

# LA STABILITÉ DES LAMES DE SCIES ALTERNATIVES

par Karel PENICKA et Josef REHAK,  
*Institut de Recherches et de Développement du Bois, Prague.*  
*Institut de Recherches des Matériaux et de la Technologie, Prague*

## SUMMARY

### THE SAW BLADES STABILITY OF FRAME SAWS

*The saw blades stability of frame saws is an important factor for achievement of high production efficiency, good quality of product and production economy.*

*The effect of principal factors, i. e. dimensions of saw blades, tensioning force and the degree of rolling on the stiffness of saw blade have been investigated under laboratory conditions.*

## RESUMEN

### LA ESTABILIDAD DE LAS HOJAS DE SIERRA ALTERNATIVAS

*La estabilidad de las hojas de sierra alternativas constituye una condición importante para conseguir un buen rendimiento de estas sierras, una buena calidad de los productos y una producción económica.*

*Se ha procedido al examen, por métodos de laboratorio, de la influencia de los factores fundamentales, es decir: las dimensiones de la hoja, la tensión de montaje y el grado de laminación sobre la rigidez de dicha hoja.*

## I. — INTRODUCTION

Bien que la scie alternative verticale soit une des machines les plus largement utilisées dans l'industrie du bois, on s'est peu attaché jusqu'à présent à l'amélioration des caractéristiques des lames et, en particulier à leur préparation. On vient seulement, en raison de la nécessité de plus en plus impérieuse, d'économiser le matériau bois, d'étudier plus en détail la préparation de la lame et sa stabilité pendant le sciage. On a entrepris des recherches sur l'influence de l'épaisseur de la lame pour réduire celle-ci et économiser du bois et sur l'augmentation du rendement des chaînes là où de nouvelles caractéristiques de lames et la mécanisation des scieries ont rendu possible de plus grandes vitesses d'amenage.

La stabilité de la lame est un facteur qui conditionne la bonne marche d'une scie alternative et la haute qualité des produits. La connaissance des conditions de stabilité de la lame peut conduire à améliorer l'économie de matière en réduisant l'épaisseur du trait.

La lame s'écarte du plan de sciage sous l'effet de forces latérales et de moments de diverses valeurs

qui apparaissent plus ou moins pendant la coupe. L'expression « stabilité de la lame » signifie que la lame a tendance à revenir à sa position première après une légère flexion due aux forces latérales, l'erreur de dimensions de la pièce sciée étant maintenue dans les limites définies par les normes.

La propriété qui définit le mieux la stabilité d'une lame est sa rigidité. ORLOV (1952) définit la « rigidité » comme le rapport de la force appliquée au milieu du brin libre de la lame, au déplacement dû à cette force et mesuré en son point d'application.

La rigidité d'une lame peut donc s'exprimer mathématiquement par la formule

$$K = \frac{P}{X} \text{ Kg/mm}$$

dans laquelle P est la force transversale constante en kg et X le déplacement de la lame en mm au point d'application de P.

La stabilité de la lame dépend des conditions extérieures liées à la coupe, c'est-à-dire de l'importance des forces latérales et des moments de flexion,

et des propriétés intérieures de la lame c'est-à-dire de sa rigidité.

La recherche des conditions extérieures de stabilité relève surtout de mesures dynamiques (Thunnell, 1951).

Les conditions internes de stabilité de la lame c'est-à-dire sa rigidité, dépendent surtout :

- a) des dimensions de la lame (épaisseur, largeur et longueur libre),
- b) de la tension de montage,
- c) du tensionnage.

Le but de nos travaux a été d'étudier les conditions internes de stabilité des lames de scies en

nous référant aux conditions actuelles de production en Tchécoslovaquie (matériel disponible et dimensions des lames). Nous avons surtout examiné les problèmes suivants :

1. Influence de l'épaisseur.
2. Influence de la longueur libre.
3. Influence de la largeur.
4. Influence du degré de tensionnage de la lame sur sa rigidité.,
5. Détermination des tensions internes dans une lame tensionnée.
6. Influence du degré de tensionnage sur les tensions produites dans les parties non tensionnées de la lame.
7. Influence de la tension du montage sur les tensions internes.
8. Redistribution des tensions internes du fait du meulage de la lame de scie.
9. Influence du tensionnage sur le matériau constituant la lame.

## II. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

### L'outil et sa préparation.

On a utilisé pour les recherches les lames de scie alternatives courantes (Pilana, Entreprise nationale, Hulín) fabriquées à partir de l'acier N 9419 traité à la dureté moyenne de 45HRc. L'épaisseur des lames de scie variait entre 1,2 et 1,8 mm, la largeur variait entre 80 et 160 mm, la longueur entre 1.138 et 1.255 mm. Pour chaque essai les dimensions de la lame de scie sont données dans le texte correspondant. Toutes les lames de scie étaient polies.

Le tensionnage des lames de scie a été effectué selon des règles technologiques bien établies (PĚNIČKA, 1956) soit sur la machine à tensionner construite par l'Institut du Bois (cette machine comporte des galets de 5 mm de largeur et de 65 mm de diamètre dont la vitesse circonférentielle est de 12 m/min.), soit sur la machine à tensionner RAIMANN modifiée dont les galets ont 3,5 mm de largeur et 50 mm de diamètre, leur vitesse circonférentielle étant de 10 m/min. Le degré de tensionnage était évalué

Fig. 1.

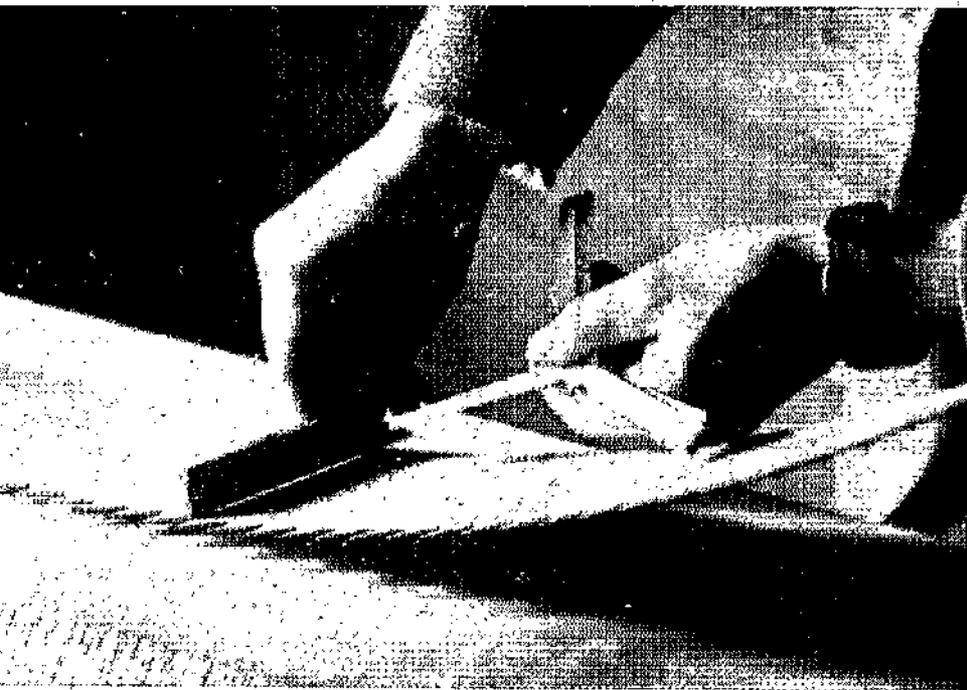


Fig. 2.

