

**ATTITUDE  
DU MÉCANICIEN  
EN PRÉSENCE  
D'UNE RUPTURE  
D'ORGANES  
DE MACHINES**



*par G. Perraudin et P. Prette  
de la Division Assistance Technique (CETIM Senlis)  
avec la collaboration des Services d'Assistance Technique de Nantes et  
de Saint-Étienne.*

*Cet article n'a pas la prétention d'épuiser un aussi vaste sujet que celui de l'analyse morphologique des cassures et des mécanismes de rupture d'éléments de machines.*

*Notre but serait atteint si, au travers du jeu de questions et réponses types ci-après, les techniciens d'ateliers ou de bureaux d'études étaient à même, à partir de leurs observations propres de déterminer les causes les plus probables de l'avarie. De toute manière dans l'étude des cas les plus délicats, lorsque ces techniciens conserveront un doute sur la validité de leurs conclusions, les conseils qui suivent leur permettront de rassembler le maximum d'éléments nécessaires aux investigations des spécialistes du CETIM.*

*Pour la clarté du texte, qui fera appel exclusivement à des exemples vécus et pour en faciliter l'exploitation, nous avons adopté une présentation par grands paragraphes auxquels le lecteur pourra plus aisément se reporter.*

### 1. Avant tout examen, quelles questions préliminaires doit-on se poser en présence d'une rupture ?

- Existe-t-il des matériels identiques à celui dans lequel la pièce s'est rompue ?
- Quelle a été la longévité de ladite pièce avant rupture ?
- Cette pièce a-t-elle déjà été sujette à une rupture présentant les mêmes caractères ?
- Quelles conséquences en a-t-on tirées :
  - pour la pièce elle-même ?
  - pour les pièces amont et aval de la pièce rompue ?
- Quel a été le comportement des sus-dites pièces dans l'incident de rupture de la pièce principale ?
- A-t-on connaissance des conditions d'utilisation de la machine :
  - en service amont ?
  - au moment qui a précédé l'incident ?
- Ces conditions étaient-elles ou non conformes aux consignes de service recommandées par le constructeur ?

### 2. Quels sont les soins à prendre dans les manipulations de la pièce accidentée ?

- Il faut impérativement préserver les cassures de toute altération, qu'elles soient :
- chimiques (oxydation ou attaques du milieu chimique environnant) ;
  - mécaniques (blessures accidentelles de la pièce au démontage ou au transport).

Les soins sont tout à fait comparables à ceux dont le médecin légiste entoure un cadavre avant son autopsie.

#### **Remarque très importante**

Jusqu'ici l'examen n'a visé qu'une seule pièce cassée, considérée comme auteur de l'accident. Or, en pratique, la rupture d'une pièce entraîne fréquemment la mise hors service des pièces associées ou des pièces voisines.

Il est parfois malaisé de distinguer parmi toutes les pièces avariées celle qui a été à l'origine de l'accident.

Dans l'hypothèse d'avarie mettant en cause plusieurs éléments de machine, il est indispensable pour une progression logique de l'examen de rassembler tous les éléments rompus disponibles et de n'en rejeter aucun, même et surtout s'ils ont été considérablement déformés au cours de l'avarie.

### 3. Quelles peuvent être les causes principales de rupture d'éléments de machines ?

La recherche de ces causes impose un examen critique objectif portant sur :

- le tracé de la pièce (sans oublier les états de surfaces, ni éventuellement les équilibrages statiques et dynamiques),
- la nature de ses contacts ou de ses liaisons avec les pièces amont et aval (frottement par glissement, par roulement),
- la nature des surfaces de contact des pièces antagonistes (cémentation, nitruration, trempe superficielle, rectification, shaving, etc.),
- la nature du lubrifiant éventuel,
- la qualité de l'environnement : gaz, température,
- l'importance des vibrations,
- le choix de la matière (nuance, traitement thermique, traitement de surface),
- le non-respect du dessin,
- la qualité de l'usinage : état de surface, accident local d'usinage, entailles, coups d'outil, etc.,
- les rechargements éventuels par soudure (coups d'arc, etc.),
- les défauts de la matière (cavités, soufflures, retassures, dédoubleage, repli, tapures, criques, lignes...).

