

# POINÇONNAGE ET EMBOUTISSAGE

## Comment comparer le coût de la production

**Fig. 1**  
Produits en tôle obtenus par poinçonnage de feuille, poinçonnage de bobine et emboutissage par presse (caissons pour éléments d'éclairage).



Petit guide permettant d'établir quelle est la technologie, parmi celles applicables, à mettre en œuvre, selon le nombre et le type de pièces à produire, pour réaliser la production au moindre coût.

**ANDREA DALLAN**

L'ingénierie du process a pour but de définir le cycle de production le plus avantageux pour la fabrication d'un produit.

Un produit en tôle est soumis à un cycle de production qui, à partir de la matière première, prévoit dans l'ordre le découpage (poinçonnage, emboutissage de découpe ou découpage au laser) et la mise en forme (pliage, mise en forme par étirage ou emboutissage, profilage). Au fil de ces pages, nous examinerons les technologies de découpe par poinçonnage et emboutissage, du fait de leur similitude (fig. 1). L'objectif est de déterminer quelle est la technologie, parmi celles applicables, qui permet une production au moindre coût dans une situation de travail spécifique (nombre et nature des pièces à produire).

Nous analyserons donc ces technologies aux fins d'établir les coûts spécifiques de chacune d'entre elles, compte tenu des trois

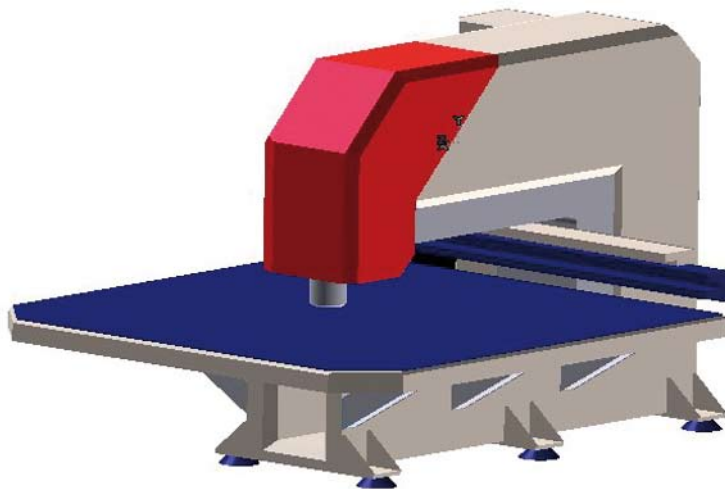
facteurs dont la somme donne le coût de la production, à savoir la matière première, les outils et le coût horaire de la machine. Cette dernière valeur sera multipliée par les heures nécessaires à réaliser la production.

Pour le calcul du coût horaire de la machine, nous prendrons en considération quatre autres facteurs qui le composent, à savoir la main-d'œuvre affectée à l'exploitation de la machine, le coût de la maintenance, de l'énergie motrice et le coût d'amortissement de l'installation. Ensuite, nous comparerons les coûts de production avec poinçonneuse de feuille et poinçonneuse de bobine. Cette comparaison sera faite également pour les coûts de production avec poinçonneuse de bobine et presse avec matrice; dans cette dernière partie, nous fournirons des moyens utiles pour déterminer, suivant la nature du produit et la quantité de pièces requise, la technologie la plus indiquée à exécuter la production au moindre coût

### LES TECHNOLOGIES

Les technologies analysées pour le découpage en plan de la pièce sont le poinçonnage de feuille, le poinçonnage de bobine et l'emboutissage par presse. Le poinçonnage de feuille est la technologie qui permet une souplesse maximale (fig. 2). Sur la surface de la feuille, il est possible de réaliser des figures géométriques plus ou moins complexes. De plus, il s'agit d'un système parfaitement adapté à la production d'une seule pièce. Il existe des machines avec chargement et déchargement manuels ou automatiques; dans ces deux cas, la machine doit s'arrêter pour exécuter ces deux opérations (fig. 3) de chargement feuille et déchargement pièce. Le poinçonnage de bobine s'avère une technologie indiquée à la production de petites et moyennes séries.

