

Publié par :



Le « Feuillard technique » est publié exclusivement sur le site Internet du CQRDA. Pour télécharger cette publication, rendez-vous au [http://cqrda.ca/79-se\\_procurer\\_un\\_ouvrage](http://cqrda.ca/79-se_procurer_un_ouvrage) ou au [http://cqrda.ca/98-archives\\_des\\_publications](http://cqrda.ca/98-archives_des_publications). Pour toute demande d'information, n'hésitez pas à nous contacter au 418 545-5520.

## INTRODUCTION

Dans le repoussage (spinning), un procédé couramment utilisé par les artisans, le métal en forme de disque plat qui est retenu entre un mandrin de forme et la contrepointe d'un tour est repoussé progressivement par balayage de la tôle à l'aide d'un outil lisse ou d'une molette et plaqué contre le mandrin de forme (voir figure 1 et liens 1 et 2). On peut obtenir des formes creuses autour de l'axe de rotation dans un mode de déformation similaire à l'emboutissage (voir feuillard technique 31 « L'emboutissage de l'aluminium »). La déformation est produite de façon « incrémentale » au contact de l'outil, ce qui génère à chaque tour un embouti peu profond qu'on étend progressivement vers la périphérie du disque. Comme pour l'emboutissage, le périmètre extérieur au cercle de déformation imposé par l'outil est tiré vers l'intérieur (traction radiale) et amené en compression tangentielle. Le phénomène est souvent visible par le retroussement de la tôle lorsque l'outil approche de la périphérie du disque. Cet état de contrainte dans le plan de la tôle permet de conserver une épaisseur relativement constante tout au long de l'opération. Comme le repoussage s'apparente à une succession d'emboutis de faible réduction en diamètre, le plissement de la tôle est empêché par le choix de l'épaisseur de la tôle et du nombre de passes qui reposent sur le savoir-faire de l'opérateur.

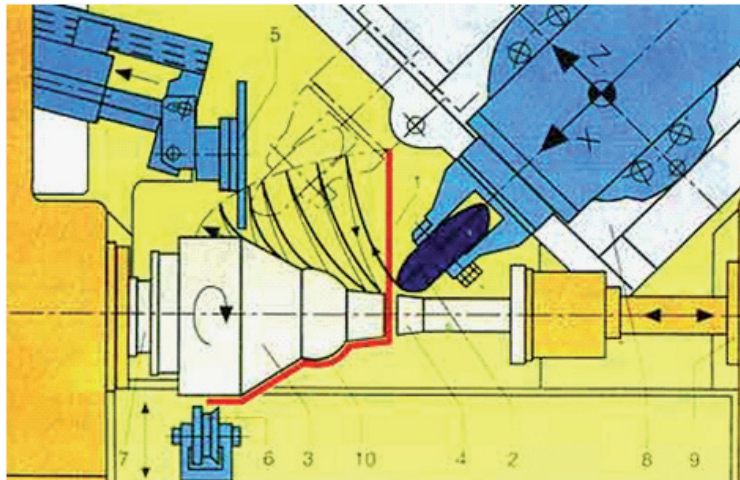


Figure 1 – Séquence de repoussage sur un tour à commandes numériques

Dans le floutournage, on utilise un équipement similaire. La différence dans ce procédé est que l'outil génère une force suffisante pour plaquer la tôle contre le mandrin de forme en une seule passe de l'outil (voir figure 2 et lien 2). La tôle est déformée en cisaillement dans son épaisseur (tel qu'un glissement de cartes), comme si chacun des anneaux concentriques du disque glissait sur le précédent sans changer de diamètre. Dans ces conditions, il n'y a pas d'état de compression susceptible de produire le plissement, mais il en résulte une réduction d'épaisseur de la tôle d'autant plus importante que la forme est profonde.

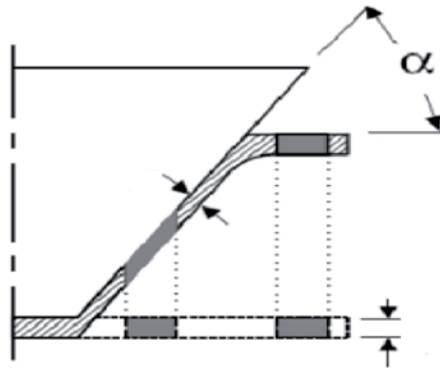


Figure 2 – Coupe d'une pièce conique qui montre la variation de l'épaisseur initiale dans la zone déformée par floutournage.

