

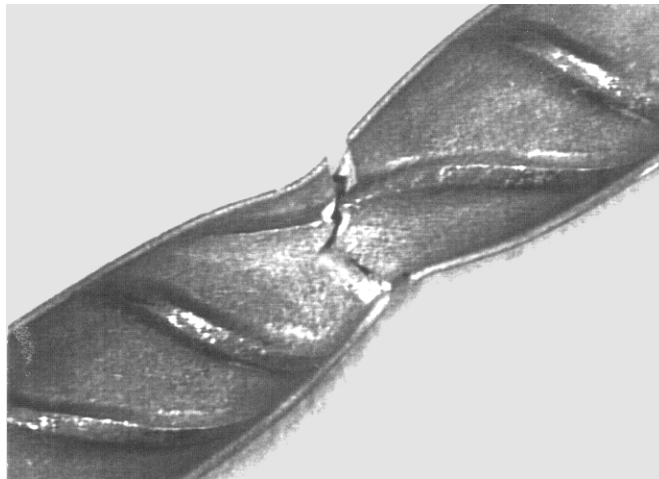
TRAVAUX PRATIQUES DE MATÉRIAUX

MÉTAUX

A

COMPORTEMENT À LA TRACTION

DE BARRES D'ARMATURE



Génie Civil 2^e semestre

R. Charvet

Ecublens, Mars 2009

1. Introduction

Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement l'essai le plus utilisé. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques telles que le module d'élasticité, le coefficient de Poisson, la limite d'élasticité, la résistance à la rupture, l'allongement après rupture et le coefficient de striction. Son exécution est facile et les résultats obtenus servent à dimensionner toutes sortes des pièces allant d'un pignon microscopique jusqu'à la structure métallique d'une grande halle. Dans la recherche, on l'applique pour la caractérisation de nouveaux matériaux et dans industrie, pour les contrôles périodiques servant à surveiller la qualité des alliages, des polymères et des céramiques.

Cet essai a comme objectifs :

- . de faire connaître le fonctionnement d'une machine de traction;
- . de mesurer des courbes de traction;
- . d'interpréter les résultats obtenus: déterminer la limite élastique, etc.

2. Caractéristiques mécaniques

Les valeurs mesurées directement lors d'un essai de traction sont la force F et l'allongement ΔL (figure 1). La contrainte rapportée dans un diagramme de traction tel que présenté sur figure 2 est la force divisée par la section initiale S_0 de l'éprouvette (contrainte nominale). De même la déformation (déformation nominale) est obtenue en divisant l'allongement par la longueur initiale L_0 de l'éprouvette définie ci-après.

