



HAL
open science

Développement d'un essai de cisaillement séquencé, cisaillement simple -usinage des bords libres

Xavier Colon, Bertrand Galpin, Vincent Grolleau

► **To cite this version:**

Xavier Colon, Bertrand Galpin, Vincent Grolleau. Développement d'un essai de cisaillement séquencé, cisaillement simple -usinage des bords libres. Congrès Français de Mécanique 2022, Aug 2022, Nantes, France. hal-04229757

HAL Id: hal-04229757

<https://hal.science/hal-04229757>

Submitted on 5 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Développement d'un essai de cisaillement séquencé, cisaillement simple – usinage des bords libres

X. COLON^{a,b}, B. GALPIN^{a,c}, V. GROLLEAU^{a,b}

a. Univ. Bretagne Sud, CNRS UMR 6027, IRDL, F-56100 Lorient, France, xavier.colon@univ-ubs.fr, bertrand.galpin@univ-ubs.fr, vincent.grolleau@univ-ubs.fr

b. Department of Mechanical and Process Engineering, ETH Zurich, Zurich, Switzerland

c. Ecoles Saint-Cyr Coëtquidan, CREC, F-56380 Guer, France

Résumé :

L'essai de cisaillement simple est limité en déformation maximale par l'apparition de déchirures ou d'arrachement de matière entre les mors près des bords libres de l'éprouvette. Pour augmenter le niveau maximal de déformation, tout en maintenant sa simplicité, nous proposons un essai de cisaillement simple séquencé. Chaque séquence est composée d'une phase de cisaillement simple, avec un déplacement limité, et d'une phase de ré-usinage des bords libres permettant de supprimer les parties endommagées. Les essais réalisés montrent qu'il est possible de doubler le niveau de déformation maximale d'un essai de cisaillement simple classique.

Abstract :

During a simple shear test, the maximum strain is limited by the occurrence of fracture or sliding of the specimen out of the jaws near the free edges of the specimen. In order to increase the final shear strain while maintaining its simplicity, we propose a sequenced single shear test. Each sequence consists of a simple shearing phase, and a re-machining of the free edges in order to remove the damaged parts. The tests carried out show that it is possible to double the maximum deformation level from standard simple shear test.

Mots clefs : Cisaillement simple, pré-déformation, trajet de chargement, écrouissage

1 Introduction

La connaissance du comportement des tôles métalliques aux grandes déformations est cruciale pour les simulations de mise en forme et de crash de structures. Les essais de cisaillement simple sont généralement privilégiés aux essais de traction dont la déformation maximale homogène est limitée par l'apparition de la striction. L'essai de cisaillement simple d'une éprouvette rectangulaire encastree dans deux mors est cependant limité par l'occurrence d'arrachements de matières et de déchirure anticipée au niveau des bords libres de l'éprouvette. D'autres essais de cisaillement ont été développés pour contourner ce problème, citons en particulier les éprouvettes de traction avec encoches latérales optimisées pour

retarder la déchirure des bords libres [1] [2] ou bien l'essai de torsion plane [3], mais ces essais rendent plus complexe l'identification de l'érouissage du matériau à partir des mesures de force et de champs de déplacement lorsque le matériau est anisotrope.

2 Principe du cisaillement séquencé

Dans la zone proche des bords, le matériau n'est pas dans un état de contrainte de cisaillement simple, mais dans un état proche de la traction uniaxiale (Bouvier et al. [4] et An et al. [5]) ce qui est à l'origine de la rupture anticipée. Afin de pouvoir atteindre des niveaux de déformation importants avec un dispositif de cisaillement simple, la méthode proposée est d'usiner séquentiellement les bords libres pour éliminer les zones endommagées. Le cisaillement est alors réalisé de façon séquentielle, avec une première étape de cisaillement réalisée dans une machine d'essais universelle, suivie d'une étape d'usinage dans une fraiseuse (Fig : 1).

