

FR 8201125

C.E.A. - D.A.M.

C.E.B.III./D.I./D.E.T.N.

Service METALLURGIE

Section Mécanique du Solide
Groupe "Gaz dans les Métaux"

2. Conference on the environmental degradation of
engineering materials.
Blacksburg, va, USA, September 21 - 23, 1981.
CEA - CONF 6007

RAL/CP

L'ESSAI DE RUPTURE DE DISQUE

Une méthode d'investigation mécanique puissante.

R. ARNOULD - LAURENT.

J.P. FIDELLE

OBJET DE LA METHODE.

Caractérisation des fragilités intrinsèques ou provoquées dans une large gamme de conditions expérimentales.

AVANTAGES.

Unicité de l'éprouvette pour des investigations

- en température de - 196°C à 1 000°C,
- en vitesse de déformation de $0,2 \text{ s}^{-1}$ à 2.10^{-8} s^{-1}
(50 000 bar/mn à 0,005 bar/mn),
- en fatigue lente de 0,1 hz à 0,005 hz ,
- en perméabilité à l'hydrogène,
- de paramètres spécifiques (soudure par ex.).

Mise en oeuvre rapide et peu coûteuse.

PRINCIPE DE LA METHODE (Fig 1 et 2)

- Mesure de la pression de rupture ou fissuration de disques encastrés à leur périphérie.
- Comparaison des pressions obtenues en conditions fragilisantes et en milieu de référence.
- Etablissement de 1 à 3 indices de fragilisation selon les conditions d'essai.

$$I_1 = \frac{\overline{P_{ref}}}{P_F}$$

$$I_2 = \frac{\overline{P_{ref}}}{P_{F_{mini}}}$$

$$I_3 = \frac{P_{ref_{max.}}}{P_{F_{mini}}}$$

...

avec $\overline{P_{ref}}$ = pression de rupture de référence moyenne

$P_{ref_{max.}}$ = pression de rupture de référence maximale

$\overline{P_F}$ = pression de rupture en condition fragilisante moyenne

$P_{F_{mini.}}$ = pression de rupture en condition fragilisante minimale.

Ces indices sont supérieurs à 1 en cas d'effet.

- Comparaison de ces indices entre eux et avec une valeur de seuil.

On en déduit la possibilité d'utilisation ou non du matériau dans les conditions données ainsi que la reproductibilité de sa réponse à ces conditions.

- Observation du mode de rupture macroscopique et indications sur la ductilité du matériau.

SENSIBILITE DE L'ESSAI.

L'explication de la très grande sensibilité de l'essai a été obtenue par deux approches complémentaires :

1. instrumentation et mesure directe de valeurs caractéristiques
2. modélisation par éléments finis.

Instrumentation.

- Détermination par cycles charge-décharge de la pression de franchissement local de la limite élastique (Π_0).

...

- Détermination des courbes flèche-pression.
- Détermination par jauges des déformations en différents points de la surface du disque.

Modélisation par éléments finis. (Fig. 3)

Elle a été effectuée avec le même maillage sur quatre alliages de comportement mécanique différents.

Matériau	E MPa	ν	σ_0 MPa	n	$R_{E0,2}$ MPa	R_M^* MPa	A % [*] (E Z)	
35 NCD 16	200 000	0,3	3 450	0,143	1 170	1 800	5	Acier HR
20 CND 10	210 000	0,3	930	0,104	350	700	25	Acier MR
Z3 CN 18-10	210 000	0,3	★ ★	★ ★	240	600	50	Inoxy méta- stable
U V 0,2 %	150 000	0,21	1 450	0,211	150	900	20	Uranium : α

- * n'interviennent pas dans le calcul
- ★ ★ courbe rentrée point par point.

RESULTATS.

I - Comparaison : flèche au pôle - état de plastification - contrainte équivalente au pôle amont. (Fig. 4 et 5)

On distingue 4 stades :

STADE I = Comportement élastique en plaque épaisse : symétrie des contraintes de part et d'autre d'une ligne neutre.

STADE II = Comportement élasto-plastique pseudo-symétrique : les zones en traction et en compression au sommet continuent à croître.

STADE III = Comportement élasto-plastique : disparition progressive de la zone en compression au sommet.

STADE IV = Plastification généralisée en tension.

II - Types de sollicitations obtenues.

Nous nous plaçons aux plus hautes pressions, c'est-à-dire dans le stade IV.

Sommet

L'état de contrainte est plan, assez proche d'une sphère mince sous pression.

Encastrement

L'état de déformation est plan en raison du très faible glissement du métal sous encastrement. Cet état est favorable à une rupture fragile.

Composante hydrostatique

Elle est élevée et en tension elle est favorable à la pénétration accrue d'éléments interstitiels.

III - Energie de déformation. (Fig. 6)

Plus élevée à l'encastrement qu'au sommet. Permet d'expliquer la majorité des ruptures à l'encastrement.

IV - Vitesse de déformation. (Fig. 7)

Il est remarquable de noter que les vitesses de déformation, contrairement à l'essai de traction, tendent vers une valeur constante dans le stade IV.

V - Rapport de pressions caractéristiques.

Le rapport entre la pression de franchissement de la limite élastique et la pression de rupture est très élevé : 10 pour les aciers HR à plus de 300 pour les aciers austénitiques.

Dans le cas d'un essai de traction le rapport R_m/R_e dépasse rarement 3.

Dans le cas d'un essai de ténacité le rapport K_{IC}/K_{ISH} dépasse rarement 4.

Les phénomènes de fragilisation où la plastification joue un rôle important apparaissent donc plus tôt dans ce type d'essai.

EXEMPLES DE RESULTATS

1) Comportement typique en fonction de la vitesse de sollicitation ($\Delta P/\Delta T$ ou $\dot{\epsilon}$). (Fig. 8)

On distingue quatre zones de comportement où le transport de l'hydrogène par les dislocations est faible (I), maximal (II) perturbé par diffusion classique (III et IV).

Les temps typiques d'apparition de ces phénomènes peut être corrélé à la diffusivité de l'hydrogène.

2) Influence de la température. (Fig. 9)

Alliage de molybdène TZM.

3) Rôle des caractéristiques mécaniques.

a) sur la fragilisation par l'hydrogène gazeux (rôle de la pression partielle). (Fig. 10)

b) concurrence "cloquage"/fragilisation par l'hydrogène interne.
(Fig. 11)

4) Fatigue lente sous hydrogène. (Fig. 12)

5) Comportements "anormaux".

a) Palladium (Fig. 13)

Durcissement par l'hydrogène puis fragilisation.

b) Beryllium (Fig. 14)

Influence anormale de la vitesse de sollicitation due
à des effets de surfaces.

6) Applications non hydrogène.

a) Strain aging, dû à l'oxygène d'élaboration dans le
tantale à 200°C. (Fig. 15)

b) Transition ductile/fragile sur éprouvettes entaillées.
(Fig. 16)

c) Fissuration par corrosion sous contrainte : par une faible
quantité de vapeur d'eau dans de l'hélium sous pression
sur l'alliage U Mo 10%. (Fig. 17)

