

# Arbre de machine à scier le marbre

par P. Filippucci

(CETIM, Etablissement de St-Etienne)

## Nature de l'avarie

Rupture en service de l'arbre au ras de la partie conique réparée par rechargement (voir fig. 1).

## Matière

Acier A 60 défini par la norme NFA 35.501 ( $590 \text{ N/mm}^2 < \text{Résistance à la traction} < 710 \text{ N/mm}^2$ ).

## Conditions de fonctionnement

Sollicitations de flexion rotative engendrées par la masse du volant et de flexion répétée due à l'action de la bielle.

## Analyse morphologique de la cassure

L'aspect du faciès, comme le montrent les figures 2 et 3, est caractéristique d'une rupture de fatigue avec une zone de fissuration progressive d'aspect soyeux (zone I) présentant de nombreuses lignes d'arrêt et une zone de rupture finale d'aspect granuleux (zone II). Le site d'amorçage de la fissuration progressive se trouve au ras du rechargement, sur le grand diamètre de la partie tronconique de l'arbre, dans une zone où l'état de surface de l'arbre est très mauvais.

## Examens complémentaires

### Examen microfractographique

Sur les lèvres de la fissuration on remarque d'abord, au voisinage de la zone d'amorce, un liseré d'aspect intergranulaire puis de nombreuses stries de fatigue.

### Examen micrographique

Une coupe micrographique passant par le site d'amorçage met en évidence sous le rechargement une zone trempée d'épaisseur 0,1 millimètre (voir fig. 4) correspondant au faciès intergranulaire observé par examen microfractographique.

### Essais mécaniques

La résistance à la traction du matériau de base déterminée sur éprouvette normalisée est égale à  $605 \text{ N/mm}^2$ ; l'acier est donc conforme à un A 60. La dureté dans la couche trempée est de 580 HV 1.

Fig. 1

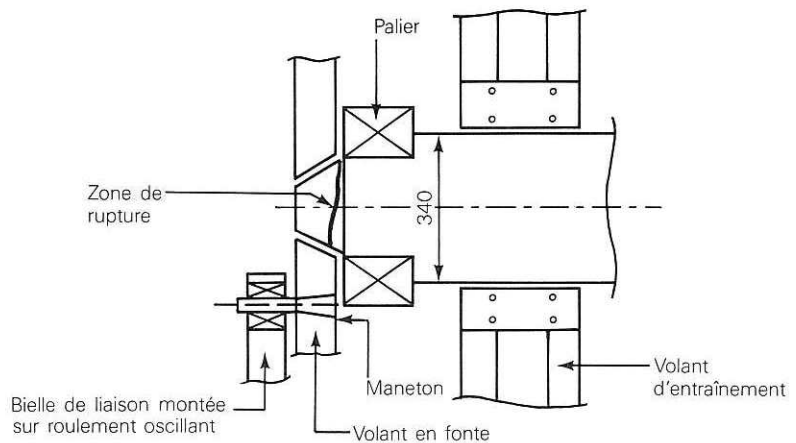
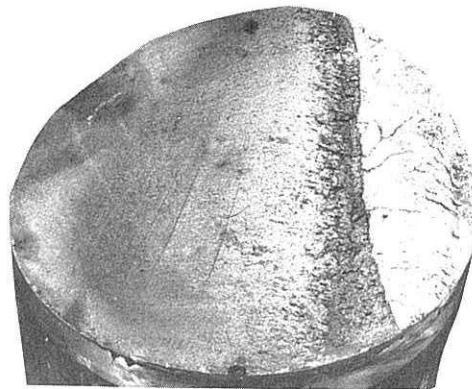
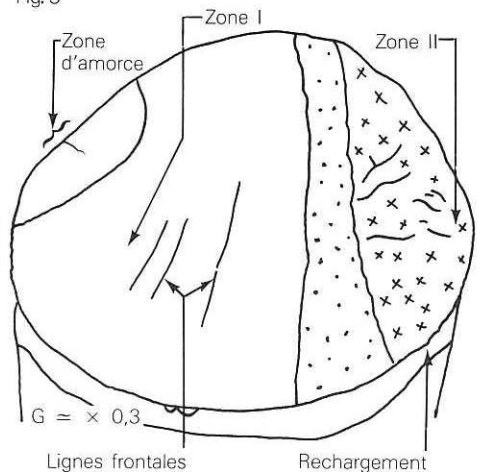