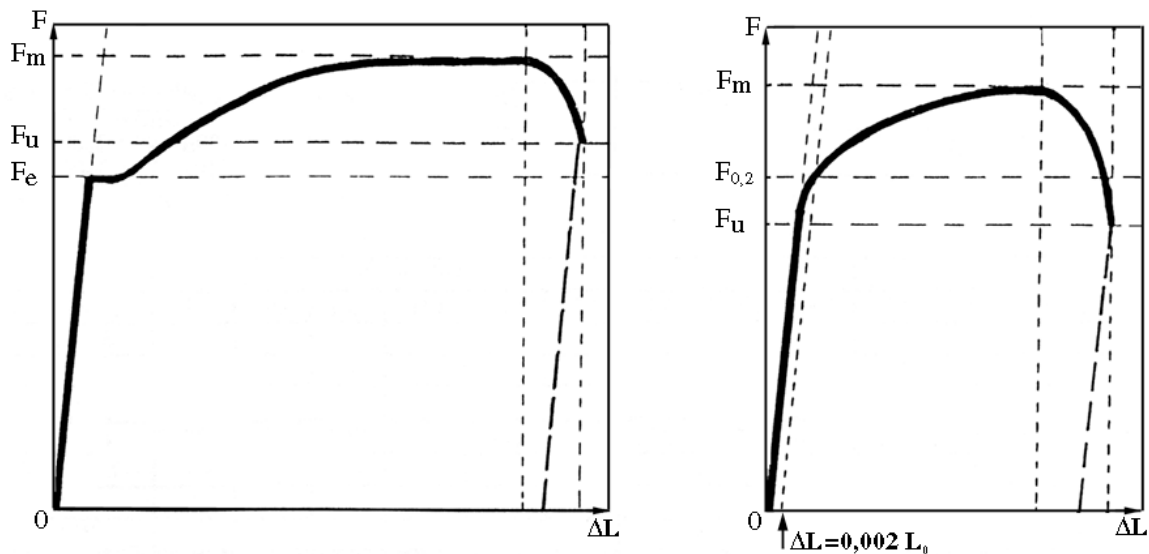


Fig. 1 Courbes de traction force-allongement

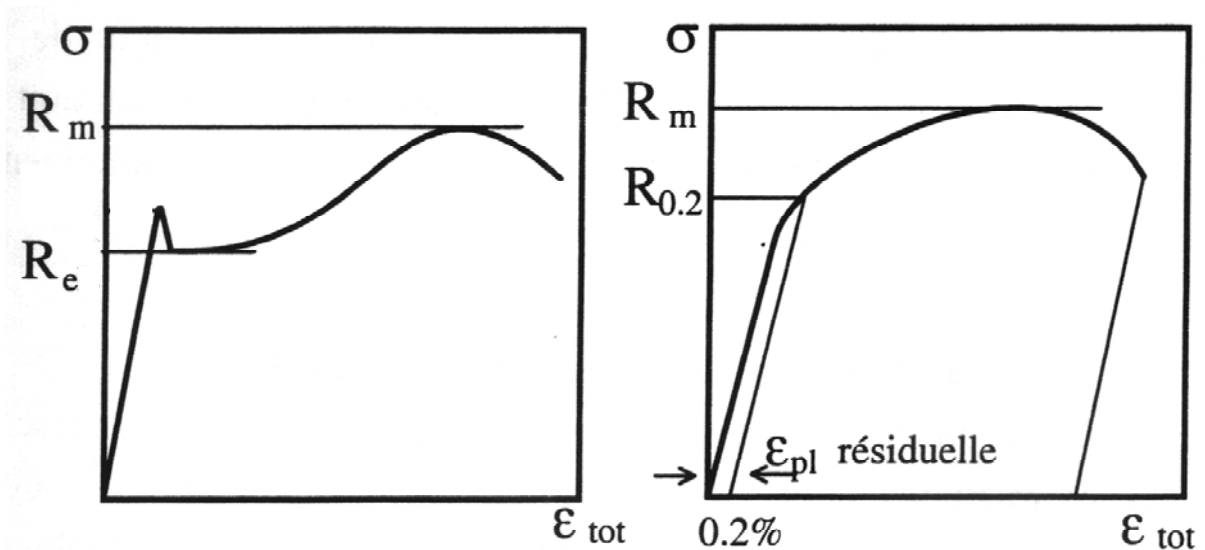


Fig. 2 Courbes de traction contrainte-déformation

Les grandeurs que l'on peut obtenir à partir d'un essai de traction sont :

Limite apparente d'élasticité : R_e

Contrainte correspondant à l'ordonnée du premier palier de la courbe, à condition que ce palier ne soit pas le maximum absolu du diagramme

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Limite conventionnelle d'élasticité : $R_{p0,2}$

Contrainte conduisant après décharge à un allongement de 0,2 % de L_0

$$R_{p0,2} = \frac{F_{0,2}}{S_0} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Résistance à la traction : R_m

Contrainte correspondant à l'ordonnée du maximum absolu du diagramme

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Résistance à la rupture : R_u (n'est pas normalisée)

Contrainte vraie correspondant au dernier point (rupture) du diagramme

$$R_u = \frac{F_u}{S_u} \quad [\text{N/mm}^2]$$

S_u = aire minimale de la section après rupture

Allongement régulier : A_g

Allongement spécifique après rupture mesuré hors de la zone de striction correspondant approximativement à l'allongement sous charge maximale F_m

Allongements après rupture : A

Allongement spécifique après la rupture mesuré entre repères définissant la longueur initiale L_0 . Dans le cas d'éprouvettes proportionnelles, on en distingue deux principaux dépendant de la longueur initiale choisie :

$$A5 \text{ correspondant à : } L_0 = 5 d_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$$

$$A10 \text{ correspondant à : } L_0 = 10 d_0 = 11,3 \sqrt{S_0}$$

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

L_u = longueur ultime entre repères au moment de la rupture

Coefficient de striction = Z

Contraction locale à l'endroit de la rupture

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

Module d'élasticité ou module de Young : E

Pente de la droite donnant les allongements élastiques

$$E = \frac{2F \cdot L_0}{2L \cdot S_0} \quad [\text{N/mm}^2]$$

N'est pas mesurable sur le diagramme ordinaire de traction (enfouissement des mors).

