

Simulation des assemblages par déformation. Vers une approche intégrée de l'assemblage dans la phase de dimensionnement

Pierre-Olivier Bouchard, Sébastien Fayolle, Katia Mocellin, Pierre Ravassard

▶ **To cite this version:**

Pierre-Olivier Bouchard, Sébastien Fayolle, Katia Mocellin, Pierre Ravassard. Simulation des assemblages par déformation. Vers une approche intégrée de l'assemblage dans la phase de dimensionnement. Journées Internationales d'Etudes ITCT 2006, Nov 2006, Paris, France. 8 p. hal-00582326

HAL Id: hal-00582326

https://minesparis-psl.hal.science/hal-00582326

Submitted on 1 Apr 2011

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.

Simulation des assemblages par déformation
Vers une approche intégrée de l'assemblage dans la phase de dimensionnement

P.O. Bouchard, S. Fayolle, K. Mocellin
CEMEF – Ecole des Mines de Paris.
Email : pierre-olivier.bouchard@ensmp.fr

P. Ravassard
CETIM

L'augmentation de structures multimatériaux dans de nombreuses industries conduit à une utilisation de plus en plus importante des procédés d'assemblage. Nous nous intéressons ici plus particulièrement aux procédés d'assemblage ponctuels par déformations plastiques tels que les différentes familles de rivetage ou encore de clinchage. Dans l'industrie automobile par exemple, la volonté permanente d'alléger la « caisse en blanc » conduit à l'utilisation de plus en plus fréquente de métaux légers tels que les alliages d'aluminium, ou encore de tôles polymères composite. Le point de soudure, majoritairement utilisé pour l'assemblage de tôles de carrosserie, n'est alors plus adapté. Les techniques de rivetage autopoinçonneur ou encore de clinchage représentent alors des solutions idéales, alliant facilité de pose, tenue mécanique appropriée et assemblage propre (absence de fumée, de projections, de bruit, d'eau).

A l'heure actuelle, le choix de la configuration d'assemblage « optimale » provient soit de l'expérience du technicien, soit d'une campagne expérimentale de type « essai-erreur » souvent coûteuse et lourde à mettre en place.

L'objectif de notre étude est la mise au point d'un logiciel métier dédié à l'assemblage par déformations. Ce logiciel aura pour but de modéliser à la fois les étapes d'assemblage et de dimensionnement du point d'assemblage. Ce projet s'inscrit donc dans une démarche forte au niveau industriel, consistant à **intégrer la phase de conception dans le dimensionnement des pièces en service.**

Le logiciel aura pour vocation de modéliser les différentes familles d'assemblage par déformations plastiques : rivetage, clinchage, sertissage, vissage, … Cependant l'article sera développé autour du procédé de rivetage autopoinçonneur qui présente la plus grande complexité du point de vue de la modélisation numérique : déformations plastiques importantes, contact multidomaines, endommagement et rupture. Nous décrirons donc dans un premier temps le procédé de rivetage autopoinçonneur. Nous présenterons ensuite le logiciel FORGE2005® actuellement utilisé pour la modélisation des assemblages. Nous présenterons ensuite les résultats numériques et les comparaisons expérimentales obtenues sur les phases de pose de l'assemblage, puis de tenue mécanique. Enfin nous élargirons le domaine d'application du logiciel en présentant d'autres exemples d'assemblages.

1. Le rivetage autopoinçonneur :

Le rivetage autopoinçonneur est un procédé d'assemblage de deux tôles (ou plus) à l'aide d'un rivet. Le principe consiste à faire pénétrer un rivet creux semi-tubulaire par poinçonnage dans la (les) première(s) épaisseur(s) de matière, puis à le faire s'évaser dans l'épaisseur inférieure sans perforer celle-ci, grâce à la reprise de l'effort par la matrice (appelée

également bouterolle). On réalise ainsi un point d'assemblage résistant en une unique opération, sans émission d'étincelles ou de fumées (figure 1).

