# Quand la vitesse est une alliée

***La société Bmax s'est spécialisée dans les techniques de formage utilisant des générateurs de décharges électriques impulsionnelles (dits à Hautes Puissances Pulsées). Ces technologies, qui ont aujourd'hui atteint un stade de maturité industrielle, n'ont pas nécessairement vocation à remplacer les méthodes classiques de formage et d'assemblage, mais leurs capacités technologiques et leur simplicité de mise en œuvre, grâce à la simulation réaliste des procédés, offrent des atouts considérables.***

*Les installations de Bmax destinées à la mise au point des processus de formage sur son site de Toulouse.*

La société toulousaine Bmax, encore à mi-chemin entre startup et entreprise industrielle, travaille sur trois technologies développées au sein de ses locaux. Deux d'entre elles sont basées sur le même principe physique. Il s'agit du magnéto-formage et du magnéto-soudage. Seul l'objectif recherché différencie ces deux technologies, les deux utilisant les forces de Laplace pour obtenir dans un cas la déformation de la matière, et dans l'autre la cohésion entre deux pièces.

## Un formage facilité

Dans le cas du magnéto-formage, une bobine est utilisée pour soumettre la pièce à un puissant champ magnétique durant une durée très courte. De cette manière, la tôle est brutalement poussée contre une matrice placée en regard. Grâce à ce déplacement extrêmement rapide, la matière vient épouser les moindres reliefs de l'outil. C'est d'ailleurs une des forces de tous les procédés proposés par Bmax. En effet, le déplacement à grande vitesse de la matière est à l'origine d'un comportement particulier de celle-ci. « *Les règles de comportement des matériaux ne sont pas les mêmes qu'à faible vitesse, ce qui apporte de nombreux avantages. Sous l'effet de la vitesse, la matière adopte un comportement hydrodynamique tout en restant à l'état solide et ce, en dépit de la faible élévation de température liée au courant* », explique Gilles Avrillaud, Directeur Technique de l'entreprise. Un phénomène qui se rapproche de ce que l'on observe dans les procédés de séparation adiabatique au sein desquels un ramollissement de la matière est observable dans la zone traversée par l'onde de choc. Il en résulte une mise en forme en moins d'une milliseconde avec une formabilité des matériaux souvent très largement améliorée et, grâce à l'impact sur le moule, une tendance à relâcher les tensions et donc à réduire considérablement

le retour élastique. Ainsi, il est possible de littéralement pousser la matière dans des espaces inimaginables en emboutissage conventionnel. « *Par magnéto-formage, nous sommes capables d'effectuer des empreintes dans une surface avec des rayons de raccordement très faibles sur toute les arêtes (<0,1mm)* », poursuit-il. Une capacité qui intéresse beaucoup les constructeurs automobile qui y voient l'opportunité d'améliorer leurs lignes de style.

## Une vraie soudure à froid

Concernant la soudure, elle est obtenue sous l'effet d'un impact à très haute vitesse, de la même manière que dans le soudage par explosion. Le phénomène s'accompagne d'une sorte de « déroulement » de la matière à souder à la surface de la pièce support. Ceci provoque un décapage des surfaces à assembler. « *Ce déplacement de matière à très haute vitesse provoque la formation d'un jet micrométrique de matière solide arrachée aux surfaces à assembler. Ce phénomène se produit au début du contact entre les deux pièces et se propage à très haute vitesse tout au long de la ligne d'assemblage. Les surfaces de contact s'en trouvent mises à nue, permettant ainsi une liaison à l'échelle atomique, mais sans fusion* », détaille Gilles Avrillaud.

Il s'agit d'une véritable soudure, mais elle est obtenue sans affectation thermique, comme le démontrent les tests destructifs réalisés par le laboratoire de l'entreprise. Pour commencer, la rupture intervient en dehors de la zone d'assemblage. D'autre part, il est très difficile de visualiser la ligne de contact sur les coupes micrographiques dans le cas d'assemblages homogènes.

Lorsque les matériaux sont de nature différente, ce qui est un des atouts majeurs de la technologie, cette ligne apparait sous la forme de vagues à l'échelle de la centaine de micromètres. « *On observe à l'interface de 2 matériaux dissimilaires la formation d'une couche intermétallique très fine, micrométrique voire nanométrique. Elle n'entraîne pas de fragilité du fait de sa très faible épaisseur, contrairement à ce que l'on peut observer parfois en soudage par diffusion ou FSW* », explique-t-il. Dans la zone d'assemblage, les grains semblent littéralement écrasés comme s'ils avaient été fluidisés lors de l'assemblage.