Ces procédés qui demandent un outillage simple sont très économiques pour le prototypage et la petite série. Ce qui limite leur usage à des formes de révolution est directement relié à l'équipement où le mandrin et la tôle sont entrainés en rotation et où l'outil assure le balayage le long de l'axe de rotation. En faisant en sorte que la tôle et le mandrin soient fixes, il serait donc possible d'imposer la même déformation à la tôle en contrôlant le mouvement de l'outil. Puisqu'en repoussage on génère des ébauches qui se rapprochent peu à peu de la forme creuse avant qu'elles épousent le mandrin de forme, il serait en plus possible de réaliser des formes complexes sans l'usage de préformes. C'est dans l'optique du développement de ce nouvel outillage qu'est né le formage incrémental. Bien qu'Edward Leszak fut le premier à avoir breveté un appareil de ce genre en 1967 (brevet US 3,342,051), seules les vitesses de déplacement d'outil des machines à commandes numériques modernes ont permis de s'affranchir d'un plateau tournant afin de produire des formes autres que celles de révolution.

## LE PROCÉDÉ

Le formage incrémental permet de réaliser des formes creuses à partir d'une tôle avec ou sans préforme (matrice). Dans la figure 3 a, l'outil dont le déplacement est imposé par une machine à commandes numériques parcourt la tôle en la déformant localement d'une manière très similaire au floutournage. La tôle est retenue sur sa périphérie dans un cadre qui suit le mouvement de l'outil dans sa descente le long de l'axe z. Dans sa descente pas à pas, l'outil parcourt la tôle en la déformant localement dans le plan x-y pour lui faire épouser le contour de la préforme. Ce mouvement programmé de l'outil permet de réaliser des pièces asymétriques. Une bonne lubrification minimise le frottement entre la tôle et la pointe de l'outil en forme d'hémisphère lisse. Le formage incrémental avec préforme (figure 3 a) permet une plus grande précision dimensionnelle du fait du plaquage de la tôle entre l'outil et la matrice (voir figure 5 et lien 4). Ici, la préforme joue le même rôle que le mandrin de forme en floutournage.

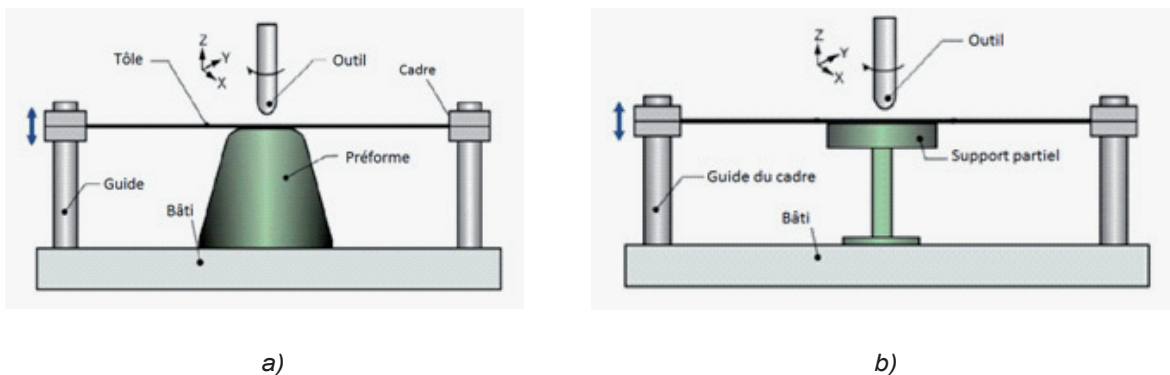


Figure 3 – Schéma représentant le formage incrémental (TPIF) avec matrice complète (a) ou partielle (b)

En utilisant un support partiel (figure 3 b), on peut se passer de matrice. Dans ce cas, la forme de la pièce est générée grâce à la programmation de la trajectoire de l'outil (voir figure 6 et lien 5).

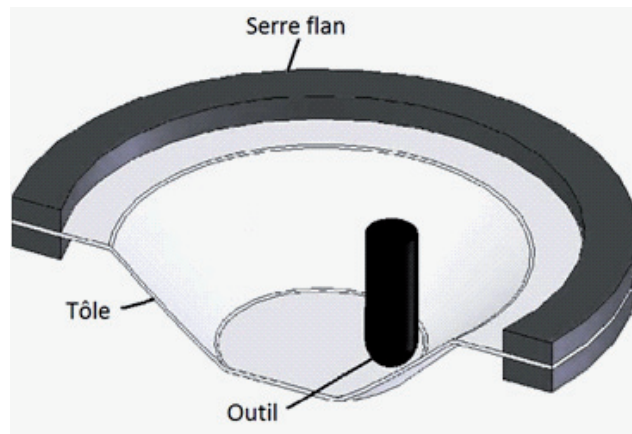


Figure 4 – Représentation du formage incrémental sans matrice (SPIF), Réf. 4

En l'absence de support, il est possible de produire des formes creuses en imposant à l'outil une trajectoire spirale descendante (figure 4). Comme dans les cas précédents, il y a amincissement de la tôle, mais on arrive avec ce procédé à repousser les limites de formage permises par les procédés conventionnels.