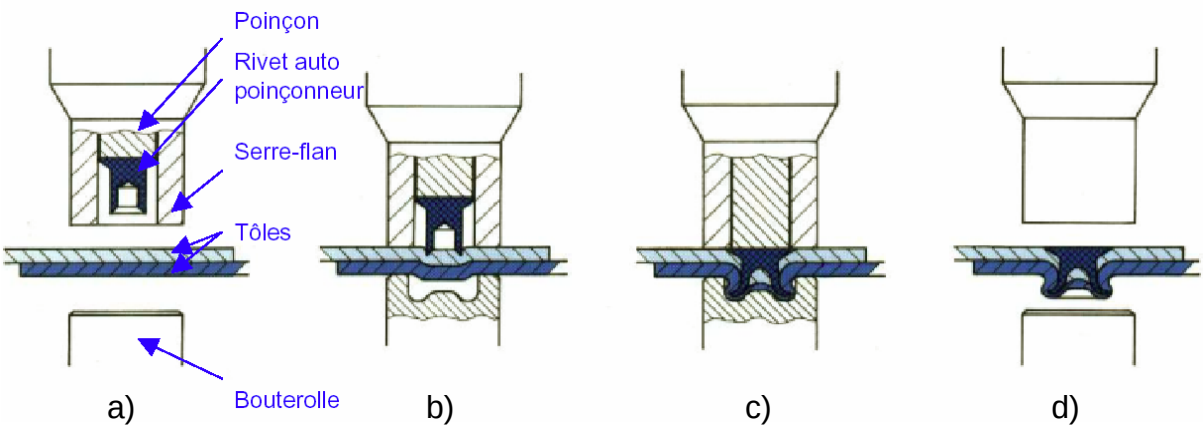


Figure 1 - Description des différentes étapes du rivetage auto-poinçonneur : a) configuration outils + rivet + tôles – b) plaquage et début de poinçonnement par le rivet – c) fin du rivetage – d) retrait des outils et déchargement élastique.

Le rivetage autopoinçonneur offre la possibilité d'assembler des matériaux différents ou encore des matériaux pré-peints ou avec revêtement plastique. Il présente une tenue mécanique satisfaisante (notamment en fatigue) et ne nécessite aucune préparation des pièces, ni reprise après assemblage. Il s'agit d'un assemblage étanche (tôle inférieure non perforée) et dont la pose permet un contrôle en continu du process avec traçabilité et caractérisations non destructives. Il s'agit enfin d'une technique d'assemblage propre (absence de fumée, de projections, de bruit, d'eau).

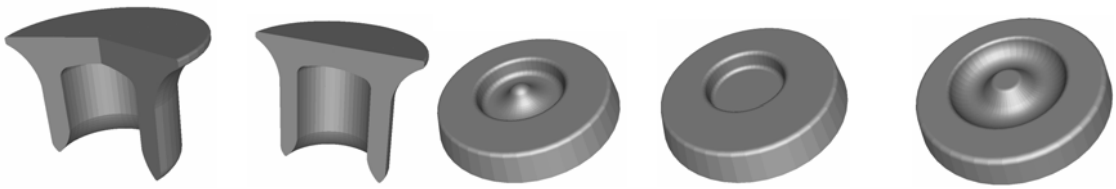
Malgré son utilisation de plus en plus courante, la modélisation du procédé de rivetage autopoinçonneur reste encore peu traitée de par la complexité des mécanismes mis en jeu lors du procédé [1, 2, 3].

2. Le logiciel FORGE2005® :

Les simulations numériques sont réalisées à l'aide du logiciel éléments finis FORGE2005®. Ce logiciel, initialement développé pour la mise en forme des matériaux, permet la modélisation de matériaux à comportement élastique, élastoplastique, ou élastoviscoplastique en grandes déformations pour des configurations bidimensionnelles ou tridimensionnelles. Les éléments utilisés sont de type P1+/P1 avec une formulation mixte vitesse-pression [4]. FORGE2005® est équipé d'un remailleur automatique permettant de préserver des éléments finis de bonne qualité tout au long de la déformation [5]. Le contact multidomaine et multimatériaux est pris en compte à l'aide d'une technique de pénalisation avec un algorithme Maître-Esclave [6]. Pour prendre en compte l'endommagement, le modèle de Lemaitre [7] a été intégré au logiciel et l'évolution de l'endommagement est couplée au comportement mécanique des matériaux [8]. Enfin, lorsque l'endommagement atteint une valeur critique, la technique « kill-element » est utilisée pour modéliser la rupture [9].