La machine utilise la tôle directement à partir de la bobine; donc, la machine travaille toujours en mode automatique avec une bonne souplesse (fig. 4). L'emboutissage par presse est la technologie indiquée à la production de grandes séries de pièces. Dans ce cas, la production s'effectue à la vitesse maximale mais au détriment de la souplesse;



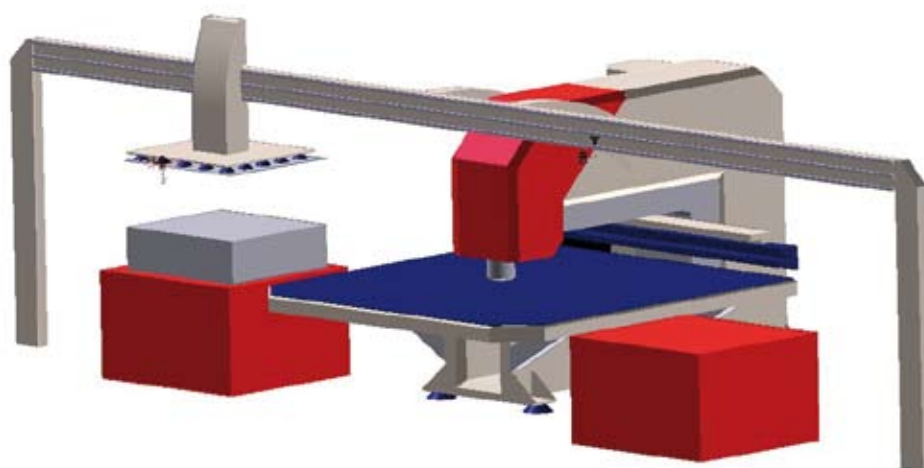
**Fig. 2**  
Poinçonneuse de feuille.

pour chaque produit, il est nécessaire de construire une matrice, et le coût de cette dernière doit être amorti dans la production (fig. 5).

### LE COÛT DE LA PRODUCTION: TROIS FACTEURS

Le principe qui guidera le choix de la technologie à mettre en œuvre sera celui du coût minimal de la production.

Celui-ci résulte de la somme de trois facteurs. Le premier est le coût de la matière première, qui peut se présenter sous forme de feuille (pour la poinçonneuse de feuille) ou sur bobine (pour la poinçonneuse de bobine et pour l'emboutissage par presse). Il est tenu compte du coût de toute la matière première nécessaire à l'exécution de la production. On ajoute à cette valeur le coût de l'outillage. Pour la poinçonneuse de feuille ou de bobine, l'outillage est constitué par des poinçons standard pour lesquels il existe différents fabricants (par exemple les poinçons à tourelle haute). Ces derniers exécutent, à chaque coup de poinçonneuse, une forme standard (trous ronds, carrés et ainsi de suite) ou spéciale. Quant à la presse d'emboutissage, l'outillage est réalisé sur mesure pour le produit à réaliser. Les poinçons standard ont des coûts certainement plus bas par rapport aux outillages spéciaux pour presse. Le dernier facteur est le coût horaire de la machine qui doit être



**Fig. 3**  
Poinçonneuse de feuille avec chargement et déchargement automatiques.



**Fig. 4**  
Ligne de poinçonnage de bobine avec dérouleur, redresseur et poinçonneuse de bobine.

multiplié par les heures de fonctionnement de la machine pour réaliser toute la production. Le tout se traduit dans la formule: [coût de production] = [matière première] + [outillage] + [coût horaire] x [heures de production]. La fig. 6 exprime sous forme de graphique la signification de cette formule.

#### LE COÛT HORAIRE: QUATRE FACTEURS

Pour calculer le coût horaire d'une machine, il est nécessaire d'additionner quatre autres facteurs. Le premier facteur de coût est celui de la main-d'œuvre liée à la machine. Si la machine nécessite une supervision continue, il faut tenir compte du coût de l'opérateur affecté à cette fonction (de 20 à 25.000,00 Euros par an à diviser par 1800 heures à l'année).

Le deuxième facteur à considérer est le coût de la maintenance annuelle. Celle-ci comprend les matériels de consommation, l'huile hydraulique et les lubrifiants, le coût des interventions techniques et des pièces détachées. On peut considérer pour cette valeur le coût de la maintenance supporté pour la machine en un an, divisé, ici aussi, par 1800 heures à l'année.

