

TP 02: Étude de l'anisotropie verticale des tôles en Acier pour Portes

1. Objectif du TP

L'objectif de ce travail pratique est d'étudier l'anisotropie mécanique des tôles en acier utilisées dans la fabrication des portes. L'essai consiste à tester des éprouvettes de traction, normalisées selon la norme **ASTM E8M**, découpées par **plasma** dans des tôles d'une épaisseur de **3 mm**, sous trois angles différents (0° , 45° , 90°) par rapport à la direction du laminage, afin d'évaluer l'impact de la direction de coupe sur les propriétés mécaniques de l'acier. Pour chaque orientation, trois éprouvettes seront testées pour garantir la fiabilité des résultats. En plus, on détermine l'anisotropie verticale pour chaque éprouvette.

2. Détermination de la valeur r conformément à ISO 10113

Détermination de l'anisotropie verticale (valeur r) conformément à **ISO 10113**. La valeur r , ou plus précisément, l'anisotropie verticale est l'une des valeurs caractéristiques typiques de l'essai de traction, en plus de la [limite d'élasticité conventionnelle](#), de la [résistance à la traction](#), de l'allongement plastique, de l'[allongement à la rupture](#) et de l'[exposant d'écrouissage \(valeur \$n\$ \)](#). Toutes ces valeurs caractéristiques sont utilisées pour caractériser les matériaux métalliques et sont déterminées dans le cadre de la R&D ainsi que pour les tests de qualité et de libération. Les normes correspondantes sont ISO 10113, ASTM E517 et JIS Z2254.

La norme **DIN EN ISO 10113** définit l'anisotropie verticale comme étant : "Pour une éprouvette métallique soumise à un essai de traction (uniaxial), la valeur r est le rapport entre la déformation plastique vraie en largeur et la déformation plastique vraie en épaisseur "

Pour calculer la valeur r , vous devrez donc mesurer la déformation plastique vraie en largeur et en épaisseur pendant l'allongement uniformément réparti. Sachant qu'il est beaucoup plus aisé de mesurer la variation de longueur plutôt que la variation d'épaisseur, la norme est cependant basée sur le **modèle du volume constant dans la plage allant jusqu'à la force maximale A_g** (allongement uniforme). Si l'on suppose que le volume est constant jusqu'à la déformation plastique de l'extensomètre à force maximale A_g , l'utilisateur peut alors remplacer la variation de l'épaisseur par la déformation, afin de déterminer la valeur r .

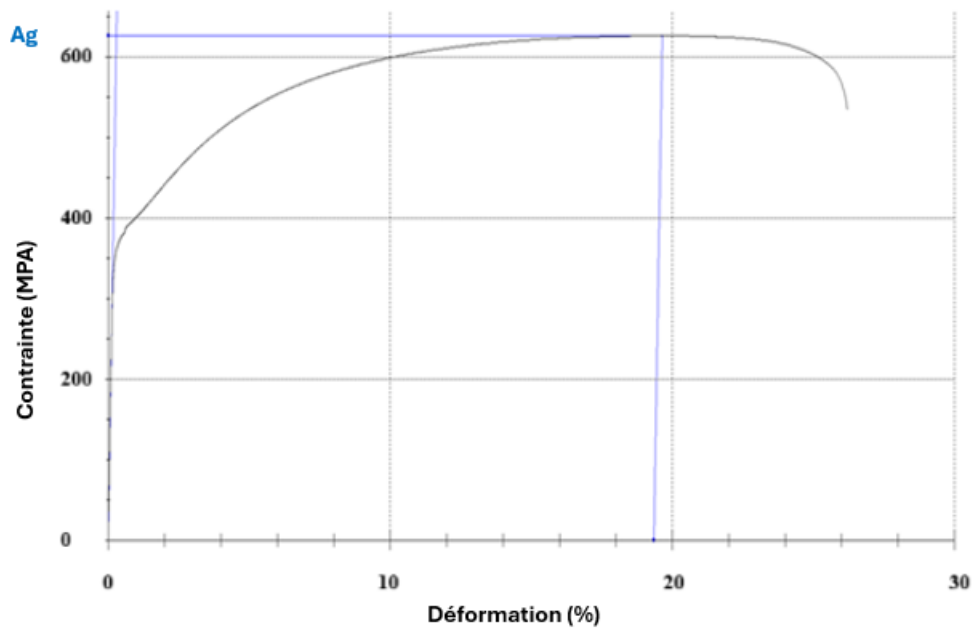


Figure 1 : Courbe typique contrainte-déformation .