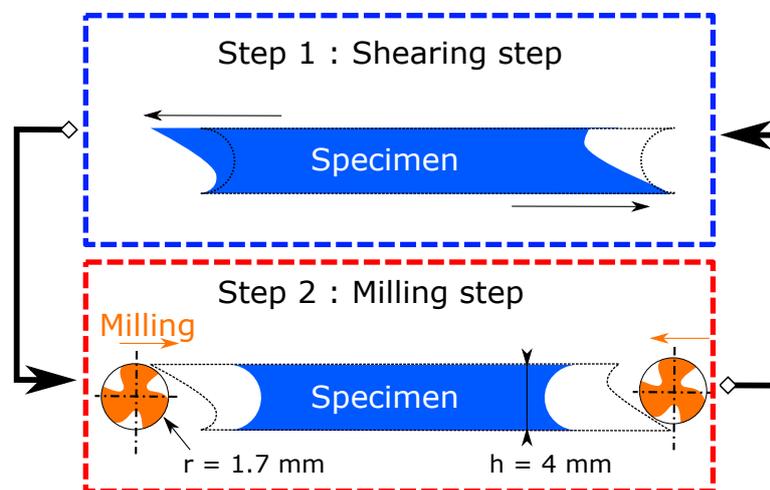


FIGURE 1 – Schéma de principe du cisaillement séquencé. Step 1 : cisaillement simple ; Step 2 : usinage des bords libres

Dans le but de simplifier les re-usinages, les extrémités de l'éprouvette ont une géométrie circulaire facilement reproduite par fraisage de forme. Au cours de chaque cycle de cisaillement, le déplacement imposé est limité pour éviter l'apparition de ruptures sur le bord libre. Lors d'essais de cisaillement simple monotones, la force passe généralement par un maximum correspondant à l'apparition de ruptures sur les bords libres, permettant de définir un déplacement maximal monotone u_{max}^{SH} . Afin de limiter l'endommagement des bords libres de l'éprouvette à chaque séquence, seule une proportion de ce déplacement maximal u_{max}^{SH} est appliqué lors des cycles de cisaillement. L'expérience nous conduit à adopter un déplacement maximal u_{cycle}^{SH} compris entre le tiers et la moitié du déplacement maximal $u_{max}^{SH}/3 < u_{cycle}^{SH} < u_{max}^{SH}/2$.

2.1 Dispositif expérimental

Le montage se base sur un dispositif de cisaillement simple (Fig : 2) avec un entrefer $h = 4$ mm. D'après une étude de Bouvier et al. [4], le maintien d'un état de cisaillement simple dans l'éprouvette requiert d'avoir une longueur minimale d'éprouvette de $L = 40$ mm, en respectant le ratio $L/h > 10$. Les éprouvettes utilisées sont rectangulaires avec une encoche circulaire de 3.4 mm de diamètre au niveau des

bords libres. Le dispositif et l'éprouvette sont dimensionnés de telle sorte que l'extraction d'une éprouvette de traction à déformation plane puisse être extraite de l'échantillon cisailé.

L'essai de cisaillement est réalisé dans une machine de traction simple (label 5 Fig : 2). Le besoin de pouvoir monter et démonter facilement le dispositif nous a conduit à utiliser un mouvement de compression pour imposer le déplacement relatif des deux mors. Le dispositif est composé d'un mors mobile (label 1 Fig : 2) et d'un mors fixe (label 2 Fig : 2). Dans ces 2 mors, se trouvent des mâchoires qui sont serrées par les vis (label 7 Fig : 2) afin d'assurer le serrage de l'éprouvette.

La force est mesurée par une cellule de capacité 50 kN, la vitesse de déplacement de la traverse est de 0.66 mm/min pour un taux de déformation de l'ordre de 10^{-3} /s.

Le champ de déplacement est mesuré par corrélation d'image 2D avec une caméra de 5 Mpx (label 4 Fig : 2) conduisant à une taille de pixel de l'ordre de $50 \mu\text{m}/\text{px}$. Le niveau de bruit en déformation en l'absence de déplacement est de $2 \cdot 10^{-3}$.

