente résistance à la température : -30 à +200°C. Il résiste à de nombreux agents chimiques, à certains solvants et à l'ozone. Dureté shore 60 à 80. Résistance à la rupture 100 à 140 kg/cm^2.

Résine Alkyde
Les résines thermodurcissables **alkydes** ou **glycéro-phtaliques** sont utilisées comme liants dans le domaine des peintures et vernis. Le pigment est souvent constitué de paillettes de zinc.

Revêtements divers

Composites

Un composite est l'assemblage de plusieurs matériaux non miscibles de natures différentes et dont les qualités se complètent afin d'obtenir un matériau hétérogène dont les performances sont supérieures à celles de ses composants.
Dans un matériau composite on distingue :

- le **renfort** qui constitue le squelette de la pièce et qui supporte l'essentiel des efforts ;
- la **matrice** qui assure la liaison de l'ensemble, répartit les efforts et joue un rôle de protection des renforts.

Types de renforts

- Organique (fibres de verre, d'aramide…)
- Minéral (fibres de carbone, de céramiques…)
- Métallique (fibres de bore, d'alumine…)

Types de matrices

- Organique (plastiques)
- Minéral (carbone, céramiques…)
- Métallique (aluminium, titane, plomb)

Constitution des composites

Principaux renforts		
Fibres de verre FV	* Bon rapport performances mécaniques / prix * Résistance à la température * Bonne adhérence avec toutes les résines	* Disponible sous toutes les formes * Dilatation thermique faible * Renfort le plus utilisé industriellement
Fibres de carbone FC	* Excellentes propriétés mécaniques * Dilatation thermique nulle * Très bonne tenue en température	* Bonne usinabilité * Tenue aux chocs faible * Prix assez élevé
Fibres d'aramide FA "Kevlar"	* Bonne résistance à la rupture en traction * Dilatation thermique nulle * Bonne résistance aux chocs et à la fatigue	* Excellente absorption de vibrations * Usinabilité délicate * Prix élevé
Principales matrices		
Epoxyde EP	* Bonnes propriétés mécaniques et thermiques * Excellente adhérence sur fibres et métaux * Bonne stabilité dimensionnelle	* Temps de polymérisation élevé * Bon comportement en milieu extérieur * Prix assez élevé
Polyester UP	* Facilité de mise en œuvre * Bon accrochage sur fibre de verre * Assez bonne tenue chimique	* Tenue réduite à la chaleur humide * Inflammabilité * Prix réduit
Phénolique PF	* Faibles caractéristiques mécaniques * Bonne tenue en température	* Coloration difficile * Prix réduit

Céramiques

Une céramique est réalisée par solidification à haute température d'une pâte humide plastique , ou par frittage d'une poudre sèche préalablement comprimée, sans passer par une phase liquide.

Utilisations en mécanique principalement

- alumine (oxyde d'aluminium Al_2O_3) : bonne tenue mécanique aux températures élevées, bonne conductivité thermique, grande résistivité électrique, grande dureté, bonne résistance à l'usure, inertie chimique.
- nitrure de silicium Si_3N_4 : grande dureté, bonne résistance à l'usure et à l'abrasion, bonne inertie chimique, bonne résistance aux chocs thermiques. Il existe deux types de nitrure de silicium : lié par nitruration de poudre de silicium comprimée ou par pressage de la poudre de nitrure de silicium à température élevée
- sialon : solution solide de nitrure de silicium, de nitrure d'aluminium et de d'oxyde d'aluminium.
- carbure de bore B_4C.
- carbure de silicium ou carborundum SiC : grande dureté, bonne résistance aux chocs thermiques, grande conductivité thermique, faible dilatation thermique, excellente inertie chimique.
- cordiérite (silicate alumineux ferro-magnésien) : bonne résistance aux chocs thermiques, bonne conductivité thermique.
- zircone (oxyde de zirconium ZrO_2) : excellentes propriétés mécaniques aux températures élevées, conductivité thermique faible à température ambiante, conducteur électrique à T > 1000°C, grande dureté, bonne résistance à l'usure, bonne inertie chimique, bonne résistance aux attaques des métaux.
- oxyde de magnésium MgO : résistance aux métaux fondus, bonne résistance mécanique

Utilisations en électricité ou autres hors mécanique

- mullite $Al_6Si_2O_{13}$: bonne résistance aux chocs thermiques, conductivité thermique faible, résistivité électrique importante.
- nitrure d'aluminium AlN : conductivité thermique élevée, bonne résistance électrique, transparent aux longueurs d'onde du visible et de l'infra-rouge.
- nitrure de bore NB : haute conductivité thermique, faible dilatation thermique, excellente résistance aux chocs thermiques, haute résistance diélectrique, faible constante diélectrique, inerte chimiquement, transparent aux micro-ondes, facilement usinable.
- borure d'aluminium AlB_2.
- oxyde de zinc ZnO.
- oxyde magnétique de fer Fe_3O_4.
- pérovskites : elles constituent une vaste famille de matériaux cristallins de formule $(A)(B)O_3$ comme $BaTiO_3$, $CaTiO_3$, $SrTiO_3$ ou $(PbSr)TiO_3$, $Pb(Zr_{0.5}Ti_{0.5})O_3$
- stéatite (silicate de magnésium $(SiO_4)Mg_2$) : bonne résistivité électrique.
- silicates d'aluminium (argiles).
- oxyde d'uranium UO_2.

Celloron

Stratifié industriel constitué de tissus de coton spéciaux imprégnés de résines synthétiques, puis agglomérés sous forte pression et haute température dans des presses spécialement adaptées. Il en résulte une excellente cohésion entre les couches, une bonne résistance aux chocs et aux frottements. Les résines peuvent être chargées avec des différents additifs destinés à les adapter à leur usage final. Ex : bisulfure de molybdène, graphite...

Basalte

Ce produit est élaboré à partir de roches éruptives sélectionnées et fondues entre 1245° et 1290°C. Il est fondu aux caractéristiques de résistance à l'abrasion exceptionnelles

Ses performances sont obtenues grâce à l'imbrication d'oxydes métalliques purs dans une phase vitreuse
Il convient dans les cas d'abrasion sévère avec impacts modérés ; c'est son excellent coefficient de glissement qui favorise l'écoulement (applications : goulottes, trémies, tuyaux…)

Maintenance

Pour réduire les coûts directs et indirects de maintenance, avant de penser à des remplacements de pièces, les solutions apportées par les revêtements sont certainement à envisager.
A l'heure actuelle, les solutions techniques sont multiples d'une part, et les sociétés spécialisées dans ces domaines sont très nombreuses.
La liste des matériaux présentée ci-après n'est peut-être pas complètement exhaustive, mais elle peut sans doute contribuer à faire les bons choix.

Revêtements anti-usure avec abrasion légère

- Revêtements plastiques :
  - ✓ époxy,
  - ✓ nylon,
  - ✓ éthylène-chloro trifluoroéthylène (E-CTFE)
  - ✓ perfluoro alcoxyle alcane (PFA)
  - ✓ polyester
  - ✓ polytétrafluoroéthylène (PTFE)
  - ✓ polyuréthane (PU)
- Métaux compatibles en frottement avec l'antagoniste, utilisés purs ou alliés : plomb, indium, étain, bronze, etc. ;

Revêtements anti-abrasion modérée

- Matières plastiques et élastomères : le Rilsan, utilisable jusqu'à 80-100 °C, a une bonne résistance au frottement, à l'abrasion, à la cavitation.
- Caoutchoucs à base de polyuréthane ou de néoprène ; ils présentent l'intérêt de protéger face à une abrasion par chutes de grosses particules
- Céramiques : nitrure de silicium Si_3N_4
- Métaux durs contre l'abrasion, éventuellement en couches épaisses de 1 mm et plus : chrome, molybdène… ;

Revêtements anti-abrasion forte

- Alliages très durs pour contrer l'abrasion, éventuellement à chaud, sous forme de couches plutôt épaisses, voire de rechargement : nickel-chrome, nickel-chrome-bore, cobalt-chrome-tungstène-bore.
- Céramiques : carbures métalliques, alumine, zircone.
- Carbure de tungstène
- Basalte fondu

Revêtements anti-corrosion

- Cataphorèse ; ce procédé d'anticorrosion permet par électrophorèse de réaliser un dépôt de peinture à base de résine époxy sur un substrat métallique après les opérations de préparations de surfaces.
- Distillats de goudron, pour empêcher les infiltrations d'eau
- Peintures liquides ; plusieurs familles de peinture sont mises en œuvre en fonction des propriétés recherchées, telles que :
  - alkyde ou glycéro, utilisé principalement en primaire antirouille
  - époxy, pour la tenue à la corrosion
  - polyuréthane, pour l'aspect (tendu) et la tenue à l'extérieur aux UV
- Peintures poudres : elles se déclinent en 3 grandes familles :
  - époxy
  - époxy polyester (mixte),
  - polyester

Maintenance

- Rilsan
- Epoxy
- PTFE
- Teflon
- Phosphatation Zinc et fer
- Chromatation
- Zingage
- Galvanisation
- Composites : alliance d'un métal (nickel – chrome) avec un fluoropolymère

Revêtements anti-cavitation

- Rilsan, utilisable jusqu'à 80-100 °C, a une bonne résistance au frottement, à l'abrasion, à la cavitation.
- Caoutchoucs à base de polyuréthane ou de néoprène.