3. Acier testé

- ANALYSE CHIMIQUE DE L'ACIER TESTE (S500C, état trempé-revenu)

C [%]	0,15 – 0,20
S	$\leq 0,030$
P	$\leq 0,035$
Mn	0,50 - 1,00
Si	0,15 – 0,30
Cu	0,30 – 0,40
Autres	$V \leq 0,03$

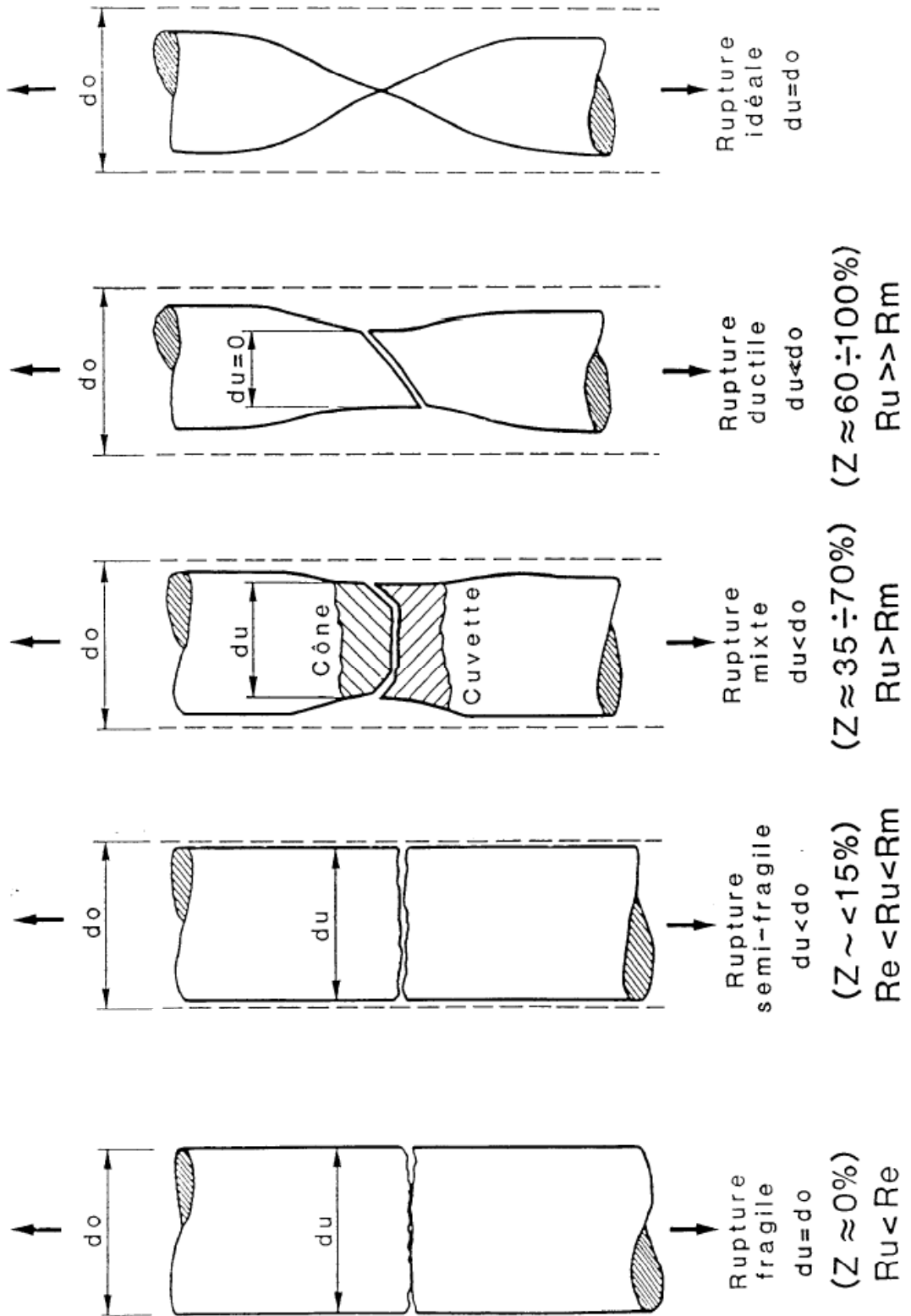
- Deux diamètres différents seront testés.