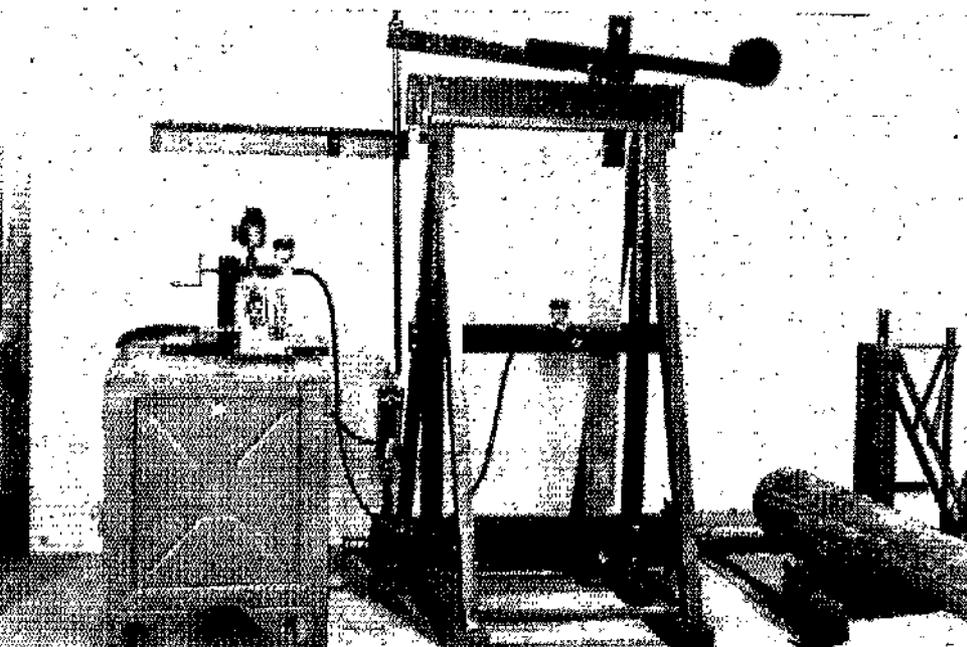


Fig. 1. — *Forme correcte de la courbure transversale.*

Fig. 2. — *Cadre pour la tension des lames de scie.*

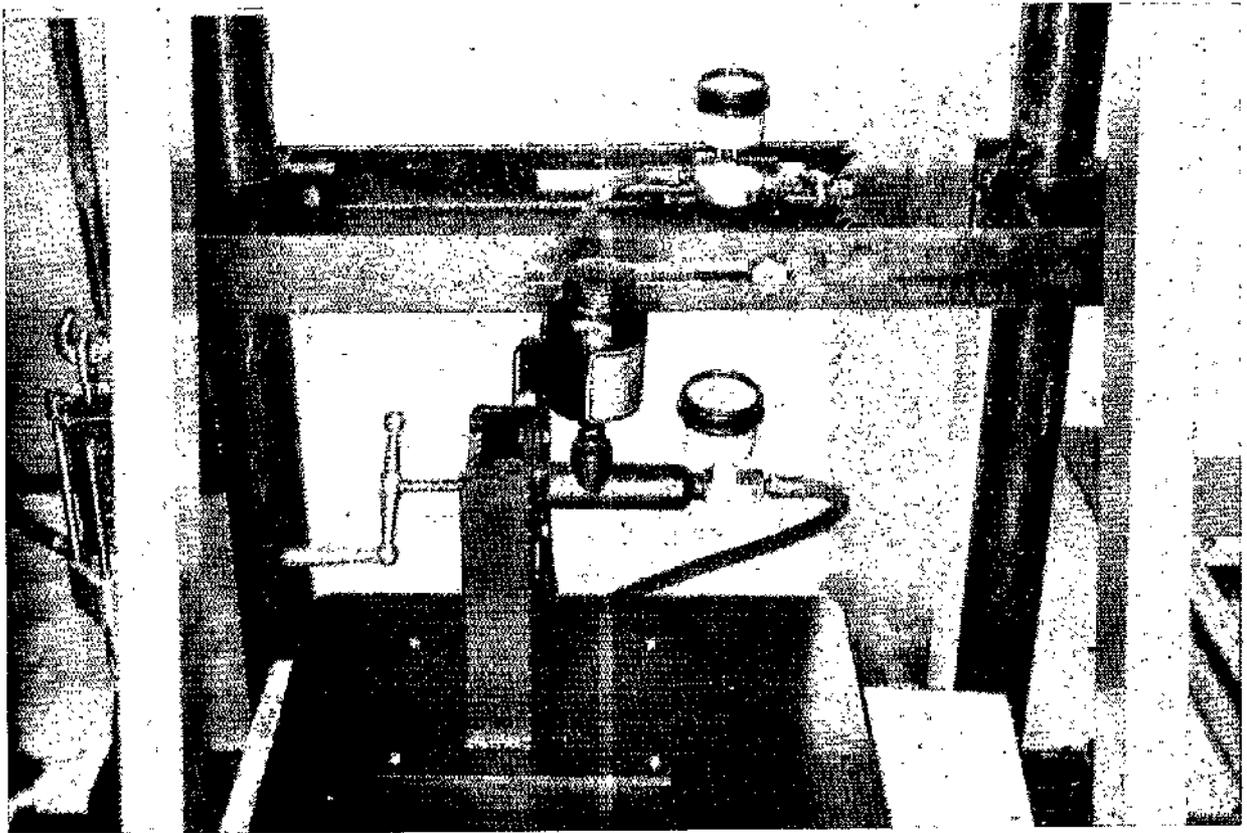


Fig. 3. — Appareil de laboratoire pour mesurer la rigidité.

d'après l'importance de la courbure transversale de la lame de scie quand celle-ci était fléchie longitudinalement suivant un arc de  $\dots$  800 mm de rayon.

La courbure transversale était déterminée d'après la largeur de la fentelumineuse comprise entre la lame de scie et une règle d'acier (Fig. 1). La valeur de la flèche était mesurée à l'aide de cales d'épaisseur.

Dans certains cas, pour contrôler cette méthode de mesure on a utilisé un comparateur.

#### Appareillage de mesures.

Les lames de scie étaient tendues dans un châssis expérimental (fig. 2) à l'aide d'une vis agissant sur un levier comportant un contrepoids coulissant (L'amplification de la force due au levier étant de 10). La mesure de la force de tension était effectuée à l'aide d'une bande de mesure étalonnée, remplaçant le dynamomètre visible sur la figure 2. La force de tension pouvait varier de 0 à 6.000 kg.

La rigidité de la lame de scie était mesurée par un appareil de laboratoire pour la mesure de la rigidité construit par l'Institut de Recherches de Technologie du Bois (fig. 3). On applique une force déterminée (dans notre cas 6 kg), par l'intermédiaire d'un levier comportant deux bras rectangulaires, à la lame de scie, au milieu de sa longueur libre, 5 mm en dessous de la base des dents. La

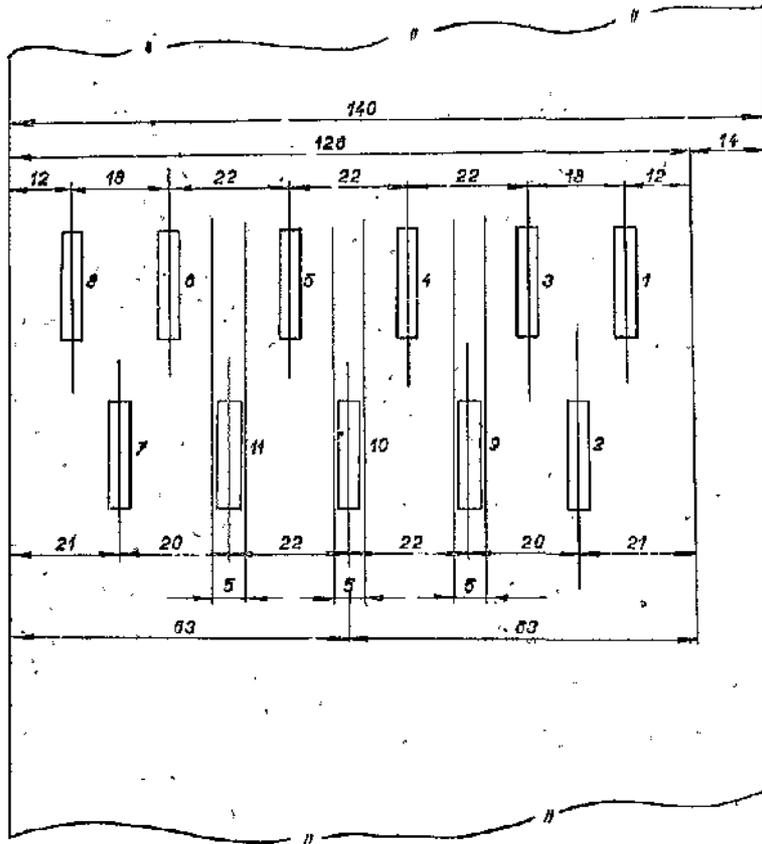
lame de scie fléchit sous l'effet de la force latérale et la déviation est lue sur le comparateur. La grandeur de la force latérale est indiquée par un manomètre.

