

FR 202204

Journées de printemps: chocs et vibrations. Lyon, France
13-15 juin 1978

CEA-CONF-4383

**DETERMINATION DES COURBES DE TRACTION DE L'ACIER
INOXYDABLE Z03 CN18-10 HYPERTREMPE, EN DEFORMATION
RAPIDE**

B. VRILLON

RESUME

Les résultats d'essais de comportement dynamique des métaux sont assez rares et souvent inutilisables par l'ingénieur, lorsqu'ils existent.

Nous présentons ici des essais de traction à vitesses constamment décroissantes, effectués à température ambiante.

Ce type d'essai doit conduire à une meilleure évaluation du comportement des structures soumises à des chocs, car dans ce cas les vitesses de déformation évoluent d'une valeur instantanée très élevée à une valeur nulle.

SUMMARY

Tests results on the dynamic behaviour of metals are rather rare and often unuseful by the mechanical engineer, when they exists.

We present here tensile tests at constant decreasing speeds, made at room temperature.

This type of test can give a better evaluation of the structure behaviour in shock or burst loadings, because in that cases the elongation speeds varies from high values to zero.

1 - INTRODUCTION

On sait que les caractéristiques mécaniques des métaux varient avec les vitesses de déformation auxquelles on les soumet. Les renseignements chiffrés concernant ces variations de caractéristiques sont toutefois assez rares.

On comprend que cette situation soit embarrassante pour l'ingénieur qui doit effectuer par exemple des calculs de comportement de structures soumises à des chocs ou à des déformations rapides de type explosions. Le problème se complique encore lorsqu'on veut connaître l'effet des vitesses de déformation sur des matériaux irradiés.

Les quelques informations disponibles sont soit trop générales pour une application précise [1] soit relatives à un domaine restreint, donnant de nombreux résultats, intéressants d'un point de vue documentaire, mais inexploitable en pratique [2] [3].

Ce dont l'ingénieur a besoin c'est de connaître la courbe de traction (contrainte/déformation) obtenue à différentes vitesses de déformations et différentes températures.

Une caractéristique des résultats disponibles est qu'on s'arrange généralement pour avoir, au cours des essais de traction rapide, des vitesses de déformation relativement constantes. En fait, pour l'étude des problèmes de chocs, on a besoin de la courbe de traction à vitesse variant entre la vitesse d'impact et une vitesse nulle.

Toutes ces raisons nous ont conduits à entreprendre des essais de caractérisation d'acier en déformation rapide, permettant de disposer directement des courbes de traction à

vitesse décroissante depuis la valeur instantanée à l'impact jusqu'à une valeur faible.

2 - METHODE ET APPAREILLAGE UTILISES

Les essais ont été effectués sur éprouvettes de traction de diamètre 6 millimètres et de longueur calibrée 36 mm. Les têtes d'ancrage sont filetées (figure 1).

Ces éprouvettes sont soumises au choc d'une masse chutante dans un tube vertical.

L'effort de traction est obtenu à partir du choc sur une pièce de réception, à l'aide d'un dispositif de transmission à 3 doigts dont le principe est représenté sur la figure 2.

Le plan de l'appareillage est donné par la figure 3 et on peut voir sur la figure 4 une photographie de l'ensemble du réceptacle.

L'énergie à l'impact est ajustée en agissant sur la hauteur de chute des masses et sur la valeur des masses elles-mêmes, pour obtenir une énergie légèrement supérieure à l'énergie nécessaire à la rupture.

L'énergie résiduelle de l'ensemble masse chutante - support d'éprouvette est absorbée par un cylindre de plomb fonctionnant en écrasement axial.

Les essais sont exécutés en air et à température ambiante.

3 - MESURES

Les deux paramètres essentiels à mesurer sont :

- l'effort de traction en fonction du temps,
- l'allongement de l'éprouvette en fonction du temps,
- la vitesse d'impact des masses.

3.1 - Effort

Cette mesure est faite au moyen de 3 capteurs piezo-électriques disposés à 120° autour de l'éprouvette et raccordés en parallèle à un amplificateur de charges. Ces capteurs sont précontraints.

3.2 - Allongement de l'éprouvette

Cette grandeur est obtenue en mesurant le déplacement de l'ancrage mobile de la tête d'éprouvette. On utilise à cet effet un capteur optique qui délivre une tension électrique proportionnelle au déplacement d'une mire fixée sur l'équipage mobile.

3.3 - Vitesse d'impact des masses

Il est nécessaire de mesurer cette grandeur pour chaque essai car il existe des forces de frottement importantes des masses dans le tube de guidage.

Le principe employé ici est la mesure du temps de parcours d'une distance de 100 mm, par les masses chutantes immédiatement avant l'impact. Mesure effectuée soit par coupure de contacts électriques (cassure de conducteurs en graphite) soit par coupure de faisceaux lumineux.

On peut vérifier cette grandeur, approximativement en traçant la tangente à l'origine de la courbe d'allongement de l'éprouvette.

4 - ENREGISTREMENT - DEPOUILLEMENT

Les trois grandeurs précédentes sont enregistrées sur un enregistreur magnétique à voies modulées en fréquence.

Ces enregistrements sont lus à l'aide d'un capteur de transitoire à mémoire, à plusieurs voies, qui permet de tracer sur table traçante ces grandeurs en fonction du temps ou par exemple, l'effort en fonction de l'allongement.

L'intégration graphique de cette courbe donne l'énergie absorbée au cours de la rupture de l'éprouvette.

5 - RESULTATS OBTENUS

Le programme expérimental portait sur environ 30 essais de traction rapide sur acier inoxydable austénitique à bas carbone, désignation 203 CN18-10 hypertrempé.

La caractérisation en traction lente de cet acier a été faite sur les mêmes éprouvettes que celles utilisées en traction rapide, à l'aide d'une presse INSTRON.

5.1 - Evolution de l'effort en fonction du temps

Un exemple typique de l'évolution de l'effort est donné par la figure 5. On observe une courbe moyenne ressemblant à une courbe de traction lente, à laquelle se superpose une oscillation à fréquence élevée (3000 à 5000 Hz).