Une éprouvette conserve son volume jusqu'à l'allongement uniformément réparti :

$$Ag: V_0 = V_1 \rightarrow L_0 \times S_0 = L_1 \times S_1$$

L'expression du paramètre r est donnée par la relation suivante :

$$r = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t}$$

où :

- ϵ_w est la **déformation plastique vraie en largeur**, c'est-à-dire la déformation dans la direction perpendiculaire à la direction de traction.
- ϵ_t est la **déformation plastique vraie en épaisseur**, c'est-à-dire la déformation dans la direction parallèle à la direction de traction.

Définition plus détaillée des déformations :

- La **déformation vraie** (ϵ) est définie comme :

$$\epsilon = \ln \left(\frac{L}{L_0} \right)$$

où L est la longueur actuelle (après déformation) et L_0 est la longueur initiale de l'éprouvette.

- Dans le cadre d'un essai de traction uniaxial, ϵ_w représente la déformation en largeur (dans la direction perpendiculaire à l'axe de traction) et ϵ_t représente la déformation en épaisseur (dans la direction de l'axe de traction).

3. Signification de la valeur r

Lorsque la valeur r est égale à **1**, nous avons alors un matériau isotrope, dans lequel la déformation varie de même manière en largeur et en épaisseur. Si la valeur est supérieure à 1, on a une plus grande déformation en largeur. Si la valeur est inférieure à 1, on a une plus grande déformation en épaisseur.

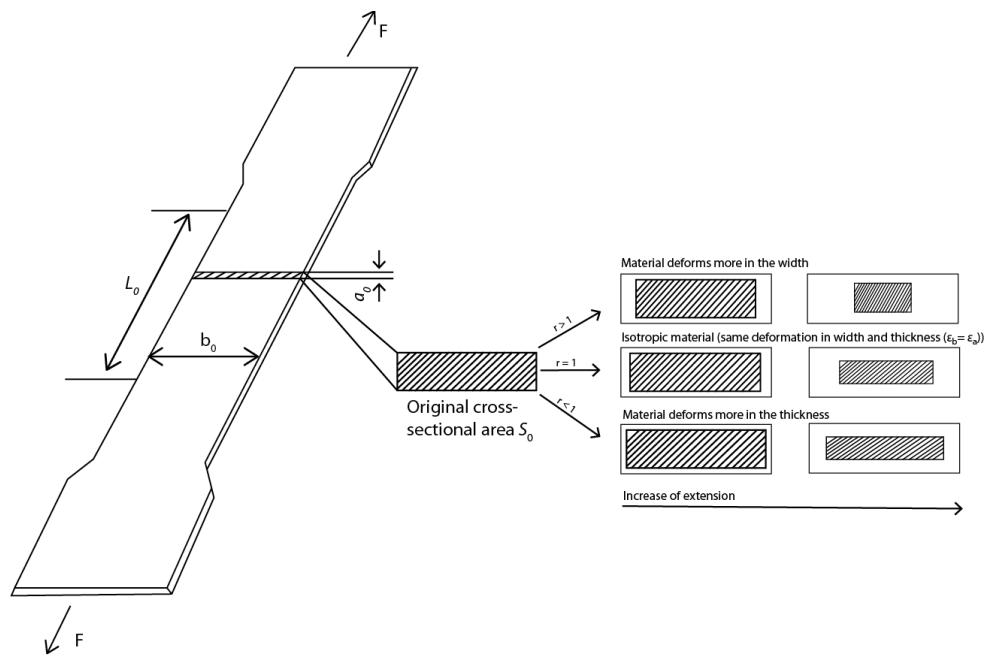


Figure 2 : Déformation en largeur et en épaisseur selon la valeur de r .