3. Modélisation de l’assemblage :

Etant donné la configuration du procédé de rivetage autopoinçonneur, les simulations peuvent être réalisées en configuration 2D axisymétrique. Cependant, pour faciliter la visualisation, nous présentons les géométries 3D des différentes pièces. Les rivets et bouterolles sont présentés en Figure 2.



Rivet 5 mm Rivet 6 mm Bouterolle A Bouterolle B Bouterolle C

Figure 2 - Géométrie des rivets et bouterolles

La configuration finale de l’outillage seul, puis de l’outillage avec le rivet et les tôles sont représentés figure 3.

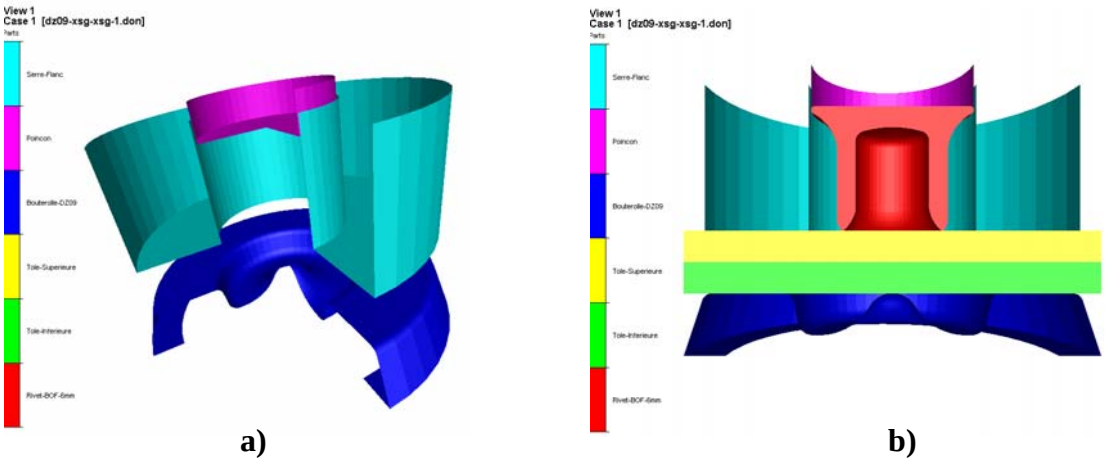


Figure 3 a) outillage seul – b) outillage + rivet et tôles

Le pilotage du poinçon est effectué à vitesse constante (20mm/s), la bouterolle est fixe, et un effort constant est appliqué au niveau du serre-flan. Le comportement des matériaux ainsi que les paramètres d’endommagement sont identifiés par analyse inverse [1].

La figure 4 montre l’évolution du rivet au cours du procédé, et le raffinement de maillage évolutif en pointe de rivet.

La validation des résultats de simulation numérique s’effectue d’une part sur une superposition géométrique des coupes numérique et expérimentale (Figure 5), et d’autre part sur la comparaison des courbes Efforts-Déplacements (Figure 6).

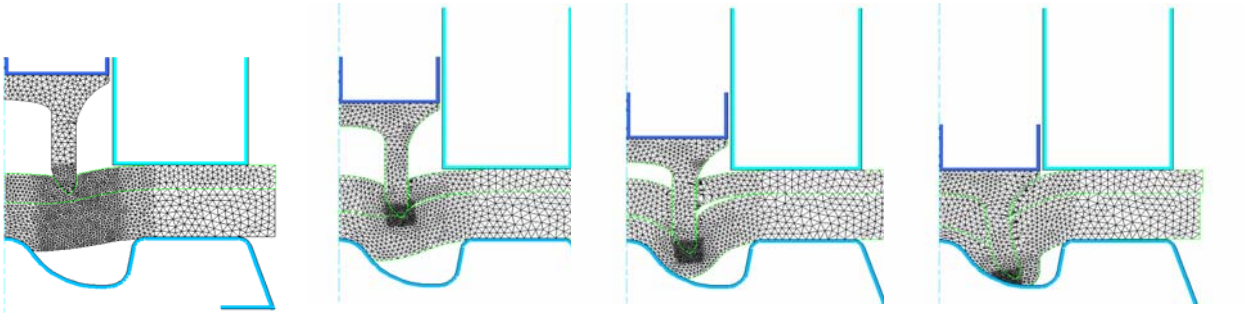


Figure 4 - Modélisation du procédé de rivetage autopoinçonneur en configuration 2D axisymétrique.