Fig. 2



Vue de la cassure

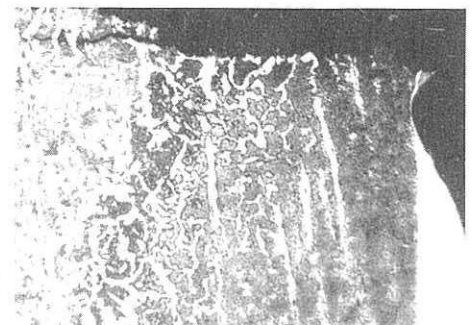
Fig. 3



Surface de la cassure

Fig. 4

Attaque nital  
x 30



Zone trempée Rechargement

## Commentaires

Causes de l'avarie	Remède
- Trempe sous cordon engendrée par le rechargement.	- Réaliser un préchauffage avant rechargement.
- Présence de contraintes de tension dues à cette trempe.	- Améliorer l'état de surface de la zone incriminée.
- Fragilité de l'acier dans la zone trempée.	- Réaliser un recuit de détentionnement après rechargement.
- Mauvais état de surface de la partie réparée.	

# Arbre entraînement de pompe

par P. Verré

## Nature de l'avarie

Rupture par fatigue en service en torsion répétée.

## Matière

Acier 14 NC 11 - cémenté - trempé - revenu.  
Résistance à cœur 1150 N/mm<sup>2</sup> (MPa).  
Cémentation de 0,6 mm pour 850 HV maximum en surface.

## Conditions de fonctionnement

L'arbre de pompe est entraîné par un multiplicateur.

L'accouplement se fait grâce à un pignon dont l'alésage conique vient s'emmancher sur l'extrémité conique de l'arbre.

L'assemblage est claveté (clavette 1/2 lune) et bloqué par un écrou de serrage.

Les contraintes de service sont des contraintes cycliques de torsion répétée produite par le couple d'entraînement.

## Analyse morphologique

La rupture est localisée sur la partie conique de l'emmanchement avec le pignon.

Le faciès est caractéristique d'une rupture en fatigue (présence de ligne d'arrêt) développée sous sollicitation de torsion répétée (rupture en grande partie hélicoïdale inclinée à 45°) (Fig. 1) :

- l'amorce se situe à l'extrémité de la rainure de clavette sur la face d'appui conique. (Fig. 2) ;
- la propagation de la fissure est d'abord tangentielle (en A) avec écaillage de la couche cémentée puis se poursuit en torsion (en B) jusqu'à la rupture finale située sur la face de la rainure de clavette opposée à l'amorce.

L'examen visuel de la partie conique de l'arbre révèle un marquage irrégulier (du type fretting) dû à un défaut de portage (Fig. 3).

## Examens complémentaires

Contrôle métrologique : des relevés métrologiques ont été effectués sur la partie conique d'un arbre et d'un pignon neuf. Ces examens ont mis en évidence un défaut de circularité de la partie conique du pignon.