4. Résultats

EPFL-DMX			BARRES D'ARMATURE														
Labo. de métallurgie des soudures			Opérateur :		Date :		Machine :		Echelle de charge :		kN						
			ESSAI DE TRACTION														
Désignation du matériau	L ₀	D ₀	S ₀	L _u	D _u	S _u	F _E	F _M	F _U	R _E	R _P _{0,2}	R _M	R _U	A _g	A ₅	Z	
	Lg ₀	mm	mm ²	Lg _u	mm	mm ²	kN	kN	kN	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%	%	%

5. Annexe

Comportement à la rupture en traction



EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE LAUSANNE
POLITECNICO FEDERALE DI LOSANNA
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY LAUSANNE



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

TRAVAUX PRATIQUES DE MATÉRIAUX

MÉTAUX

B

ESSAI DE FLEXION PAR CHOC

SUR BARREAU ENTAILLÉ

(RÉSILIENCE)

Génie Civil 2^e semestre

C. Bacciarini

Ecublens, Mars 2009

1. Introduction

L'essai de résilience a pour objet de déterminer la résistance des matériaux à la rupture sous l'effet d'un choc par l'intermédiaire de l'énergie de rupture (fig. 1). Bien que la résistance à la rupture se mesure traditionnellement, avec un essai de traction classique, la résistance que l'on vise à étudier ici a peu en commun avec la résistance observée dans un essai de traction statique. Dans l'essai de traction la déformation est graduellement imposée à l'éprouvette. La matière a ainsi assez de temps pour réagir et s'adapter au changement. Dans la pratique, une pièce est souvent soumise à des chocs brutaux. Pour cette situation, les valeurs observées dans un essai de traction ne donnent pas toujours satisfaction et peuvent même être trompeuses. De nombreux accidents spectaculaires survenus surtout à l'époque où l'on n'avait pas suffisamment reconnu cette différence, en témoignent (à la fin 19ème et au début 20ème siècle).

Le problème se pose surtout avec les matériaux fragiles et les matériaux qui contiennent des retassures, des inclusions ou des fissures. Ces défauts provoquent un effet d'entaille, modifient localement les contraintes et entraînent surtout une triaxialité des contraintes. Des métaux initialement ductiles peuvent aussi se fragiliser en raison:

- d'une exposition prolongée à des températures élevées (grossissement des grains, précipitation sur les joints ou précipitation des phases fragiles),
- de l'absorption de gaz (surtout H₂, O₂),
- d'une attaque corrosive le long des joints de grains et
- d'une accumulation des dégâts d'irradiation.

Certains métaux sont ductiles lorsqu'ils sont rompus à faible vitesse de déformation, mais sont fragiles lorsqu'ils sont soumis à des chocs. Finalement, c'est aussi la température du métal lui même qui détermine si la rupture est fragile ou ductile. Les aciers de structure ferritique présentent, même lors d'un choc, une rupture ductile à 20°C mais deviennent fragiles à des températures hivernales. La transition entre le régime ductile et le régime fragile est assez rapide et se limite dans certains cas sur un intervalle de 20°C seulement. Cet effet s'observe surtout sur les aciers au carbone, utilisés pour la construction des ponts, des chemins de fer et des bateaux. Pour ces aciers, le régime fragile commence parfois déjà à 0°C et limite leur utilisation aux régions tempérées. L'addition des éléments d'alliage dans les aciers faiblement alliés permet d'abaisser cette température. L'apport massif de Ni et de Cr dans les aciers austénitiques fait complètement disparaître cette transition. Ces aciers gardent une ténacité élevée et se prêtent donc parfaitement à des constructions cryogéniques (récipients et tuyaux pour l'air ou l'He liquide).