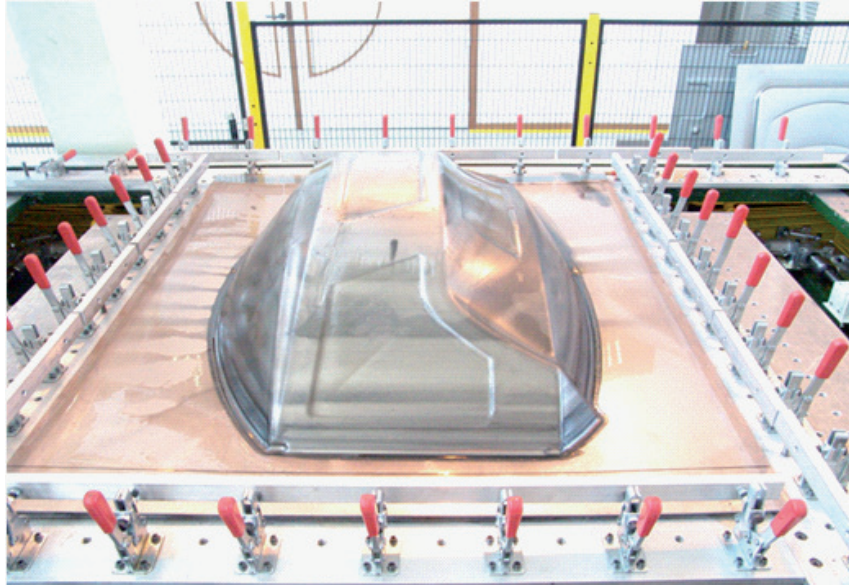
Le formage incrémental n'est pas répandu du fait qu'il est encore en développement et que le coût d'acquisition d'un équipement est très élevé. Par ailleurs, la flexibilité que le formage incrémental (sans matrice) pourrait apporter pour la réalisation de prototype et de pièce de petite série le rend très attrayant pour l'industrie.

De nombreuses études ont été entreprises autour des variantes du procédé en vue de mieux le maîtriser et d'en repousser les limites (simulations numériques, comparaison avec d'autres procédés, développement d'outillage, prévision de l'amincissement et des limites de formage, etc.). À titre d'exemple, le projet européen Flexform, auquel le Centre technique des industries mécaniques (CETIM) participe, a été doté d'un budget de 3 millions d'euros en vue de rendre le formage incrémental aussi accessible à l'industrie qu'est présentement l'usinage sur machine à contrôles numériques.

Les principaux avantages du formage incrémental sont La production de pièces directement du fichier CAO avec outillage spécifique réduit (TPIF) ou absent (SPIF), la grande flexibilité pour des modifications en prototypage, l'augmentation de la formabilité, les forces de formage faibles pouvant être générées sur machine à commandes numériques conventionnelle et la dimension des pièces limitée à celle de la machine.

Les inconvénients sont le temps de formage assez long comparativement à un emboutissage conventionnel limitant le procédé à de petites séries de production, les angles droits ne peuvent être réalisés qu'en procédant par étapes successives, le retour élastique est difficile à prévoir et doit être corrigé par la programmation et il en résulte que la précision dimensionnelle est moins bonne en particulier dans les parties convexes et les zones de pliage.

## RÉALISATIONS



*Figure 5 – Capot moteur d'un véhicule agricole réalisé par TPIF  
(Lien 7, DFC-Design & Forming Center)*



*Figure 6 - Une section avant du « Bullet train » du Shinkansen à  
l'échelle 1/2.5(Lien 6, Amino North American Corporation) Références*

## RÉFÉRENCES

1. <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/573268/1/dissertacao.pdf>
2. [http://paduaresearch.cab.unipd.it/2262/1/Le\\_Van\\_Sy\\_PhD\\_Thesis.pdf](http://paduaresearch.cab.unipd.it/2262/1/Le_Van_Sy_PhD_Thesis.pdf)
3. <http://www.lcmp.eng.cam.ac.uk/wellformed/incremental-sheet-forming>
4. Substructuring in the implicit simulation of single point incremental sheet forming, A. Hadoush and A. H. van den Boogaard, International Journal of Material Forming Vol. 2 Issue 3, 2009

## LIENS UTILES

1. [http://www.youtube.com/watch?v=UP\\_gq1ahrmk](http://www.youtube.com/watch?v=UP_gq1ahrmk)
2. <http://www.youtube.com/watch?v=zTn19mkJV7w&feature=related>
3. <http://www.youtube.com/watch?v=77IN6UhGSZE&feature=related>
4. <http://www.designandformingcenter.be/FR/index.html>
5. [http://www.aminonac.ca/product\\_e\\_dieless\\_video.asp](http://www.aminonac.ca/product_e_dieless_video.asp)

### Le Feuillard technique est publié par :

Centre québécois de recherche et de développement de l'aluminium  
637, boulevard Talbot, bureau 102  
Chicoutimi (Québec) G7H 6A4  
Téléphone : 418 545-5520 | Télécopieur : 418 693-9279  
info@cqrda.ca | www.cqrda.ca

#### Rédaction

Maurice Duval

#### Collaboration

Edith Villeneuve

#### Conception

Marianne Parent

#### Révision linguistique

Andréanne Martin