Revêtements anti-adhérence

- Celoron imprégné de bisulfure de molybdène
- Les PTFE, particulièrement le Téflon
- Silicones, particulièrement les élastomères et les résines, mais les silicones seuls n'ont pas une grande longévité
- Fibres de verre tissées recouvertes de silicone
- Composites : alliance d'un métal (nickel – chrome) avec un fluoropolymère
- Certaines céramiques

RETOUR : Cliquez ici

Extrait D

de

Mémento
de
Maintenance mécanique

Mémento Technique de Maintenance 710 pages – format A4

1ère Partie Défaillances : causes et remèdes

Différents types de défaillances

Aides aux diagnostics de défaillances
- 101 pages
  - Comment trouver la cause
  - Différents types de ruptures et remèdes
  - Différentes détériorations de surface et remèdes
  - Différentes corrosions et remèdes
  - Analyses des bourrages
  - Analyses des blocages
  - Défaillances de roulements et remèdes
  - Défaillances d'engrenages et remèdes
  - Défaillances de garnitures mécaniques / remèdes
  - Défaillances de pompes hydrauliques / remèdes
  - Défaillances de courroies / remèdes
  - Tableaux causes-effets

Règles de l'art en maintenance – 140 pages,
- Serrages (1 r.a)
- Roulements et coussinets (10 r.a)
- Joints (6 r.a)
- Accouplements (4 r.a)
- Chaînes et courroies (2 r.a)
- Tuyauterie et robinetterie (6 r.a)
- Pompes et turbines (8 r.a)
- Hydraulique (9 r.a)
- Pneumatique (3 r.a)
- Divers (16 r.a)
- Sécurité (3 r.a)
- Stockage (5 r.a)
- Tolérances ISO (2 r.a)

Contrôles de maintenance préventive
– 72 pages
- Contrôles sensoriels
- Inspection du sous-sol
- Inspection des bâtiments
- Inspection des tuyauteries et circuits
- Inspection des machines
- Moyens de contrôles assez simples
- Endoscopie
- Mesures de vibrations
- Analyses d'huile
- Thermographie
- Courant de Foucault
- Ressuage
- Magnétoscopie
- Contrôles par ultrasons
- Contrôle des vannes

Standards de maintenance préventive
43 pages – 109 standards par types de matériels

2ème Partie Documentation pratique

Sécurité – 36 pages
- Principes généraux de prévention
- Consignations et déconsignations
- Plan de prévention
- Visites et formations réglementaires
- Evaluation des risques

Techniques spéciales – 78 pages
- Colles en maintenance
- Lubrification : roulements, coussinets et glissières, réducteurs, compresseurs, chaînes et câbles
- Soudage des pièces métalliques
- Soudage des pièces en matières plastiques
- Métallisation et rechargement de pièces
- Revêtements et solutions maintenance
- Protection cathodique
- Traitements thermiques
- Levage et manutention

Codification, symboles et normes – 41 pages
- Codification en boulonnerie
- Codification des métaux ferreux
- Codification des métaux non ferreux
- Symboles en robinetterie
- Symboles en hydraulique
- Symboles en pneumatique
- Codification des roulements
- Normalisation des cotes et états de surface
- Normes de maintenance

Lois et valeurs physiques – 40 pages
- Unités de mesure françaises et anglo-saxonnes
- Densités des solides et liquides
- Températures matières plastiques et métaux
- Coefficients de dilatations
- Algèbre et géométrie
- Duretés Brinell, Rockwell, et Vickers
- Propriétés des différents métaux
- Production de vapeur d'eau (diag. de Mollier)
- NPSH et hauteur manométrique
- Informations techniques diverses

Matériels courants – 151 pages
- Boulonnerie
- Roulements
- Chaines
- Courroies
- Accouplements
- Réducteurs
- Joints
- Garnitures mécaniques
- Pompes
- Vannes
- Hydraulique
- Organes divers et Purgeurs

Cet extrait contient une partie des thèmes entourés d'un rectangle rouge

Dilatations

Dilatation linéaire des métaux

Le tableau ci-après donne la dilatation linéaire en millimètres par mètre et par °C de différence de température entre la température ambiante et la température du métal.

Problème.- Quelle sera la dilatation d'un profilé de 4,50 m, en acier à 18% de Cr et 8% de Ni, porté à une température de 180°C, la température ambiante étant de 10°C ?

Solution. - Elévation de température du profilé : 180 – 10 = 170°C.
En cherchant dans le tableau de dilatation pour un acier 18/8 et pour une température de 180°C (prendre la colonne 200°C), nous trouvons 0,01715 mm/m. Dilatation du profilé : 0,01715 x 170 x 4,5 = 13,12 mm.

Nature du métal	Dilatation en millimètres par mètre et par °C pour température jusqu'à						
	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
Acier au carbone :							
0,10-0,20 % C……	0,01170	0,01242	0,01296	0,01350	0,01422	0,01440	0,01458
0,30-0,40 % C……	0,01152	0,01188	0,0126	0,01332	0,01404	0,01422	0,01449
0,50-0,60 % C……	0,01116	0,01179	0,01242	0,01314	0,01386	0,01404	0,01440
Acier au chrome :							
12 % Cr……	0,01098	0,01152	0,01206	0,01224	0,01296	0,01314	0,01332
17 % Cr……	0,01053	0,01121	0,01152	0,01179	0,01211	0,01231	0,01251
25-30 % Cr……	0,01062	0,01070	0,0108	0,01110	0,01130	0,01148	0,01180
Acier au chrome-nickel :							
18 % Cr 8 % Ni……	0,01670	0,01715	0,0176	0,01811	0,01850	0,01875	0,01908
25 % Cr 12 % Ni……	0,01499	0,01570	0,01641	0,01679	0,01720	0,01760	0,01782
Acier au chrome-molybdène :							
0,5 % Cr 0,5 % Mo……	0,01170	0,01242	0,01296	0,01350	0,01422	0,01440	0,01458
1 % Cr 0,5 % Mo……	0,01206	0,01260	0,01319	0,01380	0,01431	0,01461	0,0147
5 % Cr 0,5 % Mo……	0,01101	0,01155	0,01211	0,01260	0,01299	0,01328	0,01339
Acier au nickel :							
36 % Ni (métal Invar)……	0,00297	0,00599	0,00865	0,01074	0,01224	0,01332	0,0134
Aluminium……	0,02394	0,02466	0,02502	0,02610	0,02664	0,02790	0,02826
Argent……	0,01970	0,02000	0,02027	0,02057	0,02086	0,02115	0,02173
Béryllium……	0,01220	0,01314	0,01391	0,01481	0,01551	0,01600	0,01674
Bronze-laiton……	0,01746	0,01773	0,01854	0,01890	0,01926	0,01998	0,02052
Constantan……	0,01520	0,01560	0,01603	0,01642	0,01682		
Cuivre……	0,01656	0,01692	0,01728	0,01782	0,01818	0,01854	0,0189
Etain……	0,02670						
Fonte pure……	0,01206	0,01251	0,01332	0,01386	0,01422	0,01458	0,01476
" grise……	0,01044	0,01098	0,01170	0,01242			
" malléable……	0,00900	0,00990	0,0108	0,01188			
" 5 % nickel……	0,00774	0,00954	0,01116	0,01206			
" Ni-resist……	0,01854	0,01872	0,01908	0,0198			
" 30 % nickel……	0,00738	0,00918	0,01224	0,01314			
" 36 % nickel……	0,00414	0,00666	0,00882	0,01026			
Magnésium……	0,02610	0,027	0,02790	0,02898			
Molybdène……	0,00489	0,00504	0,00513	0,00522	0,00550	0,00558	0,00567
Monel……	0,01269	0,01485	0,01521	0,01548	0,01566	0,01591	0,01602

Nature du métal	Dilatation en millimètres par mètre et par °C pour température jusqu'à						
	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
Nickel pur……	0,01296	0,0135	0,01404	0,01476	0,01499	0,01530	0,01548
Ni 62 %, Cr 15 %, Fe 23 %.....	0,01371	0,01395	0,01431	0,01467	0,01499	0,01530	0,01566
Ni 60 %, Mo 20 %, Fe 20 %.....	0,01098	0,01152	0,01188	0,01242	0,01296	0,01332	0,01386
Or……	0,01420						
Platine……	0,00900	0,00915	0,00927	0,00940	0,00954	0,00966	0,0098
Plomb……	0,02916	0,0297					
Stellite 60% Co, 30% Cr, 4% W	0,01098	0,0117	0,01242	0,01296	0,01314	0,01350	0,01388
Tungstène……	0,00426	0,00437	0,0044	0,00450	0,00459	0,00468	0,00477
Zinc pur……	0,03870	0,03924					

Dilatation cubique des gaz

à 700 mm Hg et température comprise entre 0 et 100°C

α = coefficient de dilatation à pression constante.
β = coefficient d'augmentation de pression à volume constant.