#### Méthode de travail.

Pour suivre l'influence de l'épaisseur, de la largeur, de la longueur libre et du degré de tensionnage sur la rigidité de la lame de scie, les lames étaient fixées sur le cadre à l'aide d'attaches coulissantes de 70 mm de largeur (fig. 2), de telle sorte que la traction soit appliquée dans l'axe de la lame de scie. Après fixation, on appliquait une tension de 1.000, 2.000, 3.000, 4.000 et 5.000 kg. Après chaque augmentation de la force de tension de 1.000 kg, on mesurait la rigidité de la lame de scie à l'aide de l'appareil de mesure. Les mesures ont été effectuées trois fois sur chaque lame. Les moyennes arithmétiques des valeurs mesurées sont portées sur les graphiques.

La mesure des tensions internes était donnée par la variation de résistance électrique de jauges de contrainte du type PROUD C 120. Les valeurs données par ces appareils ont été contrôlées par un appareil de marque SA 1 (Pal). Les jauges de contrainte étaient collées au milieu de la longueur de la lame de scie et sur deux rangs. Leur distribution et leur numérotation sont représentées sur la fig. 4 où

FIG. 4. — Localisation et numérotation des jauges d'effort.



l'on a aussi indiqué la position des bandes laminées. Les jauges de contrainte N<sup>os</sup> 1 à 8 ont été collées avant le tensionnage, les jauges N<sup>os</sup> 9, 10 et 11 après le tensionnage et dans l'axe des bandes laminées.

La tension intérieure des lames de scie a été déterminée à l'aide des jauges d'effort, soit sur la base de la variation des valeurs de leurs mesures avant et après le tensionnage, soit d'après la variation de ces valeurs au cours de la modification progressive des tensions internes de la lame lors de son découpage en bandes longitudinales.

L'effet de la force de tension sur les tensions internes de la lame de scie a été observé aussi à l'aide des jauges de contrainte en fixant la lame sur le cadre expérimental et en modifiant la force de tension.

La transformation des tensions au voisinage de la partie dentée du fait des affûtages successifs a été également déterminée et mesurée à l'aide des jauges par interprétation des modifications des tensions internes dans la section transversale de la lame de scie.

### III. — RÉSULTATS DES RECHERCHES

#### Influence de l'épaisseur de la lame de scie sur sa rigidité.

On a comparé au laboratoire la rigidité des lames de scie aux épaisseurs de 1,8 ; 1,6 ; 1,4 ; 1,2 mm, toutes les autres conditions restant inchangées. Les résultats des essais sont résumés sur le diagramme 1.

Toutes les lames de scie étudiées ont été faites avec le même acier. Leur longueur était de 1.198 mm leur largeur de 120 mm et leur tensionnage très léger ( $f = 0,05$  mm).

#### Influence de la longueur libre de la lame de scie sur sa rigidité.

La longueur totale de la lame L, dépend de la construction du cadre et de la longueur des attaches, mais la longueur libre L' est la partie de la lame de scie comprise entre les cales d'épaisseur supérieures et inférieures.

L'influence de la diminution de la longueur libre de la lame est indiquée sur le diagramme 2. Pour

cet essai, on a utilisé une lame de scie de 1,8 mm d'épaisseur, 1.138 mm de longueur et 120 mm de largeur. La courbure transversale de la lame après le tensionnage donnait une flèche de 0,25 mm. Au cours des mesures, on faisait varier la longueur libre de la lame par fractions de 100 mm à l'aide d'un dispositif auxiliaire.

#### Influence de la largeur de la lame de scie sur sa rigidité.

Pour mesurer l'influence de la largeur de la lame de scie sur sa rigidité, on a utilisé une lame de 1.198 mm de longueur et de 1,35 mm d'épaisseur. La lame de scie avait, après tensionnage, une flèche transversale de 0,1 mm. Les résultats des mesures sont donnés dans le diagramme 3.

La largeur initiale de la lame de scie était  $\xi = 160$  mm. Après chaque mesure de rigidité, la largeur de la lame de scie était diminuée de 10 mm par meulage. Après chaque meulage on constatait que la courbure transversale gardait toujours sa forme

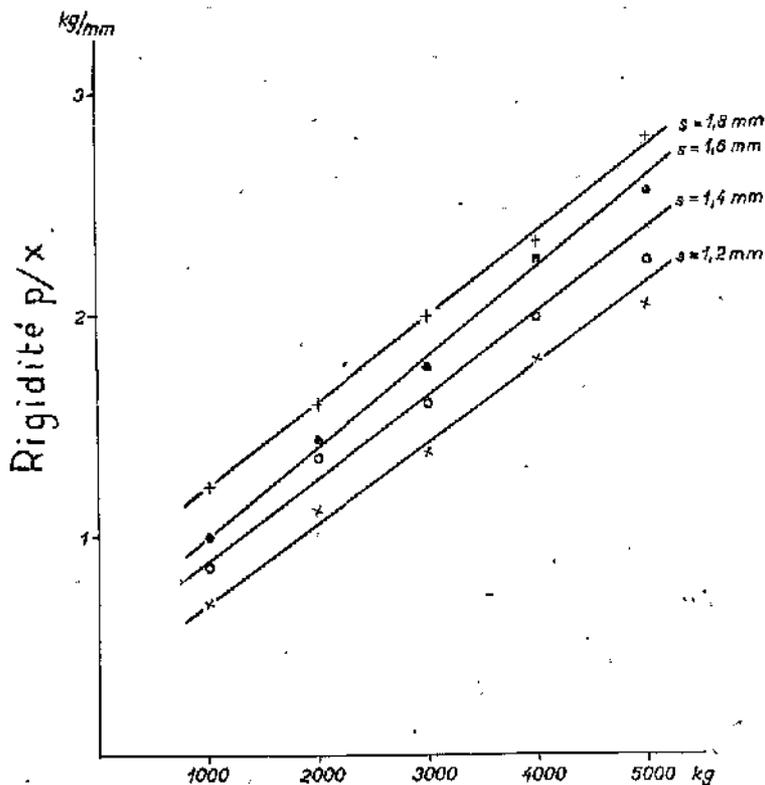


DIAGRAMME 1. — Influence de l'épaisseur de la lame de scie sur sa rigidité :  $L = 1\ 198\ \text{mm}$ ,  $S = 120\ \text{mm}$ ,  $f = 0,05\ \text{mm}$ .

concave comme sur la figure 1. Les modifications des tensions internes qui sont provoquées par les affûtages ne changent donc pas substantiellement leur répartition première tant que le meulage n'atteint pas la première bande sur laquelle on a passé le galet. Quant, en affûtant les dents de la lame on atteint la première trace du galet de tensionnage, la flexion transversale disparaît.

#### Influence du degré de tensionnage sur la rigidité de la lame de scie.

Pour examiner l'influence du degré de tensionnage sur la rigidité de la lame de scie, on s'est servi d'une lame de scie de 1.198 mm de longueur, de 130 mm de largeur et de 1,6 mm d'épaisseur. On a pris comme base de comparaison une lame de scie dont le degré de tensionnage était nul (donc non négatif). Sur la même lame de scie on augmentait progressivement le degré de tensionnage jusqu'à  $f = 0,4\ \text{mm}$ . Pour chaque degré de tensionnage on veillait à ce que la courbure transversale soit correcte et régulière sur toute la longueur de la lame de scie. Les résultats des essais sont portés sur le diagramme 4.

#### Détermination de la répartition des tensions internes pour une lame de scie tensionnée.

La détermination de la répartition des tensions internes pour une lame de scie tensionnée a été