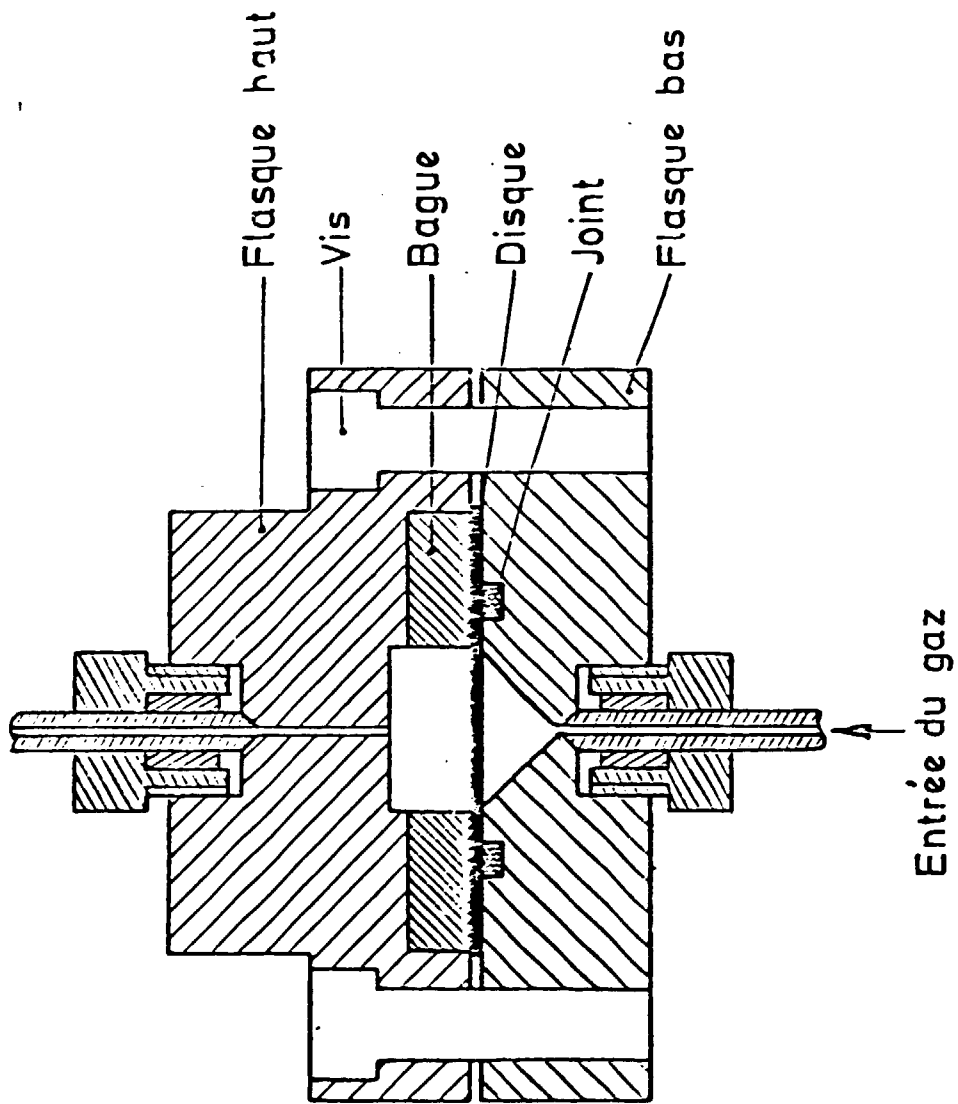
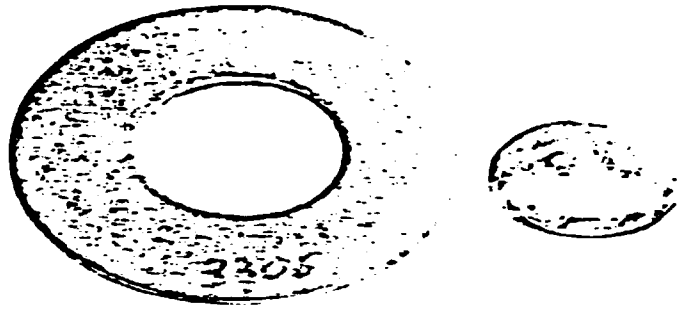
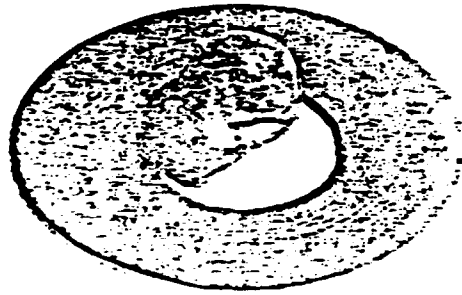


Figure 1

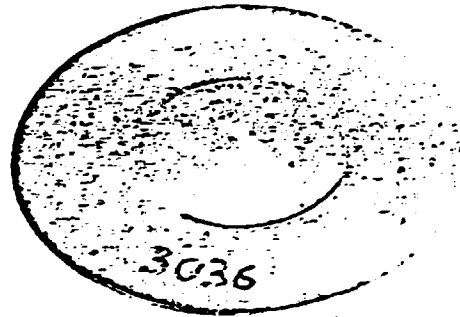