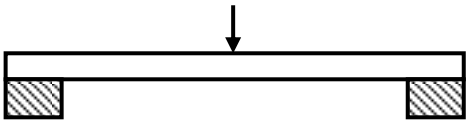
Gaz	$\alpha \times 10^6$	$\beta \times 10^6$	Gaz	$\alpha \times 10^6$	$\beta \times 10^6$
Acide chlorhydrique	3 734	3 721	Hélium……	3 659	3 661
Air……	3 671	3 672	Hydrogène……	3 660	3 663
Ammoniac……	3 790	3 768	Krypton……	3 697	3 690
Argon……	3 672	3 672	Méthane……	3 682	3 679
Anhydride carbonique	3 725	3 711	Néon……	3 661	3 663
Anhydride sulfureux…..	3 880	3 840	Oxyde de carbone…….	3 672	3 673
Azote……	3 671	3 672	Oxygène……	3 674	3 673
Chlore……	3 830	3 803	Protoxyde d'azote…….	3 732	3 719
Cyanogène……	3 870	3 830	Xénon……	3 739	3 720
Ethylène……	3 735	3 722			

Résistance des matériaux

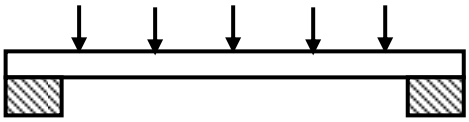
Charges à la flexion

P : charge totale en kgs
L : longueur de la poutre en mm
R : charge par mm^2
I : moment d'inertie de la section

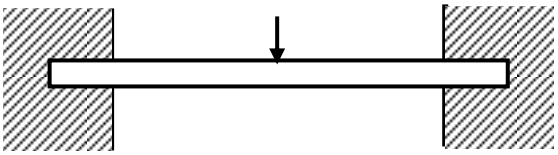
v : distance de la fibre neutre à celle la plus fatiguée
$\frac{I}{v}$: moment résistant



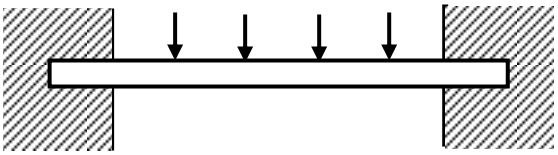
$$\frac{PL}{4} = R\,\frac{I}{v}$$



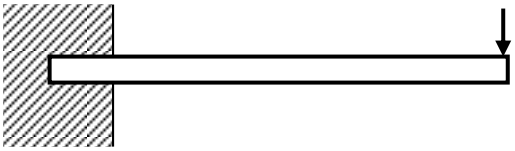
$$\frac{pL \times L}{8} = \frac{PL}{8} = R\,\frac{I}{v}$$



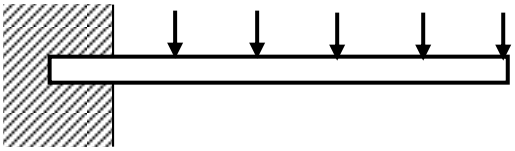
$$\frac{PL}{8} = R\,\frac{I}{v}$$



$$\frac{PL}{12} = R\,\frac{I}{v}$$



$$PL = R\,\frac{I}{v}$$



$$\frac{PL}{2} = R\,\frac{I}{v}$$

Efforts de torsion

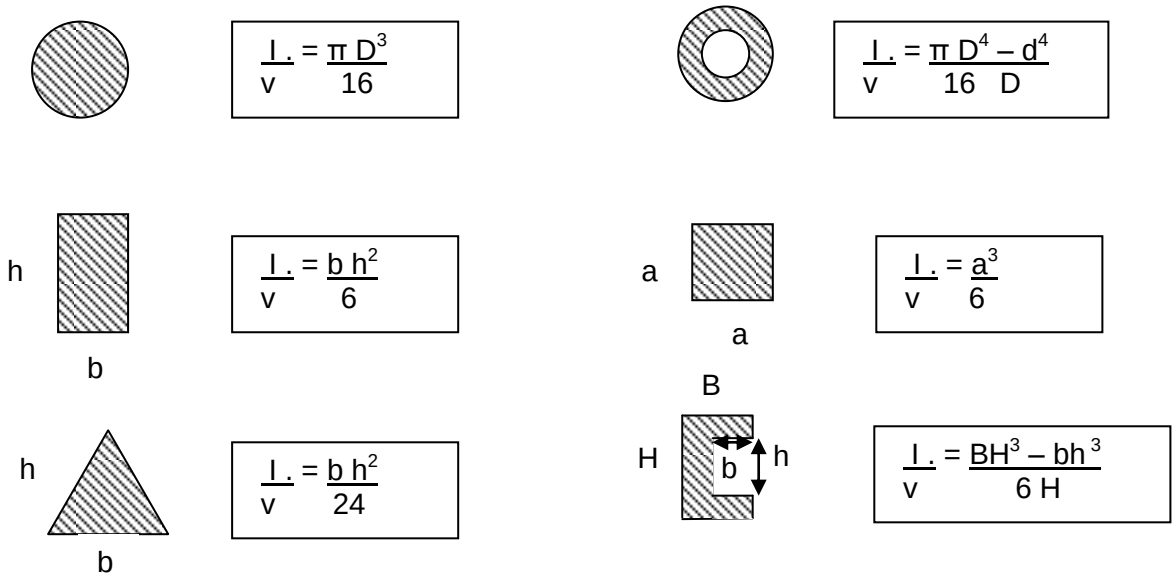
P = efforts en kgs
L = bras de levier en mm
R = charge par mm^2
D = diamètre en mm
C = couple

Pour solides à section ronde.

$$C = PL = \frac{R\,\pi\,D^3}{16}$$

Autres cas : $C = PL = R\,\frac{I}{v}$

Moments résistants $\frac{I}{v}$



Durée de vie des roulements

La détermination de la durée de vie et de la fiabilité des roulements est très dépendante de la définition de bon fonctionnement appliquée à chaque cas particulier. Certaines utilisations sont plus exigeantes que d'autres en niveau de couple, bruit… Les méthodes de calcul répondent à des cas d'utilisations moyennes.
La durée de vie est une durée L10 ; elle implique que 90% des roulements atteignent au minimum sa valeur. Pour les roulements courants la durée de vie moyenne est de l'ordre de 3 à 5 fois la durée L10.

$$L10 = \left(\frac{C}{P}\right)^r$$

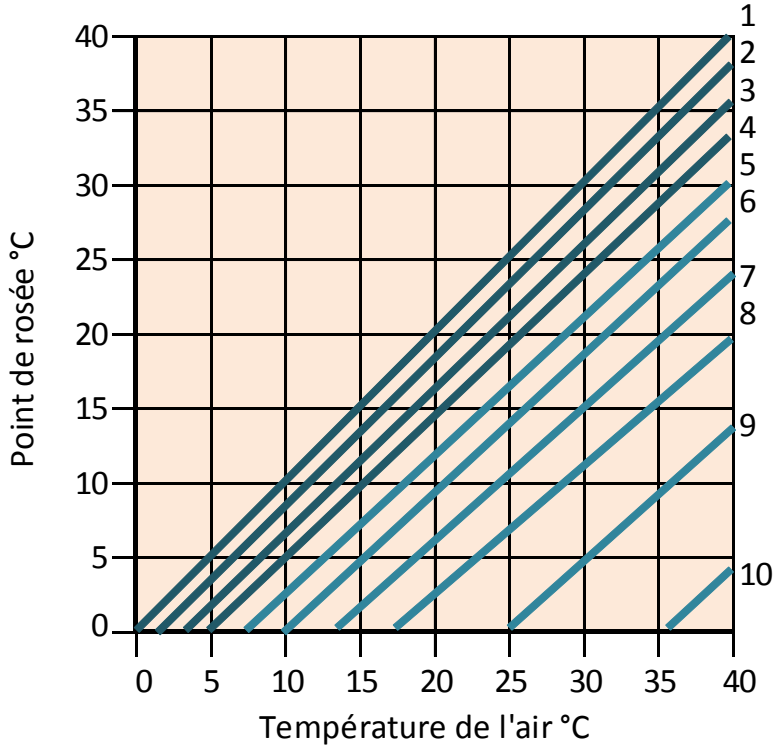
C : Charge dynamique de base en daN, donnée par les fabricants
P : Charge appliquée en daN
r : Exposant pris égal à 3 pour les roulements à billes et à 10/3 pour les roulements à contacts linéaires.

Pour la charge appliquée P, sur la charge réelle il convient d'appliquer un coefficient de sécurité pour tenir compte des conditions d'utilisation : à coups, surcharges temporaires, nombre d'arrêts/remise en marche, pollution, etc. Pour des conditions moyennes on prend généralement 2. Pour des conditions plus dures on peut prendre 3, voire plus.
Par ailleurs, pour simplifier les calculs, prendre un exposant de 3 dans tous les cas est raisonnable.

La durée de vie L10 est en millions de tours. Pour l'avoir en heures, il suffit de diviser par 60 RPM (valeur moyenne dans le cas d'une vitesse variable).