Ce phénomène a été remarqué sur la plupart des essais de ce genre [1] [3]. Il est dû à la mise en vibration de l'ensemble montage-capteur d'effort, par le choc. C'est en quelque sorte un "sonnage". On peut modifier les caractéristiques de ce parasite en agissant sur la rigidité du système. Il semble difficile de l'éliminer complètement par des moyens purement mécaniques.

Nous avons éliminé cette vibration en filtrant électriquement les signaux à 1400 Hz. Le critère retenu pour adopter cette fréquence de coupure a été de conserver la même pente aux courbes de traction lente et rapide dans le domaine élastique (module d'élasticité identique).

Ce traitement du signal est parfaitement justifié dans la mesure où nous avons vérifié que l'énergie de rupture de l'éprouvette, calculée par intégration des diagrammes contrainte-déformation, obtenus à partir de différents filtrages, ne variait pas avec la valeur de la coupure.

5.2 - Evolution de l'allongement en fonction du temps

Une courbe de déplacement de la tête mobile de l'éprouvette est représentée sur la figure 7.

La forme de cette courbe peut surprendre. En fait elle s'explique par l'étude du comportement dynamique du dispositif d'essai.

Si on désigne par M la valeur de la masse chutante par V_0 sa vitesse à l'impact et par V sa vitesse après l'impact.

Si on désigne de même, par m la masse de l'ensemble mobile du dispositif et par v sa vitesse après l'impact, on démontre facilement en appliquant les théorèmes de la conservation de l'énergie et de la conservation de la quantité de mouvement que :

$$v = \frac{2V_0}{1 + \frac{m}{M}} \quad V = V_0 - \frac{m}{M} v \quad (\text{choc élastique})$$

Si m est du même ordre de grandeur que M , la vitesse de m sera sensiblement égale à V_0 immédiatement après le choc.

Si, par contre, m est beaucoup plus petit que M (c'est le cas ici) la vitesse de m après le choc sera plus grande que V_0 .

Nous pouvons vérifier cette hypothèse.

Pour l'essai n° 11 dont la courbe de déplacement est représentée sur la figure 7 nous avons :

$$V_0 = 5 \text{ m/s} \quad m = 2,2 \text{ Kg} \quad M = 41,5 \text{ Kg}$$

$$v = \frac{2 \times 5}{1 + \frac{2,2}{41,5}} = 9,5 \text{ m/s} \quad V = 5 - \frac{2,2}{41,5} \times 9,5 = 4,5 \text{ m/s}$$

Nous avons mesuré $v = 9,8 \text{ m/s}$.

La rupture de l'éprouvette s'effectue donc en deux temps : le réceptacle part, au moment du choc, à une vitesse supérieure à la vitesse d'impact mais la résistance de l'éprouvette ralentit progressivement l'équipage mobile.

Les essais sont donc caractérisés par deux vitesses de déformation :

- une vitesse initiale,
- une vitesse moyenne.

5.3 - Courbe contrainte-déformation

Un échantillonnage des courbes obtenues en rupture dynamique est représenté sur la figure 8.

Sur ces courbes l'allongement mesuré est rapporté à la longueur calibrée de l'éprouvette pour donner le taux de déformation.

La vitesse de traction indiquée est la vitesse maximum mesurée sur la courbe d'allongement immédiatement après l'impact.

On peut remarquer que pour les gammes de vitesses considérées l'allongement à rupture est réduit de 15 à 28 %, les courbes de traction sont fortement relevées pour des taux de déformation compris entre 0 et 30 %.

La résistance à la rupture est peu modifiée.

Le tableau I groupe quelques résultats qui donnent notamment la variation des vitesses de déformation au cours des essais.

Nous avons déterminé, à partir des courbes contrainte-déformation, le rapport des énergies absorbées en dynamique par rapport à l'énergie absorbée en traction lente, pour un allongement donné (figure 9).

On peut constater que dans tous les cas l'énergie absorbée en dynamique est supérieure à celle absorbée en traction lente, pour des taux de déformation compris entre 0 et 50 %. L'énergie à rupture en traction lente est toutefois supérieure à l'énergie absorbée en dynamique en raison de la réduction d'allongement à rupture pour les ruptures dynamiques.

6 - COMMENTAIRES

Les essais que nous présentons ici ont un caractère essentiellement technologique, ils sont destinés à des applications pratiques telle que l'introduction de la loi de comportement d'un matériau dans des calculs de chocs sur structures par la méthode des éléments finis.

Les résultats que nous avons obtenus ne sont qu'une première approche imparfaite d'un travail qui se poursuit.

Il faut bien noter que la propagation des déformations plastiques s'effectue de telle sorte que la vitesse de déformation varie tout au long des éprouvettes, de valeurs très basses à des valeurs très élevées. On ne considère ici que le résultat global de ce phénomène.

Ce type d'essai de caractérisation des métaux en traction à vitesse variable, constamment décroissante, devrait permettre de mieux rendre compte du comportement des structures soumises à des chocs.

TABEAU I

N° de l'essai	Vitesse max de traction	Vitesse moyenne	Vitesse finale	Allongement & rupture	Vitesses de déformation
Unité	m/s	m/s	m/s	%	s ⁻¹
20	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	66	2,7 10 ⁻⁴
11	9,8	3	1,7	56	272 & 47
14	13,6	3,6	1,4	56	377 & 39
28	13	7,4	3,8	54	361 & 106
26	16,1	7,8	4,7	48	447 & 130

REFERENCES

- [1] D.S. CLARK and D.S. WOOD
"The tensile impact properties of some metals and Alloys"
Transaction of the ASM - 1950 - Vol.42 p.45-74
- [2] J.M. STEICHEN
"High strain rate mechanical properties of type 304 and 316 stainless steel"
Rapport HEDL - TME 71 - 164 - Novembre 1971.
- [3] J.M. STEICHEN and M.M. PAXTON
"The effect of strain rate on the mechanical Properties of austenitic stainless steels
Rapport HEDL - TME 71 - 56 - May 1971.

ILLUSTRATIONS

- Figures 1 - Eprouvette de traction.
- 2 - Schéma de principe du dispositif de transmission de l'effort d'impact à la tête de l'éprouvette de traction.
- 3 - Plan de l'appareil d'essai de traction rapide.
- 4 - Photographie de l'appareil de traction rapide.
- 5 - Evolution de l'effort en fonction du temps.
- 6 - Effet du filtrage sur la forme de la courbe de l'effort.
- 7 - Evolution de l'allongement en fonction du temps.
- 8 - Courbes de traction dynamique.
- 9 - Rapport des énergies absorbées en dynamique et en traction lente.