**Nota.** — La qualité de la structure de la matière peut exercer une influence déterminante sur l'initiation et la propagation des fissures conduisant à la rupture. Elle ne peut être appréciée que par des spécialistes et doit être confiée aux soins des laboratoires de métallurgie, qui sont seuls aptes à définir les structures d'ensemble de la pièce par un examen dit « macrographique » et les structures quasi ponctuelles par des études de coupes « micrographiques ».

### QUELQUES CONSEILS PRATIQUES

#### Sur cassure franche

##### A recommander

Nettoyer au moyen d'une brosse dure (brosse à dent propre).

Dégraisser au pétrole ou white-spirit exclusivement.

Gommer éventuellement au moyen d'une gomme crayon la surface de cassure.

Nettoyer à l'alcool.

Sécher.

Graisser la surface pour la protéger de l'oxydation (rouille dans le cas des alliages ferreux).

#### Sur fissures débouchant à l'extérieur

##### A recommander

L'analyse de la cassure nécessite l'ouverture de la fissure. Cette opération (et sa suite) est à confier aux laboratoires spécialisés.

**4. Que doit-on observer à l'œil nu sur une cassure ouverte ?**

On doit observer :

- l'aspect général,
- les accidents de relief.

Compte tenu de cette première observation, la question qui se pose est de savoir auquel des « modèles » ci-dessous la cassure examinée peut s'apparenter.

Il existe, en effet, trois modèles principaux qui traduisent trois mécanismes de rupture différents :

- aspect grenu brillant sans particularité caractéristique sur le relief ; cet aspect caractérise la rupture dite catastrophique qui, comme son nom l'indique, se rapporte toujours à une rupture brutale (fig. 1) ;
- rupture à chevrons, spécifique d'une rupture dite semi-fragile (fig. 2) ;
- deux zones d'aspects différents, l'une soyeuse et lisse, l'autre grenue ; la première se rapporte au développement d'une ou plusieurs fissures progressives, l'autre à la rupture finale brutale (fig. 3) ;

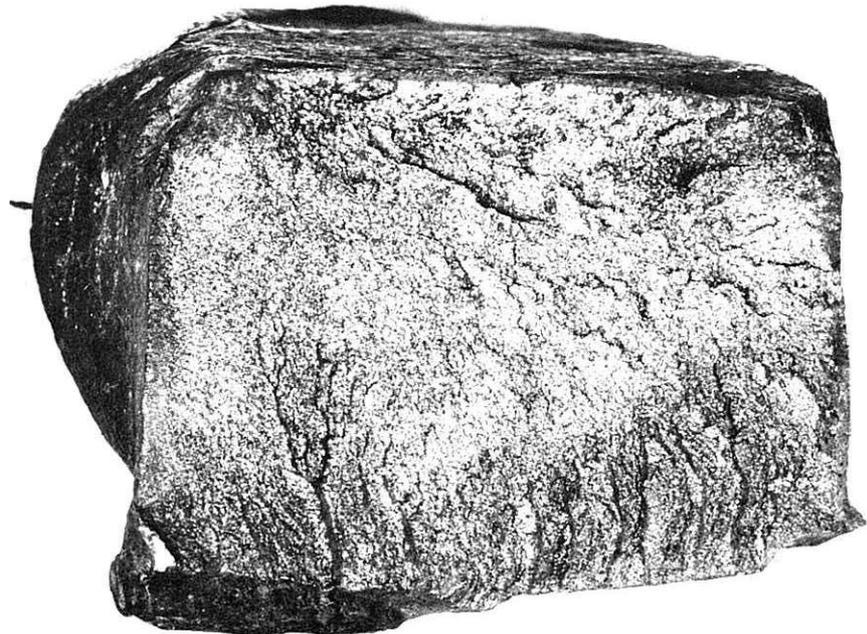


Fig. 1. Rupture catastrophique.