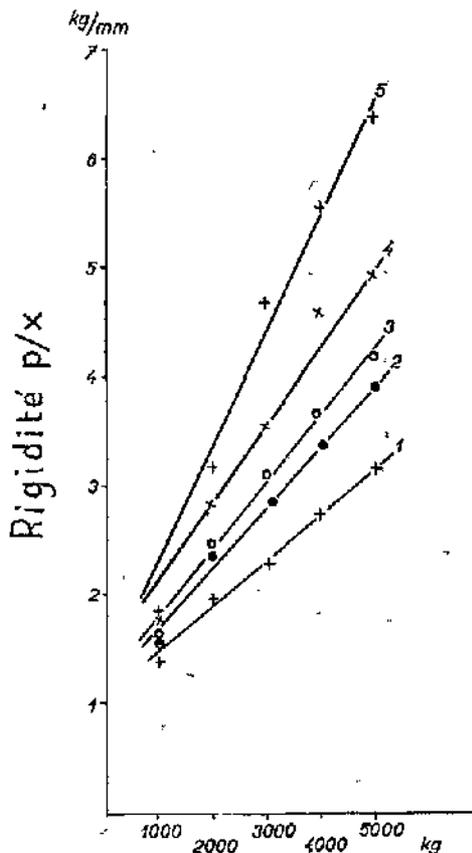
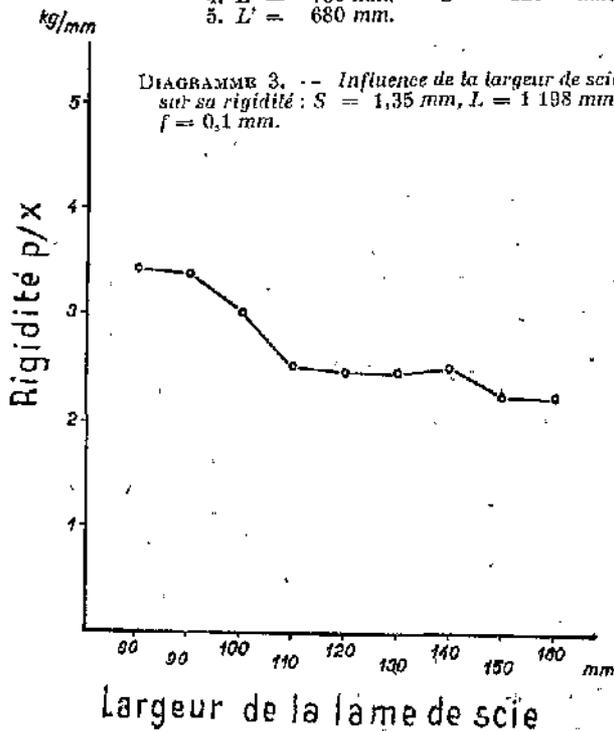


DIAGRAMME 2. — Influence de la longueur libre sur la rigidité de la lame de scie.

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1. $L' = 1\ 198\ \text{mm}$ . | $f = 0,25\ \text{mm}$ . |
| 2. $L' = 980\ \text{mm}$ .    | $S = 1,8\ \text{mm}$ .  |
| 3. $L' = 880\ \text{mm}$ .    | $S = 120\ \text{mm}$ .  |
| 4. $L' = 780\ \text{mm}$ .    |                         |
| 5. $L' = 680\ \text{mm}$ .    |                         |

DIAGRAMME 3. — Influence de la largeur de scie sur sa rigidité :  $S = 1,35\ \text{mm}$ ,  $L = 1\ 198\ \text{mm}$ ,  $f = 0,1\ \text{mm}$ .



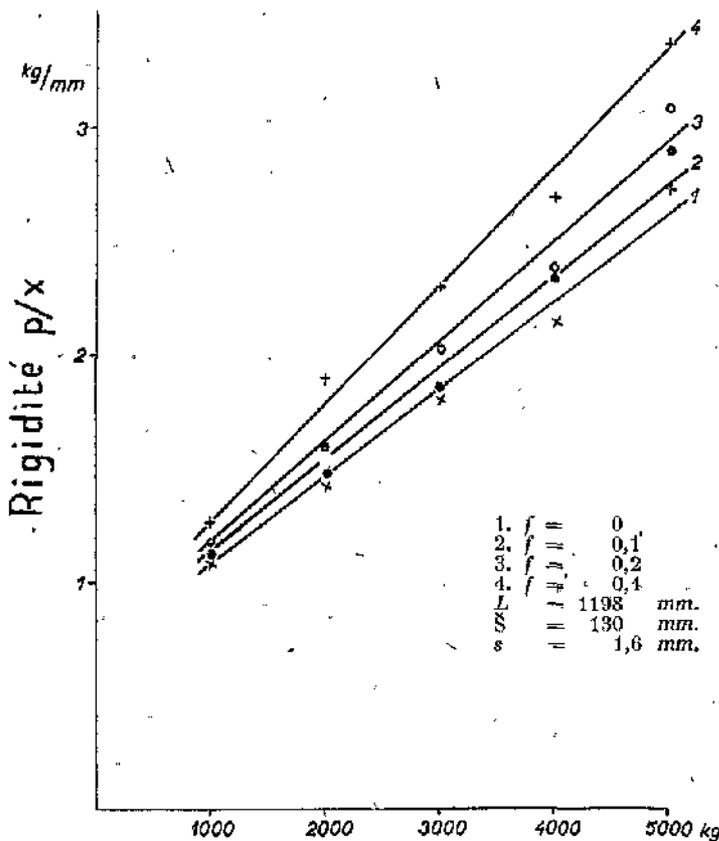


DIAGRAMME 4. — Influence de la grandeur de la courbure transversale sur la rigidité de la lame de scie.

effectuée à l'aide de jauges en découpant une partie de la lame de scie en bandes sur chacune desquelles était collée une jauge. Quand on découpe une bande déterminée de la lame dans laquelle il y avait une tension interne, cette bande est libérée de l'influence du reste du corps de la lame et la tension intérieure qui se trouvait en elle avant le découpage est en grande partie libérée ; sa longueur change, et dans le cas où la répartition des tensions dans la bande n'est pas uniforme, il y a aussi flexion. Le changement de la longueur de la bande, qui est proportionnel à sa tension interne, peut être déterminé à l'aide des jauges par différence entre les mesures avant le découpage d'une première bande de la lame et après le découpage de la bande en question. Comme base de mesure, il faut en effet prendre la mesure faite à l'aide de la jauge sur une lame intacte, le découpage d'une partie quelconque de la section examinée, dans laquelle il y avait une tension intérieure, entraîne une modification des tensions dans toute la section restante.

La tension moyenne normale est donnée par la formule :

$$\sigma_n = \lambda E \text{ kg/mm}^2 \quad (2)$$

où  $E$  = est le module d'élasticité en traction.

$\lambda$  = l'allongement relatif.

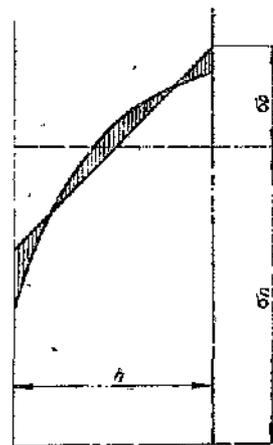


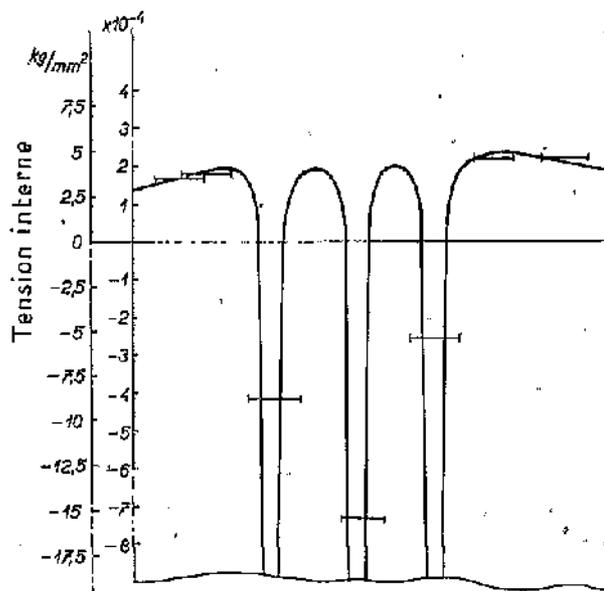
DIAGRAMME 5. — Schéma de la modification des tensions dans la bande découpée.

Si la tension intérieure donne comme résultante en plus de la tension normale, un moment de flexion (diagramme 5), la bande découpée se courbe. La valeur de la courbure permet de calculer la grandeur du moment de flexion qui l'a provoqué et par suite le gradient de tension dans la bande correspondante.

On a déterminé, par cette méthode, les tensions internes pour trois lames de scies tensionnées à différents degrés. À partir des valeurs mesurées on a construit les diagrammes indiquant la répartition des tensions internes dans ces lames. Puisque, en raison de la largeur des jauges utilisées on ne pouvait pas déterminer directement par l'expérience la valeur des contraintes dans les bandes laminées, leur valeur moyenne a été calculée à partir de la condition d'équilibre. Les diagrammes 6 a et 6 b montrent les courbes obtenues et la différence entre les valeurs maxima des contraintes de compression et les valeurs moyennes mesurées à l'aide des jauges.