EPROUVETTE DE TRACTION

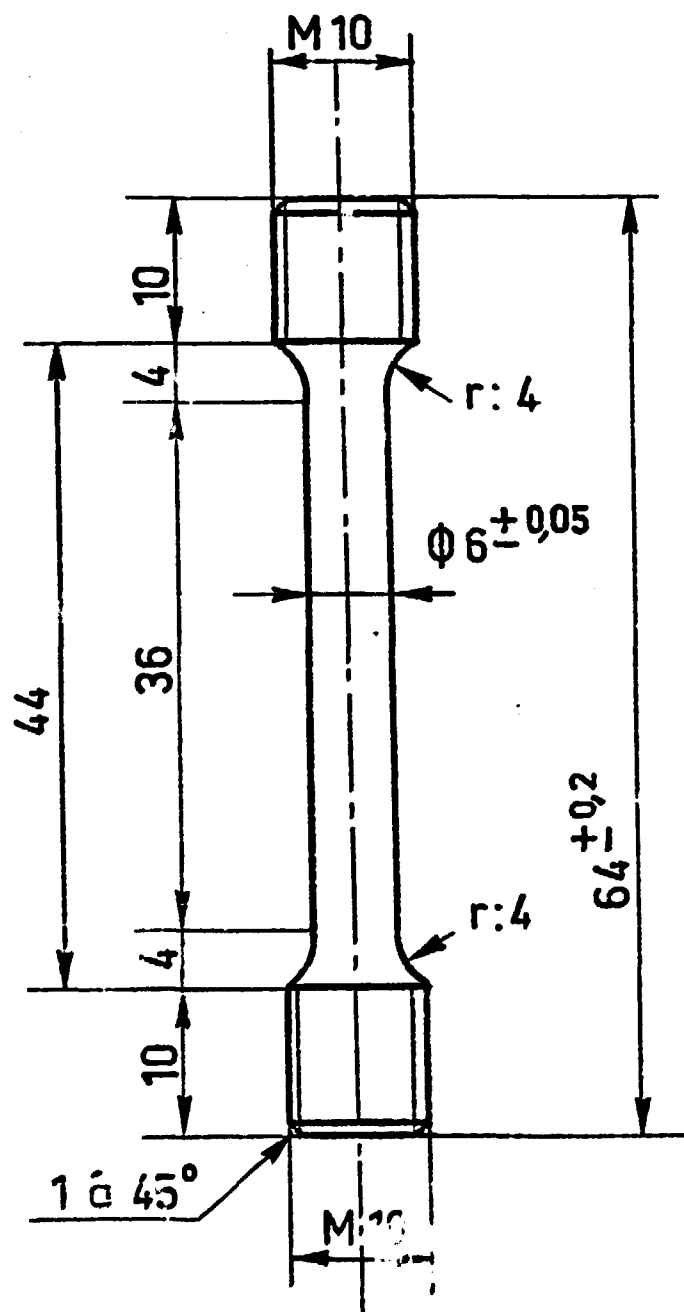
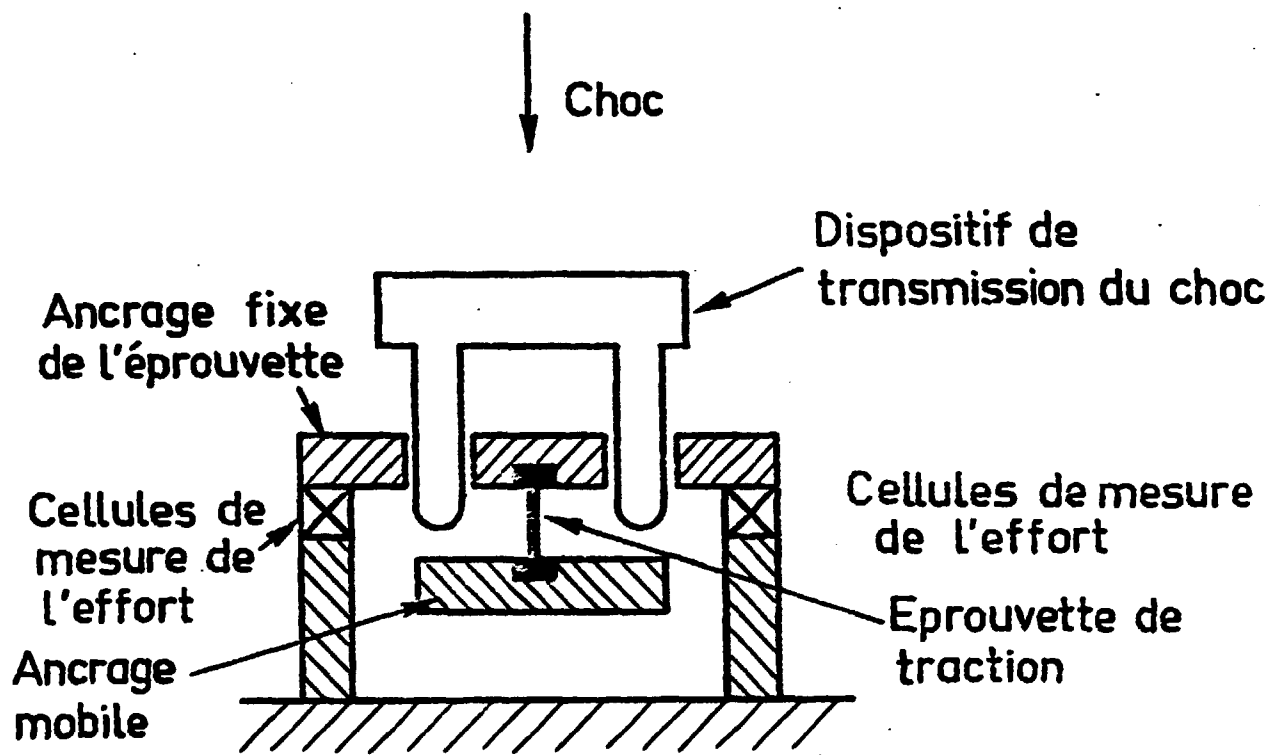