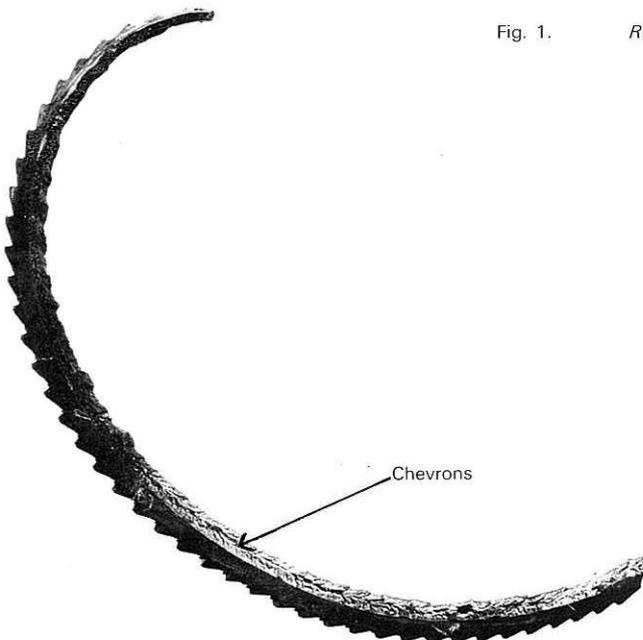


Fig. 2. Rupture dite semi-fragile.

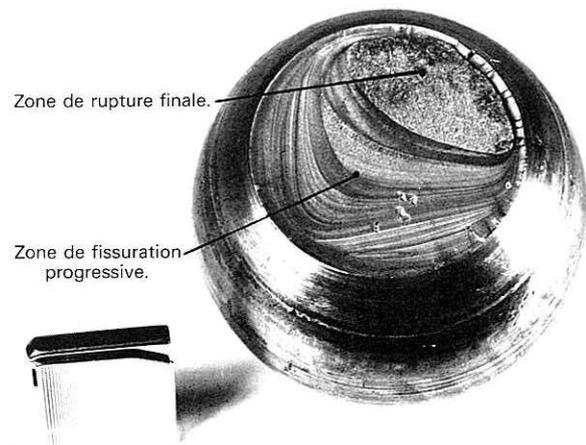


Fig. 3. Rupture de fatigue.

---

**A proscrire formellement**

Nettoyer la cassure au moyen d'une brosse métallique, de toile émeri, d'un meulage, d'un sablage.

Décaper au moyen d'une solution acide.

Billier la surface rompue.

Déformer notamment par choc ou abraser la surface de rupture.

---

**A proscrire formellement**

Tenter de rompre la pièce par les « moyens du bord ».

---

### 5. Quels sont les moyens utilisés pour représenter une cassure ouverte ?

Ce sont :

- le cliché photographique,
- le schéma synthétique déduit de la vision directe ou du cliché.

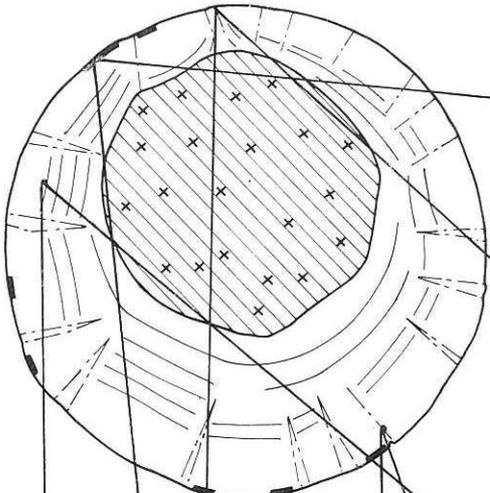
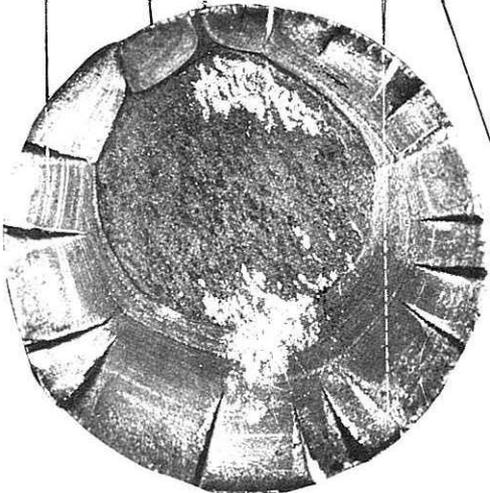
Pour une meilleure compréhension de cette étude analytique, nous rapprocherons l'aspect photographique de la cassure de sa symbolisation schématique. Cette dernière étant, d'après Pignet, conventionnellement donnée par le tableau ci-contre.