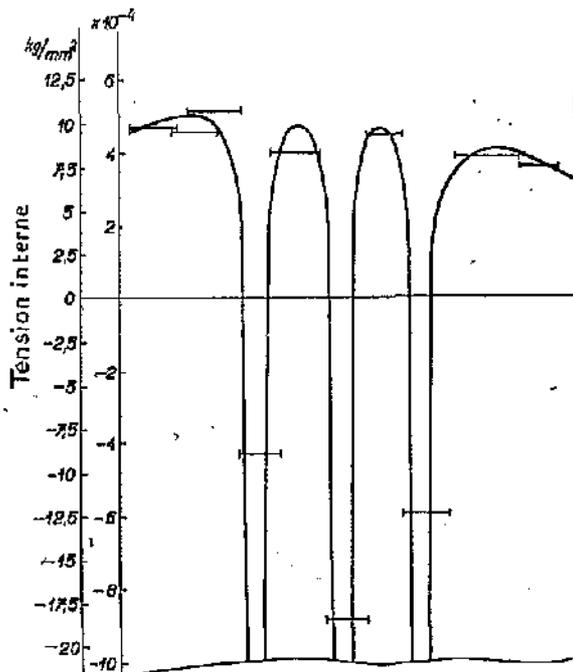
**Influence du degré de tensionnage sur la grandeur des contraintes de traction dans la partie non laminée de la lame de scie.**

Les mesures ont été faites sur des lames de scie de 1.255 mm de longueur, de 1,7 mm d'épaisseur et de 140 mm de largeur. Les lames ont été laminées d'un côté seulement pour ne pas endommager les jauges collées. La gamme des degrés de tensionnage examinée allait de la courbure transversale  $f = 0,1$  à la courbure  $f = 0,4$  mm. La grandeur des tensions internes a été déterminée par différence entre la moyenne des mesures données par les jauges avant



Valeur maximum de la contrainte de compression en moyenne 22

DIAGRAMME 6a. — Répartition des tensions internes dans la section médiane de la lame de scie. Tension :  $f = 0,15$  mm.



Valeur maximum de la contrainte de compression en moyenne 50 kg/mm<sup>2</sup>  $f = 0,35$

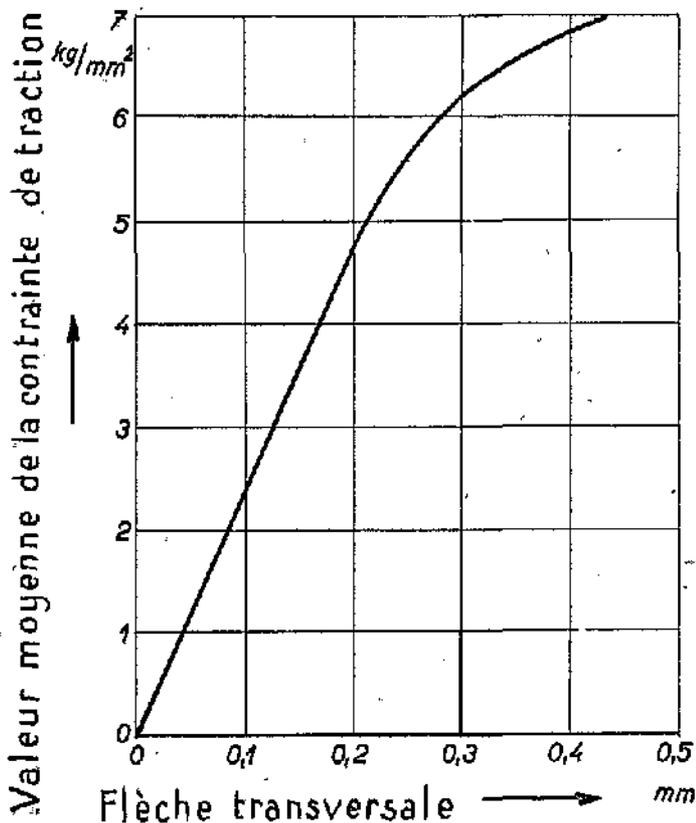
DIAGRAMME 6b. — Répartition des tensions internes dans la section médiane de la lame de scie. — Tension :  $f = 0,35$  mm.

et après le laminage. D'après les résultats de ces mesures, on a construit une courbe (diagramme 7). Les lames de scie qui ont été les plus tensionnées ( $f > 0,3$  mm) ont été légèrement déformées par suite du laminage d'un seul côté, c'est pourquoi les résultats de la mesure des tensions internes ne sont pas suffisamment sûrs pour ces lames.

#### Influence de la tension de montage sur les tensions internes.

Le diagramme 8 montre la répartition des contraintes de traction dans une lame de scie ( $l = 1,255$ ,  $\delta = 140$ ,  $s = 1,7$ ), soumise dans le cadre expérimental à des tensions de 1.500 et 4.500 kg) d'abord dans le cas d'une lame non tensionnée puis dans le cas de la même lame tensionnée ( $f = 0,35$ ). La répartition a été ici encore, déterminée à l'aide des jauges placées au milieu de la lame de scie. On a mesuré la valeur des contraintes de traction seulement dans les parties non laminées de la lame, c'est pourquoi la valeur des contraintes dans les bandes laminées n'est pas indiquée.

DIAGRAMME 7. — Variation de la valeur moyenne de la contrainte de traction en fonction de la courbure transversale de la lame de scie après tensionnage (Flèche «  $f$  » en mm).



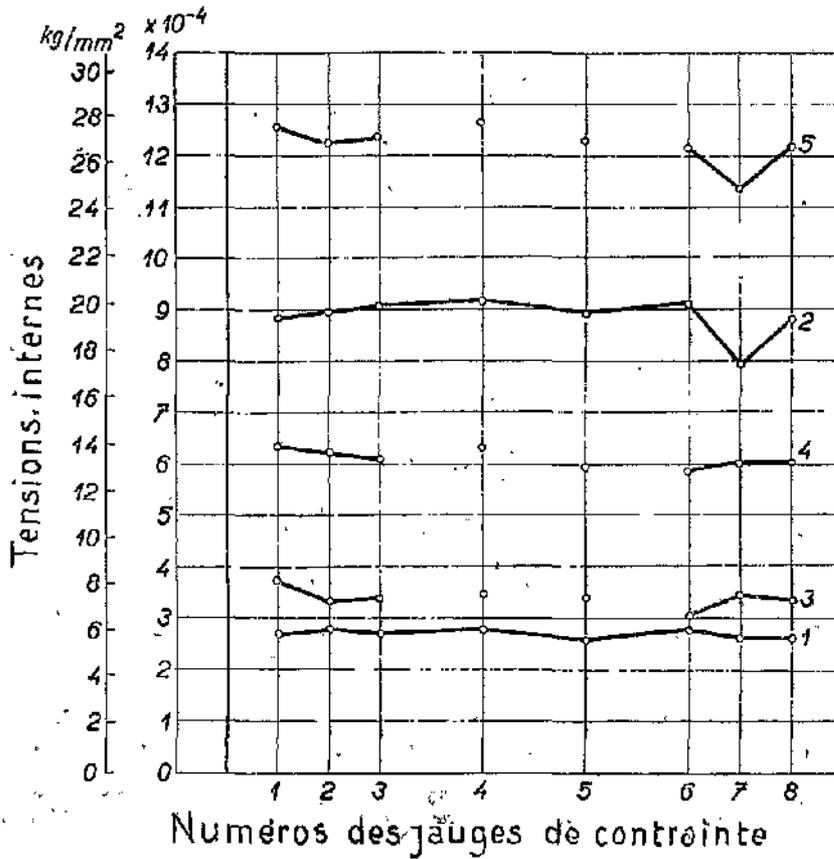


DIAGRAMME 8. — Tensions internes dans les parties non laminées d'une lame de scie (tensionnage  $f = 0,35$  mm).

1. non tensionné — tension de montage 1 500 kg.
2. non tensionné — tension de montage 4 500 kg.
3. tensionné — sans charge.
4. tensionné — tension de montage 1 500 kg.
5. tensionné — tension de montage 4 500 kg.

Pour voir s'il y a lieu de s'attendre à une modification de la répartition des tensions internes dans une lame normalement tendue, on a mesuré d'une part la force exercée à la mise en tension courante d'une lame sur son châssis et, d'autre part, la force maximum que l'on peut atteindre à l'aide de la méthode courante de tension par coin. Les deux forces sont déduites des mesures des contraintes effectuées à l'aide de jauges. De ces mesures il découle que la force dans le châssis est approximativement de 3.600 à 5.000 kg.

Cette force n'est évidemment pas la tension en service. En raison de l'échauffement de la lame de scie au cours du travail la lame s'allonge et la tension baisse. Pour garantir la stabilité nécessaire la lame est retendue après un certain temps de sciage. Après refroidissement de la lame, l'allongement thermique disparaît et est remplacé par un allongement élastique. Il en résulte une importante augmentation des contraintes et par conséquent une augmentation de la tension de montage.