Courbe du point de rosée

Le point de rosée est une donnée thermodynamique caractérisant l'humidité dans un gaz, notamment l'air.
Pour l'air c'est la température à laquelle la pression de vapeur d'eau est égale à sa pression de vapeur saturante. Si on refroidit progressivement l'air humide, la **température de rosée** correspond à l'apparition d'eau. C'est donc le phénomène de condensation qui apparaît lorsque le point de rosée est atteint.
La notion de point de rosée est importante dans le fonctionnement des sécheurs d'air frigorifiques d'air comprimé et dans les climatiseurs.
Par ailleurs notons que ce phénomène est le moyen de mesure mis en œuvre dans les hygromètres à condensation, appelés hygromètres à point de rosée.



Humidité relative (%) :
1 : 100
2 : 90
3 : 80
4 : 70
5 : 60
6 : 50
7 : 40
8 : 30
9 : 20
10 : 10

Loi de Mariotte

VP = V'P' = V''P'' = constante
V = volume ; P = pression correspondante.

Masse du litre d'air à 0° et sous 76 c/m : 1,293 g.

Théorême de Bernouilli

Pour un écoulement :
- incompressible,
- non tourbillonnaire,
- d'un fluide parfait,

en régime permanent, on vérifie :

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} + z + \frac{p}{\rho \cdot g} = \text{constante}$$

où p est la pression en un point (en Pa ou N/m^2)

ρ est la masse volumique en un point (en kg/m^3)

v est la vitesse du fluide en un point (en m/s)

g est l'accélération de la pesanteur (en m/s^2)

z est l'altitude (en m)

Rendement de quelques mécanismes

Le rendement s'exprime par η = puissance utilisable / puissance reçue.

Arbres sur paliers à roulements……	η = 0,98
Arbres sur paliers lisses bien graissés……	η = 0,95
Commande par courroie……	η = 0,95
Engrenages rectifiés, bien graissés……	η = 0,98
Engrenages taillés, bien graissés……	η = 0,95 à 0,97
Arbres sur paliers lisses à graissage discontinu……	η = 0,90 à 0,92
Engrenages taillés, moyennement graissés……	η = 0,90 à 0,92
Engrenages bruts, selon montage et entretien……	η = 0,75 à 0,85
Roue et vis sans fin :	
réversible bien graissé……	η = 0,4 à 0,8
irréversible, gras et bisulfure de molybdène……	η = 0,35 à 0,45
Train épicycloïdal classique R = ¼……	η = 0,9 à 0,93
Vis-écrou de serrage ……	η = 0,15 à 0,3

Extrait E

de

Mémento
de
Maintenance mécanique

Mémento Technique de Maintenance 710 pages – format A4

1ère Partie Défaillances : causes et remèdes

Différents types de défaillances

Aides aux diagnostics de défaillances
- 101 pages
  - Comment trouver la cause
  - Différents types de ruptures et remèdes
  - Différentes détériorations de surface et remèdes
  - Différentes corrosions et remèdes
  - Analyses des bourrages
  - Analyses des blocages
  - Défaillances de roulements et remèdes
  - Défaillances d'engrenages et remèdes
  - Défaillances de garnitures mécaniques / remèdes
  - Défaillances de pompes hydrauliques / remèdes
  - Défaillances de courroies / remèdes
  - Tableaux causes-effets

Règles de l'art en maintenance – 140 pages,
- Serrages (1 r.a)
- Roulements et coussinets (10 r.a)
- Joints (6 r.a)
- Accouplements (4 r.a)
- Chaînes et courroies (2 r.a)
- Tuyauterie et robinetterie (6 r.a)
- Pompes et turbines (8 r.a)
- Hydraulique (9 r.a)
- Pneumatique (3 r.a)
- Divers (16 r.a)
- Sécurité (3 r.a)
- Stockage (5 r.a)
- Tolérances ISO (2 r.a)

Contrôles de maintenance préventive
– 72 pages
- Contrôles sensoriels
- Inspection du sous-sol
- Inspection des bâtiments
- Inspection des tuyauteries et circuits
- Inspection des machines
- Moyens de contrôles assez simples
- Endoscopie
- Mesures de vibrations
- Analyses d'huile
- Thermographie
- Courant de Foucault
- Ressuage
- Magnétoscopie
- Contrôles par ultrasons
- Contrôle des vannes

Standards de maintenance préventive
43 pages – 109 standards par types de matériels

2ème Partie Documentation pratique

Sécurité – 36 pages
- Principes généraux de prévention
- Consignations et déconsignations
- Plan de prévention
- Visites et formations réglementaires
- Evaluation des risques

Techniques spéciales – 78 pages
- Colles en maintenance
- Lubrification : roulements, coussinets et glissières, réducteurs, compresseurs, chaînes et câbles
- Soudage des pièces métalliques
- Soudage des pièces en matières plastiques
- Métallisation et rechargement de pièces
- Revêtements et solutions maintenance
- Protection cathodique
- Traitements thermiques
- Levage et manutention

Codification, symboles et normes – 41 pages
- Codification en boulonnerie
- Codification des métaux ferreux
- Codification des métaux non ferreux
- Symboles en robinetterie
- Symboles en hydraulique
- Symboles en pneumatique
- Codification des roulements
- Normalisation des cotes et états de surface
- Normes de maintenance

Lois et valeurs physiques – 40 pages
- Unités de mesure françaises et anglo-saxonnes
- Densités des solides et liquides
- Températures matières plastiques et métaux
- Coefficients de dilatations
- Algèbre et géométrie
- Duretés Brinell, Rockwell, et Vickers
- Propriétés des différents métaux
- Production de vapeur d'eau (diag. de Mollier)
- NPSH et hauteur manométrique
- Informations techniques diverses

Matériels courants – 151 pages
- Boulonnerie
- Roulements
- Chaines
- Courroies
- Accouplements
- Réducteurs
- Joints
- Garnitures mécaniques
- Pompes
- Vannes
- Hydraulique
- Organes divers et Purgeurs

Cet extrait contient une partie des thèmes entourés d'un rectangle rouge,

Contrôles sensoriels

Ils sont connus ces rats du métier qui disent flegmatiquement en passant à côté d'une machine « Il faudrait jeter un p'tit coup d'œil ici ». Mais il est vrai que cette perception humaine – **voir, écouter, toucher, sentir** – tend à disparaître avec les systèmes de gestions informatiques modernes. Comment en effet résumer le sensoriel dans ce genre de système ?

Inspections audibles

Ces inspections sont faites durant les tournées. Ecoutez le bruit des équipements et notez les différences dans le temps. Le fonctionnement de la machine était doux hier et il est bruyant aujourd'hui, quel est la cause du changement ? Un crissement de courroie peut indiquer une surcharge ou une courroie détendue. Un grattement ou un bruit rythmé peut indiquer un glissement ou un frottement. Une dent cassée d'un réducteur peut être détectée pour tout « clic » ou bruit récurrent provenant de ce réducteur. Si un bruit anormal est perçu, il est important d'en trouver la source et de s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un élément qui causera un défaut de l'équipement.

Il est parfois intéressant d'utiliser un système d'écoute comme aide à l'identification de la source de bruit. Il y a plus de trente ans, on utilisait le manche de tournevis pour écouter les paliers. Aujourd'hui il existe de petits appareils permettant de faire cette écoute par les ultrasons, les vibrations ou les ondes de chocs. Le suivi peut même être fait en continu par des systèmes « à l'écoute » de plusieurs paliers.

Inspections visuelles

Cherchez les fuites, les desserrages, vérifiez les niveaux de fluides, la peinture brûlée, les arbres ou les capots vibrants.

Assurez-vous de la bonne installation et du bon fonctionnement des manomètres. Il est d'importance majeure de connaître la pression « normale » pour tout équipement rotatif.

Il faut être attentif à la sur-lubrification. Elle salit non seulement le lieu de travail mais elle réduit aussi la vie des équipements. Si l'équipement est lubrifié par bague, il est souvent facile de faire une inspection visuelle de la bague ; ce test est effectif si elle s'arrête de tourner.

Inspections tactiles

Touchez l'équipement pour vous assurer que la température est acceptable. Ou est-ce plus chaud que lors de l'inspection précédente ? Est-ce un point chaud localisé ou une surface chaude globalement ?

Ressentez-vous une légère vibration dans vos doigts ? cela indiquerait une vibration de haute fréquence ou d'un rythme accéléré.

Touchez l'arrivée et la sortie d'eau ou d'huile d'un refroidisseur ; si la température est presque semblable c'est qu'il y a un bouchon.

Simplement toucher un équipement du bout des doigts donne déjà une impression subjective de la bonne marche d'un équipement. La méthode est raisonnablement acceptable pour détecter les vibrations en pratique. Le tout est de procéder régulièrement à ces tests afin de pouvoir discerner les changements.

Odorat

Une odeur « normale » en fonctionnement qui change soudainement en une autre est un indicateur de problème potentiel.

Exemples : odeurs d'une courroie ou d'une huile qui chauffent, odeur d'une peinture qui surchauffe assez pour se décolorer, etc.

Maintenance préventive

La maintenance préventive devrait se décliner suivant trois niveaux :

➔ **Contrôles par l'Exploitation**
Ce sont des contrôles journaliers du bon fonctionnement des équipements, avec quelques contrôles d'états d'organes (surtout sur le plan des encrassements et bourrages), à réaliser par des opérateurs ou des rondiers. Des check-lists s'imposent.