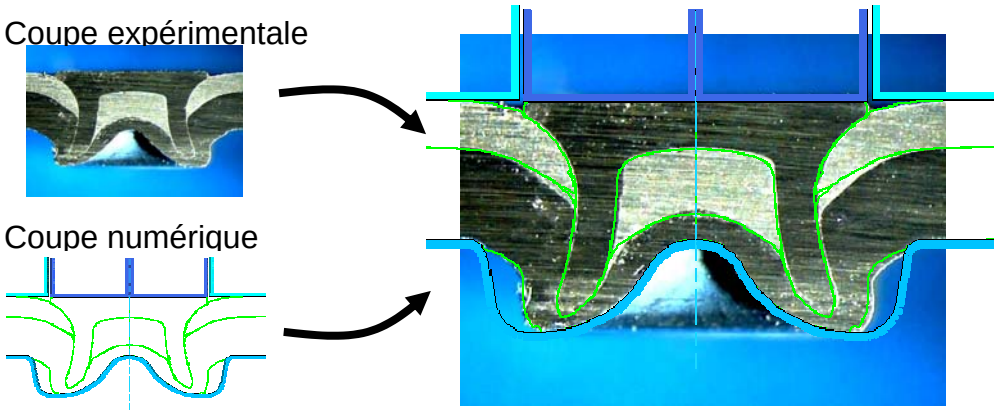


Figure 5 - Superposition des coupes obtenues de façon numérique et expérimentale.

La bonne adéquation entre les formes finales géométrique et expérimentale permet de valider la simulation numérique. On remarque notamment que la bouterolle n'est pas entièrement remplie en fin de rivetage. Ce point est intéressant car il signifie que la géométrie de la bouterolle pourrait être optimisée de façon à mieux correspondre au triplet rivet-tôle supérieure – tôle inférieure utilisé. Une bouterolle plus adaptée permettrait notamment d'obtenir des contraintes résiduelles de compression en tête de rivet, ce qui pourrait améliorer la tenue mécanique du point d'assemblage en service.

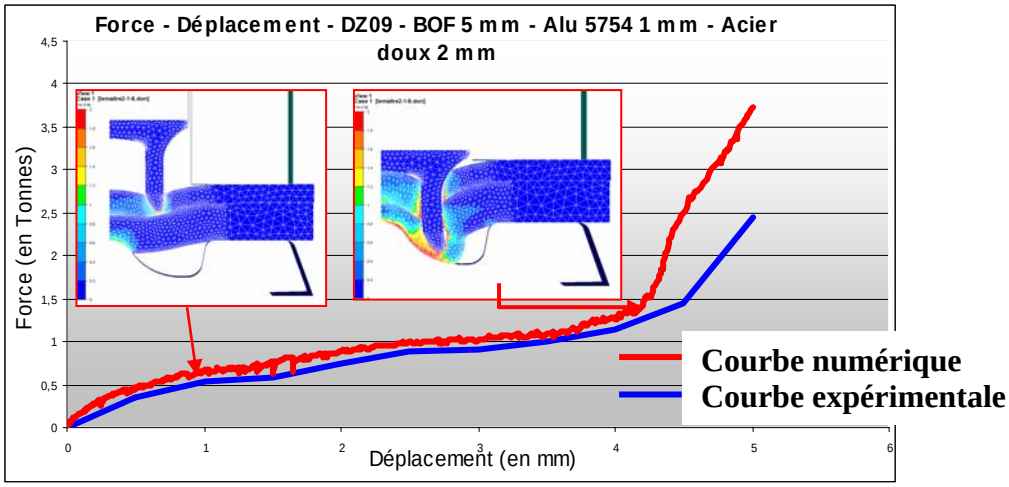


Figure 6 - Comparaison des courbes Force – Déplacement numérique et expérimentale.