B2



C3



D 21



E

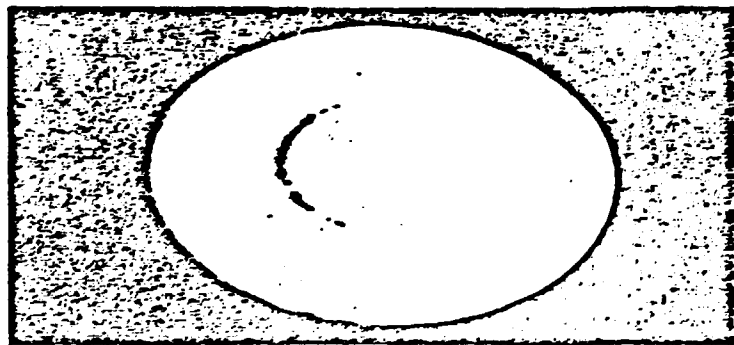
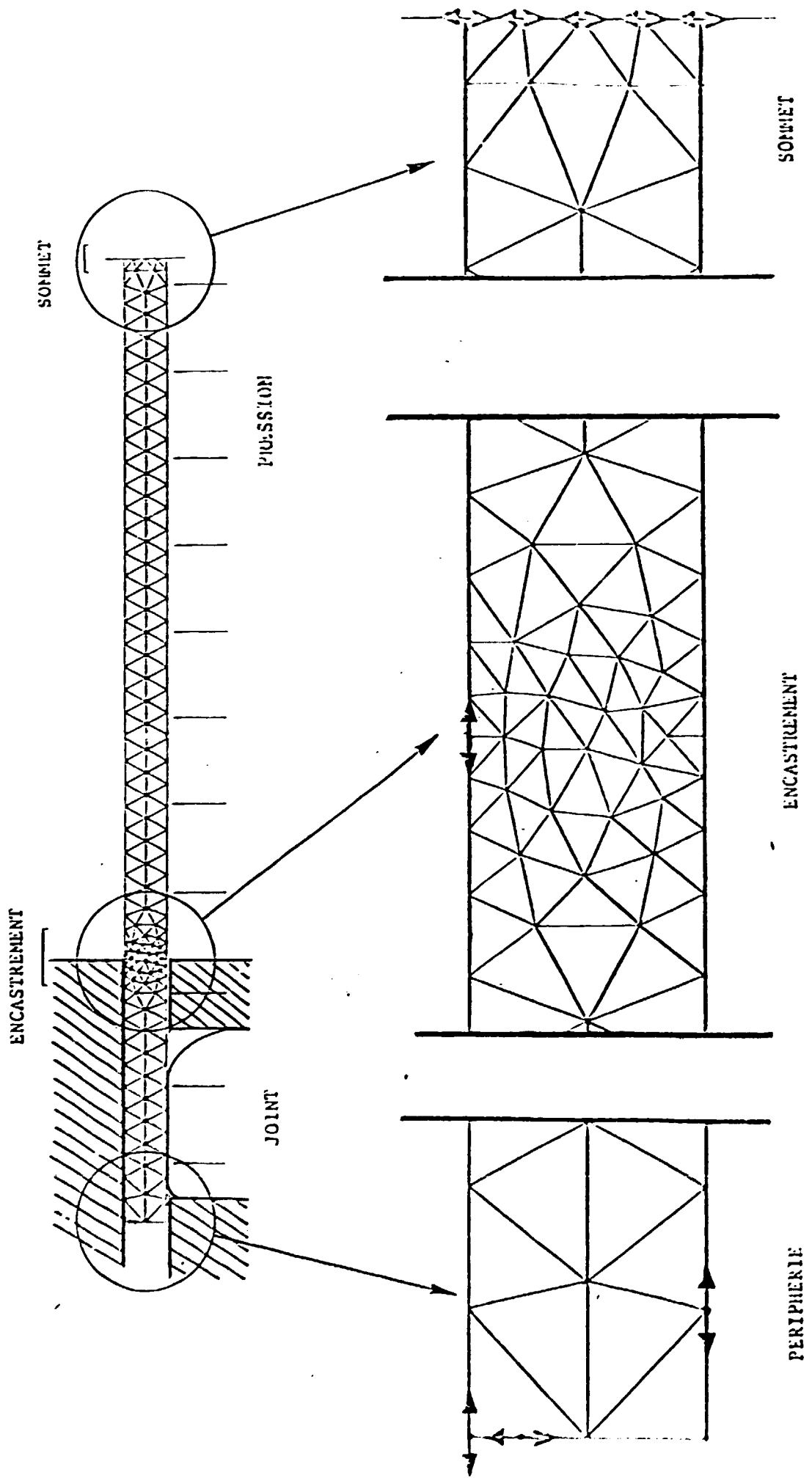
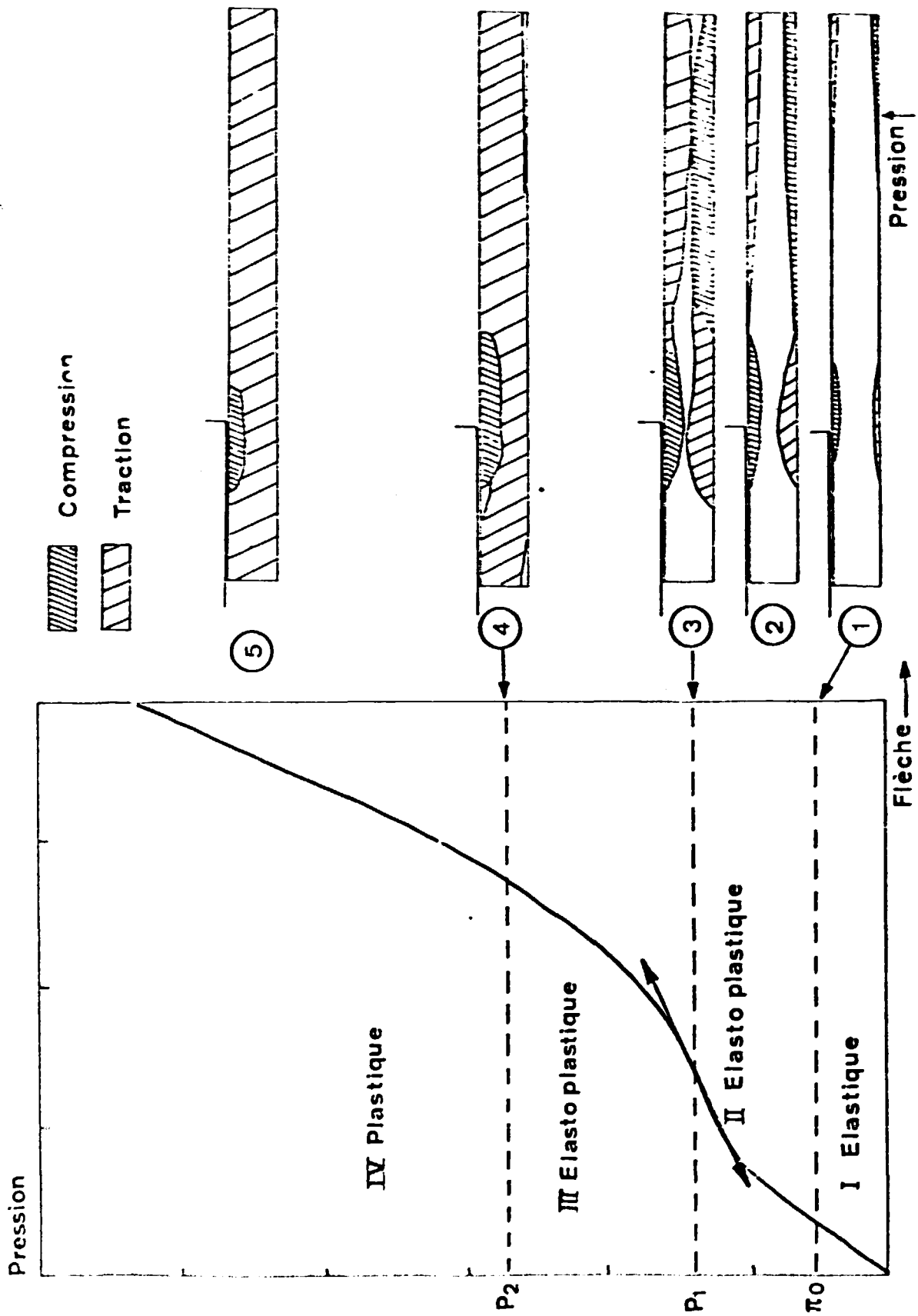