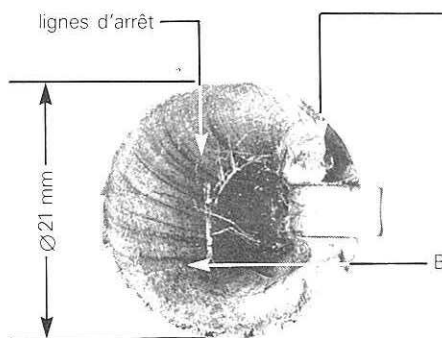


Fig. 1

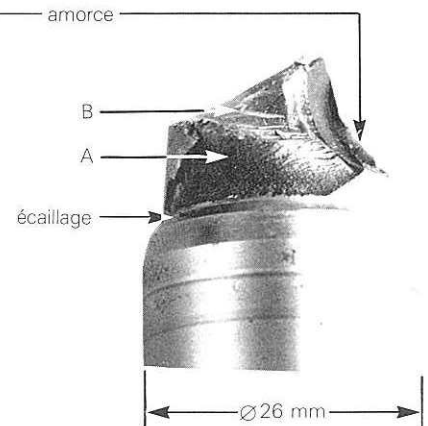
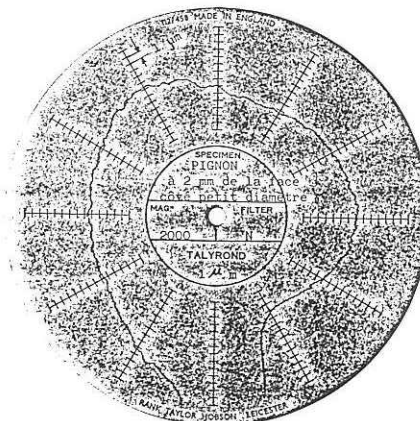


Fig. 2



Fig. 3

Marques sur la partie conique



Défaut de forme relevé par circularité

## Commentaires

Sur ce type d'accouplement les efforts de torsion doivent être pris en partie par la résistance au frottement des surfaces coniques (effet de serrage) et pour partie par la clavette.

Ici le défaut de portée a entraîné d'une part une surcharge au serrage qui a provoqué l'écaillage de la couche de cémentation, et donc l'amorçage de fissuration et d'autre part le report de la plus grande partie des efforts sur la rainure de clavette.

Causes de l'avarie		Remèdes
- Mauvaise portée pignon	} Effort sur la clavette	- Contrôle métrologique des portées coniques des deux pièces antagonistes.
- Serrage trop important du pignon sur l'arbre.		
- Ecaillage de la couche cémentée.		- Déterminer le couple maxi de serrage et l'appliquer à l'aide d'une clé dynamométrique.
- Amorçage de la fissuration progressive.		- Augmenter éventuellement la profondeur de cémentation de l'arbre.
- Rupture en torsion		

## Axe de vérin

par P. Verré

### Nature de l'avarie

Rupture par fatigue en flexion plane.

### Matière présumée

Acier de marque voisin de la nuance normalisée 45 MF 6 livré en barres étirées à chaud et prétraitées pour une résistance à la rupture voisine de : 1 000 MPa (N/mm<sup>2</sup>).

### Conditions de fonctionnement

Contraintes de flexion plane - alternée.

### Analyse morphologique

La rupture de l'axe s'est développée selon un plan diamétral passant par le trou de graissage (fig. 1).

Le faciès de rupture est typique d'une fissuration par fatigue en flexion plane répétée (fig. 1).

- Une 1<sup>re</sup> zone (I) à grains fins d'aspect soyeux, située de part et d'autre du trou de graissage - avec présence de lignes d'arrêt - témoigne d'une propagation en fatigue.
- Une 2<sup>e</sup> zone (II) d'aspect grenu correspond à la rupture finale.

La surface importante de la seconde zone par rapport à la première témoigne d'un chargement relativement important ou d'une sensibilité élevée à l'entaille.