FIG.1



**SCHEMA DE LA MACHINE D'ESSAI
DE TRACTION RAPIDE**

FIG. 2

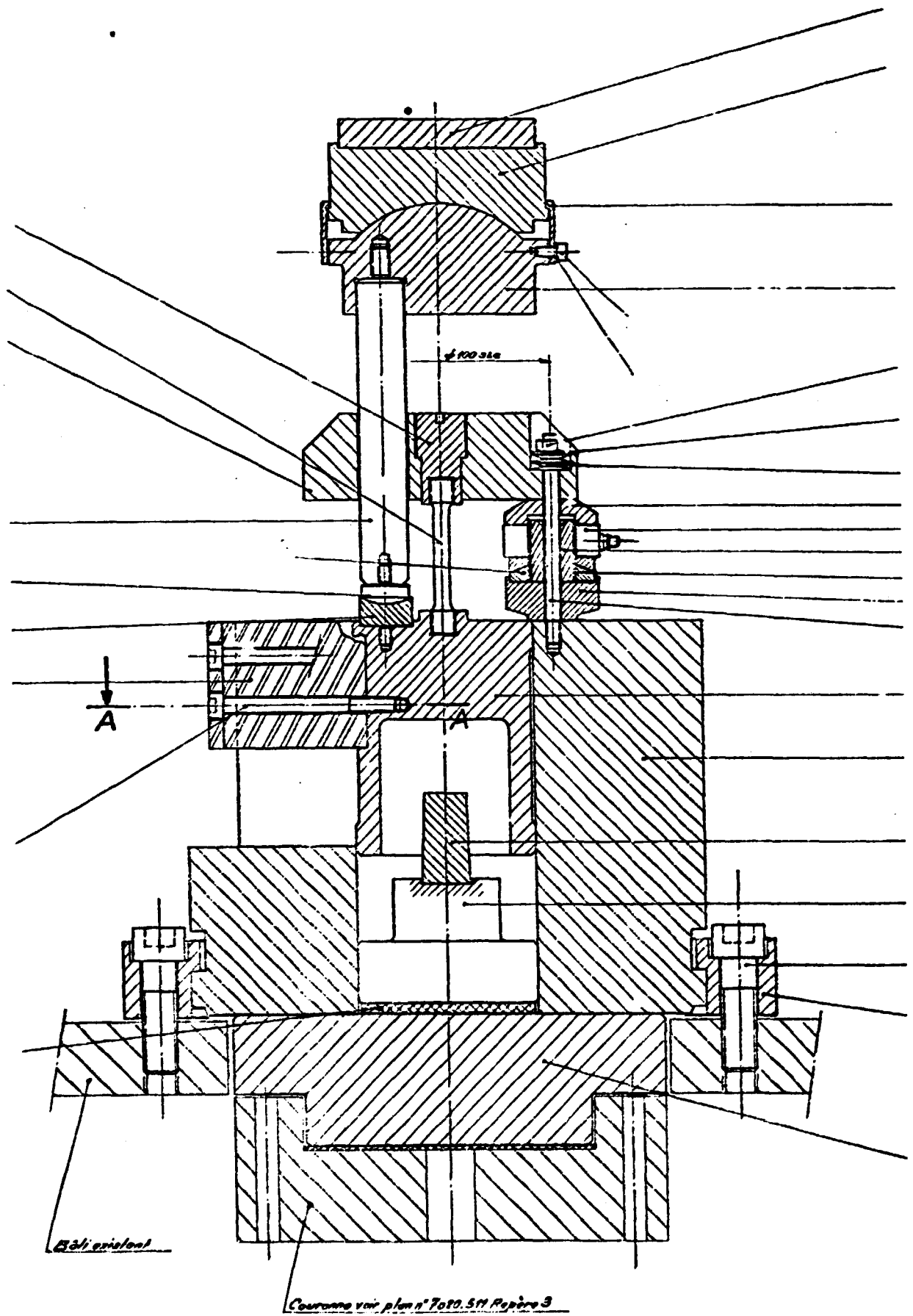