Figure 2





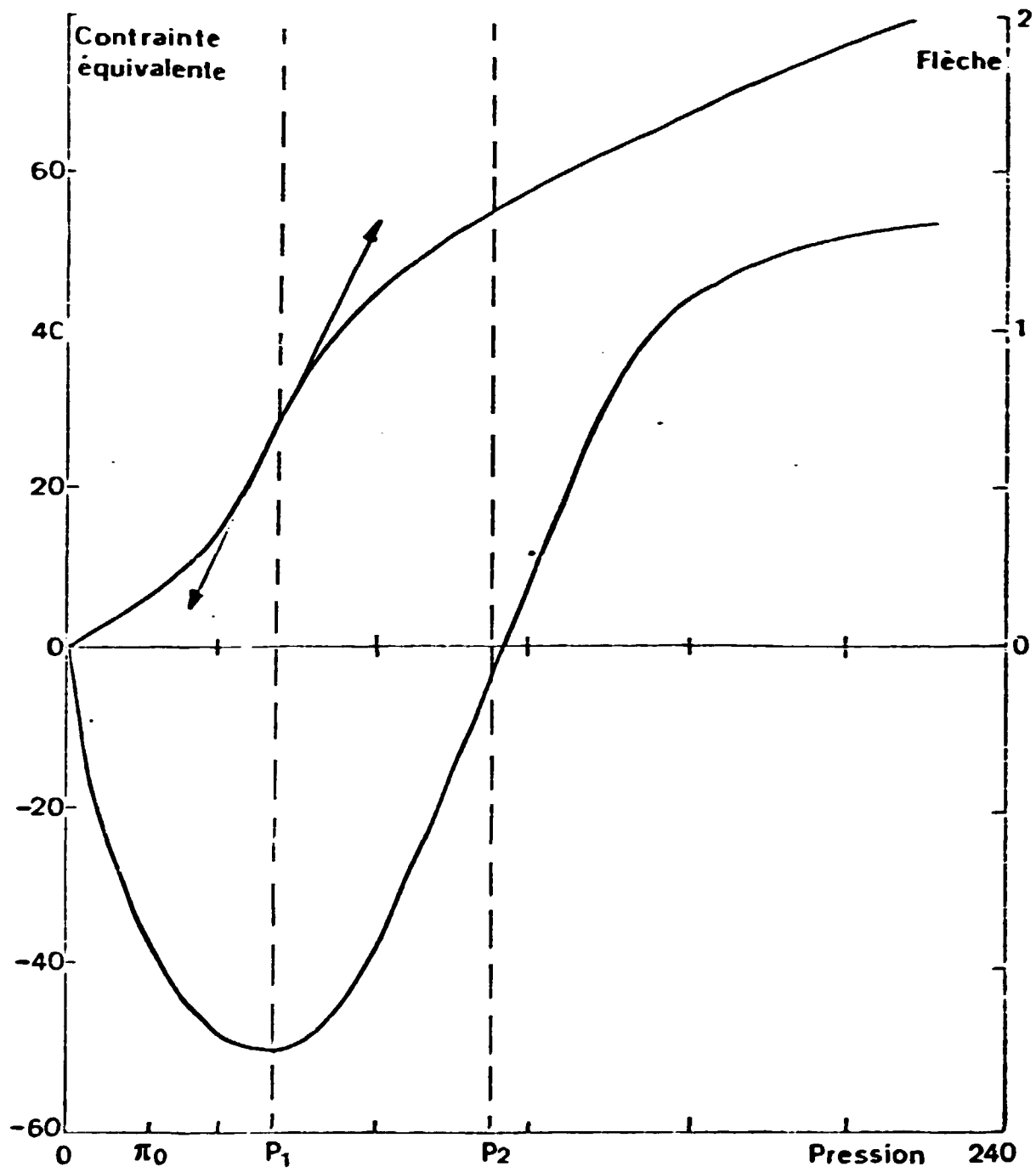


Figure 5

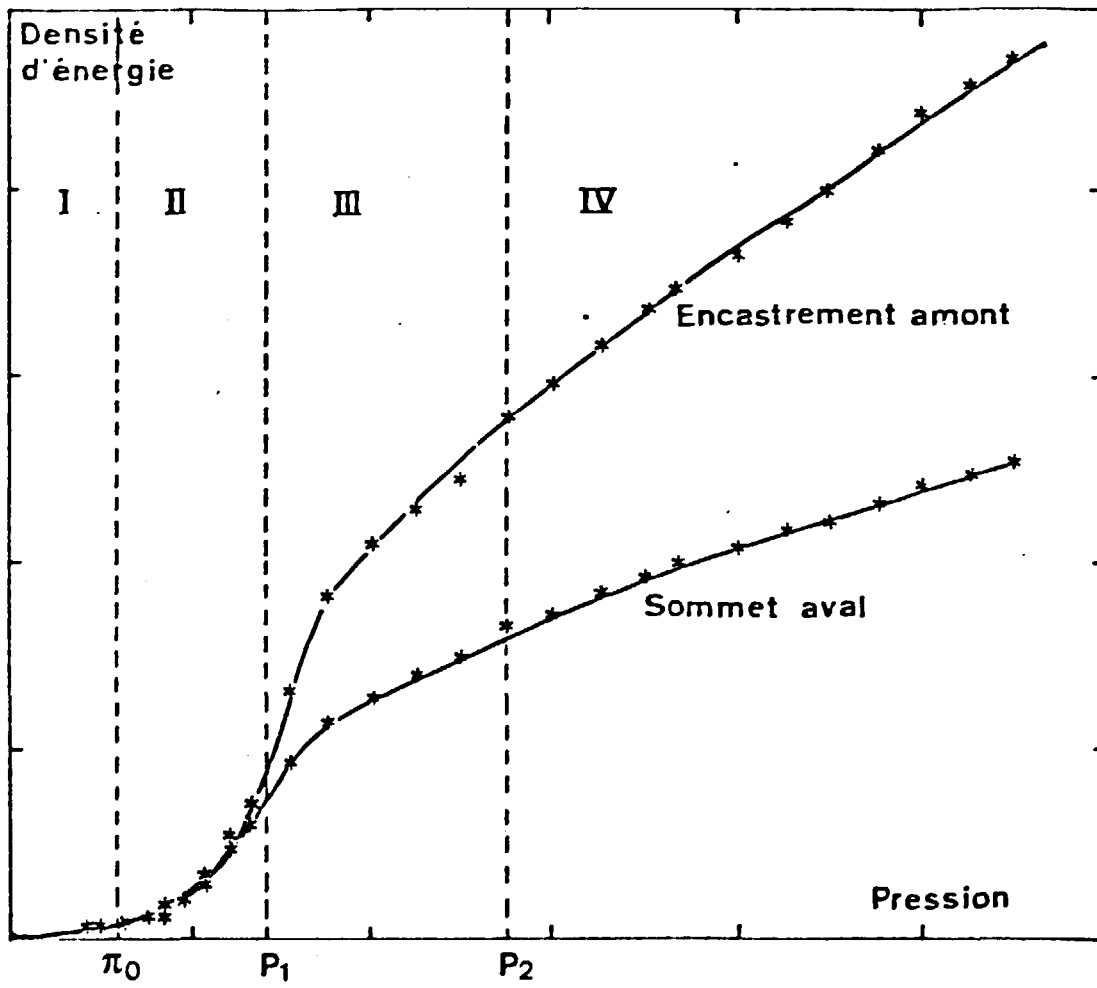


Figure 6

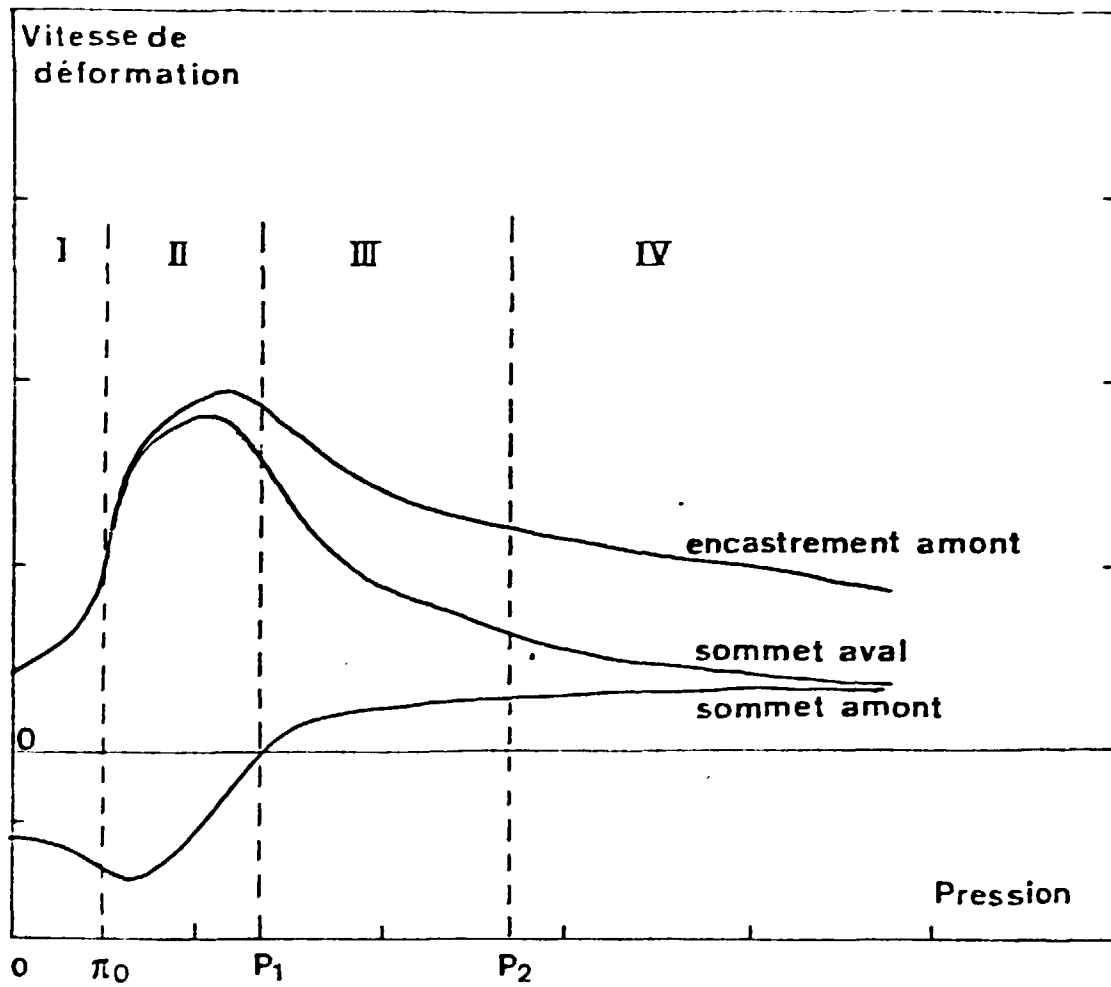