## Des éclairs dans l'eau !

La troisième technologie développée par Bmax est le formage électro-hydraulique. Cette technique utilise elle aussi une importante décharge électrique haute tension, mais cette fois entre des électrodes placées dans de l'eau. L'arc électrique qui en résulte provoque une gazéification de l'eau au contact de la décharge. La brutale augmentation de volume engendrée par la vaporisation du liquide est à l'origine de la formation d'une onde de choc utilisée pour le formage. Cette technique, qui ne doit pas être confondue avec l'hydroformage, en reprend quelques principes. En effet, seul un demi-outil est nécessaire pour réaliser une pièce. La tôle y est placée en vis-à-vis et maintenue par un serre-flan muni de joncs de retenue destinés à

## A propos de Puissance et de rapidité

***Exemple de détails de grande finesse obtenus par formage électro-hydraulique.***

- Le formage à haute vitesse est obtenu par exposition d'un matériau conducteur à un champ magnétique intense sur un temps très court. Durant cette période, l'état de la matière est transitoirement modifié dans un état viscoplastique, sans élévation significative de température.
- C'est cette caractéristique qui permet une mise en forme, sans ruptures ni contraintes, de la matière.
- Les machines proposées par Bmax utilisent pour cela des générateurs qui libèrent leur énergie sous forme de décharge en moins d'un millième de seconde dans une bobine ou entre deux électrodes. C'est cette caractéristique qui multiplie les quelques kilowatts consommés par les accumulateurs, en dizaines ou en centaines de mégawatts en sortie. La matière est littéralement propulsée sur les parois de la matrice ou sur la pièce placée en vis à vis pour assemblage. Dans le cas du formage électro-hydraulique, le principe de décharge courte est le même, mais c'est la formation brutale de vapeur provoquée par la décharge qui sert de média de formage.
- Procédé économique, ne nécessitant pas de lubrification et sans danger pour l'utilisateur. Il a tout pour révolutionner le formage dans les années qui viennent, pour des tôles allant jusqu'à 2 mm en acier et jusqu'à 5 mm pour l'aluminium.
- Avec des vitesses de formage de 100 m/s, il est possible d'atteindre des niveaux de détail comparables à ceux de la frappe de monnaie qui travaillent à « seulement » 20 m/sec. Il est ainsi possible de reproduire les textures appliquées à une empreinte.

*Gilles Avrillaud, Directeur Technique de Bmax.*

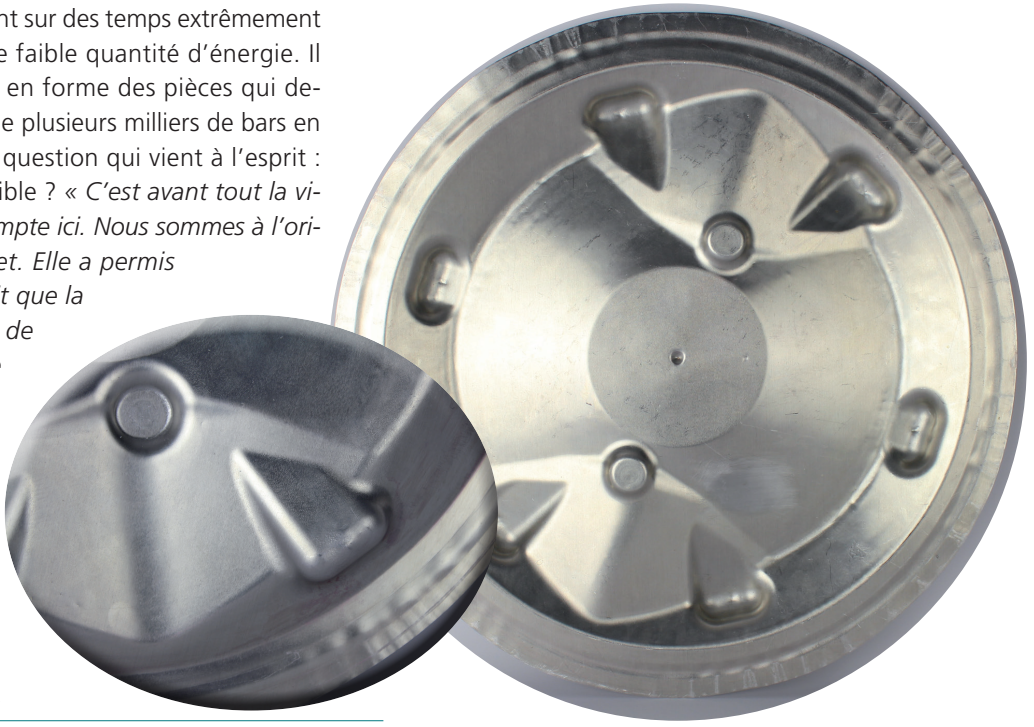
gérer le glissement de la tôle et ainsi éviter la formation de plis.

Le grand avantage de cette approche de formage, c'est qu'elle est parfaitement « parallélisable ». Il suffit de multiplier le nombre de générateurs et le nombre d'électrodes pour réaliser des pièces de grande taille, et même de très grande taille, mais au final avec peu d'énergie.