FIG. 3

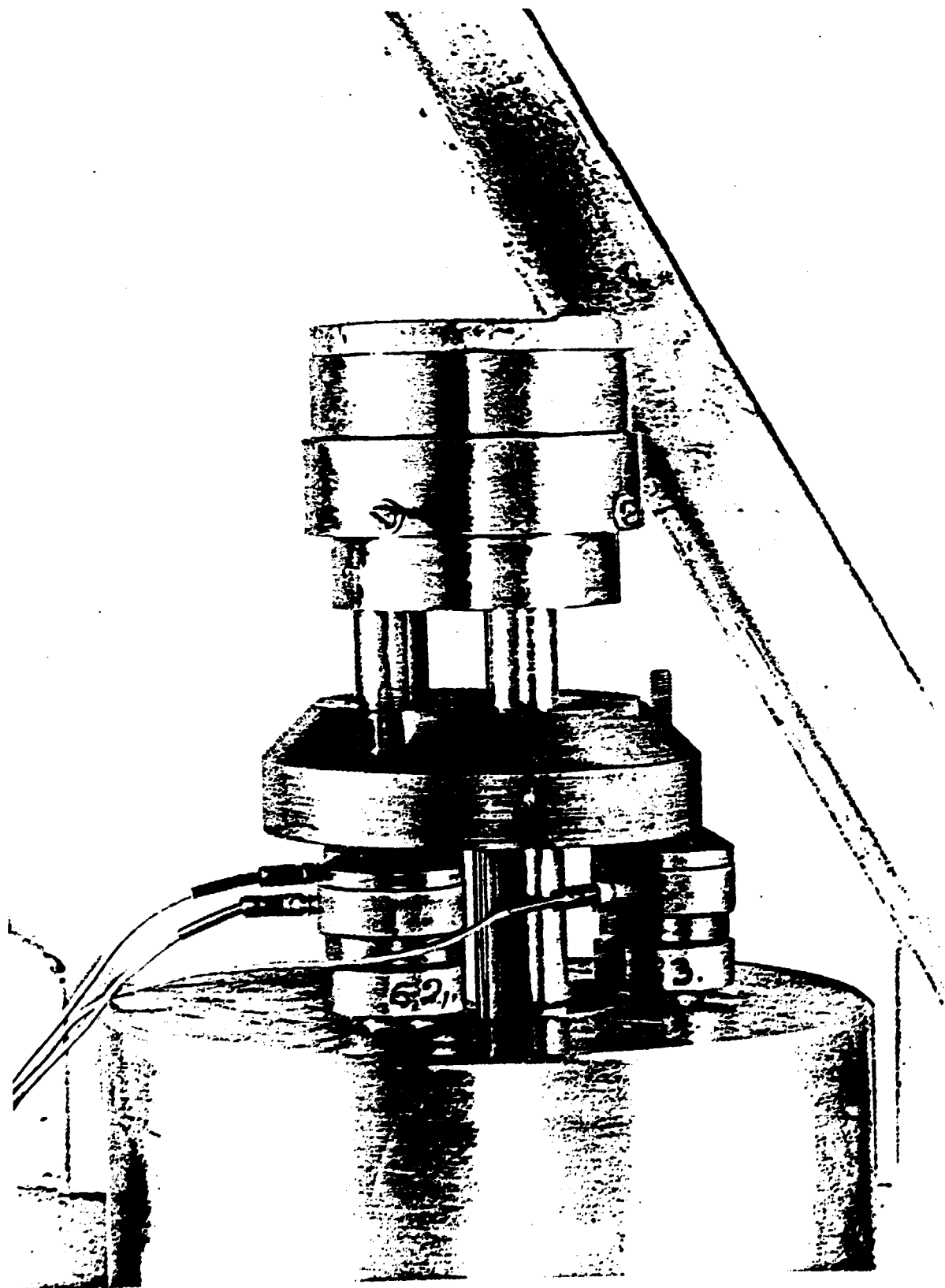
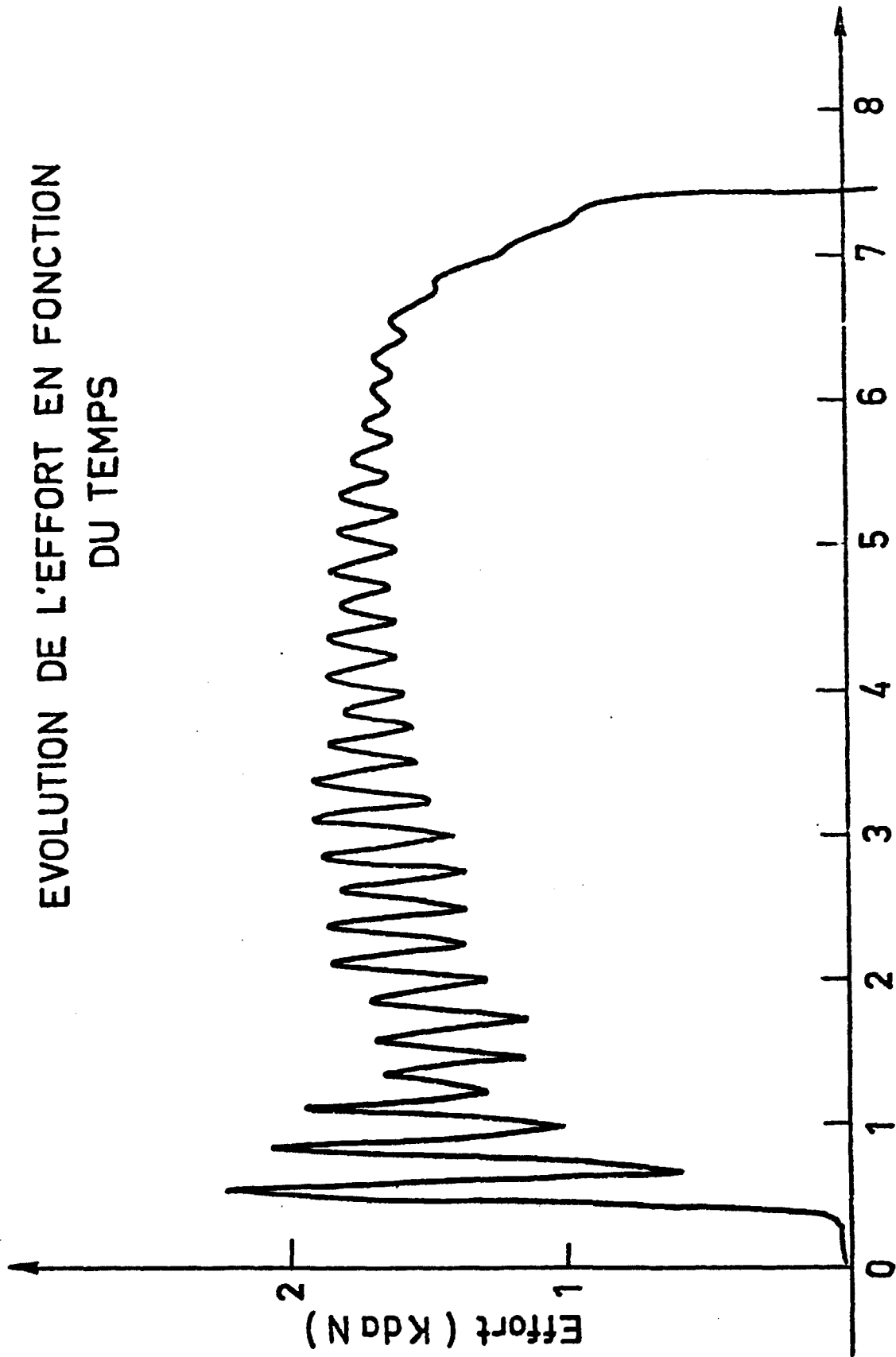