➔ **Contrôles sensoriels par la Maintenance**
Ces contrôles sont en principe hebdomadaires et concernent les inspections audibles, visuelles, tactiles et par l'odorat.
Ils peuvent être réalisés par des mécaniciens, ou par des graisseurs qui connaissent bien, en principe, le bruit des paliers.

➔ **Contrôles spécifiques par la Maintenance**
Ces contrôles sont étudiés dans le détail d'un Plan de maintenance préventive. Leur réalisation doit être le plus possible prédictive.
Les périodicités des visites peuvent être :

- calendaires (ce qui facilite les plannings)
- suivant le taux d'usure des équipements.

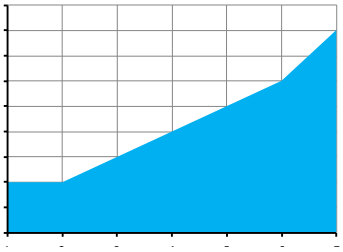
Pour ces contrôles on peut faire appel à des moyens de CND tels que ceux exposés ci-après :

Moyens de contrôles non destructifs assez simples

- **Suivi des rendements**

  Dans certains cas le suivi des valeurs de paramètres de fonctionnement donne une très bonne indication de l'état de différents organes. Exemples :
  - l'accroissement de vitesse de la vis d'une boudineuse pour une même production révèle une usure de la vis ;
  - pour un système de refroidissement par circulation d'eau, la diminution de l'écart de T°C entre l'arrivée et la sortie d'eau indique un début de bouchage, alors que l'apport d'eau dans le système est significatif d'une fuite ;
  - la baisse de température d'un réchauffeur indique la défaillance de x « épingles » de chaufage ;
  - etc.

  Lorsque l'exploitation est automatisée il est utile de recueillir systématiquement (1 ou 2 fois/mois) les valeurs de certains paramètres et de suivre leur évolution.



- **Outils métrologiques**

  mètre – réglet – pied à coulisse – micromètre – comparateur – jauges d'épaisseur – etc.
  Ces outils sont essentiels pour un service de maintenance. Ils servent dans toutes les opérations de réparations, mais aussi en maintenance préventive : mesures de x pas d'une chaîne avec le mètre ou le réglet, voire le pied à coulisse pour les petites chaînes, contrôle du jeu d'un roulement au comparateur ou avec des jauges d'épaisseurs, etc…

- **Tournevis et appareils de contrôles des roulements**

  Pour le contrôle des roulements 4 moyens sont possibles :
  - ✓ le manche de tournevis ;
  - ✓ l'appareil de mesure d'ondes de chocs ;
  - ✓ l'appareil de mesure d'ultrasons ;
  - ✓ l'appareil de mesure globale de vibrations.

  Quel que soit le choix, un de ces outils est indispensable pour le contrôle des roulements en maintenance préventive.

- **Appareils US pour détections de fuites d'air**

  Pour la détection de fuites d'air comprimé ou la détection d'entrées d'air dans les installations sous vide, la meilleure solution est l'utilisation d'un appareil de détection d'ultrasons.
  Trois possibilités sont offertes :

  - ➢ appareil à contact direct, détection à partir de 20 Hz ;

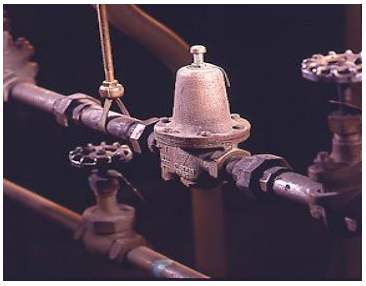
- appareil avec détection à distance avec pointeur laser, détection à partir de 40 Hz ;

- appareil avec détection à distance avec parabole.

Les fuites d'air comprimé coûtent toujours cher, ne serait-ce qu'en consommation électrique. Aussi un appareil de détection par ultrasons paraît très utile dans un service de maintenance.

- **Appareils US pour contrôle des purgeurs**

On peut utiliser l'appareil de détection par ultrasons pour contrôler le fonctionnement des purgeurs.



Objectif d'un pugeur : séparer le condensât de la vapeur

Purgeurs ouvert/fermé
- ➔ Purgeurs mécaniques (à flotteur ou à seau renversé)
- ➔ Purgeurs thermodynamiques à disque
- ➔ Purgeurs thermostatiques à bimétal

« Continuous Flow Steam Traps »
- ➔ Purgeurs thermostatiques à flotteur
- ➔ Orifices fixes

Deux modes de défaillance :

Bloqué en ouverture
Bloqué en fermeture

- **Produits traçants**

Pour les autres fuites, deux solutions se présentent :
- utiliser des produits traçants avec une détection par une lampe UV ;
- utiliser des sprays (voir photos) avec détection par les bulles qui se forment en cas de fuites.

- **Tensiomètre acoustique**

La solution moderne consiste à utiliser un contrôleur de tension appelé tensiomètre (vendu par les fabricants de courroies)
Le mode opératoire est le suivant :

Tapez légèrement sur la courroie, et relevez la valeur vibratoire à l'aide de l'appareil spécifique.

Comparez avec la valeur de référence .

Tendez la courroie et refaites la mesure.

Répétez éventuellement l'opération jusqu'à l'obtention de la bonne valeur.

Une bonne formule est que le fabricant de courroies vous calcule les différentes références, mais les nouveaux appareils permettent de calculer directement la valeur.
C'est un outil indispensable pour la maintenance préventive ; son prix est de l'ordre de 500 €.

- **Appareil pour contrôle de roulements à distance**

Pour les roulements inaccessibles, la solution pour le suivi d'état existe sous forme de boitiers permettant de suivre le bruit jusqu'à 8 paliers (voir notamment Mecason).
La solution est peu coûteuse.

Boitier électronique permettant de suivre le bruit de 8 paliers

- **Mesureur de débit sans perçage de tuyauterie**

L'**effet Doppler** est le décalage de fréquence d'une onde acoustique ou électromagnétique entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.
Le vibromètre laser utilise le principe de l'effet Doppler et fonctionne sans contact. Il est donc particulièrement adapté pour mesurer des vibrations, là ou des méthodes atteignent leurs limites ou ne peuvent tout simplement pas être utilisées. A titre d'exemple, les mesures de vibrations à la surface de matériaux liquides, sur structures extrêmement petites ou légères se font donc très facilement en utilisant un vibromètre laser.

Une autre solution consiste à faire appel aux **ultrasons**.
Le débitmètre par ultrason s'utilise pour des mesures de contrôle ou pour détecter de façon rapide le débit d'un tuyau; pourtant ce debitmetre par ultrason est un système de mesure transportable et à installation facile. Le débitmètre par ultrason travaille selon la méthode de différence dans le temps d'exécution. Le principe de mesure du débitmètre par ultrason est très simple. Dans une mesure diagonale dans un tube on a besoin de moins de temps pour une mesure en direction du courant que pour une mesure en direction contraire. Plus le débit augmente, plus on a besoin de temps pour mesurer si la mesure est contre le courant, et moins on a besoin de temps si la mesure est dans le sens du courant. La différence entre les temps de flux en direction du courant, ou en sens inverse, dépend directement de la vitesse du flux. Le débitmètre par ultrason utilise cet effet pour déterminer la vitesse du flux et du débitcapteurs non destructifs se posent sur le tube et sont fixés par exemple avec une bride. En peu de temps l'écran vous indique la vitesse du flux. Le débitmètre par ultrason peut s'utiliser dans des tubes métalliques, en plastique ou dans des tuyauteries en caoutchouc.

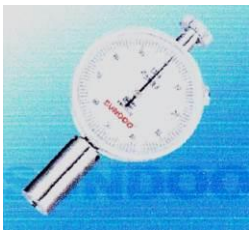
Ces appareils se louent facilement chez les sociétés spécialisées en location d'instruments de mesure.

- **Thermomètre de contact**
  Dans la majorité des cas, l'appréciation d'une température se fait à la main. pour un roulement ou un moteur, on estime souvent que la température d'alarme est de l'ordre de 55 à 60°C au-dessus de la température ambiante.
  Cependant, il est utile d'avoir au moins un thermomètre de contact pour analyses plus poussées.

- **Thermomètre infrarouge**

  Lorsque les organes ne sont pas accessibles, le thermomètre infrarouge trouve son application. Il est recommandé d'avoir un thermomètre dont la déperdition par mètre ne soit guère plus supérieure à 1°C.

- **Shoremètre**
  Il existe des appareils permettant de mesurer directement la dureté d'un organe, par exemple le shoremètre permet de contrôler la dureté de bandes transporteuses.



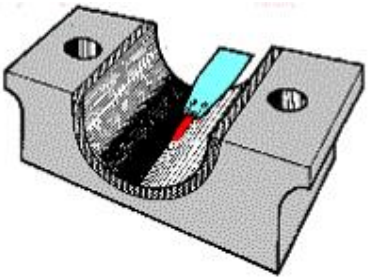
- **Stroboscope**
  Le stroboscope peut être utile pour mesurer des vitesses. On le loue facilement.