Figure 7

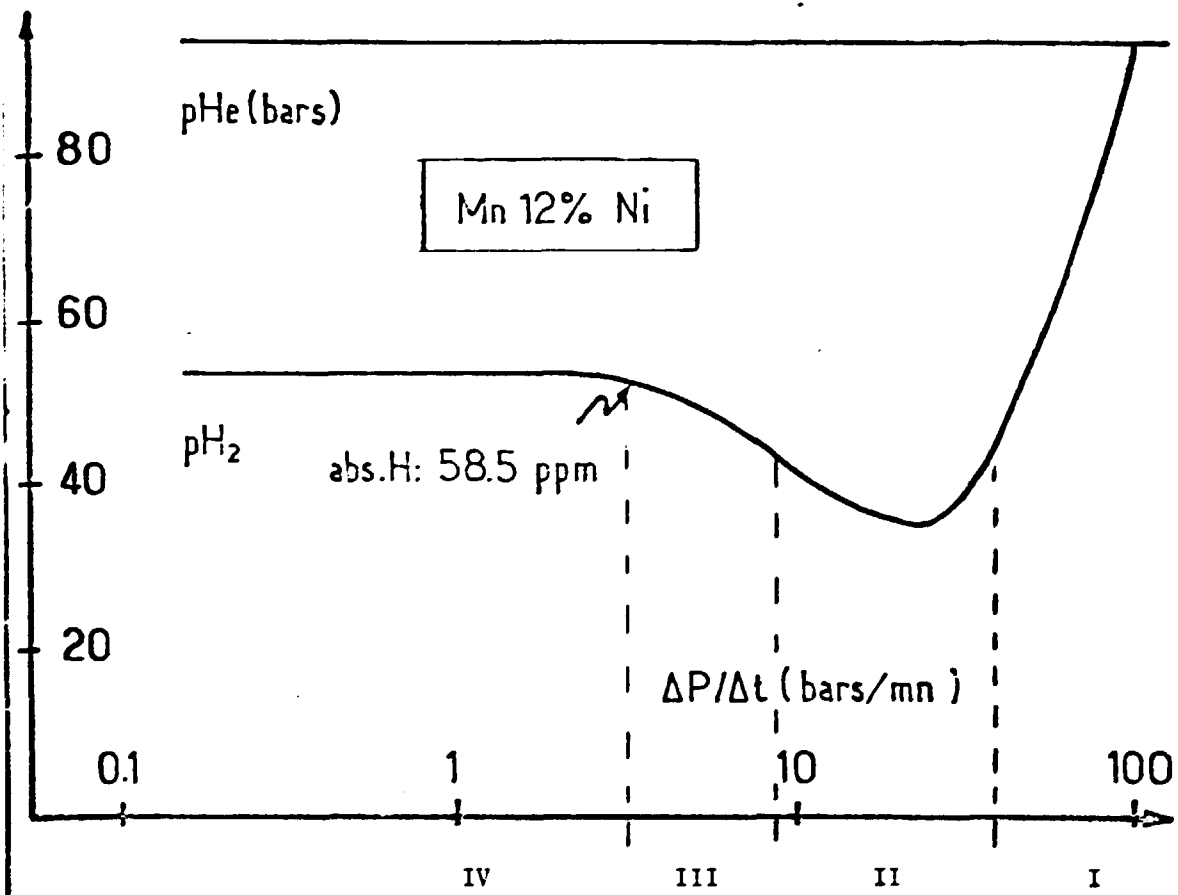
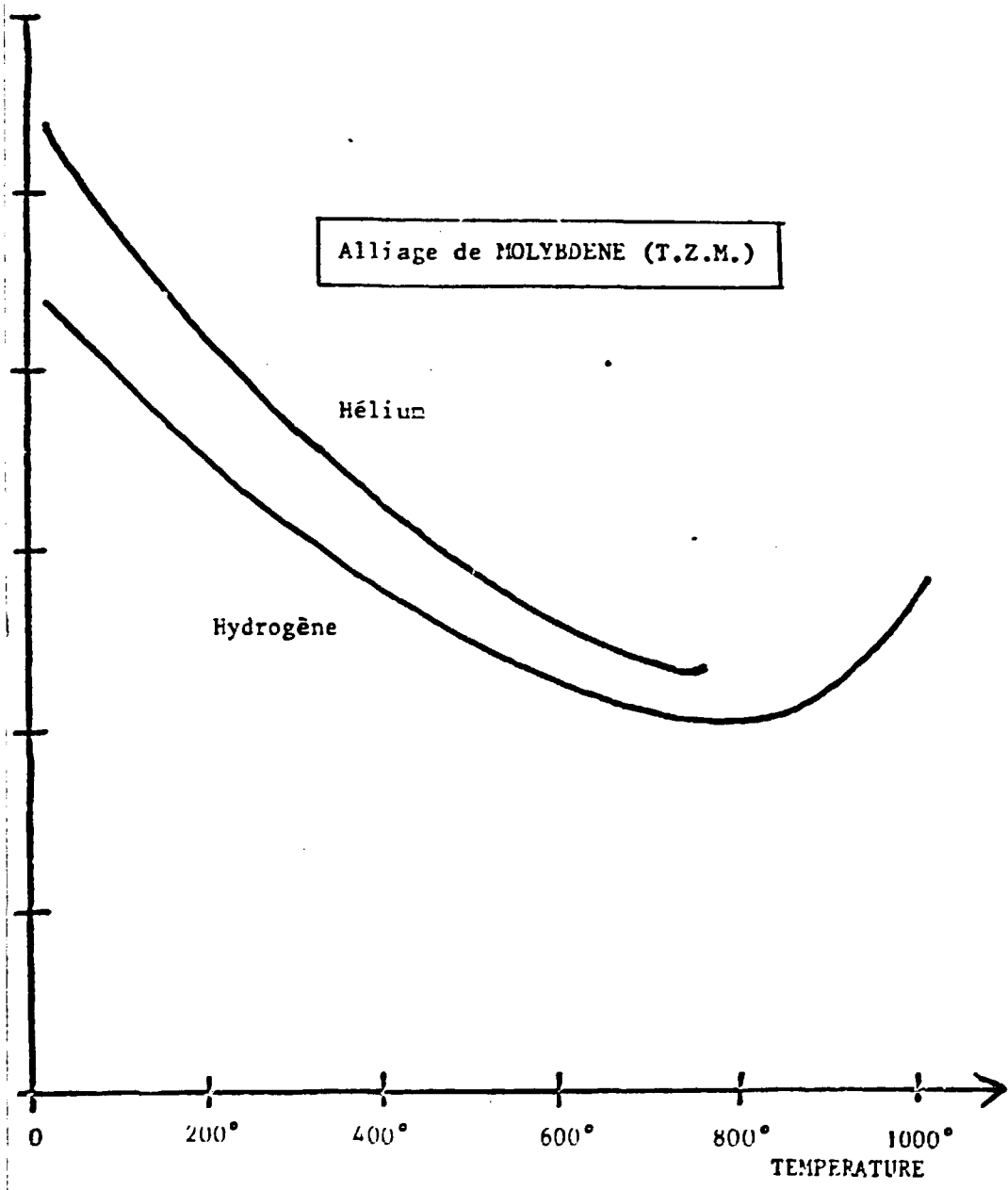


Figure 8



Alliage de MOLYBDENE (T.Z.M.)