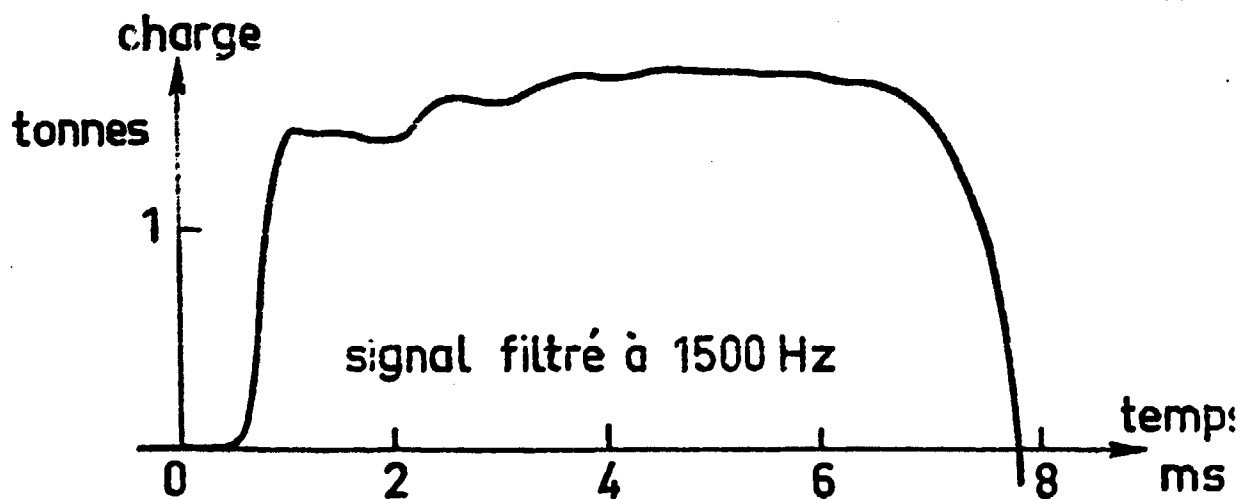
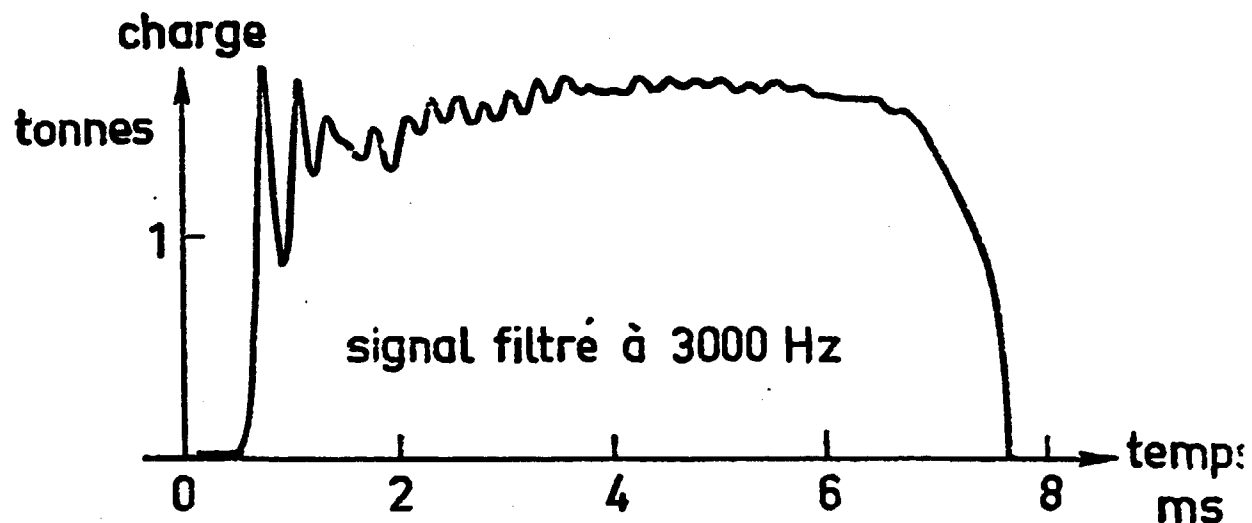
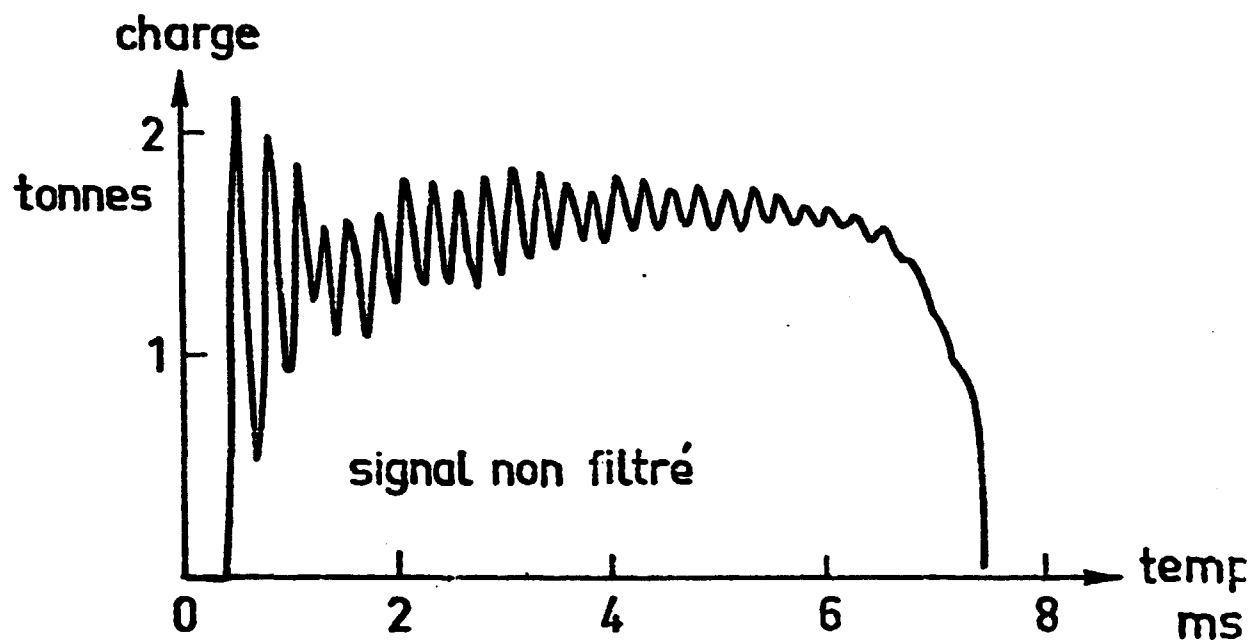
FIG. 4