<p>amorce</p> 	<p>ligne frontale ou d'arrêt</p> 
<p>ligne d'amorces multiples</p> 	<p>ligne radiale ou de crête</p> 
<p>grain grossier</p> 	<p>zone de fissuration progressive</p> 
<p>grain fin</p> 	<p>zone de rupture brutale</p> 

### 6. Quel vocabulaire utilise-t-on pour définir une analyse de cassure ?

Nous nous bornerons pour l'instant aux définitions des termes utilisés, réservant aux paragraphes 8 et 9 leurs significations mécaniques.

Fig. 4.

	QUESTIONS	RÉPONSES
	<p>Qu'est-ce que ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• une « amorce de fissure » ?</li> </ul>	<p>C'est le point de départ de la fissure.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• une « ligne d'amorce » ?</li> </ul>	<p>C'est la ligne passant par les différents points de départ de la fissure.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• une « ligne frontale » baptisée aussi « ligne d'arrêt » ?</li> </ul>	<p>C'est une courbe généralement concentrique à l'amorce de la fissure; elle appartient à une famille de courbes comparables à l'image d'une onde provoquée par la chute d'une pierre en eau calme. Les lignes frontales marquent les étapes progressives du développement de la fissure génératrice de la rupture finale.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• une « ligne radiale » ou « ligne de crête » ?</li> </ul>	<p>C'est une ligne qui coupe la famille des lignes frontales. Les lignes radiales marquent en général une certaine dénivellation des surfaces successives de développement des fissures.</p>

### 7. Quelles sont les causes les plus fréquentes des amorces de fissuration ?

Elles relèvent de la nature du défaut considéré comme le montre le tableau ci-dessous :

Causes externes	Causes internes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changement de section (angle vif ou congé insuffisant ou mal élaboré).</li> <li>• Rugosité de la surface.</li> <li>• Attaque du milieu environnant (corrosion).</li> <li>• Marque et empreinte sur la surface (coup de pointe, marque à froid).</li> <li>• Coup d'outil.</li> <li>• Coup d'arc.</li> <li>• Crique de rectification.</li> <li>• Stries de meulage.</li> <li>• Défauts inhérents à l'élaboration de la pièce (défauts de forgeage, laminage, moulage).</li> <li>• Tapures de trempe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ségrégations.</li> <li>• Grosseur du grain, trop importante ou hétérogène.</li> <li>• Microretassure, porosité, soufflure, tapure de trempe, etc.</li> <li>• Lignage.</li> <li>• Précipitation intercrystalline.</li> <li>• Décarburation.</li> <li>• Surchauffe, brûlure.</li> <li>• etc.</li> </ul>

### 8. Quelles sont les origines des lignes frontales ou lignes d'arrêt ?

Les lignes frontales sont à relier aux différents arrêts ou variations de régime de la machine, donc en résumé aux changements dans les sollicitations de la pièce. C'est pourquoi elles n'apparaissent généralement pas sur les éprouvettes utilisées dans les laboratoires pour définir la limite d'endurance du matériau en raison du caractère continu de tels essais.

Sur pièce réelle, elles peuvent être atténuées, voire inexistantes si les contraintes appliquées dépassent notablement la limite d'endurance du matériau utilisé.

**Nota.** — La présence ou l'absence de ces lignes pour un mode de sollicitations donné dépend également de la nature du matériau. Elles sont peu discernables sur des ruptures de pièces en fonte ou en aciers fortement alliés traités.

### 9. Quelles sont les origines des lignes radiales ou lignes de crête ?

Le mécanisme de formation des lignes de crête ou radiales est symbolisé par les schémas ci-dessous (fig. 5).