2. Mouton de Charpy

Un marteau de masse m est fixé à l'extrémité d'un pendule (fig. 1 et 2). Ce pendule peut tourner dans le plan vertical autour d'un axe horizontal. L'éprouvette repose sur un support et se trouve au point le plus bas sur la trajectoire du marteau. Pour effectuer un essai, on écarte le bras jusqu'à ce que le marteau atteigne sa position initiale P et on le lâche. Quand le pendule vient frapper l'éprouvette, il a une énergie cinétique qui est égale à l'énergie potentielle qu'il avait à sa position de départ mgh_0 , h étant la hauteur du marteau par rapport à sa position d'équilibre. Après la rupture, le marteau remonte. Dans son point culminant (hauteur h_1), l'énergie cinétique résiduelle s'est de nouveau transformée en énergie potentielle mgh_1 . L'énergie K dépensée pour rompre l'éprouvette vaut alors

$$KV = mg(h_0 - h_1)$$

Comme l'énergie cinétique emportée par les débris après la rupture est négligeable, c'est l'énergie de rupture que l'on indique comme résultat de l'essai de résilience. De plus il faut absolument mentionner le type d'échantillon normé qu'on a utilisé pour sa détermination. Les éprouvettes les plus fréquemment utilisées aujourd'hui sont les types ISO-V et ISO-U (fig. 3). Ils ont une entaille en forme de V ou U pour fixer l'endroit de la fissure. L'énergie de rupture est finalement indiquée en J (Joule), précédée par les lettres KV ou KU pour désigner qu'il s'agit d'une énergie de rupture (K, de l'allemand: Kerbschlagzähigkeit) mesurée avec une éprouvette ayant une entaille en forme de V ou U.

Pour obtenir la résilience a_K on divisera encore cette valeur par la section de l'échantillon à l'endroit de la fissure. L'unité habituelle pour exprimer la résilience a_K est le J/cm^2 tandis que l'énergie de rupture KV est indiquée en J. Comme la valeur a_K ne présente aucun avantage sur l'indication de l'énergie de rupture, **on indique aujourd'hui uniquement l'énergie de rupture K** (souvent directement appelée résilience).

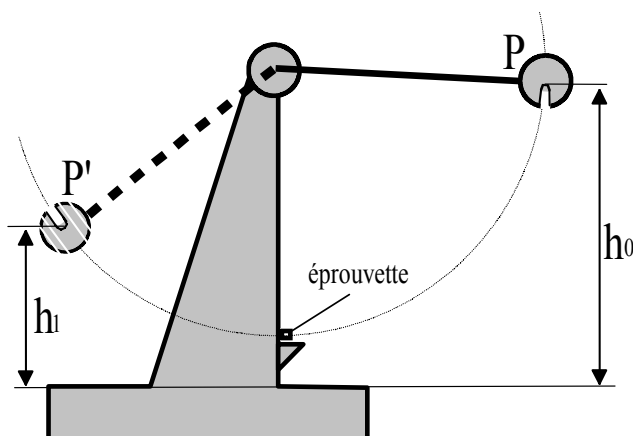


Fig. 1 Le mouton de Charpy.

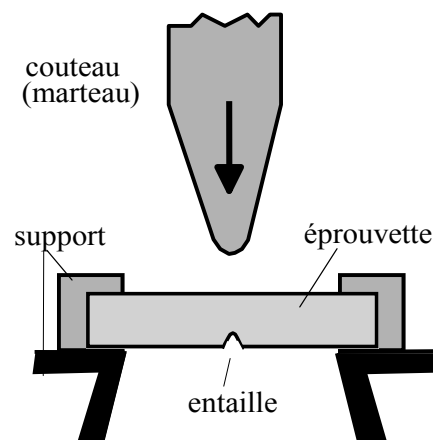


Fig. 2 Appui de l'éprouvette vue d'en haut.

3. Les éprouvettes

L'effet de la forme de l'éprouvette sur l'énergie de rupture est très prononcé. La fig. 3 montre les formes et dimensions géométriques de 3 types d'éprouvettes standardisées. Elles ont toutes une longueur de 55 mm et une section nominale de $10 \times 10 \text{ mm}^2$, mais se distinguent dans leur forme et leur profondeur d'entaille qui se trouve sur le côté opposé à l'endroit où le marteau frappe (fig. 2). Elle a pour objet de garantir un état de contrainte triaxiale, déjà lors de l'amorçage de la fissure, plutôt que de provoquer l'effet d'entaille. C'est pour cette raison que le fond de l'entaille n'est pas pointue mais cylindrique (rayon de 0.25 ou de 1 mm selon type d'éprouvette). L'aire de la section restant à l'endroit de l'entaille est, selon la définition de la résilience a_K , la section à utiliser pour le calcul de sa valeur. Notez que seuls des résultats obtenus sur des éprouvettes de dimensions identiques devraient être comparés. Il n'y a pas de méthode générale de conversion de valeurs de résilience, obtenues par une méthode d'essai, en valeurs qui seraient obtenues par une autre méthode d'essai. Un constructeur qui aimerait donner une garantie pour la sécurité de son produit doit donc tenir compte d'une importante marge d'incertitude.