Si nous supposons qu'au cours de la marche la température de la lame atteint 75°C en moyenne ce qui correspond à un échauffement de 55°C,

l'allongement dû à la dilatation thermique est :

$$\frac{\Delta l}{l} = \lambda = \alpha \Delta t = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 55 = 6,05 \cdot 10^{-4} \quad (3)$$

ou  $\alpha =$  coefficient linéaire de la dilatation thermique de l'acier, soit  $11 \cdot 10^{-6}$ ,

$\Delta t =$  l'augmentation moyenne de la température.

Si la lame de scie est retendue à cette température, les contraintes de traction, après refroidissement, augmenteront, si nous supposons un cadre parfaitement rigide de :

$$\Delta \sigma = \lambda t E = 6,05 \cdot 10^{-4} \cdot 2,2 \cdot 10^4 = 13,3 \text{ kg/mm}^2 \quad (4)$$

A cause de l'élasticité du cadre, l'augmentation des contraintes de traction serait en réalité un peu moins forte.

Au cours du sciage il y a encore toute une série d'autres forces qui agissent sur la lame de scie et qui s'ajoutent à la tension de base. Ce sont par exemple des forces d'inertie, l'effort de coupe, les efforts dus à l'avance du bois et d'autres, d'après les résultats de recherches de THONÉLL (1951) ces efforts sont beaucoup

moins importants que ceux qui ont été étudiés plus haut. Si nous considérons donc que dans le cadre on a tendu une lame de scie dont la largeur minimum est de 140 mm et dont l'épaisseur minimum est de 1,7 mm, avec une force de tension de 5.000 kg, dont l'axe est correctement situé vis-à-vis de l'axe de la lame de scie (Lapin, 1951 Orlov/1952) la contrainte de traction, en régime normal causée par :

la force de tension .....	24,3 kg/mm <sup>2</sup>
la retension après l'échauffement de la scie.....	13,3 kg/mm <sup>2</sup>
le laminage de la lame de scie .....	7,0 kg/mm <sup>2</sup>
	<u>44,6 kg/mm<sup>2</sup></u>

ne dépassera donc pas 45 kg/mm<sup>2</sup> environ.

Pour savoir quelle est la tension susceptible de provoquer une déformation plastique de la lame, on a déterminé la limite élastique du matériau utilisé. Ces essais ont été effectués sur une bande d'essai plate découpée dans une des lames et portant une jauge collée. La bande était alternativement tendue et détendue, la charge maximum augmentant à chaque tension. On utilisait une machine pour essais de traction et on déterminait la déformation plastique à l'aide de jauges de contrainte.

Des mesures effectuées, il résulte que le matériau cité pour lequel la charge de rupture est de 130 kg/mm<sup>2</sup> commence à se déformer définitivement pour une tension d'environ 105 kg/mm<sup>2</sup>, la limite élastique étant  $\sigma_{0,05} = 119 \text{ kg/mm}^2$ . \*

### Modification de la répartition des tensions internes résultant des affûtages de la lame.

Par meulage d'une partie déterminée de la lame de scie qui participait à l'équilibre des tensions internes dans une section complète, cet équilibre a été modifié et dans la partie restante de la lame de scie un nouvel équilibre a dû s'installer. La connaissance de la modification des tensions dans la partie restante de la lame permet de déterminer la valeur de la tension qui existait dans la partie enlevée. L'évolution de la valeur des tensions internes dans la zone située à l'arrière de la base des dents a été étudiée sur 3 lames différentes toujours à l'aide des jauges de contrainte et de la façon suivante: on a d'abord découpé la partie centrale de la lame portant les jauges sur une longueur de 400 mm puis de cette partie on a détaché successivement des bandes longitudinales portant chacune une jauge.

Après découpage de chaque bande, on effectuait des mesures sur toutes les jauges restantes.

Le découpage d'une bande de la lame de largeur  $h$  et d'épaisseur  $b$ , dans laquelle il y avait la tension intérieure  $\sigma_a$ , dans la partie restante de la lame de scie, le même effet qu'une force

$$P = \sigma bh \text{ kg} \quad (5)$$

appliquée au centre de gravité de la section de la bande enlevée.

Cette force produit d'une part un moment de flexion,

$$M_0 = P \frac{H+h}{2} \text{ kg/mm} \quad (6)$$

d'autre part une tension normale

$$\sigma_n = \frac{P}{bH} \text{ kg/mm}^2 \quad (7)$$

dans la partie restante de la lame de scie de largeur  $H$  (voir le diagramme 9).

Les contraintes de traction ou de compression maxima dans la fibre marginale causées par le moment de flexion sont égales à

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_0} = P \frac{H+h}{2} \frac{6}{bH^2} \text{ kg/mm}^2 \quad (8)$$

La tension de la bande découpée obtenue en éliminant  $P$  entre (5) et (8) est donc:

$$\sigma = \frac{\sigma_0 H^2}{3h(H+h)} \text{ kg/mm}^2 \quad (9)$$

La détermination de la contrainte dans la bande

\* Suivant le standard français la limite élastique est la charge minimum par mm<sup>2</sup>, qui appliquée pendant 10 secondes ne donne pas un allongement permanent supérieur à 0,2%. La limite élastique donnée ici (60,05) est donc un peu différente de la limite élastique admise en France (60,2)

DIAGRAMME 9. — Schéma de modification des tensions internes dans la section transversale d'une lame de scie après enlèvement d'une bande de largeur « h ».

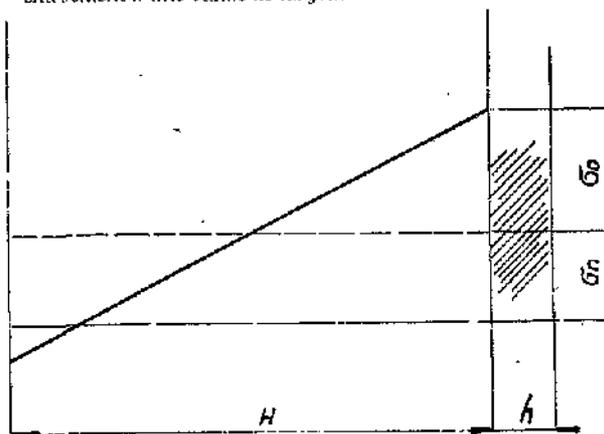
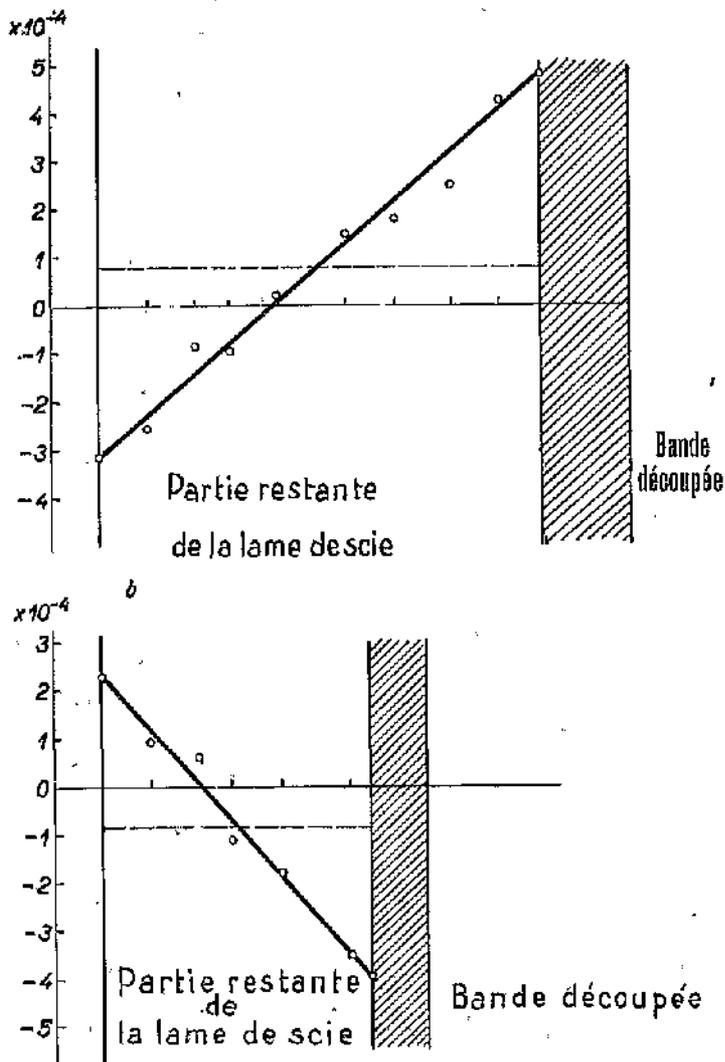


DIAGRAMME 10. — Exemple de modification des tensions internes après enlèvement d'une bande avec contraintes. a) de traction; b) de compression.



découpée à partir du moment de flexion est plus précise que son calcul d'après la tension  $\sigma$ , car cette détermination se fait seulement à partir des valeurs relatives des variations individuelles de tension interne, qui sont loin d'être aussi influencées par les différentes conditions de mesure que les valeurs absolues des grandeurs mesurées.