EVOLUTION DE L'EFFORT EN FONCTION
DU TEMPS



Temps

FIG.5



EFFET DU FILTRAGE SUR LA FORME
DE LA COURBE DE L'EFFORT

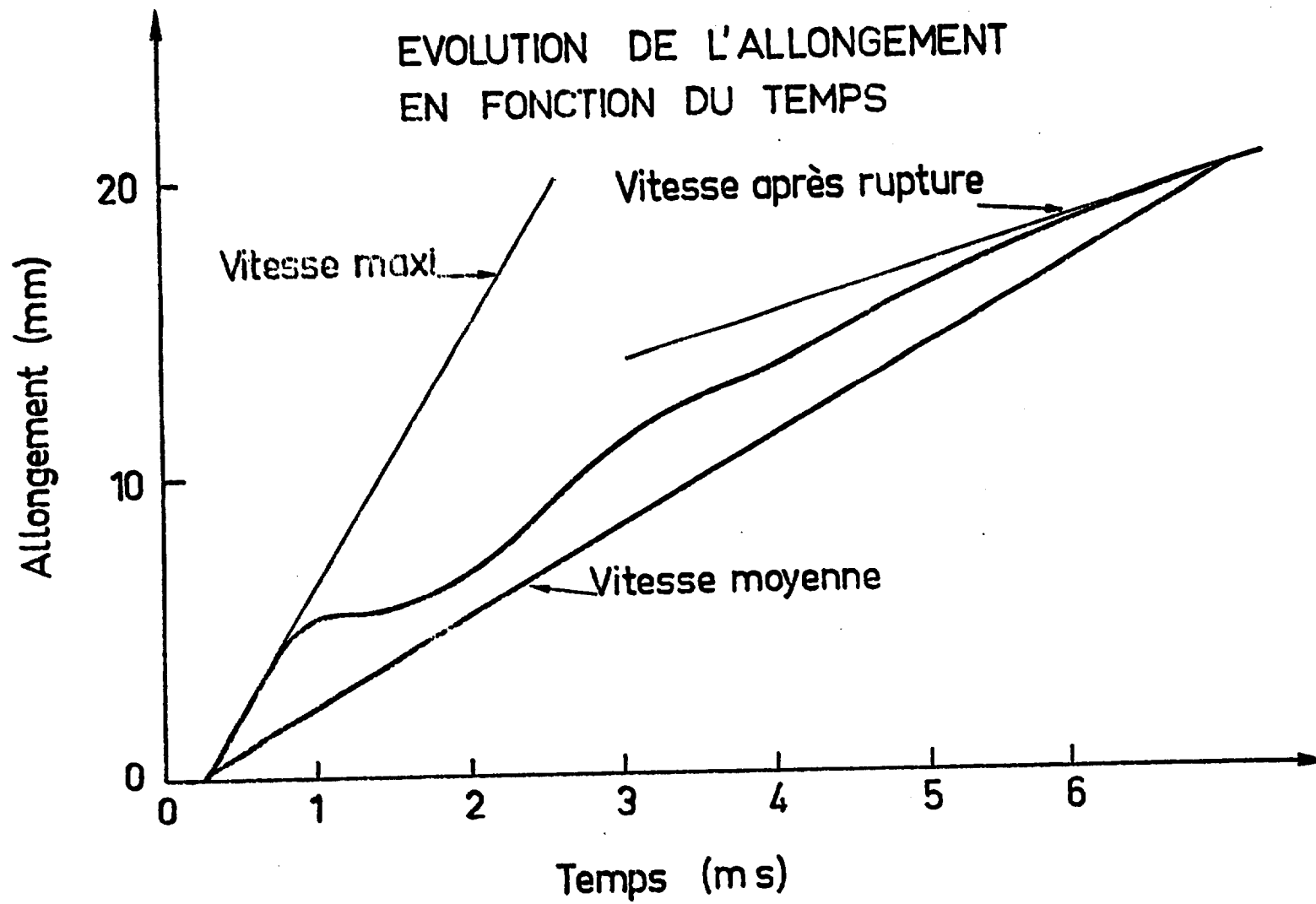
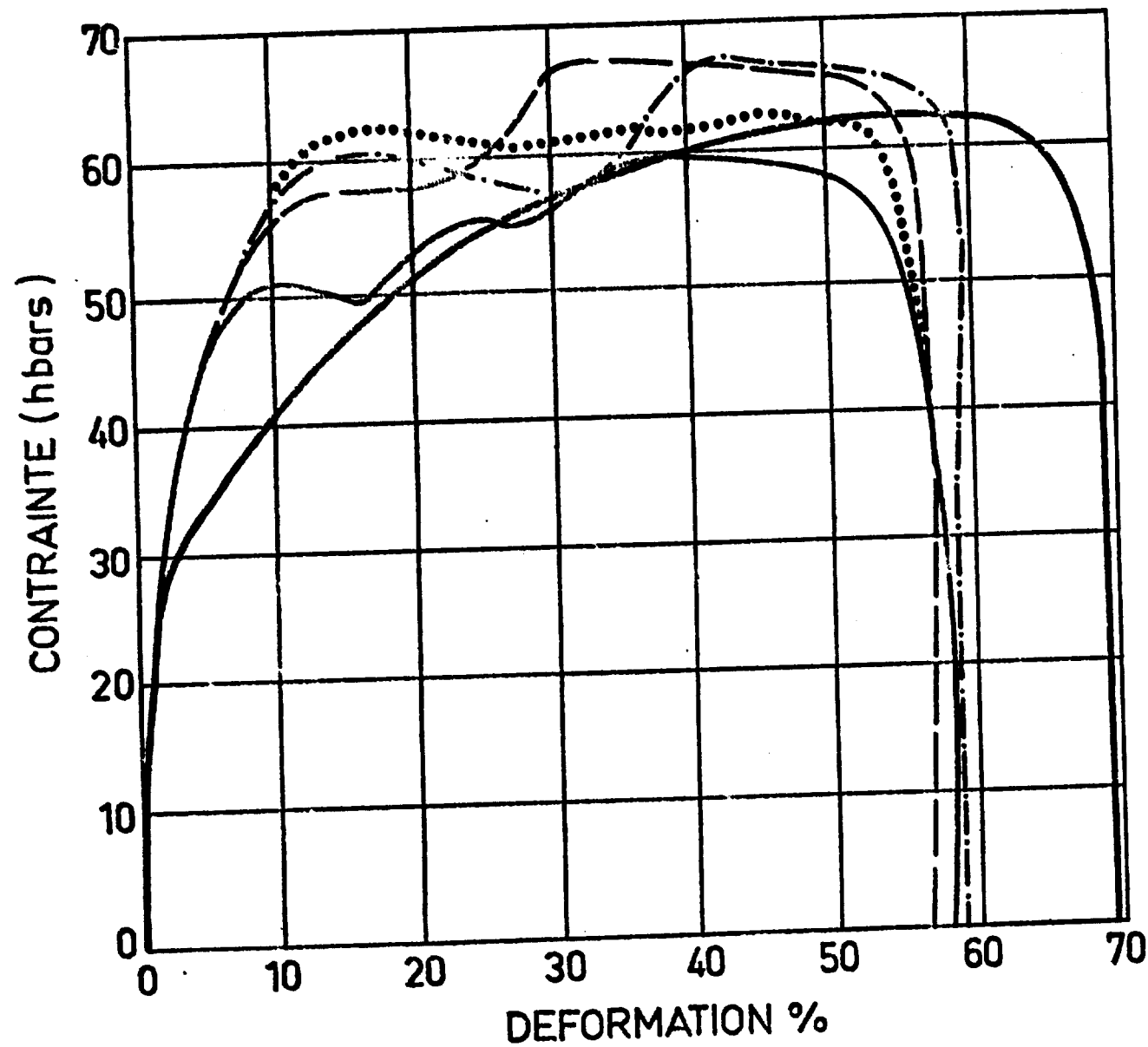