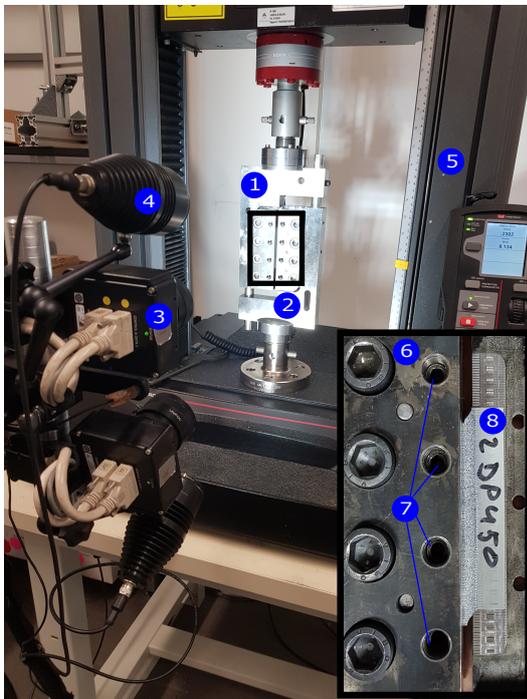


FIGURE 2 – Dispositif de cisaillement simple



FIGURE 3 – Configuration de l'usinage

2.2 Résultats expérimentaux

Les essais ont été conduits sur deux aciers, DP450 et DC01, pour plusieurs niveaux de déformation avec des répétabilités. Une étude numérique, qui n'est pas présentée ici, a permis de définir la longueur minimale de ligament, le calcul de la contrainte et de la déformation. La contrainte de cisaillement est calculée comme le rapport de la force sur la section cisailée F/S , les déformations sont calculées comme des valeurs moyennes sur une zone de 5×2 mm située au centre de l'éprouvette [6].

La figure 4 montre l'évolution de la déformation le long du ligament en terme de déformation majeure, déformation mineure (en valeur absolue) et la déformation effective au sens de von Mises. Ces évolutions sont présentées pour plusieurs séquences, en fin de cycle de cisaillement. De séquence en séquence, la longueur du ligament est évidemment réduite en raison des usinages successifs. La longueur de ligament

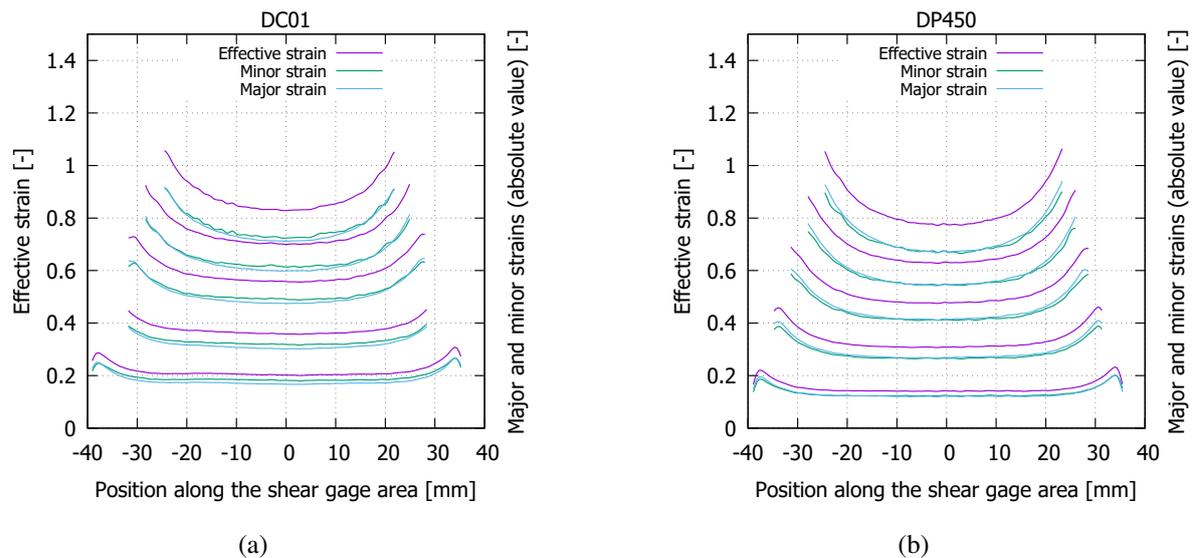


FIGURE 4 – Évolution de la déformation effective le long du ligament pour l'acier DC01 et DP450