Il y a une bonne correspondance entre les courbes numérique et expérimentale sur tout le début de la courbe. Sur la fin de la courbe, l'augmentation plus importante de l'effort sur la courbe numérique peut correspondre à une surestimation de la rigidité du rivet dans la loi de comportement identifiée préalablement. Mais les efforts expérimentaux peuvent aussi être sous-estimés à cause de problèmes de cédage de l'outillage.

Une fois la pose du point d'assemblage, nous souhaitons en étudier la résistance mécanique en traction et en cisaillement.

4. Modélisation du dimensionnement :

Pour cela, la première étape consiste à générer un maillage 3D à partir des résultats 2D axisymétriques obtenus lors de l'étape précédente. Cette opération est réalisée en 4 étapes :

- La géométrie 3D est obtenue par révolution de la géométrie 2D précédemment obtenue (Figure 7.a).
- Un nouveau maillage 3D est généré pour chaque pièce (Figure 7.b).
- Les champs mécaniques (contraintes résiduelles, endommagement, …) résultants de la simulation d'assemblage sont transférés sur le maillage 3D sur la base d'une technique d'interpolation.
- La forme circulaire de la pièce est transformée en forme rectangulaire (technique d'ébavurage) de manière à être plus représentatif de l'éprouvette expérimentale (Figure 7.c).

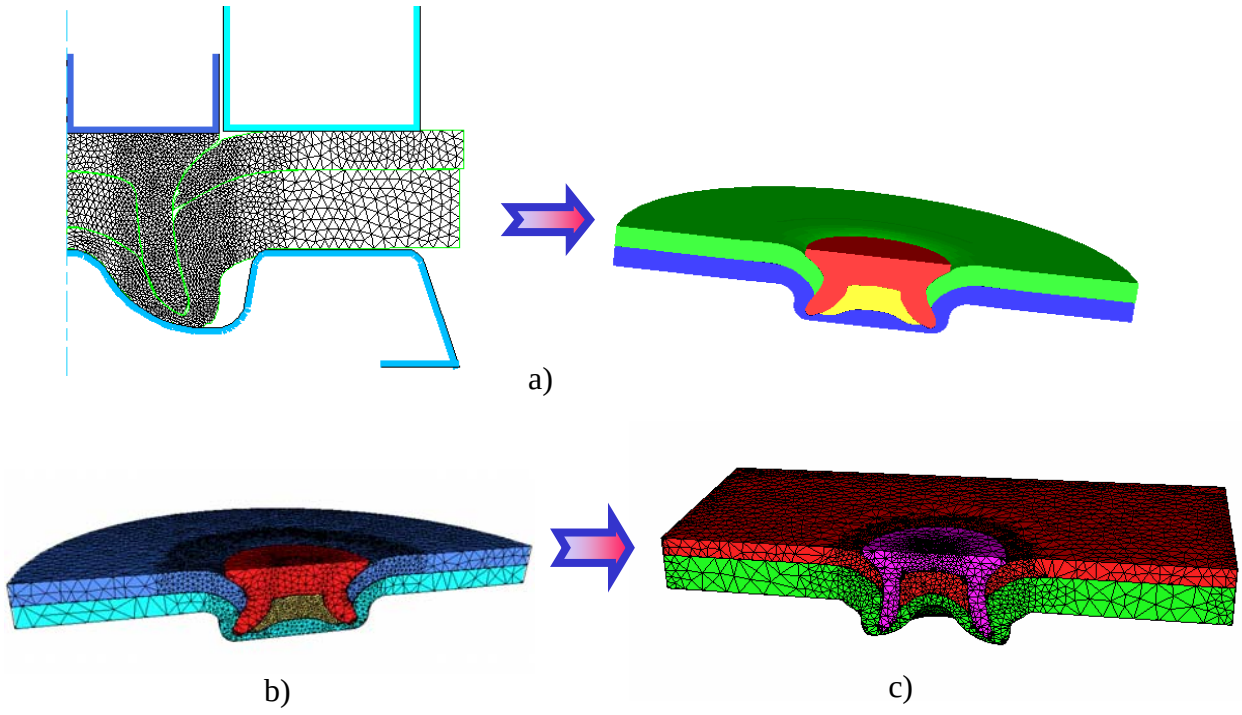


Figure 7 – Passage d'une configuration 2D axisymétrique à une configuration 3D.