Le calcul proprement dit a été effectué de la façon suivante : les différences de résistance des jauges avant et après découpage d'une bande donnée ont été portées sur le graphique et reliées par une droite dont l'intersection avec la ligne représentant le bord du reste de la lame de scie, permet de déterminer la valeur de la tension  $\sigma$ . En portant cette valeur et les largeurs correspondantes de la lame de scie dans la formule donnée plus haut, on a calculé la valeur moyenne de la tension dans la bande découpée. Il faut rappeler ici que cette contrainte ne concorde avec la contrainte après tensionnage qu'en ce qui concerne la première bande. Pour les autres bandes on détermine de cette façon la contrainte qui existait avant enlèvement de cette bande, cette contrainte résultait

de la superposition de la contrainte originale et des contraintes provoquées par l'enlèvement des bandes précédentes. On n'obtient donc ainsi non pas la valeur de tension originale juste après tensionnage, mais la valeur effective de la tension dans la bande de la lame qui se trouve juste à l'arrière de la base des dents, tension qui est déterminante pour la rigidité de la lame.

Des exemples de modifications des tensions dans une lame de scie après découpage d'une bande dans les cas de contraintes de traction et de compression sont donnés graphiquement par les diagrammes 10a et 10b.

De ce diagramme on peut extraire les valeurs :

$$\begin{aligned}\sigma_0 &= + 397, E = 8,7 \text{ kg/mm}^2 \\ \sigma^0 &= - 315, E = - 6,9 \text{ kg/mm}^2 \\ \sigma_n &= + 80, E = 1,7 \text{ kg/mm}^2 \\ \sigma_n &= 87, E = - 1,9 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

D'après celles-ci on peut calculer pour :

$$\begin{aligned}H &= 92 \text{ mm} & \bar{H} &= 56 \text{ mm} \\ h &= 18,6 \text{ mm} & \bar{h} &= 11,85 \text{ mm}\end{aligned}$$

La valeur moyenne de la tension interne dans la bande découpée.

$$\sigma = + 11,4 \text{ kg/mm}^2 \quad \sigma = - 9 \text{ kg/mm}^2$$

Un calcul analogue a été effectué après l'enlèvement de chaque bande. Le diagramme 11 donne la valeur des contraintes dans la bande située immédiatement sous la base des dents, en fonction de la largeur restante de la lame de scie, la largeur est comptée à partir du fond du creux de dent.

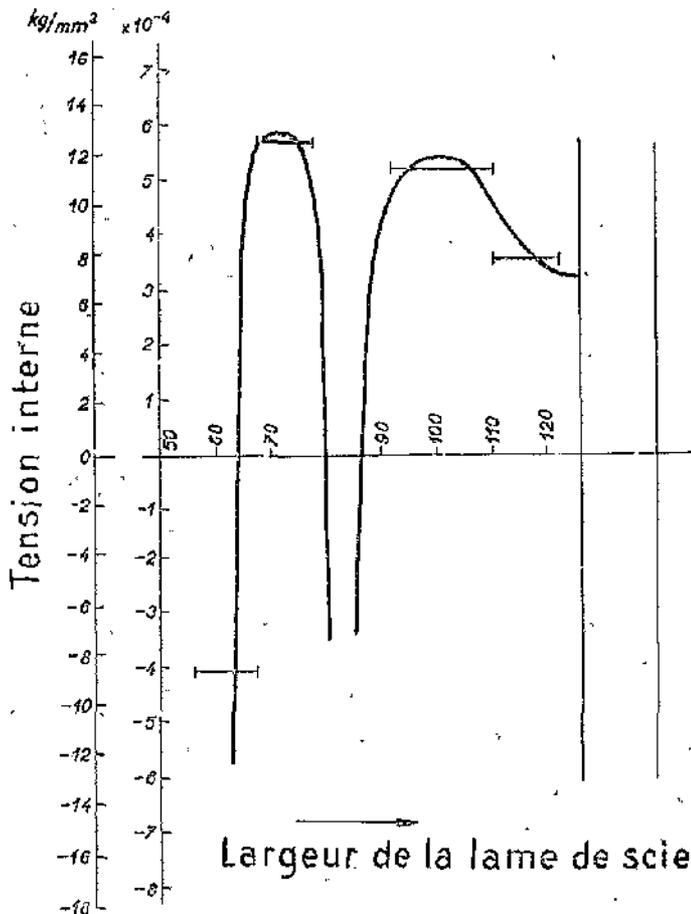


DIAGRAMME 11. — Contraintes dans la bande de la lame située immédiatement en arrière de la base des dents quand, par suite des affûtages, la lame atteint une largeur donnée. (Tensionnage  $f = 0,35 \text{ mm}$ . La hauteur des dents n'est pas comprise dans la largeur).

#### Influence du laminage sur les propriétés de l'acier des lames de scie.

Dans la bande laminée, il y a transformation plastique de l'acier. On peut évaluer l'importance de cette déformation plastique soit d'après l'augmentation de dureté de l'acier, soit en considérant les tensions internes créées par cette déformation plastique.

L'augmentation de dureté a été étudiée à l'aide de mesures de dureté, effectuées soit sur la surface de l'échantillon, soit sur une section de la bande laminée. Ces essais ont montré une légère augmentation de dureté en surface pour les bandes laminées. Dans le cas de la bande la plus déformée l'augmentation atteignait environ 20 unités Vickers. Pour faire ressortir le plus possible l'augmentation de dureté superficielle, cet essai était effectué avec une charge de 5 kg ( $HV_5$ ). Aucune augmentation de dureté n'a été observée au milieu de l'épaisseur de la lame dans les bandes laminées. L'augmentation, si elle existe, a été complètement masquée par la dispersion normale des résultats de mesures.

La connaissance des contraintes qui sont créées dans la lame peut aussi permettre d'apprécier l'importance de la déformation plastique provoquée par le laminage. La bande déformée plastiquement est intimement liée aux bandes qui n'ont pas été déformées par laminage.

L'allongement permanent de cette bande impu-

table au laminage doit donc être égal à la somme de l'allongement élastique de la partie non laminée de la lame et du raccourcissement élastique de la bande laminée. La déformation élastique est liée aux contraintes internes suivant la formule :

$$\lambda = \frac{\sigma}{E} \quad (10)$$

Si nous supposons que le maximum de différence entre la contrainte de compression dans la bande laminée et la contrainte de traction dans le reste de

la lame est de 60 kg/mm<sup>2</sup> et que le module d'élasticité est :  $E = 2,2 \cdot 10^4$  kg/mm<sup>2</sup>, on voit que la déformation plastique de la bande est :

$$\lambda = \frac{60}{2,2 \cdot 10^4} = 3,0 \cdot 10^{-3} = 0,3 \%$$

Pour une déformation plastique aussi petite, il n'y a pas à prévoir une augmentation de dureté susceptible de modifier beaucoup les propriétés mécaniques de l'acier, ou éventuellement de provoquer des difficultés lors du traitement ultérieur des dents.

## DISCUSSION

Le diagramme 1 montre qu'une diminution d'épaisseur de la lame de 0,2 mm dans les conditions données entraîne à peu près la même perte de rigidité qu'une diminution de tension de montage de 500 kg, bien que la tension en Kg/mm<sup>2</sup> se trouve augmentée. On peut dire que plus une lame de scie est mince, plus il faut la tendre fortement pour atteindre la rigidité nécessaire à son travail. L'augmentation de la tension de montage se traduirait par un excès de charge des montants du châssis avec toutes ses conséquences connues. Une diminution de l'épaisseur des lames de scie, à conditions techniques d'emploi égales, entraîne donc une diminution de production des châssis. Si on veut diminuer l'épaisseur des lames de scie, il faut donc choisir des mesures susceptibles de compenser la diminution de rigidité.