initiale est de 76 mm. Pour les deux matériaux, les déformations majeures et mineures (en valeur absolue) sont très proches, avec des écarts inférieurs à 2%, ce qui confirme une cinématique de cisaillement simple. Ces mesures confirment les résultats numériques ayant conduit à sélectionner une zone d'évaluation des déformations située au centre et de longueur réduite à 5 mm. Pour chaque matériau, il est possible d'obtenir une zone cisailée, homogène en déformation, de l'ordre de 20 mm de longueur, pour une longueur de ligament à la dernière séquence de 46 mm de longueur.

Les figures 5(a) et 5(b) montrent l'évolution de la contrainte en fonction des déformations effectives pour chaque matériau. Dans le cas du DC01, un essai monotone est présenté, translaté en contrainte de -50 MPa. Lors de cet essai monotone, la contrainte passe par un maximum pour une déformation de l'ordre de 0.52, et une perte de raideur significative apparaît pour une déformation de l'ordre de 0.4. Cet essai permet de définir le déplacement à utiliser lors des essais séquencés. Trois essais séquencés sont présentés, composés de un, deux et 5 cycles de cisaillement. L'écart relatif maximal des contraintes est de 3.9%. Les résultats sont également comparés avec des mesures obtenues au cours d'un essai de torsion plane, Cf. Grolleau et al. [3], courbe pointillée noire figure 5(a), et grise (translatée de -50 MPa). La comparaison avec la torsion permet de valider l'utilisation du cisaillement séquencé en grande déformation.

Dans le cas de l'acier DP450 (Fig : 5(b)), les résultats de deux essais séquencés avec des incréments de déplacement différents sont comparés. Les écarts en contraintes demeurent faibles, inférieurs à 1.1% pour des déformations maximales de 0.77. Un résultat d'essai monotone est également présenté, translaté en contrainte de -50 MPa. Encore une fois, l'essai monotone se caractérise par une contrainte maximale pour une déformation de l'ordre de 0.41.

Pour ces essais, deux valeurs de déplacement u_{cycle}^{SH} ont été utilisés pour le premier cycle. Le choix du pas ne semble pas avoir une influence significative sur l'essai de cisaillement séquencé. Prendre des pas trop faibles va cependant conduire à devoir réaliser plus de cycles pour une même déformation finale, donc plus d'usinages, ce qui augmente le nombre de manipulations et le risque d'erreur.

La mesure de la longueur du ligament après chaque usinage est évidemment de première importance pour la détermination de la contrainte. La définition de la caméra utilisée pour la corrélation d'image,