C'est un paradoxe important à comprendre pour bien appréhender la technique. En effet, les décharges utilisées sont de très forte puissance car elles surviennent sur des temps extrêmement courts, bien qu'utilisant une faible quantité d'énergie. Il est ainsi possible de mettre en forme des pièces qui demanderaient des pressions de plusieurs milliers de bars en hydroformage. La première question qui vient à l'esprit : par quel miracle est-ce possible ? *« C'est avant tout la vitesse de déformation qui compte ici. Nous sommes à l'origine d'une thèse sur ce sujet. Elle a permis de mettre en évidence le fait que la haute vitesse de placement de la matière dans la matrice peut accroître de manière importante le domaine de déformation plastique des matériaux. Le pourcentage d'allongement avant rupture peut en effet doubler, voire tripler, sur certaines matières »*, justifie Gilles Avrillaud.

## Un vaste champ des possibles

Cette caractéristique ouvre de larges possibilités au formage électro-hydraulique en termes d'applications. *« Notre technique intéresse de plus en plus les constructeurs automobile. Ils sont en effet confrontés à d'importants besoins en termes d'allègements des véhicules pour répondre aux normes antipollution. Une des voies est d'utiliser des tôles HLE et THLE, bien qu'elles engendrent la mise en place d'un environnement de production complexe pour leur mise en forme à chaud et assurer les traitements thermiques afin d'atteindre l'état requis après mise en forme. Notre procédé peut permettre de calibrer ces tôles et réduire considérablement leur problème de retour élastique »,* développe Gilles Avrillaud. *« Autre avantage, l'augmentation de formabilité peut nous permettre de mettre en forme des pièces à partir de l'état d'utilisation final du matériau. C'est entre autres une des raisons d'une forte collaboration technique que nous avons avec Airbus Helicopters et la plateforme technologique Inovsys ».* A titre d'exemple, le formage d'un déflecteur d'huile, pièce en apparence peu complexe que l'on pourrait facilement confondre avec un enjoliveur de roue et qui ne semble pas en mesure de poser le moindre problème d'emboutissage, si ce n'est qu'elle est réalisée dans un alliage d'aluminium de type 6061 à l'état T4 sur pièce finie. La pièce, actuellement coûteuse, est d'abord emboutie à partir d'un flan à l'état T0, puis subit une trempe la déformant et imposant une opération de conformage finale



***Déflecteur d'huile formé à l'état T4 par formage électro-hydraulique, malgré des formes délicates à emboutir.***

et de reprise manuelle. « *Grâce à notre technologie, nous réalisons le formage de la pièce à partir de l'alliage à l'état T4 et obtenons directement la pièce à l'état fini* », indique-t-il. Le formage électro-hydraulique permet même de former les matériaux plastiques car, contrairement au magnéto-formage qui impose l'usage de matériaux bons conducteurs électriques, l'usage du formage électro-hydraulique n'est conditionné que par la formabilité du matériau traité. « *Il est même possible de former des plaques de composite carbone époxy (réputées cassantes et indéformables dans le domaine plastique) sans rupture de fibres. Ce n'est pas un axe que nous cherchons à développer pour l'instant, mais les quelques essais que nous avons réalisés sont très impressionnants et démontrent que le formage à très haute vitesse offre des pistes surprenantes* », signale Gilles Avrillaud.

## Le chaînon manquant

Face à tant d'avantages, on se demande pourquoi ces techniques qui ont déjà fait l'objet de développement anciens n'ont pas connu d'essor jusque là. La réponse de Gilles Avrillaud est sans ambages : « *la technologie n'est en effet pas nouvelle, mais elle s'est heurtée à la difficulté de sa mise en œuvre. Sans simulation numérique, il faut procéder par tâtonnement pour obtenir le résultat escompté* ». Une méthode chère et hasardeuse qui peut effectivement expliquer des réticences. « *Nous avons effectué de gros investissements en R&D afin de caractériser les procédés que nous utilisons et avons développé des outils de simulation multi-physique pour chacun d'eux* », poursuit-il. Des modules qui permettent à l'entreprise d'être prédictive sur le résultat d'un projet sans avoir réalisé le moindre outillage, et de définir la géométrie de la préforme qui donnera le meilleur résultat. « *Nous avons réalisé ces développements à partir du logiciel LS Dyna de l'éditeur LSTC, mais nous travaillons également avec le logiciel Forge qui est en train d'intégrer le couplage électro-magnétique avec la simulation mécanique* », signale-t-il. Bmax a développé des modules qui viennent se greffer sur ces solutions multiphysiques du commerce et permettent de simuler ce qui se passe lors de l'opération, de visualiser les phases de placement de la matière, mais également les amincissements, les déchirures ou les plis. « *Notre capacité de simulation est un aspect important. C'est elle qui nous différencie aujourd'hui de ce qui a pu être fait dans le passé en magnéto-formage ou soudage, et qui nous permet de pousser plus loin notre connaissance des phénomènes, tant en formage qu'en soudage. Le bouclage simulation - réalisation - essai de caractérisation pour tout nouveau matériau est souvent un point de passage requis par nos clients pour ces technologies* », conclut-il.