Hélium

Hydrogène

Figure 9

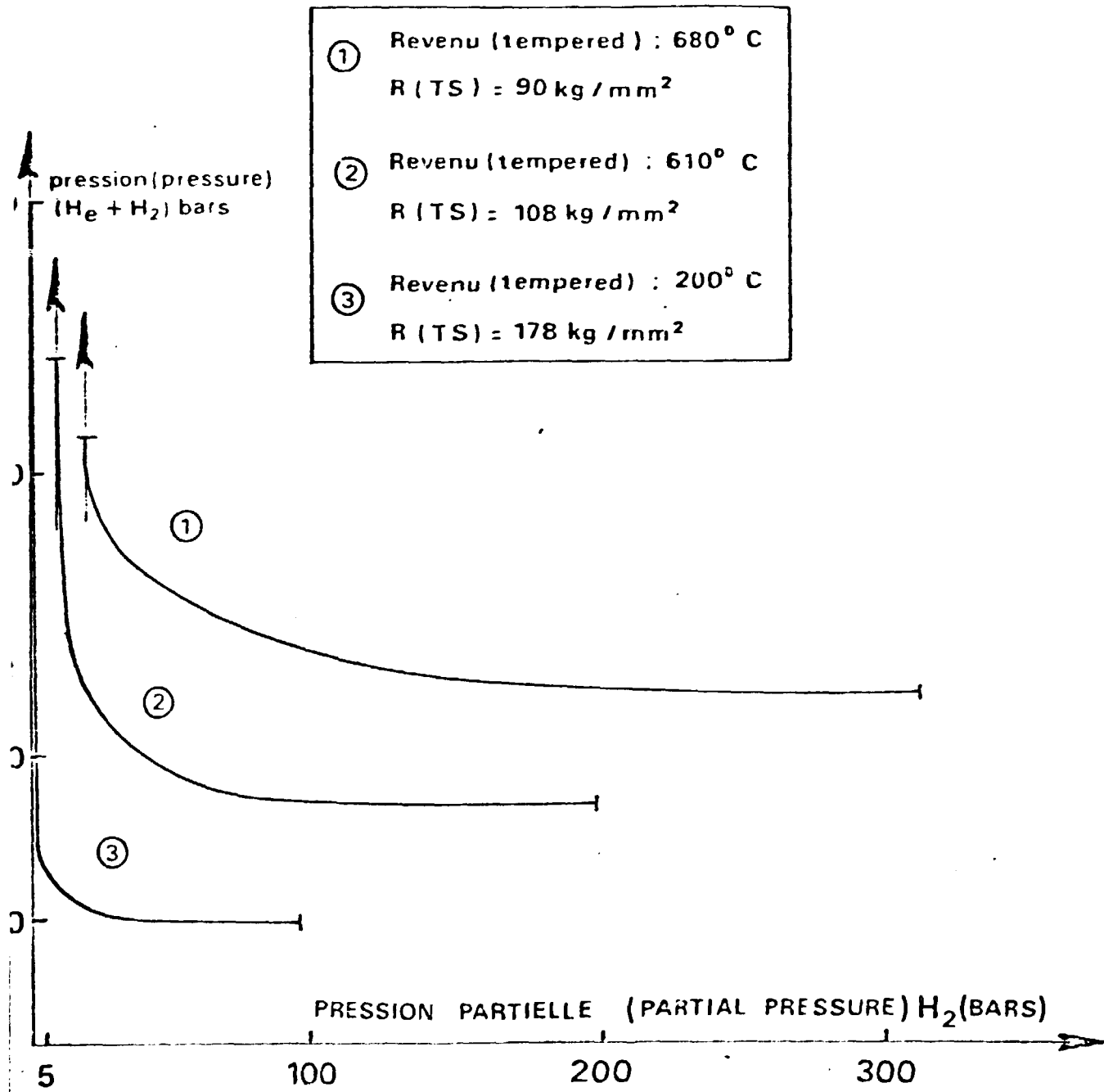


Figure 10

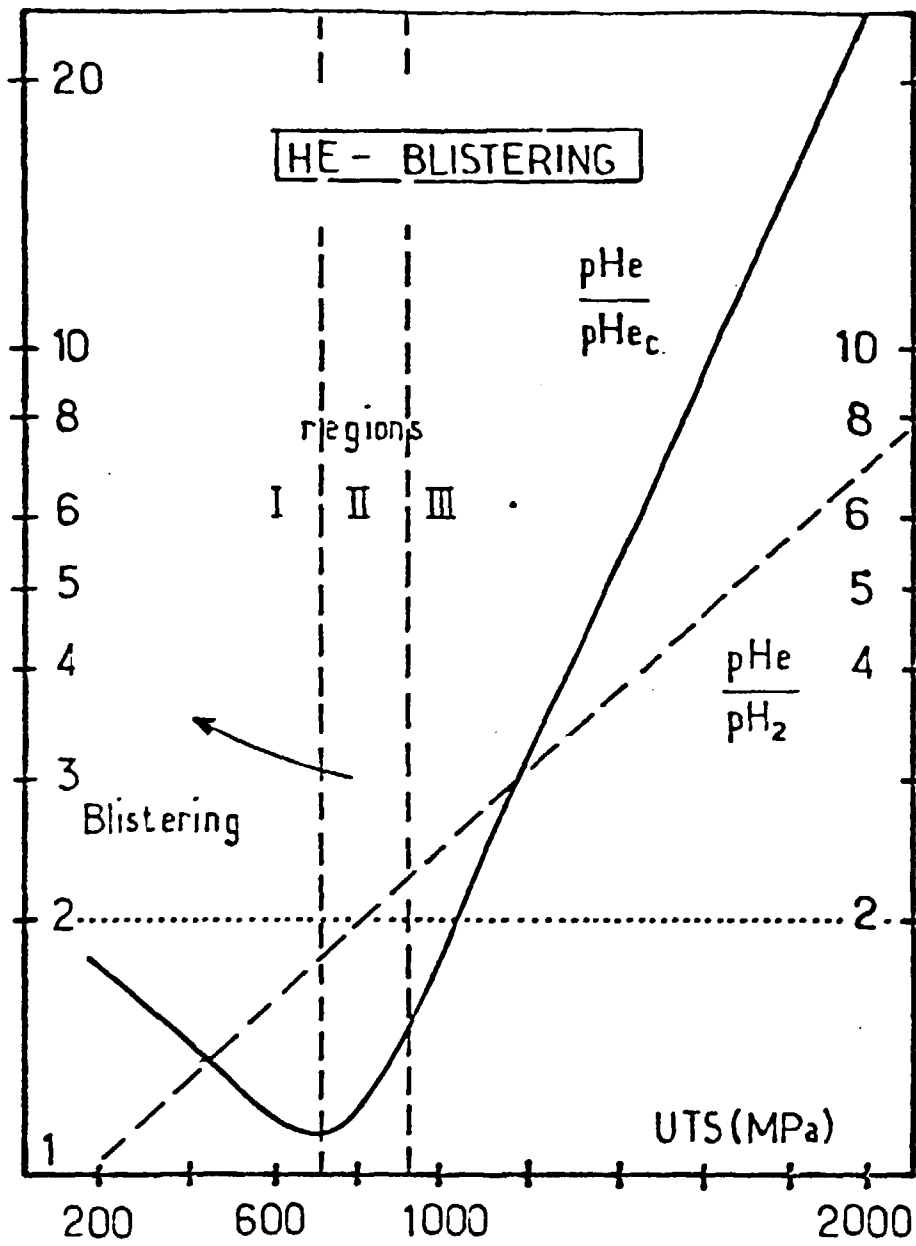
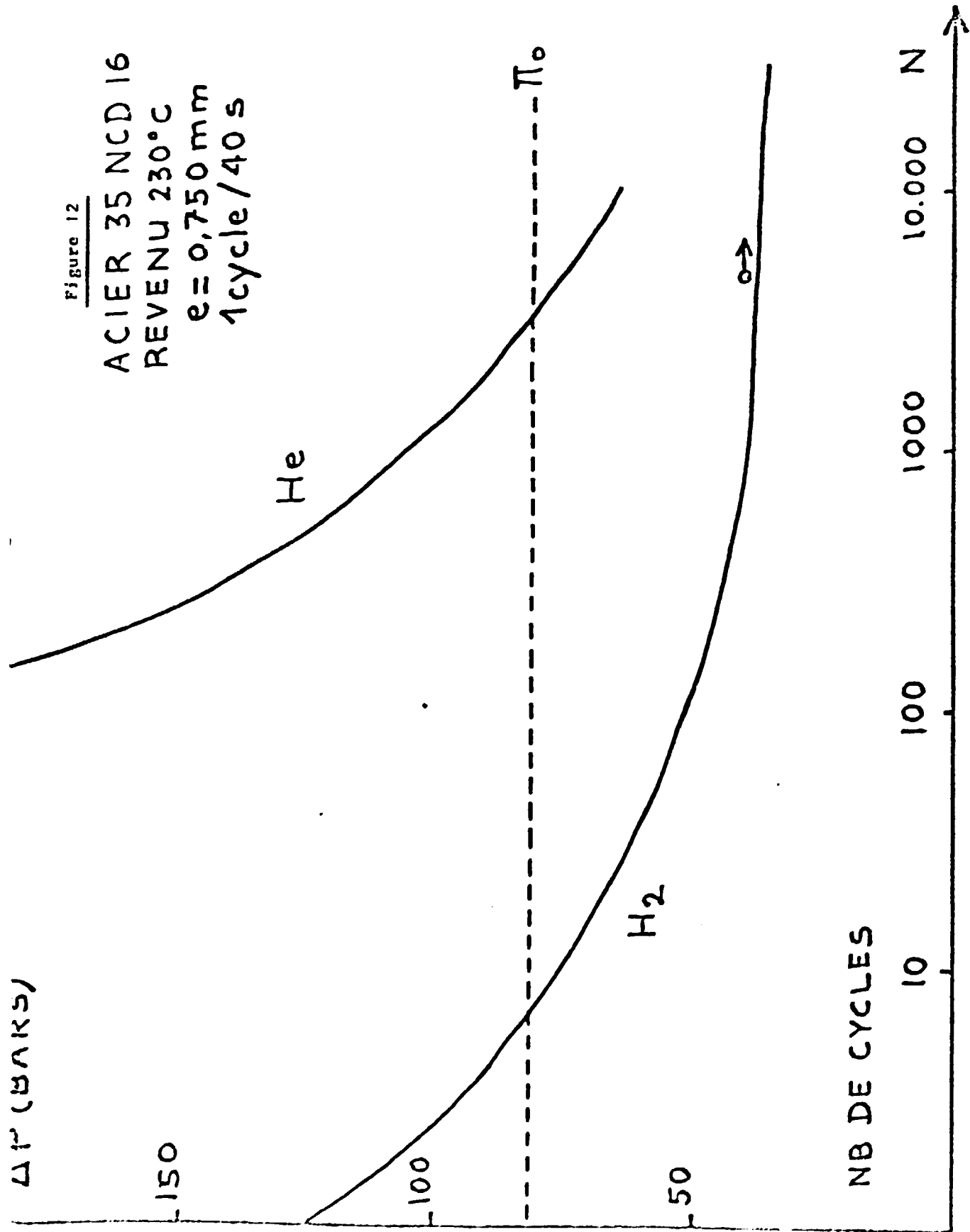