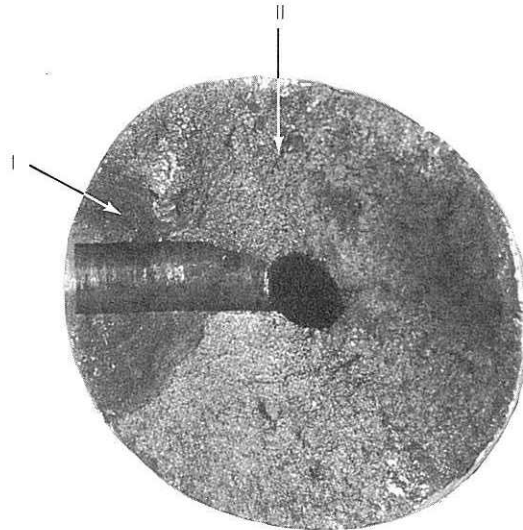


Fig. 1

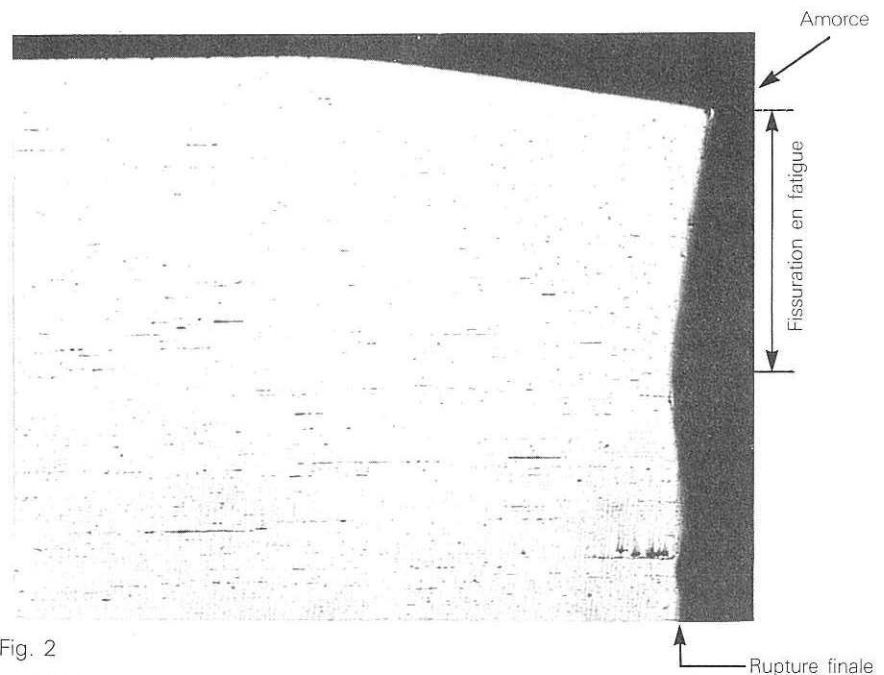


Fig. 2

g : 12,5 X  
Sans attaque

### Examen complémentaire

L'examen macrographique sur coupe au voisinage immédiat de la cassure a mis en évidence un écrasement superficiel de l'axe au niveau du trou de graissage (amorce de rupture) témoignant d'une forte charge à ce niveau (fig. 2).

La structure du matériau présente des inclusions de sulfure de manganèse destinées à faciliter l'usinage de cette nuance d'acier prétraitée.

### Commentaires

Causes de l'avarie	Remèdes
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence en zone fortement sollicitée d'un trou de graissage.</li> <li>- Problème de jeu qui entraîne un effort dynamique sous l'effet des chocs répétés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déplacer le trou de graissage.</li> <li>- Limiter les efforts (surcharges accidentelles).</li> <li>- Choisir un acier prétraité de caractéristiques plus élevées ou un acier à dispersoïdes.</li> <li>- Diminuer les jeux de fonctionnement pour éviter l'effet de choc.</li> </ul>

# Arbre de pompe

par P. Verré

(CETIM, Etablissement de Nantes)

## Nature de l'avarie

Rupture par fatigue en service.

## Matière

Alliage Hastelloy C (base Ni avec environ 15 % Cr - 16 % Mo - 2,5 % Co - 4 % W - 5 % Fe)

Dureté : 180/190 HB

## Conditions de fonctionnement

Sollicitation en flexion rotative.

Milieu : solution d'acide fluorhydrique, phosphorique et nitrique.

## Analyse morphologique

La rupture est localisée dans une zone de frottement, au droit d'un grain fixe.

Elle se développe perpendiculairement à l'axe de l'arbre (caractéristique d'un développement sous contrainte de flexion rotative sur arbre lisse) et présente un faciès d'aspect homogène qui ne révèle pas de signes susceptibles de définir avec certitude son mode de développement (figure 1).

Par contre, sur tout le pourtour de l'arbre limité par la cassure, on observe un rechargement effectué par soudure, réalisé vraisemblablement pour compenser une usure prématurée (zone de frottement avec le grain fixé). Il apparaît probable que ce rechargement constitue l'amorce de la rupture.

## Examen complémentaire

Un examen au microscope électronique à balayage révèle un faciès microfractographique caractéristique d'un développement en fatigue (fig. 2).