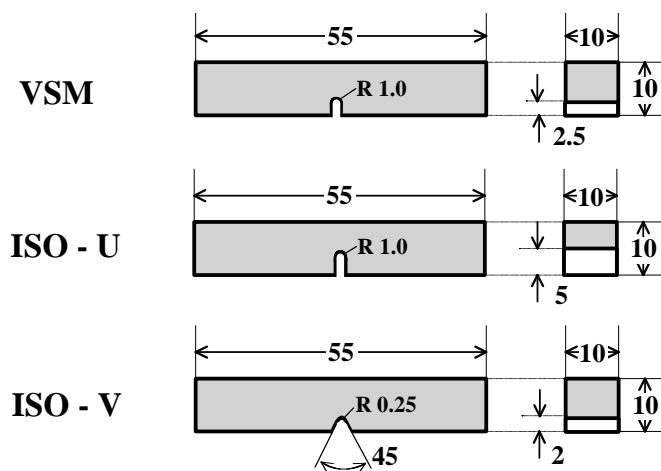


Fig. 3 Eprouvettes Charpy standardisées. Le type le plus utilisé est l'éprouvette ISO-V. Dimensions en mm.

4. Notice de sécurité

Le nom mouton est trompeur. Il s'agit plutôt d'un bélier; le bras et le marteau sont dimensionnés pour casser des barres d'acier. Comme la résilience de nos os est nettement inférieure à celle des aciers, l'opérateur doit absolument s'assurer, **avant** de lâcher le pendule, que personne ne se trouve à proximité du rayon d'action du marteau. Il arrive parfois que des débris de l'éprouvette cassée partent dans des directions imprévues. Les arêtes vives de la surface de rupture sont tranchant et peuvent créer de vilains blessures. Il convient donc de protéger les yeux par des **lunettes de sécurité** et de porter des **gants de protection**.

5. Essais réalisés

- EPROUVETTE : - TYPE : ISO-V
 - DIMENSIONS : 10 x 10 x 55 mm
 - ENTAILLE : ISO-V (V-Notch) : a = 45° ;
profondeur d'entaille = 2 mm ;
rayon à fond d'entaille : r = 0,25 mm
- MACHINE D'ESSAI : MOUTON-PENDULE AMSLER
- ÉNERGIE : 300 J
- TEMPERATURE D'ESSAI : °C
- ANALYSE CHIMIQUE DE L'ACIER TESTE (S235JRG2C (St 37-2))

C [%]	$\leq 0,17$
S	$\leq 0,050$
P	$\leq 0,050$
Mn	0,20 - 0,50
Si	traces
Cu	$\text{Cu} \leq 0,4$
Autres	$\text{N} \leq 0,007$

- PROPRIETES MECANIQUES (TRACTION)

Propriétés à l'essai de traction	DIN 17100 E1652 T2	
- Etat : - recuit :		
Re	N/mm ²	≥ 235
Rm	N/mm ²	340-470
A ₅	%	≥ 26
KV+20°C	J	≥ 27
- Etat : - étiré à froid :		
Re	N/mm ²	≥ 380
Rm	N/mm ²	500-800
A ₅	%	≥ 8

- OBSERVATIONS : Les matériaux livrés sont à l'état étiré à froid.

6. Résultats

Eprouvette N°	Température [°C]	Energie [J]	Surfaces de rupture*		
			F	M	D

* Ruptures :
F = fragiles
M = mixtes (fragiles-ductiles)
D = ductiles

Remarque : si l'éprouvette n'est pas rompue après le choc, indiquer la valeur de l'énergie entre parenthèses.

Représenter les résultats sous forme de graphe $E_{rup} = f[\text{Température}]$