4. Matériel et Équipement

- 1) **Éprouvettes de traction** : Découpées dans des tôles d'acier destinées à la fabrication de portes, sous les angles suivants :
 - 0° : Direction longitudinale.
 - 45° : Direction diagonale.
 - 90° : Direction transversale.

La découpe est effectuée par **plasma**, une méthode permettant d'obtenir des bords nets et une faible zone affectée thermiquement. Les tôles utilisées ont une épaisseur de **3 mm**.

- 2) **Machine de traction ZWICK 150 kN** : Machine utilisée pour effectuer les essais de traction.
- 3) **Logiciel TestXpert 3** : Logiciel de traitement des données pour la collecte, l'analyse et l'interprétation des résultats.
- 4) **Appareils de mesure** : Pied à coulisse pour mesurer les dimensions des éprouvettes avant l'essai, extensomètre pour mesurer la déformation pendant l'essai.
- 5) **Excel** : Utilisé pour importer et traiter les données, ainsi que pour tracer les courbes de contrainte-déformation.
- 6) **Format ZPV ou ZSE** : Format d'exportation des données pour une utilisation ultérieure. A numériser par plotdigitizer pour exporter les données vers Excel ou un autre logiciel de traitement de données.

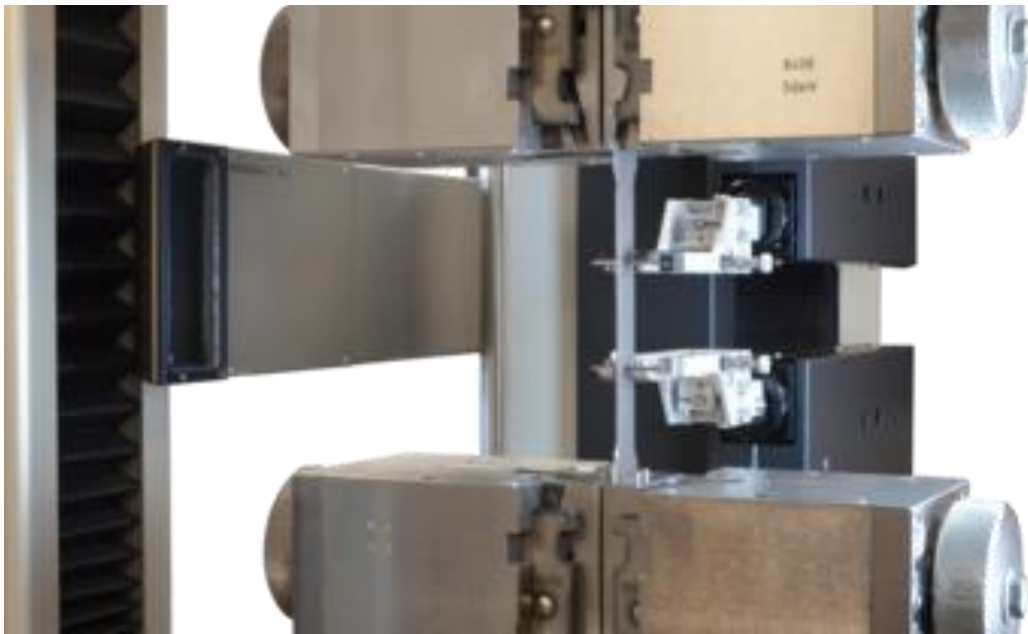


Figure 3 : Fixation de l'éprouvette sur la machine ZWICK 150 KN.

5. Procédure

1) Préparation des Éprouvettes

- Les éprouvettes sont découpées par **plasma** à partir des tôles d'acier de **3 mm** d'épaisseur, en respectant les orientations suivantes : 0° , 45° et 90° par rapport à la direction du laminage. Cette méthode de découpe assure des bords nets et réduit l'impact thermique sur la zone adjacente à la coupe.