Des simulations de traction (Figure 8.a) et de cisaillement (Figure 8.b) sont ensuite effectuées.

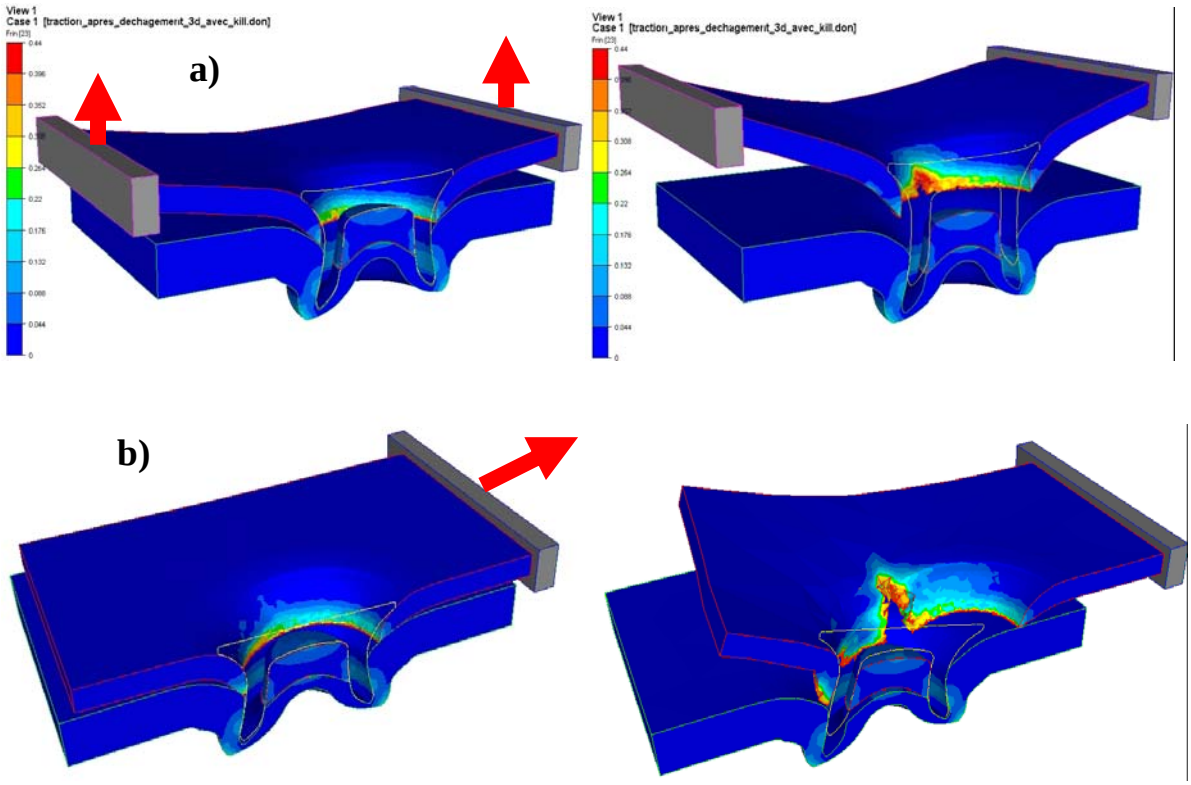


Figure 8 – Simulation de l'essai de a) traction et b) cisaillement

La figure 8 montre la localisation de l'endommagement autour du rivet. Cette localisation est due à la phase d'assemblage. Durant les simulations de traction et de cisaillement, cet endommagement continue à croître jusqu'à atteindre une valeur critique. Une fissure apparaît alors dans la tôle supérieure. Cette rupture, qui peut également être observée expérimentalement suivant les configurations d'assemblage, n'aurait pas été obtenue si nous n'avions pas tenu compte de l'histoire mécanique des matériaux.

Les courbes Efforts-Déplacements pour les deux configurations montrent également que l'effort maximal obtenu en cisaillement est environ deux fois supérieur à celui obtenu en traction, ce qui est conforme aux observations expérimentales.