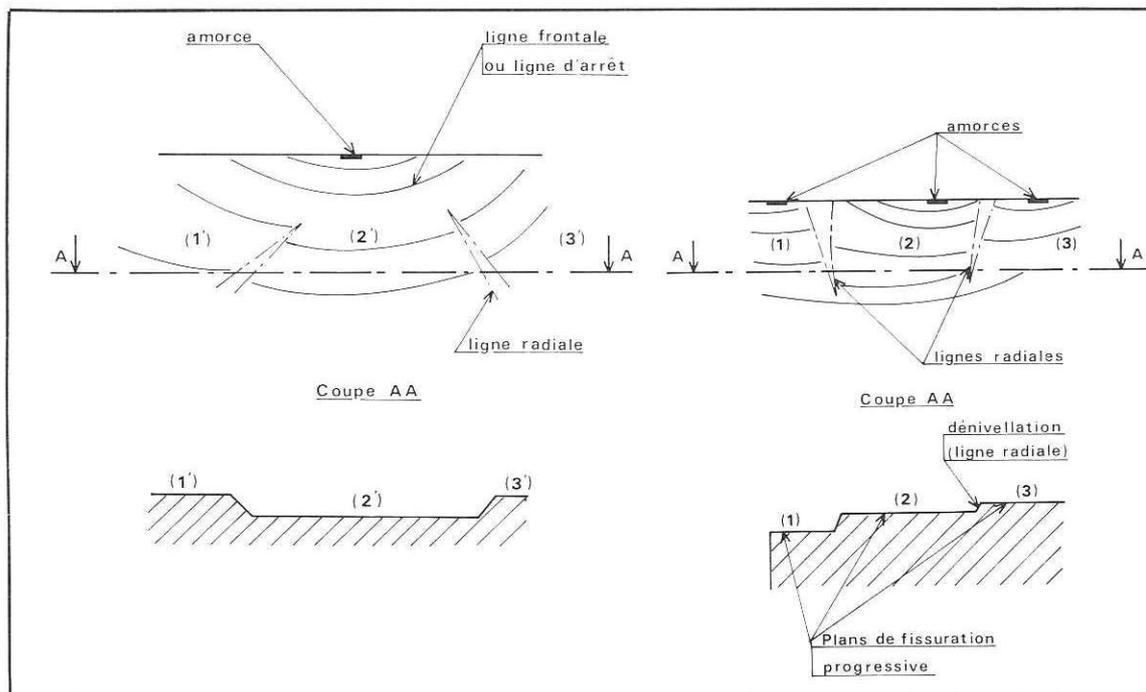


Fig. 5.  
D'après :  
Rupture de fatigue  
de pièces de ma-  
chine de CAZAUD,  
POMEY, et RABBE.

## 10. Observations complémentaires

● Lorsqu'il y a eu fissuration progressive ouverte avant rupture finale, la section utile de la pièce, c'est-à-dire la seule section qui participe effectivement à la transmission du mouvement et des efforts, devient de plus en plus faible, ce qui conduit à une élévation de la charge. La topographie de la surface de rupture s'en trouve de ce fait affectée.

En effet, dès l'apparition de la première fissure, les lèvres qui se font vis-à-vis peuvent frotter l'une sur l'autre sous l'effet des vibrations ou de la fluctuation des efforts provoqués par le fonctionnement de la machine. Il s'ensuit une érosion réciproque des éminences du relief. Cette altération, que nous qualifions « d'épidermique » faute de trouver un terme mieux adapté, est nettement plus saisissable à la loupe qu'à l'œil nu. Elle se manifeste soit par une manière de matage ou d'arasement brillant des aspérités, soit parfois par la présence caractéristique de « rouille de contact ».

Sur les deux tronçons de pièce, les aspects de la rupture sont, si l'on peut dire, complémentaires, les creux de l'un tendant à araser les « pics » associés de son vis-à-vis et réciproquement.

● Une autre altération, mais cette fois de caractère macroscopique, apparaît sous forme de « sillons de labour » sur les sections de rupture. Elle provient évidemment de l'« usinage » par frottement réciproque des deux tronçons libérés par la rupture finale. Il y a selon les cas ou détachement de copeaux métalliques, ou/et entraînements de métal par grippage, ou/et échauffements locaux décelés par un changement de coloration du métal.

● Ces diverses altérations, bien que consécutives au phénomène initial de rupture, ne doivent pas pour autant être négligées. Leur interprétation est importante, elles sont à examiner, elles aussi, avec bon sens et perspicacité. Elles jalonnent en effet, des étapes significatives de l'« histoire » de la destruction de la pièce, et peuvent permettre de remonter plus aisément le chemin qui conduit des conséquences aux causes. En ce domaine, il est malaisé de formuler des règles précises : la réussite dépend beaucoup du soin, de l'habileté et, en définitive, du « flair » de l'observateur.

Il faut encore noter que la pièce défailante est toujours partie intégrante d'une « chaîne » dynamique de transmission de forces et de mouvements.

En cédant, elle a en quelque sorte rempli le rôle de « fusible » et ainsi protégé les autres organes de la destruction.

Mais elle n'est pas toujours pour autant le « vrai responsable » de l'incident. ■

*(A suivre\*).*

\* Dans d'autres articles nous présenterons des exemples-types de rupture ainsi que leur interprétation.