FIG. 7



Vitesse de traction à l'impact

- 10^{-5} m/s
- 9,8 m/s
- - - 13,6 m/s
- 13 m/s
- · - · 16,1 m/s

EFFET DE LA VITESSE
D'ALLONGEMENT SUR LES
COURBES DE TRACTION
DE L'ACIER Zc 3 CN 18-10

FIG. 8

EVOLUTION DU RAPPORT $\frac{E_{DYNAMIQUE}}{E_{TRACTION LENTE}}$
EN FONCTION DE LA VITESSE

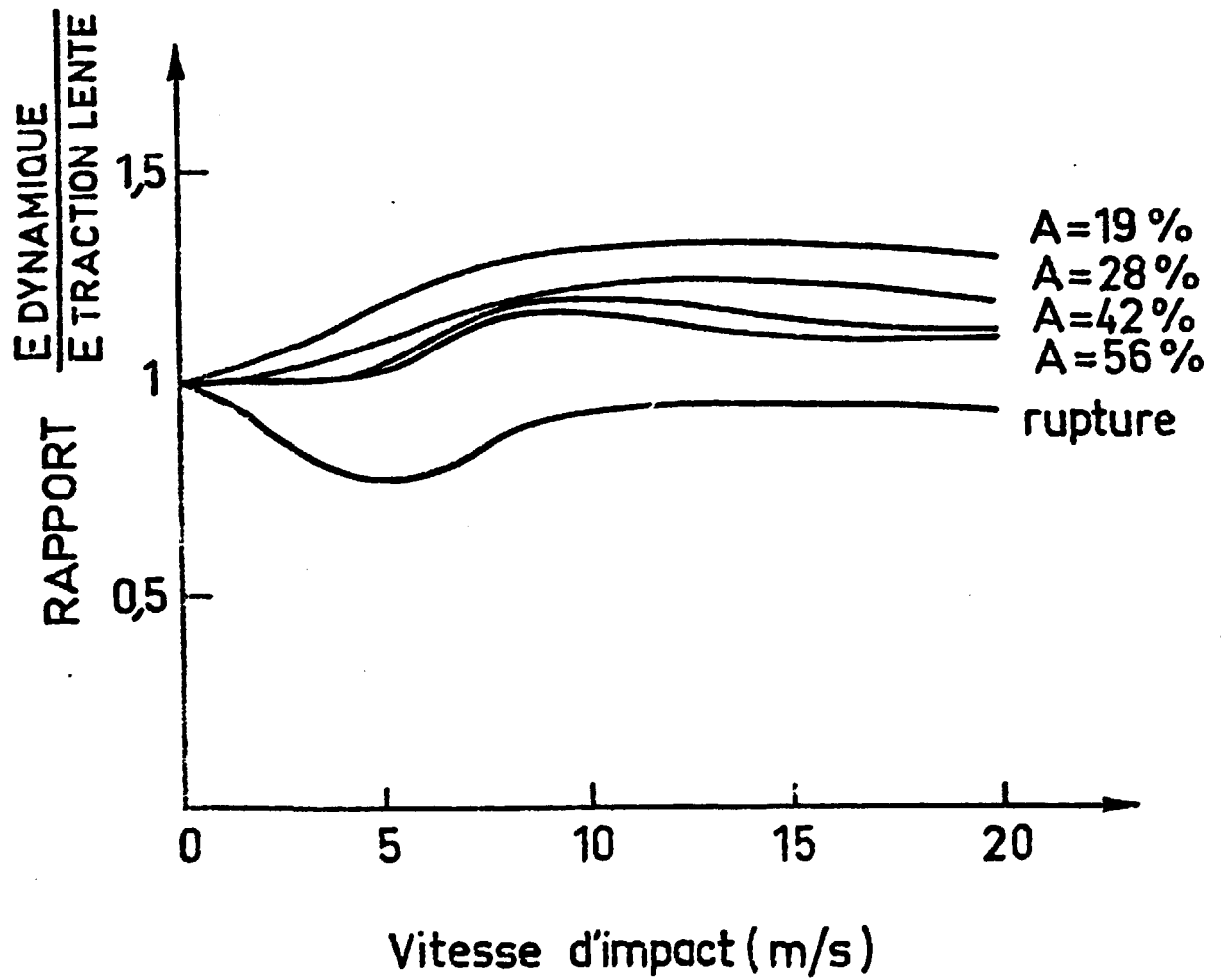


FIG. 9