Les stries visibles sur le cliché (caractéristiques de la dégradation en fatigue) sont les vestiges de chaque cycle de la sollicitation.

## Commentaires

L'arbre de pompe s'est rompu en fatigue à cause d'un dépassement de la limite d'endurance du matériau par les contraintes appliquées qui ont été amplifiées localement par les contraintes résiduelles de traction produites par le rechargement et l'effet de concentration amené par la présence de microdéfaut dans le métal d'apport.

Le tableau ci-contre regroupe les principales causes des anomalies constatées et quelques remèdes qui pourraient contribuer à les éviter.

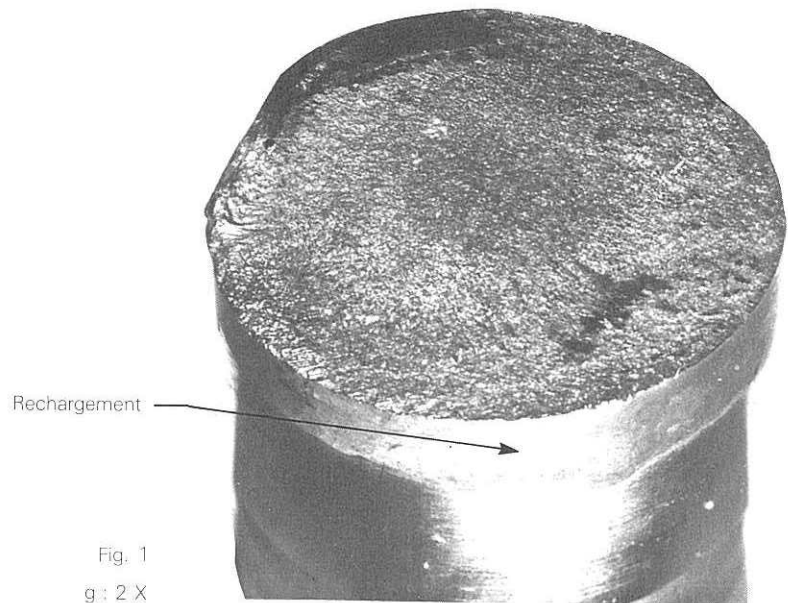


Fig. 1

g : 2 X

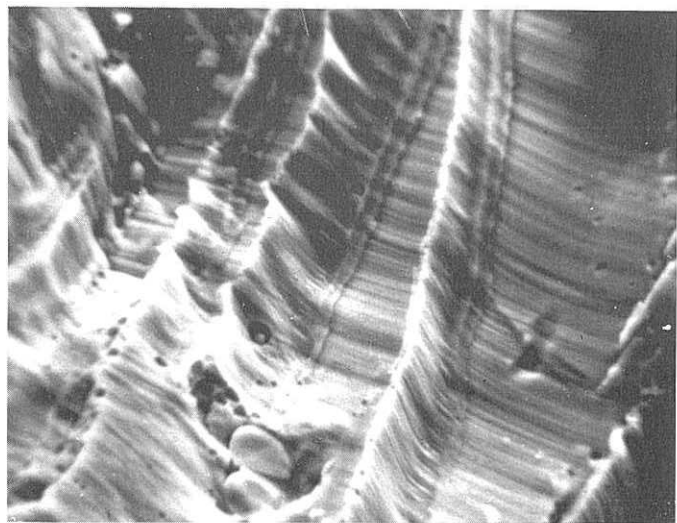


Fig. 2

g : 2500 X

Causes de l'avarie	Remèdes
<ul style="list-style-type: none"><li>- Hétérogénéité du matériau (structure contraintes - défauts) apportée par une réparation (réalisée par soudure)</li><li>- Développement d'une fissure de fatigue sous l'effet de contraintes de flexion rotative.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Améliorer la résistance à l'usure de l'arbre au niveau du frottement, par un traitement superficiel préalable, compatible avec la résistance à la corrosion.</li><li>- Si le rechargement est nécessaire, le réaliser avec les précautions d'usage (pré et post-chauffage, suivi d'un traitement de relaxation des contraintes.</li></ul>