Figure 11

Figure 12

ACIER 35 NCD 16
REVENU 230°C
e = 0,750 mm
1 cycle / 40 s



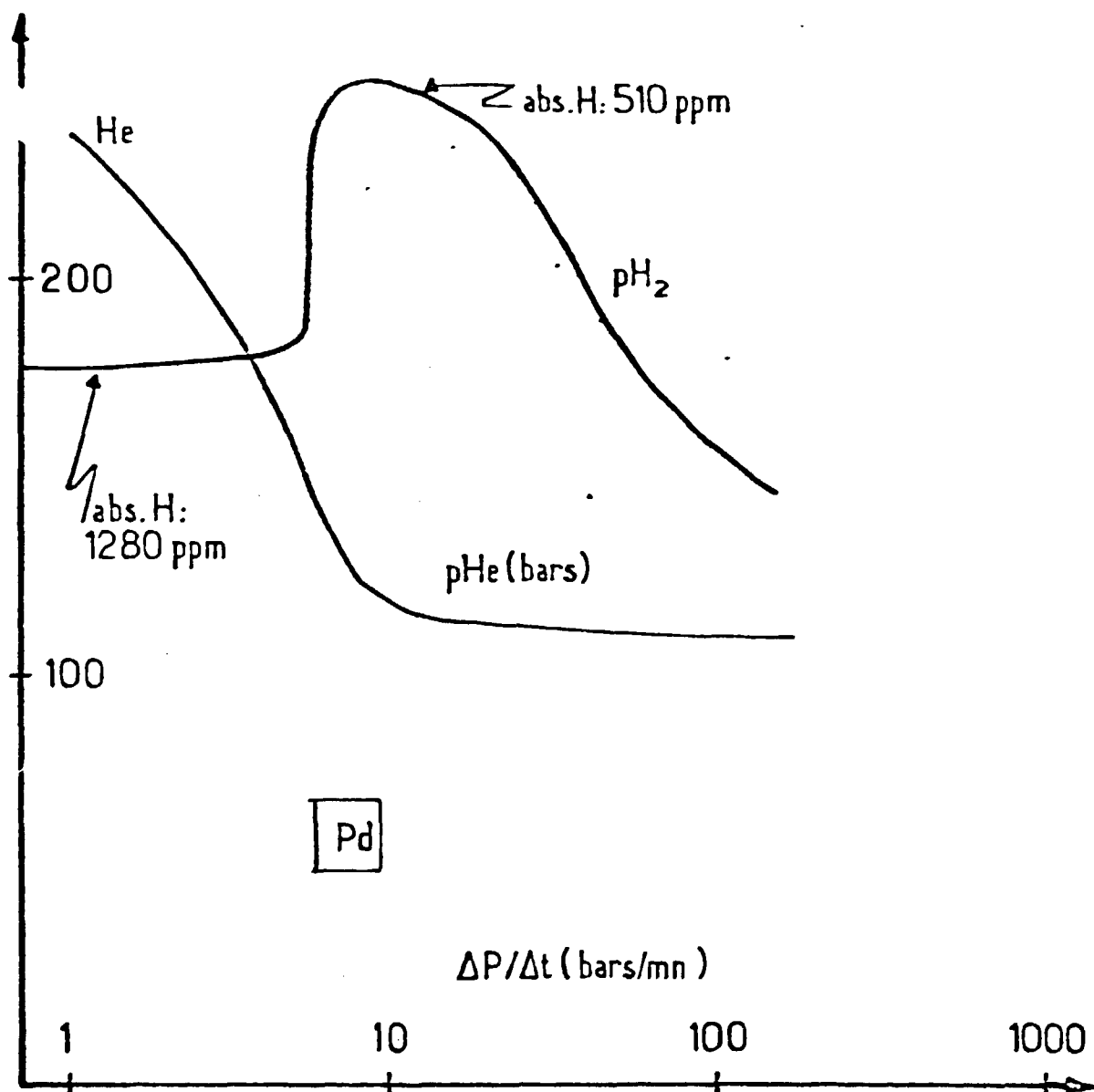
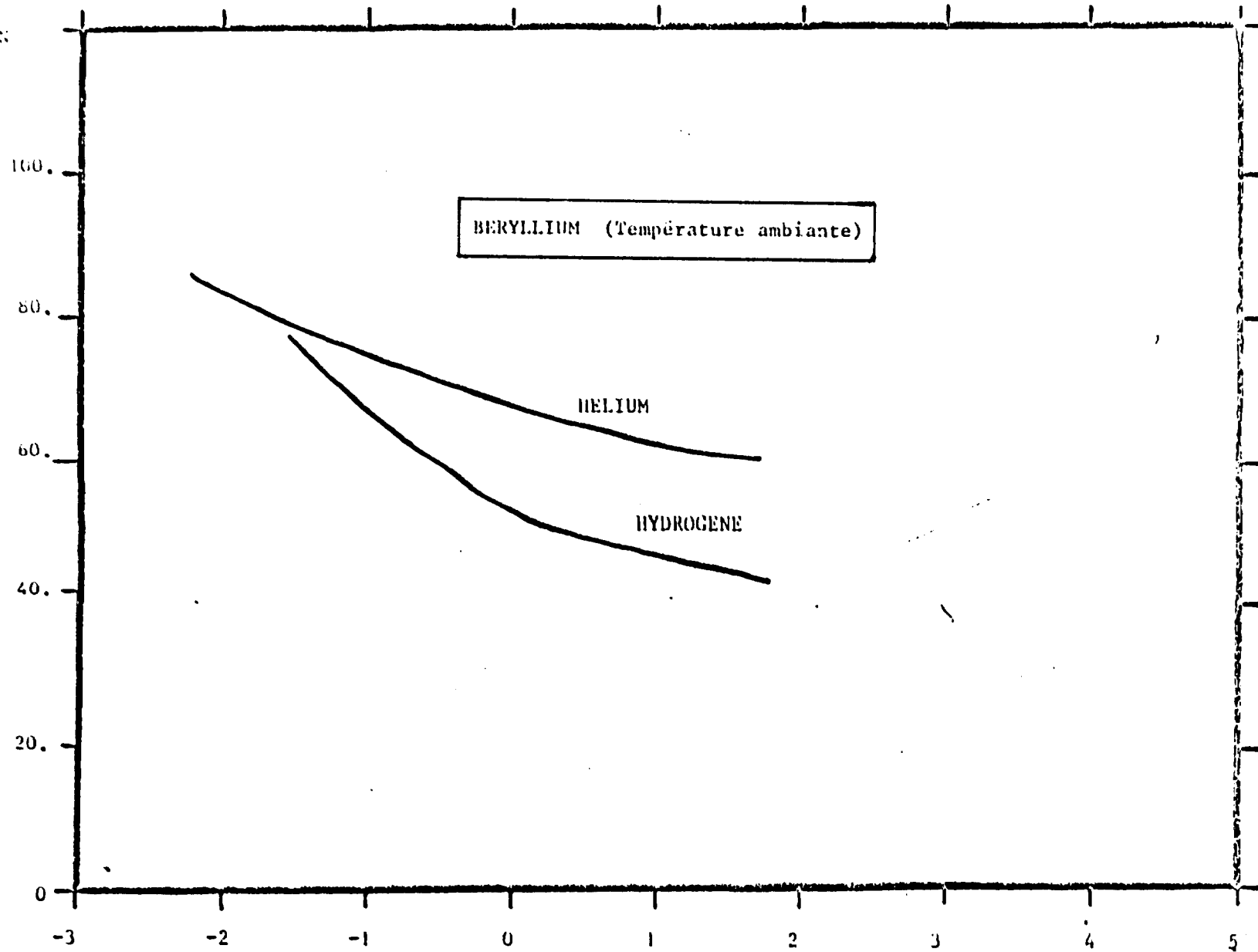


Figure 13

VISION
(1947)