Une des mesures qui permet d'augmenter la rigidité de la lame est précisément, comme l'ont prouvé les essais (diagramme 2), la diminution de longueur libre. Ces mesures montrent qu'une diminution de longueur libre de 20 cm permet d'atteindre, toutes autres conditions restant égales, la même stabilité qu'une augmentation de tension de montage de 1 500 kg environ. Pour diminuer la longueur libre, il est commode d'utiliser un dispositif à hauteur réglable. Ce dispositif doit être conçu de telle sorte que le changement de sa position en hauteur et le changement des lames soient faciles et rapides.

La largeur de la lame de scie participe aussi dans une certaine mesure à sa rigidité (diagramme 3) mais on ne peut pas tirer parti de ce facteur dans les conditions normales, car du fait des affûtages successifs, la largeur diminue constamment. L'augmentation de la rigidité sous l'effet de la diminution de la largeur de la lame peut être expliquée d'une part par l'augmentation des contraintes pour les largeurs plus petites et d'autre part par la diminution du moment de flexion appliqué à la section transversale de la lame. Nos recherches montrent donc que, toutes autres considérations mises à part, la tension de montage devrait être choisie en fonction de la diminution de largeur de la lame, qui résulte des affûtages successifs. Ceci afin d'éviter de surcharger inutilement les montants du châssis ou

même de les déformer, et aussi de surcharger inutilement la lame.

Le diagramme 4 montre que la rigidité de la lame est directement proportionnelle au degré de tensionnage. Mais il faut rappeler que le degré optimum de tensionnage, c'est-à-dire le degré maximum de laminage qu'il est possible de faire subir à une lame de scie sans qu'elle se voile, dépend surtout des caractéristiques de la lame, c'est-à-dire de sa dureté et de son épaisseur. On en trouve une preuve dans le fait que pour les lames d'essai de 1,2 mm d'épaisseur, on n'a pas réussi à atteindre une courbure transversale donnant une flèche de 0,2 mm sans que la lame ne se voile. La forme et la position des attaches ont une grande importance en ce qui concerne le parti que l'on peut tirer de différents degrés de tensionnage en vue d'atteindre une rigidité plus élevée.

Le laminage des bandes individuelles dans la partie centrale de la lame entraîne une déformation plastique de ces bandes, c'est-à-dire un allongement permanent. La bande laminée étant intimement liée au reste du matériau, celui-ci s'oppose à son allongement, et c'est ainsi que naissent des tensions internes. Dans la bande laminée et dans son voisinage immédiat il y aura des contraintes de compression, dans les bandes non laminées des contraintes de traction. La valeur de ces contraintes dépend surtout de l'importance de la déformation plastique des bandes individuelles au cours du laminage et du rapport des surfaces des parties laminées et non laminées de la lame.

Les diagrammes 6a et 6b montrent bien que toutes les contraintes de compression sont concentrées dans les bandes laminées et qu'elles atteignent des valeurs importantes (20 à 50 kg/mm<sup>2</sup>), tandis que dans les bandes non laminées il existe des contraintes de traction assez uniformes dont la valeur varie de 3 à 10 kg/mm<sup>2</sup> selon le degré de laminage.

Le degré de tensionnage est dans la pratique courante défini par la flèche de la section transversale de la lame quand celle-ci est courbée longitudinalement suivant un rayon donné (figure 1).

Cette courbure longitudinale de la lame de scie provoque une libération partielle des tensions internes de chaque bande. Les bandes centrales,

sujettes en majeure partie à des contraintes de compression, s'allongent un peu, si bien qu'elles forment un arc un peu plus grand, tandis que les bandes dans lesquelles les contraintes de traction prédominent. (les rives de la lame) se rétractent et forment un arc plus petit. Ceci explique pourquoi la lame prend une courbure dans le sens transversal.

La relation entre la flèche de la section transversale et la valeur moyenne des contraintes de traction dans les parties non laminées de la lame est donnée par le diagramme 7. La forme de cette courbe montre nettement que la relation est pratiquement linéaire tant que la flèche ne dépasse pas 0,25 à 0,3 mm.

Les résultats des mesures de la rigidité des lames de scie (diagramme 4), montrent que la linéarité est conservée jusqu'à  $f = 0,4$  mm. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les essais ont été réalisés avec des lames de scie différentes pour lesquelles les limites de tensionnage possible n'étaient pas les mêmes en raison de l'influence des dimensions de la lame, de la technique de laminage et de la nature de l'acier. Le fait qu'en déterminant les tensions internes dans la lame, dans le cas où  $f = 0,35$  mm par la méthode d'enlèvement de bandes (figure 10b) on a trouvé une contrainte moyenne de traction de  $10 \text{ kg/mm}^2$ , donc une valeur correspondant à une variation linéaire en fonction de  $f$ , est un indice du manque de précision des déterminations des tensions internes par variation de résistance des jauges avant et après le laminage de la lame dans le cas où le tensionnage est poussé jusqu'à la limite acceptable.

L'importance du tensionnage des lames de scie tient au fait que les contraintes de traction dans les rives de la lame, provoquées par le laminage, s'ajoutent aux contraintes dues à la tension de montage au moment de la mise en tension dans le châssis. La tension est alors plus forte dans ces parties non laminées de la lame que celles qui résulteraient de la tension de montage seule, la rigidité de la lame est donc augmentée.

Nos essais ont montré que les tensions internes provoquées par le laminage de la lame pour  $f = 0,35$  mm entraînent sur les rives une augmentation des contraintes de traction telle qu'il faudrait augmenter la tension de montage de 1 600 kg environ, comme le montre le diagramme 8, pour obtenir le même effet sur une lame non tensionnée.

Une 2<sup>e</sup> distribution des tensions internes pour une lame de scie tensionnée ne pourrait se produire que si les contraintes imposées à la lame de scie en service entraînaient un dépassement de la limite élastique de l'acier, ou, si au cours du travail l'échauffement de la lame devenait assez important pour permettre une libération des tensions (libération qui ne peut se produire que par un maintien prolongé à haute température).

Si on compare le niveau le plus élevé des con-

traintes tels que nous l'avons établi au paragraphe « Influence de la tension de montage sur les tensions internes » à la limite élastique que nous avons déterminée, nous voyons que ce niveau de contraintes en marche normale est, dans le cas choisi, égal à peu près à la moitié de la limite élastique de l'acier utilisé. Dans ces conditions il n'y a donc pas de raisons pour qu'une déformation plastique de l'acier se produise ni par conséquent une modification des tensions au cours du travail. La température atteinte en service normal est aussi beaucoup plus basse que la température à laquelle une relaxation peut se produire pour un tel acier.

Une augmentation importante des contraintes de traction dans la lame peut être due au contraire, par exemple, à une diminution importante de l'épaisseur ou de la largeur de la lame de scie, à une position incorrecte des attaches par rapport à l'axe de la lame de scie, à un mauvais enlèvement des lames de scie du châssis à l'occasion d'un changement de lames, à une augmentation exagérée de la tension de montage, etc...

Une redistribution des tensions peut se produire si la lame de scie s'échauffe beaucoup trop en raison d'un travail defectueux.

Au cours des défouçages successifs et des affûtages de la lame la répartition des contraintes se modifie. Puisque pour la rigidité de la lame de scie c'est la tension au voisinage des dents qui joue le plus grand rôle, nous avons examiné la valeur des tensions internes dans la partie située immédiatement derrière la denture. Les variations de cette tension sont indiquées sur le diagramme 11.

La forme de la courbe tracée sur ce diagramme montre qu'au cours de l'affûtage d'une lame de scie tensionnée les contraintes de traction augmentent dans les fibres qui se trouvent en arrière de la denture jusqu'à ce que la meule attaque la première bande laminée. Les contraintes de compression qui étaient dans cette première bande laminée n'ont pas été complètement éliminées par le jeu de l'évolution des tensions internes au cours des affûtages successifs, on peut cependant supposer qu'elles ont été fortement réduites, surtout dans la première bande à partir de la denture. Après meulage de cette bande les contraintes de traction augmenteraient et dépasseraient même la valeur maximum des contraintes de traction qui existaient initialement en avant de la bande laminée, mais lors d'un sciage effectué avec une lame de scie dans laquelle il y aurait à la base des dents des contraintes de compression, les dents se trouveraient fortement relâchées et un fonctionnement très defectueux pourrait avoir lieu.

Il résulte de ces considérations que dans des conditions normales d'entretien et de travail des lames de scies un retensionnage de la lame doit se faire seulement au moment où la meule est sur le point d'attaquer la première bande laminée.