- **Fil pour contrôle des coussinets**
  Le contrôle du jeu d'un coussinet se pratique par la technique du **« Plastigage »**

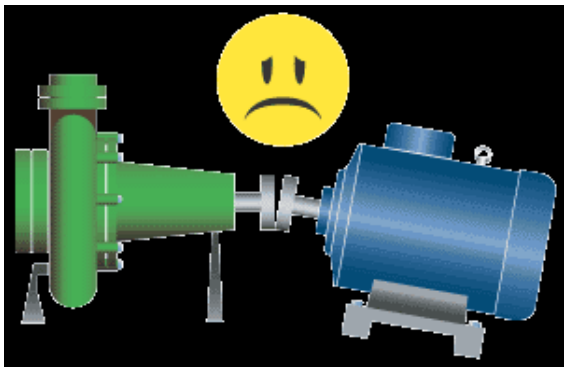
  On détermine la valeur du jeu diamétral en mesurant la largeur d'un fil de dimensions connues après écrasement.

  Il est recommandé de poser le fil plastique dans l'eau chaude pour le ramollir ; ensuite le fil est placé à sec sur le palier du vilebrequin puis écrasé lors de la mise en place et serrage au couple recommandé du chapeau de palier

  Une fois le chapeau déposé, on mesure la largeur du fil écrasé grâce à l'échelle imprimée sur l'étui, qui convertit directement cette valeur en jeu.



- **Appareil de lignage laser**
  Le bon alignement d'équipements comme les moteurs, pompes et réducteurs, est essentiel pour une bonne durée de vie des roulements.
  Le contrôle des accouplements avec réglets et jauges n'est pas suffisant pour les ensembles critiques.
  Le choix est à faire entre deux solutions valables :
  - appliquer la méthode des deux comparateurs,
  - ou utiliser un équipement de lignage laser.



Cette liste de moyens de CND simples n'est pas exhaustive. De très nombreuses possibilités existent sur le marché

Maintenance préventive

Certains moyens de CND font appel à une plus grande technicité, notamment ceux que nous présentons maintenant :

- **Endoscopie**
- **Mesures de vibrations**
- **Analyses d'huile**
- **Thermographie**
- **Courant de Foucault**
- **Ressuage**
- **Magnétoscopie**
- **Contrôles par ultrasons**
- **Contrôles des vannes**

Extrait F

de

Mémento
de
Maintenance mécanique

Mémento Technique de Maintenance 710 pages – format A4

1ère Partie Défaillances : causes et remèdes

Différents types de défaillances

Aides aux diagnostics de défaillances
- 101 pages
  - Comment trouver la cause
  - Différents types de ruptures et remèdes
  - Différentes détériorations de surface et remèdes
  - Différentes corrosions et remèdes
  - Analyses des bourrages
  - Analyses des blocages
  - Défaillances de roulements et remèdes
  - Défaillances d'engrenages et remèdes
  - Défaillances de garnitures mécaniques / remèdes
  - Défaillances de pompes hydrauliques / remèdes
  - Défaillances de courroies / remèdes
  - Tableaux causes-effets

Règles de l'art en maintenance – 140 pages,
- Serrages (1 r.a)
- Roulements et coussinets (10 r.a)
- Joints (6 r.a)
- Accouplements (4 r.a)
- Chaînes et courroies (2 r.a)
- Tuyauterie et robinetterie (6 r.a)
- Pompes et turbines (8 r.a)
- Hydraulique (9 r.a)
- Pneumatique (3 r.a)
- Divers (16 r.a)
- Sécurité (3 r.a)
- Stockage (5 r.a)
- Tolérances ISO (2 r.a)

Contrôles de maintenance préventive
– 72 pages
- Contrôles sensoriels
- Inspection du sous-sol
- Inspection des bâtiments
- Inspection des tuyauteries et circuits
- Inspection des machines
- Moyens de contrôles assez simples
- Endoscopie
- Mesures de vibrations
- Analyses d'huile
- Thermographie
- Courant de Foucault
- Ressuage
- Magnétoscopie
- Contrôles par ultrasons
- Contrôle des vannes

Standards de maintenance préventive
43 pages – 109 standards par types de matériels

2ème Partie Documentation pratique

Sécurité – 36 pages
- Principes généraux de prévention
- Consignations et déconsignations
- Plan de prévention
- Visites et formations réglementaires
- Evaluation des risques

Techniques spéciales – 78 pages
- Colles en maintenance
- Lubrification : roulements, coussinets et glissières, réducteurs, compresseurs, chaînes et câbles
- Soudage des pièces métalliques
- Soudage des pièces en matières plastiques
- Métallisation et rechargement de pièces
- Revêtements et solutions maintenance
- Protection cathodique
- Traitements thermiques
- Levage et manutention

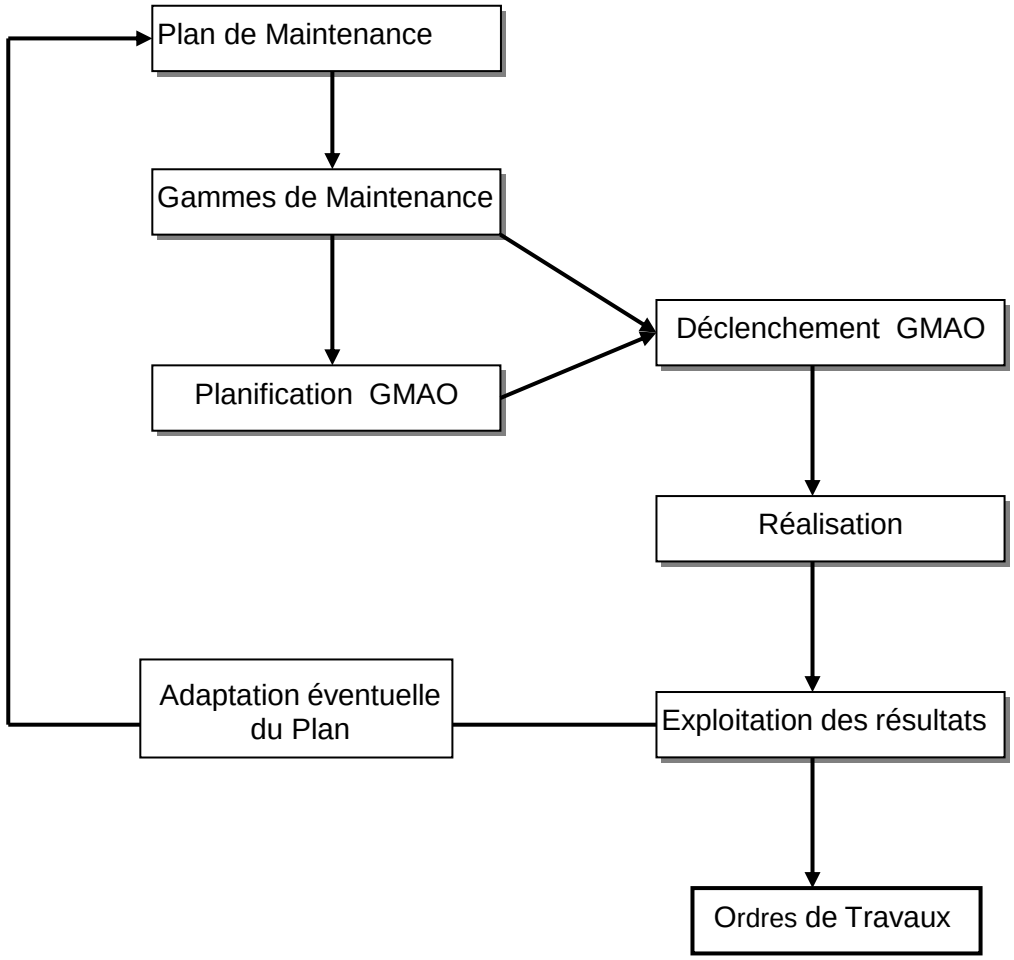
Codification, symboles et normes – 41 pages
- Codification en boulonnerie
- Codification des métaux ferreux
- Codification des métaux non ferreux
- Symboles en robinetterie
- Symboles en hydraulique
- Symboles en pneumatique
- Codification des roulements
- Normalisation des cotes et états de surface
- Normes de maintenance

Lois et valeurs physiques – 40 pages
- Unités de mesure françaises et anglo-saxonnes
- Densités des solides et liquides
- Températures matières plastiques et métaux
- Coefficients de dilatations
- Algèbre et géométrie
- Duretés Brinell, Rockwell, et Vickers
- Propriétés des différents métaux
- Production de vapeur d'eau (diag. de Mollier)
- NPSH et hauteur manométrique
- Informations techniques diverses

Matériels courants – 151 pages
- Boulonnerie
- Roulements
- Chaines
- Courroies
- Accouplements
- Réducteurs
- Joints
- Garnitures mécaniques
- Pompes
- Vannes
- Hydraulique
- Organes divers et Purgeurs

Cet extrait contient une partie des thèmes entourés d'un rectangle rouge, moins 89 stds

Introduction



Dans la définition de la maintenance préventive, nous incluons des contrôles, visites et interventions de maintenance effectuées préventivement.
La maintenance préventive s'oppose en cela à la maintenance corrective déclenchée par des perturbations ou par les évènements, et donc subie par la Maintenance.
La maintenance préventive comprend :

- les contrôles ou visites,
- les expertises, les opérations et les remplacements effectués à la suite des contrôles, visites, surveillances.
- les remplacements systématiques,
- la maintenance conditionnelle,
- la lubrification-graissage,
- le nettoyage.