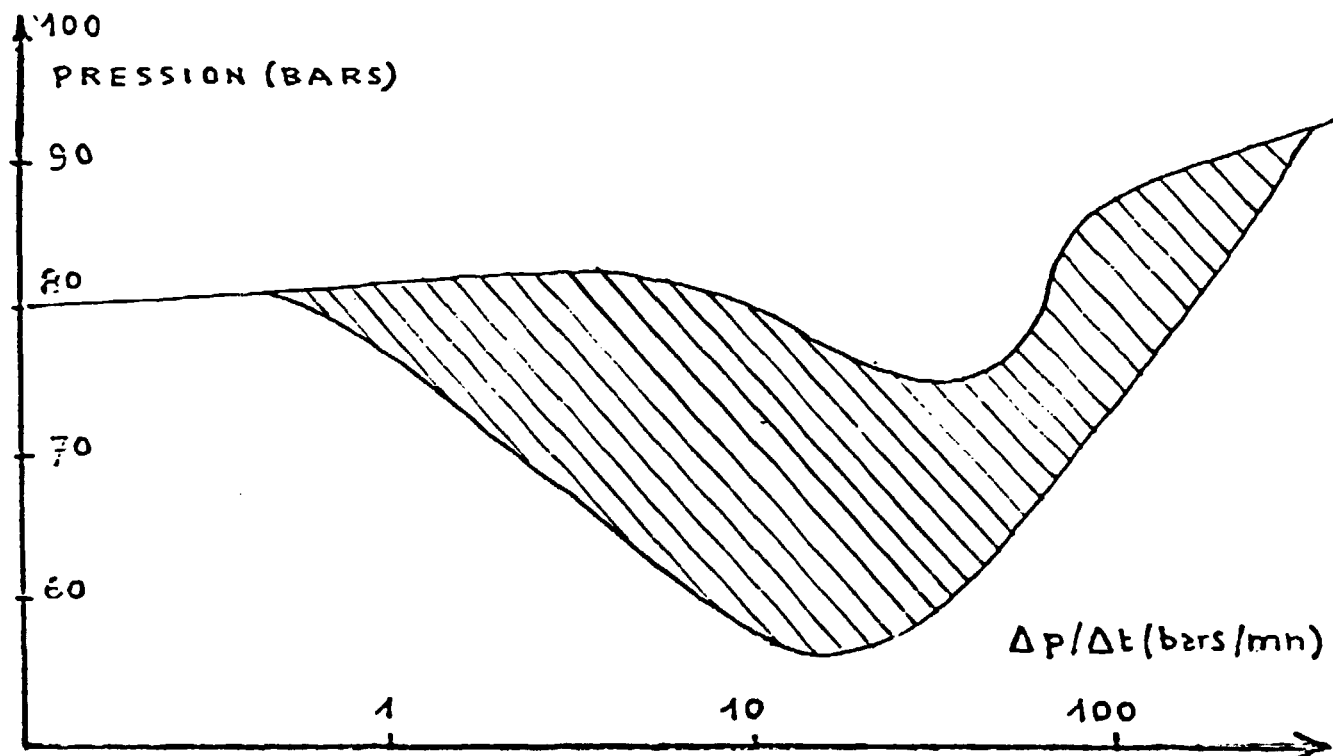


FIG. 15 PHENOMENE DE "STRAIN AGING" DÙ A D'AUTRES INTERSTITIELS QUE H. DISQUES MINCES DE TANTALE ECROUÏ, ESSAYES A 200°C.

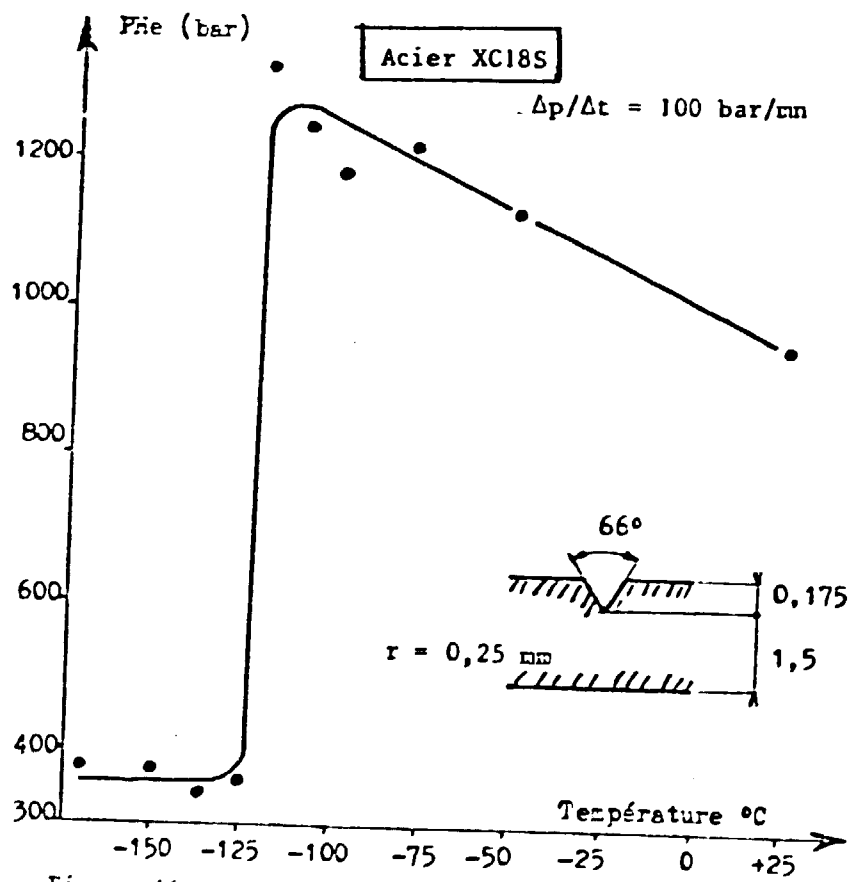


Figure 16

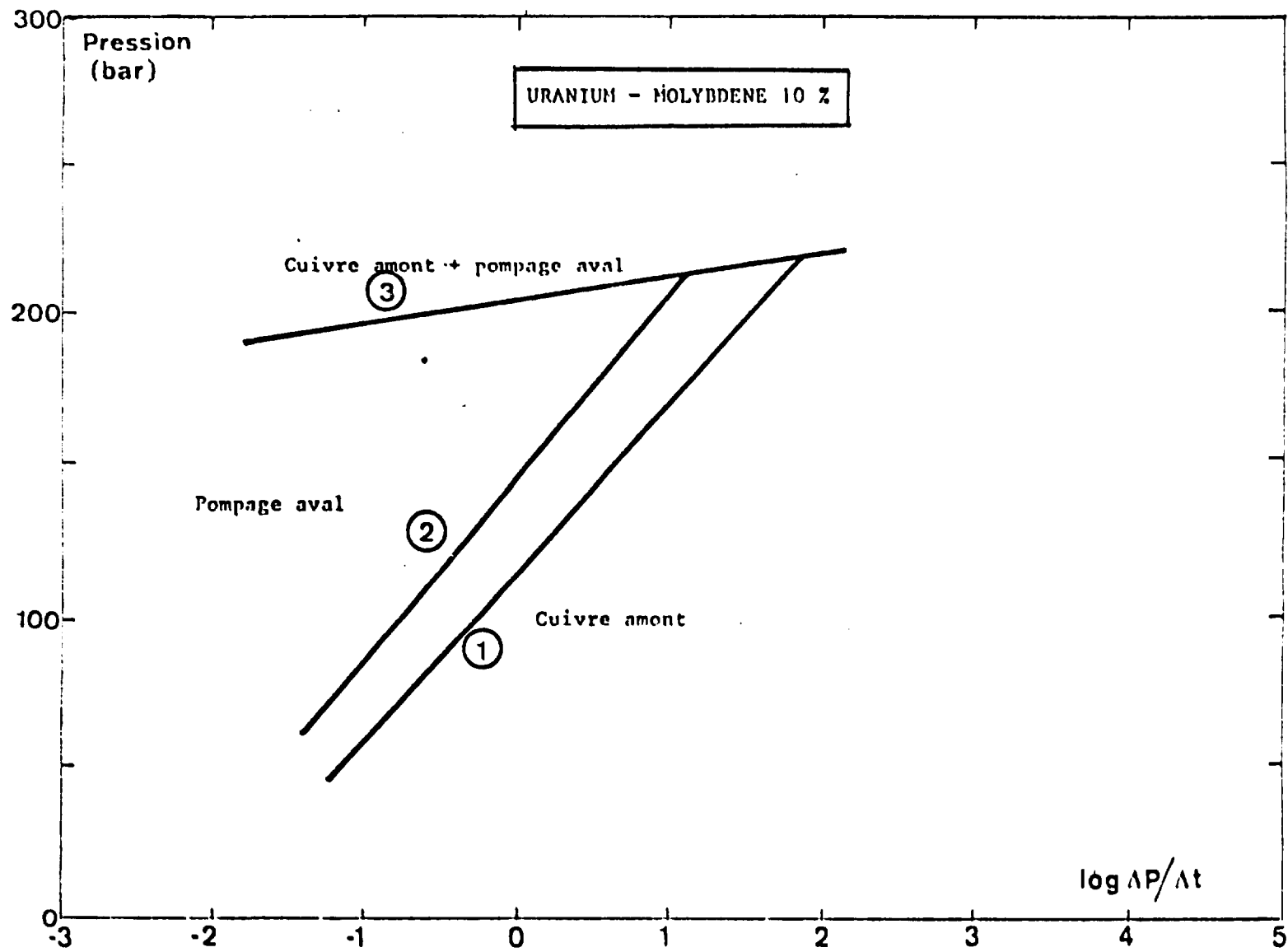


Figure 17