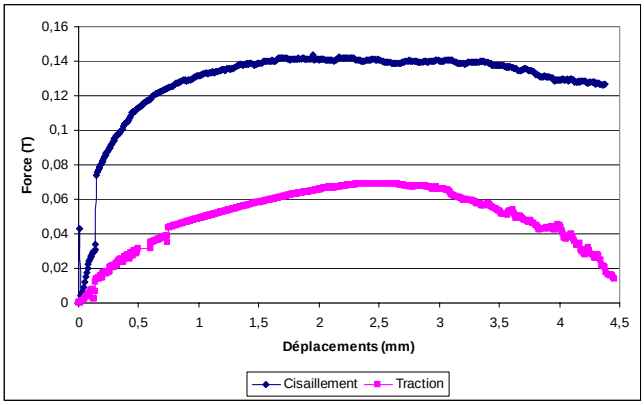


Figure 9 – Courbes Efforts-Déplacements pour l'essai de cisaillement et de traction

5. Extension à d'autres familles d'assemblage :

Les simulations présentées précédemment ont pu être validées grâce aux résultats expérimentaux pour le rivetage autopoinçonneur. Le logiciel ainsi développé ouvre la voix à la modélisation de nombreuses familles d'assemblage par déformations plastiques. La figure 10 montre des simulations de clinchage (Figure 10.a), ecrou noyé (Figure 10.b) et de rivet clinché (Figure 10.c)