La maintenance préventive ne doit pas consister à dire à un agent de maintenance : « allez voir si l'état de tel organe est bon » (à travers une procédure quelconque) Dans ce cas, si l'état est bon, on ne dit rien ; s'il n'est pas bon, il faut intervenir de suite, ce qui nécessite forcément une disponibilité en pièce de rechange. Il s'agit d'une détection d'anomalie et non de maintenance préventive.
Au contraire, la maintenance préventive doit consister à suivre l'évolution d'un état, de manière à prévoir une intervention dans un délai raisonnable (1 à 2mois par ex.) et l'achat de la pièce de remplacement nécessaire (que l'on n'a pas besoin de tenir en stock, si le délai normal le permet)
Par ailleurs, comme pour sa propre voiture, il faut déterminer la fréquence de visite ou intervention de maintenance préventive suivant le taux d'usure ou d'utilisation (heures de marche, tonnes produites…), quitte à reconvertir les fréquences en déclenchements calendaires si l'on est assuré d'une utilisation régulière du matériel concerné.

Objectifs visés par la maintenance préventive :

- Augmenter la fiabilité d'un matériel pour réduire les temps d'arrêt dus aux défaillances.
- Diminuer les défaillances et imprévus pour réduire le coût direct de maintenance (réduction des « casses »)
- Améliorer la qualité des produits.
- Assurer la sécurité (moins d'improvisations dangereuses)
- Augmenter la durée de vie efficace d'un matériel.
- Améliorer l'ordonnancement des travaux, et par conséquent les relations avec la fabrication
- Améliorer les prévisions et la programmation pour diminuer les coûts.
- Améliorer le climat des relations humaines (une panne imprévue est toujours génératrice de tension)

Plan de maintenance préventive

Le Plan de Maintenance Préventive est à la fois :

- Un document de travail : c'est l'outil qui permet de lister les opérations de maintenance préventive en passant en revue systématiquement tous les organes concernés.
- Un document de synthèse, car il rassemble d'une manière permanente toutes opérations de maintenance préventive, indépendamment des documents de réalisation.

Dans l'ordre de la nomenclature du matériel, le plan de maintenance définit par unité maintenable (organe ou ensemble d'organes) les opérations à réaliser :

- ✓ Descriptif de chaque opération (mesurer – contrôler – évaluer – faire) ; dans les opérations sont compris le graissage, les nettoyages.
- ✓ Valeur de référence éventuellement
- ✓ Situation du matériel (Marche – Arrêt)
- ✓ Périodicité ou Intervalle calendaire
- ✓ Durée
- ✓ Corps de métier (dont les opérateurs)
- ✓ Nombre d'intervenants
- ✓ Consignes de sécurité
- ✓ Mode opératoire éventuellement

Pour l'organisation il est souhaitable que :
Chaque périodicité soit un multiple de la périodicité inférieure (ex : 600 – 1800 – 3600 – 7200 h) dans l'année.
Ou mieux que chaque intervalle calendaire soit multiple de l'intervalle inférieur (ex : 1 jour, 1 sem, 2 sem. 1 mois, 3 mois, 6 mois, 12 mois)

Nous proposons des standards de maintenance préventive pour des organes types, ce qui permet de gagner beaucoup de temps dans l'établissement du Plan.

Gammes de maintenance préventive

Une <u>gamme de maintenance</u> regroupe des opérations :

- de même périodicité ou intervalle calendaire,
- à faire dans la même situation du matériel (marche ou arrêt)
- par un même corps de métier,
- avec un même nombre de personnes.

Elle peut être accompagnée de modes opératoires pour la réalisation par du personnel de maintenance.

Elle est souvent sous forme de modes opératoires imagés pour la réalisation par du personnel de fabrication (maintenance dite de premier niveau).

En général, on fait en sorte que la durée d'une gamme corresponde à celle d'un arrêt programmé, ou à la journée de travail, ou demi-journée de travail (afin de bien occuper le personnel) pour une réalisation par du personnel de maintenance

---

Nous vous proposons ci-après des standards de maintenance préventive pour des organes types.

- ✓ Ces standards sont établis pour une dureté de service moyenne ; si elle était élevée il faudrait alors diminuer les périodicités.

- ✓ Les périodicités sont calendaires ; elles pourraient être converties en taux d'usure (heures de marche ou nombres d'unités produites) an considérant que 1 an équivaut à 7 000 heures (avec un taux de 20 % d'arrêts divers par an).

- ✓ Les significations des différentes abréviations sont les suivantes :

I :…….c'est le type d'intervention (visite), soit :

V : mesurer d'une valeur (jeu, dB, vibration, T°C,…)
E : estimation d'un état, soit : 1 = RAS
2 = début de dégradation
3 = dégradation avancée
4 = danger
C : contrôle ; exemple contrôle d'un accouplement : on démonte et on vérifie l'état des tampons que l'on remplace immédiatement si nécessaire.
F : il s'agit de « faire » ; exemples : graisser, vidanger, remplacer, etc.

Csg :…...cela concerne la consignation nécessaire, soit :

E : consignation électrique ;
H : consignation hydraulique (en plus de la consignation électrique)
M : consignation mécanique (en plus de la consignation électrique)
P : consignation pneumatique (en plus de la consignation électrique)

Min :……temps net en minutes pour l'opération ; une majoration pour déplacements est ajoutée quand toutes les opérations sont entrées dans la gamme.

Nb :……nombre d'intervenants.

Mét. :….corps de métiers, soit pour les gammes suivantes :

ME ou **EM** : mécanicien ou électromécanicien
VS : technicien spécialisé pour certains CND comme mesures de vibrations, suivis des analyses d'huile, mesures avec appareils US, etc.
FA : opérateur ou rondier de fabrication
GR : graisseur
SP : spécialiste
RE : technicien de régulation (instrumentiste)
AG : organisme agréé
EL : électricien

APM : intervention à l'**A**rrêt, en **M**arche ou en **A**rrêt **P**artiel (pendant un changement d'outillage par exemple)

Périod. :nombre de semaines, mois ou années (toujours sous-multiples ou multiples de 12 mois, pour pouvoir reconduire les plannings annuels.

U :……semaine, mois, ou année.

Dans le livre, les tableaux suivants sont en format paysage

Organes de transmission

Accouplement à chaine									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Démonter coquilles, évaluer l'usure de la chaine.		E	E	15	1	ME	A	2	A
Evaluer l'usure des pignons.		E	E	3	1	ME	A	2	A
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	5	1	ME	A	6	M
Remplacer la graisse de la chaine et des pignons.		F	E	10	1	ME	A	2	A

Accouplement à tampons									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Démonter le carter de protection et évaluer l'usure des tampons,		E	E	15	1	ME	A	2	A
Contrôler le serrage des boulons accessibles.		C	E	3	1	ME	A	6	M

Accouplement à dentures									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Désaccoupler cloches et évaluer usure dentures males.		E	E	90	2	ME	A	2	A
Evaluer usure dentures femelles.		E	E	1	2	ME	A	2	A
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	5	1	ME	A	6	M
Remplacer la graisse des dentures.		F	E	60	1	ME	A	2	A

Note : les valeurs sont données poiur des accouplements moyens. Quand l'accouplement est important et difficile à démonter, il faut revoir le temps imparti.(on peut aller jusqu'à 180 voire 240 min dans certains cas, et 2 hommes sont nécessaires pour les gros accouplements) et même la périodicité : 3 ou même 4 ans au lieu de deux; ce n'est pas grave car les accouplements plus gros s'usent moins vite en général.

Accouplement à ressort									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Démonter coquilles et évaluer l'usure du ressort.		E	E	15	1	ME	A	2	A
Evaluer l'usure des encoches.		E	E	3	1	ME	A	2	A
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	5	1	ME	A	6	M
Nettoyer et graisser.		F	E	10	1	ME	A	2	A

Accouplement multidisques									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Démonter coquilles et évaluer l'état des disques.		E	E	8	1	ME	A	2	A
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	2	1	ME	A	6	M

Accouplement à bandage									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Evaluer l'état et le vieillissement du bandage.		E	E	5	1	ME	A	6	M
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	3	1	ME	A	6	M

Cardan de transmission									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	3	1	ME	A	3	M
Evaluer le jeu dans les croisillons et cannelures.		E	E	4	1	ME	A	3	M
Graisser.		F	E	4	1	GR	A	3	M

Accouplement magnétique									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler l'alignement (les aimants ne doivent pas se toucher)		C	E	15	1	ME	A	3	M

Accouplement petit									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Evaluer le jeu sans démontage.		E	E	6	1	ME	A	6	M
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	2	1	ME	A	6	M

Accouplement rigide									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	5	1	ME	A	6	M

Frein electromagnétique à courant direct									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler l'usure des garnitures.		C	E	10	1	ME	A	6	M
Mesurer et régler l'entrefer.		V	E	15	1	ME	A	6	M
Contrôler l'absence de projections d'huile sur le frein		C		2	1	ME	M	1	M