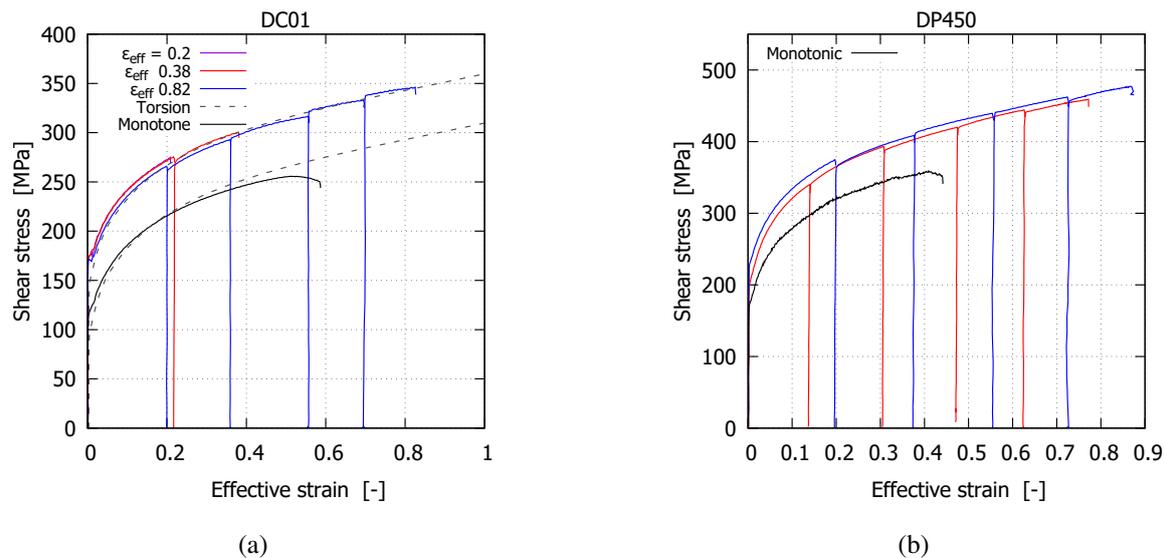


FIGURE 5 – Evolution de la contrainte en fonction de la déformation pour le DC01 (a) et le DP450 (b)

de l'ordre de $50 \mu\text{m}/\text{px}$ n'est pas suffisante pour mesurer cette longueur avec une précision suffisante et doit donc être complétée d'une mesure classique.

3 Conclusion

Les essais de cisaillement séquencés ont permis de doubler la valeur de déformation par rapport à celle d'un essai de cisaillement simple. La comparaison du cisaillement séquencé avec les résultats d'un essai de torsion plane, un essai qui permet d'obtenir des grandes déformations en cisaillement sans être limité par l'effet des bords libres sur la déchirure, montre que les courbes de comportement sont superposables. Le choix de la valeur du pas de chargement est primordial pour limiter l'endommagement sur les bords libres. Nos essais montrent qu'une valeur de pas égale au tiers, voire la moitié, du déplacement maximal d'un essai monotone remplit nos objectifs. Dans cette limite, la courbe de comportement obtenue par cisaillement séquencé n'est pas influencée par la valeur du pas de déplacement imposé à chaque cycle. Dans l'objectif d'étudier la rupture ductile pour des trajets de chargement complexes, nous allons pouvoir associer cet essai de cisaillement avec un essai de traction à déformation plane de type mininakazima.

Remerciement

Cette recherche a reçu le soutien financier de la Région Bretagne (bourse doctorale ARED) et de ETH Zurich (financement doctoral). Les auteurs remercient ces institutions pour leurs contributions.

Références

- [1] J. PEIRS, P. VERLEYSSEN, W. VAN PAEPEGEM et J. DEGRIECK : Novel pure-shear sheet specimen geometry for dynamic material characterisation. In *DYMAT 2009 - 9th International Conferences on the Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dynamic Loading*, volume 1, pages 35–41. EDP Sciences.
- [2] Christian C. ROTH et Dirk MOHR : Ductile fracture experiments with locally proportional loading histories. *International Journal of Plasticity*, 79:328–354, avril 2016.

-
- [3] Vincent GROLLEAU, Christian ROTH et Dirk MOHR : Design of in-plane torsion experiment to characterize anisotropic plasticity and fracture under simple shear. *International Journal of Solids and Structures*, 236-237:111341, février 2022.
- [4] S BOUVIER, H HADDADI, P LEVÉE et C TEODOSIU : Simple shear tests : Experimental techniques and characterization of the plastic anisotropy of rolled sheets at large strains. *Journal of Materials Processing Technology*, 172(1):96–103, 2006.
- [5] YG AN, H VEGTER et J HEIJNE : Development of simple shear test for the measurement of work hardening. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(9):4248–4254, 2009.
- [6] Xavier COLON, Morwan ADLAFI, Laurent MAHEO, Bertrand GALPIN et Vincent GROLLEAU : Design of a simple shear test for large strains with sequential re-machining of the specimen edges. *In 41st International Deep Drawing Research Group*, 2022.