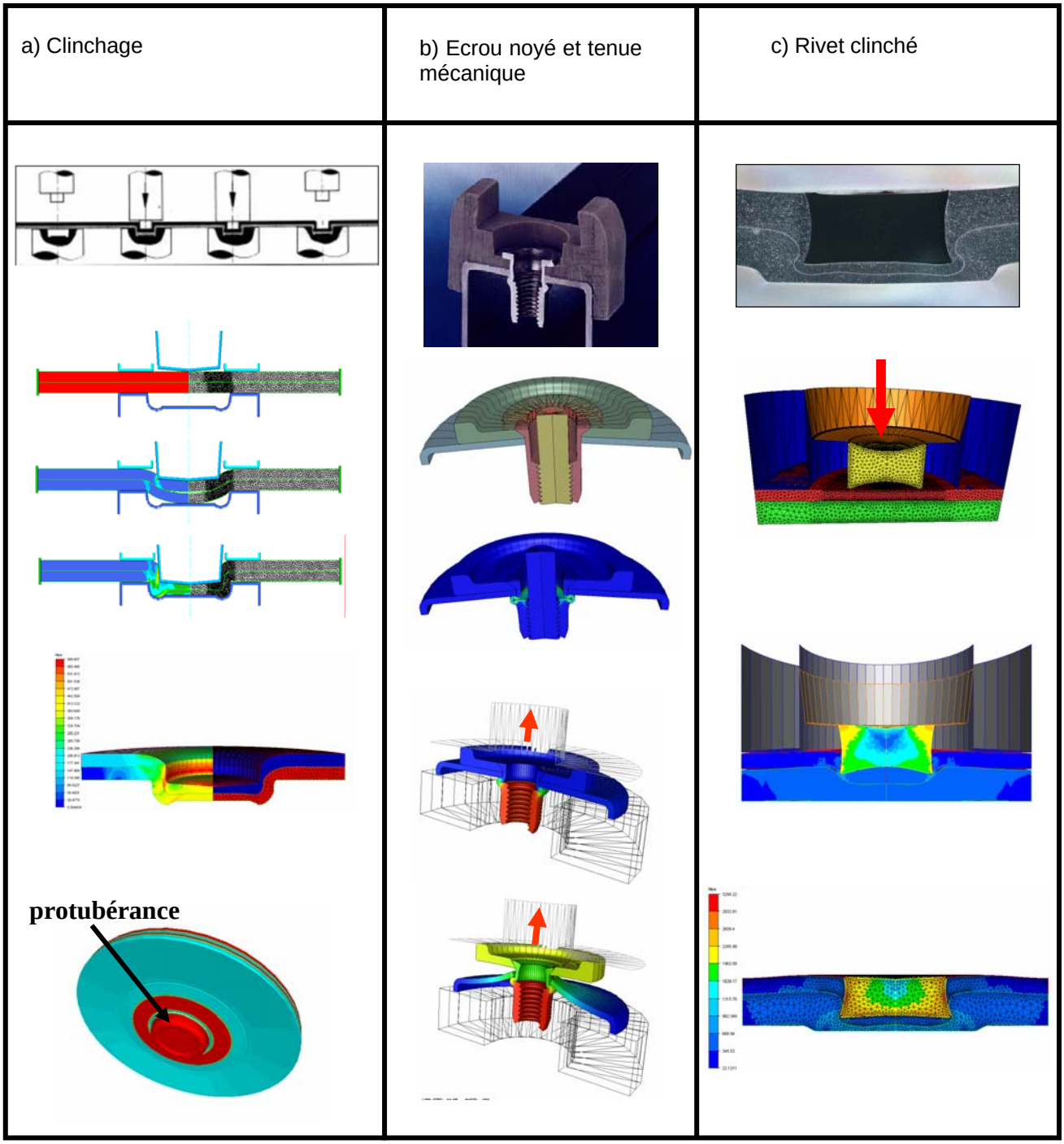


Figure 10 – Modélisations numérique de a) clinchage, b) écrou noyé et c) rivet clinché.

6. Conclusions

L'assemblage par déformations plastiques est de plus en plus utilisé dans l'industrie. Les modélisations présentées dans cet article visent à améliorer l'expertise industrielle sur ces techniques et ainsi améliorer la tenue mécanique finale des structures assemblées.
Le logiciel FORGE2005® permet donc de modéliser à la fois les phases d'assemblage et de tenue mécanique, et les résultats numériques obtenus ont pu être validés par l'expérience.

A terme, ces modélisations permettront de **générer des outils logiciels** et des méthodologies d'**aide à la décision** capable d'alléger, voire remplacer les campagnes essais-erreur. Les chaînes de simulations mises en place permettront, via des études de sensibilité des différents paramètres d'assemblage, de **définir des domaines de validité/défaillance des points d'assemblage** étudiés. Une telle démarche permettra d'optimiser la configuration d'assemblage pour obtenir la tenue mécanique du point d'assemblage désiré en fonction de ses conditions d'utilisation en service. Cette démarche constituera donc également une **aide à l'innovation** dans la mesure où elle permettra également de tester des configurations d'assemblage non conventionnelles.

Remerciements :
Le Cemef tient à remercier le Cetim pour le financement de ces actions de recherche et développement.

7. Références bibliographiques

[1] P.O. BOUCHARD et L. TOLLIER – Modélisation numérique du procédé de rivetage auto-poinçonneur – *Techniques de l'Ingénieur*, BM 7 860.
[2] R. Porcaro, A.G. Hanssen, M. Langseth and A. Aalberg, "Self-piercing riveting process: An experimental and numerical investigation" Journal of Materials Processing Technology, 171(1), 10-20, 2006.
[3] P.O. Bouchard, and P. Lasne, Numerical modelling of riveted joint structures - From riveting process modelling down to structural analysis, Int. J. of Forming Processes – Special issue on forming processes – accepted for publication 2006.
[4] D.N. Arnold, F. Brezzi and M. Fortin, "A stable finite element for Stokes equations", Calcolo, 21, 1984, 337-344.
[5] T. Coupez, H. Digonnet and R. Ducloux, "Parallel meshing and remeshing, Applied Mathematical Modelling", 25, 2000, 153-175.
[6] PICHELIN (E.), MOCELLIN (K.), FOURMENT (L.) and CHENOT (J.L.), *An application of a master-slave algorithm for solving 3D contact problems between deformable bodies in forming processes*, European Journal of Finite Elements, 10, n°8 p.857-880, 2001.
[7] LEMAÎTRE (J.), CHABOCHE (J.L.) – *Mechanics of Solids Materials*, Cmbridge University Press, 1990.
[8] BOUCHARD (P.O.), SIGNORELLI (J.), BOUSSETTA (R.) and FOURMENT (L.) - *Damage and Adaptive Remeshing applied to 3D modeling of blanking and Milling*, Computational Plasticity VII (COMPLAS), Barcelona, 2003.
[9] BOUCHARD (P.O.) - *Damage and discrete crack propagation modelling – Some results and challenges for 2D and 3D configurations*, International Conference on Fracture, Turin, 2005.