Frein electromagnétique à courant d'opposition									
Description	**Valeur**	**I**	**Csg**	**Min**	**Nb**	**Mét.**	**APM**	**Périod.**	**U**
Contrôler l'usure des garnitures.		C	E	10	1	ME	A	6	M
Contrôler l'absence de projections d'huile/graisse sur frein		C		2	1	ME	M	1	M

Frein à machoires									
Description	**Valeur**	**I**	**Csg**	**Min**	**Nb**	**Mét.**	**APM**	**Périod.**	**U**
Contrôler l'absence de corps gras au tambour.		C	E	2	1	ME	A	6	M
Contrôler pivotement articulations et absence jeu excessif.		C	E	3	1	ME	A	6	M
Mesurer l'épaisseur des garnitures.	2mm Mini	V	E	3	1	ME	A	6	M
Contrôler l'état de la bobine,le serrage des connexions.		C	E	5	1	EL	A	6	M

Frein à disque									
Description	**Valeur**	**I**	**Csg**	**Min**	**Nb**	**Mét.**	**APM**	**Périod.**	**U**
Contrôler l'absence de corps gras sur disque.		C	E	2	1	ME	A	6	M
Mesurer l'épaisseur des garnitures.	2mm Mini	V	E	3	1	ME	A	6	M
Evaluer l'état du disque.		E	E	2	1	ME	A	6	M
Evaluer état tiges-guides du flasque freinage,des ressorts.		E	E	3	1	ME	A	6	M
Contrôler état de la bobine, serrage des connexions.		C	E	5	1	EL	A	6	M

Chaine de transmission et tourteaux									
Description	**Valeur**	**I**	**Csg**	**Min**	**Nb**	**Mét.**	**APM**	**Périod.**	**U**
Evaluer l'usure de la chaine.		E	E	15	1	ME	A	6	M
Contrôler la tension de chaine.		C	E	3	1	ME	A	6	M
Evaluer l'état des pignons.		E	E	3	1	ME	A	6	M
Graisser la chaine.		F	E	5	1	GR	A	6	M
Contrôler visuellement la tension de chaine et le bon fonctionnement de la transmission		C		2	1	ME	M	1	M

Note :Voir la règle de l'art. L'usure de la chaine peut être déterminée à l'aide d'une règle de mesure fournie par le fabricant de chaines, lorsque les pas sont peu importants. Sinon, on peut fixer une distance limite pour un nombre de pas déterminé.

Par ailleurs, il est utile de réaliser des gabarits de contrôle des dentures de tourteaux.

Courroie trapézoïdale 1 brin et poulies (hors paliers)									
Description	**Valeur**	**I**	**Csg**	**Min**	**Nb**	**Mét.**	**APM**	**Périod.**	**U**
Contrôler visuellement en marche l'état de la courroie		C		1	1	FA	M	1	S
Contrôler visuellement en marche l'état des poulies (corps étrangers...)		C		1	1	FA	M	1	S
Evaluer l'usure de courroie.		E	E	6	1	ME	A	3	M
Contrôler la tension de courroie et régler si nécessaire.		C	E	4	1	ME	A	3	M
Evaluer l'usure des gorges de poulies.		E	E	4	1	ME	A	3	M
Contrôler l'état des poulies (liaisons avec arbres).		C	E	3	1	ME	A	3	M

Note : Voir la règle de l'art. La solution moderne consiste à utilisé un tensiomètre fourni par tous les fabricants de courroies. De même pour des gabarits de contrôle des gorges de poulies.

Courroie crantée et poulies (hors paliers)									
Description	**Valeur**	**I**	**Csg**	**Min**	**Nb**	**Mét.**	**APM**	**Périod.**	**U**
Evaluer l'état de la courroie.		E	E	3	1	ME	A	3	M
Contrôler et régler la tension si nécessaire.	Nulle	F	E	4	1	ME	A	3	M
Evaluer l'usure des gorges de poulies.		E	E	4	1	ME	A	3	M
Contrôler l'état des poulies (liaisons avec arbres).		C	E	3	1	ME	A	3	M
Contrôler visuellement en marche l'état des poulies (corps étrangers...)		C		1	1	FA	M	1	S
Contrôler visuellement en marche la tension et l'état de la courroie	Tens.nulle	C		1	1	FA	M	1	S

Note : Idem à la remarque précédente.

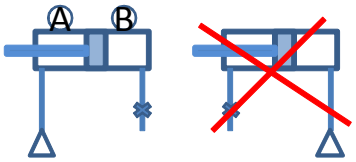
Crémaillère									
Description	**Valeur**	**I**	**Csg**	**Min**	**Nb**	**Mét.**	**APM**	**Périod.**	**U**
Evaluer l'état de la crémaillère.		E	E	0	1	ME	A	1	A
Evaluer l'état du pignon.		E	E	0	1	ME	A	1	A
Contrôler fixations et resserrer si nécessaire.		C	E	0	1	ME	A	1	A
Evaluer le jeu dans le pignon.		E	E	0	1	ME	A	1	A
Graisser légèrement.		F	E	0	1	ME	A	1	A

Vérins

Vérin hydraulique simple effet critique									
Description	**Valeur**	**I**	**Csg**	**Min**	**Nb**	**Mét.**	**APM**	**Périod.**	**U**
Faire mouvt.complet et contrôler l'étanchéité (joint,tuyaut.). Consignation partielle		C		3	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état des tuyauteries de raccordement.		E	H	3	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état de la fixation.		E	H	1	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état de la chape.		E	H	1	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état de la tige. Consignation H !		E	H	1	2	ME	A	6	M
Régler l'amortisseur si nécessaire. Consignation H !		F		5	2	ME	A	6	M
Note : une ou deux semaines avant le contrôle à l'arrêt, il est utile d'écouter le vérin en marche pour savoir si l'amortisseur doit être réglé.									

Vérin hydraulique double effet									
Description	**Valeur**	**I**	**Csg**	**Min**	**Nb**	**Mét.**	**APM**	**Périod.**	**U**
Faire mouvt.complet et contrôler l'étanchéité (joint,tuyaut.). Consignation partielle		C		3	2	ME	A	1	A
Contrôler l'absence de fuite interne (joint piston). Consignation partielle		C		6	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état des tuyauteries de .		E	H	3	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état de la fixation.		E	H	1	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état de la chape.		E	H	1	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état de la tige.		E	H	1	2	ME	A	1	A
Régler l'amortisseur si nécessaire.		F	H	5	2	ME	A	1	A
Contrôler le système de pilotage		C		5	1	RE	M	6	M
Note 1 : une ou deux semaines avant le contrôle à l'arrêt, il est utile d'écouter le vérin en marche pour savoir si l'amortisseur doit être réglé.									

Note 2 : Pour la contrôle de la fuite interne, 2 méthodes sont possibles.
1ère méthode : on mesure la vitesse de déplacement du vérin.
2ème méthode : c'est la méthode "Pascal". Sur le vérin représenté, en A la surface de vérin est la plus faible mais la pression est la plus forte; en B c'est l'inverse. On amène le piston en position médiane et on bloque la sortie B. S'il y a une fuite interne, cette fuite se fait de la haute pression (A) vers la basse pression (B) et en conséquence entraine la sortie de tige vers la gauche. Il est conseillé de faire une marque au niveau de la chape, et d'attendre une heure pour observer le mouvement.



Le livre contient 89 autres standards

RETOUR : Cliquez ici

➔ BON DE COMMANDE : page suivante

BON DE COMMANDE

4

Pour imprimer, faites : « page active » ou page 79

Mémento de Maintenance mécanique

A retourner à : R. LEGENDRE 38 rue Taine – 75012 PARIS - Tél. 01 43 40 54 56
ou par –mail à : legendre38@yahoo.com

Raison sociale			
Nom			
Prénom			
Adresse			
Code postal		Téléphone	
Ville			
E-mail			

La facture sera adressée à la Comptabilité fournisseurs de l'adresse ci-dessus mentionnée.
Si vous permettez un envoi par courriel, voulez-vous mentionner l'adresse e-mail :

L'ouvrage sera envoyé à l'adresse ci-dessus avec un nom et un service mentionnés :

Nom	
Service	

Si les adresses de facturation et d'envoi sont différentes, les communiquer sur feuille séparée.

N° Commande	

Qté	Titre	Support	Prix €	Total
	Mémento de Maintenance mécanique	Papier	260 €	
1	Frais de port		18 €	18 €
		Net à payer		€

Le montant de frais de port est prévu pour la France métropolitaine et pour un envoi de 1 à 3 ouvrages.
Sinon nous contacter.

En raison du statut d'entreprise, pour ce type d'ouvrage, la TVA n'est pas applicable.

☐ Ci-joint mon règlement, à l'ordre de R. LEGENDRE, je recevrai une facture acquittée.

☐ Je réglerai à réception de facture.

Pour un virement bancaire les données du Rib sont :
CL 2 Place Félix Eboué 750012 Paris.
IBAN : FR50 3000 2008 1100 0004 1676 G27 **BIC** : CRLYFRPP

R. LEGENDRE Siret : 410 368 351 00012 NAF : 4778C:

Date Cachet Signature

RETOUR : Cliquez ici