- Mesurer avec précision les dimensions des éprouvettes (longueur, largeur, et épaisseur) à l'aide d'un pied à coulisse ou d'un micromètre.

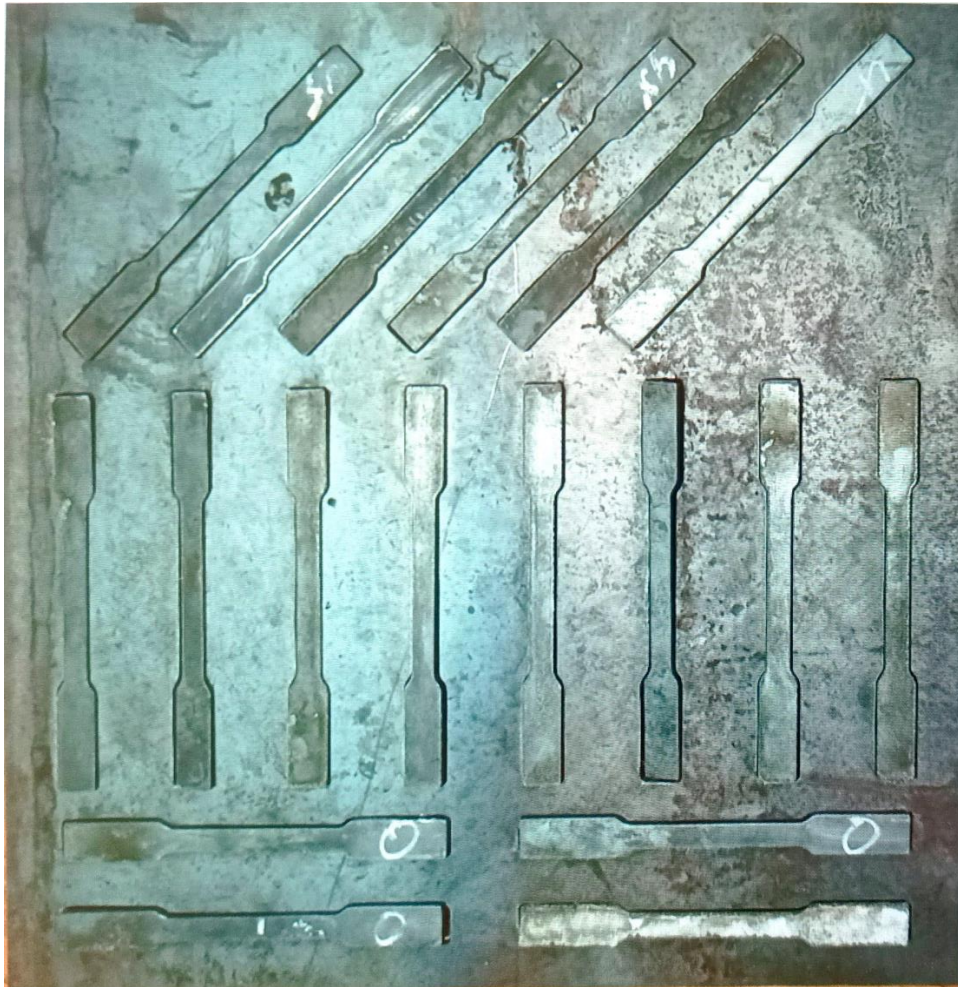


Figure 4 : Eprouvettes découpées par CNC plasma à 0°, 90° et 45°.

2) Configuration de la machine et du logiciel

- Installer chaque éprouvette sur la machine de traction ZWICK 150 kN, en s'assurant qu'elle est correctement fixée et alignée.
- Ouvrir TestXpert pour configurer l'essai de traction : Définir **la vitesse d'essai de traction à 1 mm/min**, la charge maximale, l'arrêt de l'essai une fois que la charge maximale chute de 80%, et sélectionner les paramètres de mesure (force et déformation).
- **Paramétrer les données de test** : Orientation des éprouvettes (0°, 45°, 90°) et type d'éprouvette.

3) Exécution de l'Essai

- Lancer le test de traction pour chaque éprouvette. Pour chaque orientation (0°, 45°, 90°), **répéter l'essai 3 fois** afin de garantir la fiabilité des résultats.
- Augmenter progressivement la charge jusqu'à la rupture de l'éprouvette et enregistrer les résultats de force et de déformation à chaque instant à l'aide du logiciel TestXpert.
- Réaliser cette procédure pour chaque orientation des éprouvettes (0°, 45°, 90°).

4) Enregistrement des Données de l'essai sous formats (ZPV ou ZSE)

Dans **TestXpert**, exporter les données des essais de traction sous format **ZPV ou ZSE**. Les données à exporter sont:

- 1) Force (N)
- 2) Allongement (mm) ou déformation (%)
- 3) Les paramètres initiaux : longueur initiale (L_0), largeur initiale (l_0) et **épaisseur initiale** (e_0) mesurés avant l'essai.

Après l'essai, on mesure par pied à coulisse, les paramètres finaux : longueur finale (L_f), largeur finale (l_f) et **épaisseur finale** (e_f).

5) Calcul des contraintes et déformations technologiques et du paramètre r

Du fait que l'extensomètre de la machine est défectueux, on se limite aux paramètres technologiques au lieu des paramètres vrais.

Calculer la **contrainte** (σ) et la **déformation** (ε) à partir des données mesurées :

$\sigma = \frac{F}{S_0}$ où F est la force en N et S_0 est la section initiale de l'éprouvette (en mm²).

$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0}$ où L est la longueur actuelle et L_0 est la longueur initiale de l'éprouvette (en mm).

6) Superposition des Courbes Contrainte-Déformation et Calcul de la Courbe Moyenne avec Écarts Types

Utilisez **Excel** pour tracer les courbes **Contrainte-Déformation** pour chaque orientation (0°, 45°, 90°).

- Insérer les données de contrainte et de déformation calculées dans un graphique.
- Utilisez un graphique de type courbe ou nuage de points avec ligne pour afficher les courbes contrainte-déformation pour chaque orientation (0°, 45°, 90°).
- Superposer les courbes des trois orientations (0°, 45°, 90°) sur un seul graphique.
- Ajouter les courbes moyennes des trois orientations : pour chaque point de la déformation, calculer la moyenne des contraintes des trois essais réalisés dans chaque orientation.
- Calculer l'écart-type S pour chaque trois essais à l'aide de la formule suivante :

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Où :

- (x_i) est la valeur de contrainte pour le (i)-ème essai,
- (\bar{x}) est la moyenne des contraintes pour chaque point de déformation,
- ($n = 3$) est le nombre d'essais (puisque vous effectuez 3 répétitions pour chaque orientation).
- Ajouter les barres d'erreur correspondant aux écarts-types sur les courbes moyenne, pour visualiser la dispersion des résultats.

7) Interprétation des Résultats

- Une valeur de (r) proche de 1 indique une faible anisotropie, signifiant que les propriétés mécaniques sont similaires dans toutes les directions.
- Une valeur de (r) plus élevée ou plus faible montre une anisotropie marquée, ce qui peut indiquer une variation significative de la résistance en fonction de la direction du laminage de la tôle.

8) Comparaison des Résultats

- Les résultats obtenus pour chaque orientation (0° , 45° , 90°) sont comparés pour évaluer la variation des propriétés mécaniques et comprendre comment la direction de coupe influence la résistance du matériau.
- En utilisant cette analyse, il est possible de mieux comprendre les caractéristiques anisotropes des tôles en acier, ce qui est essentiel pour optimiser la conception des portes en fonction des contraintes auxquelles elles seront soumises.

9) Donner une conclusion à votre travail pratique