Le troisième facteur est représenté par le coût de l'énergie électrique consommée par l'installation

par heure. A défaut des données du courant absorbé par l'installation, il est possible de calculer, par précaution, la moitié de la puissance installée. Naturellement, le quatrième facteur est le coût d'amortissement de la machine. Pour le calcul de ce coût horaire, il suffit de diviser le montant de l'amortissement de la machine prévu pour l'année courante et de la diviser par 1800 heures à l'année. Si la machine a été achetée en leasing, on prendra en considération, au lieu du coût d'amortissement, le montant du loyer annuel du leasing, divisé par 1800 heures. De cette manière, au terme de l'amortissement de la machine ou à l'extinction du leasing, on obtiendra une réduction du coût horaire de la machine.

#### LA VITESSE DE PRODUCTION

Pour compléter le calcul du coût de production, il faudra multiplier le coût horaire par les heures requises par la machine pour exécuter le travail. Donc, connaissant le temps – cycle de production d'une pièce (en heures/pièce), il faudra le multiplier par le nombre de pièces total N.

Dans une poinçonneuse de feuille, le temps – cycle est strictement lié au type de machine, au parcours de l'outil sur la surface de la tôle et au nombre de changements d'outil nécessaires. Ensuite, il faudra ajouter au temps machine de poinçonnage le temps pour le chargement de la feuille et le déchargement du produit (de 30 à 50 centièmes de minute). Pour la poinçonneuse de bobine, le temps de production s'obtient en appliquant des formules empiriques comme celle qui suit: [Temps de production] = [Nombre d'opérations par pièce] x [Temps moyen par opération] + [Longueur en mètres de la pièce] x [Temps par mètre].

Dans ce cas, le temps machine de poinçonnage est égal au temps total de la production car il n'y a pas de temps de chargement et déchargement. Pour finir, dans la presse d'emboutissage, le temps de production est minimal; en effet, chaque coup de presse produit une pièce. Par conséquent, la productivité dépend de la vitesse de la presse (60, 80, 120 coups à la minute et même davantage). On en déduit que la presse avec matrice est le système de production

**Fig. 5**  
Ligne d'emboutissage avec presse.



le plus rapide, suivi par la poinçonneuse de bobine et ensuite par la poinçonneuse de feuille. Au paragraphe inhérent à la description des technologies, il a été dit que la poinçonneuse de feuille est le système le plus souple, suivi par la poinçonneuse de bobine et par la ligne d'emboutissage par presse. À ce point, il est intéressant d'établir le diagramme de productivité-souplesse, visible en fig. 7.

## LA COMPARAISON ENTRE LES TECHNOLOGIES

Soit une production N à réaliser; on détermine la technologie qui permet de la réaliser au moindre coût. C'est pour cette raison que par la suite on ne cherchera pas la valeur absolue du coût de la matière première ou du coût horaire mais on évaluera plutôt les coûts par rapport aux autres technologies, ce qui fournira l'évaluation quantitative visée. Les concepts s'appuieront sur des chiffres; chacun pourra ensuite appliquer les formules exprimées jusqu'à présent selon le propre cas de figure.

## COMPARAISON ENTRE POINÇONNAGE DE FEUILLE ET POINÇONNAGE DE BOBINE

En fait, la poinçonneuse de bobine (fig. 8) est particulièrement indiquée à la réalisation de produits avec deux côtés correspondant aux côtés de la bande (fig. 9-11), en petites et moyennes séries (de 200 pièces à 500 000 pièces par poste). Par ailleurs, le poinçonnage de bobine est l'idéal pour la production en série de pièces différentes les unes des autres, si celles-ci appartiennent à la même famille (lot 1). Par exemple, les cadres de portes et fenêtres sont produits en série à partir d'une seule pièce; les poinçonnages sont similaires mais les dimensions (hauteur et largeur de la porte ou de la fenêtre) sont différentes d'un produit à l'autre. Le poinçonnage de feuille est utilisé pour la production de pièces rectangulaires (comme la poinçonneuse de bobine), mais elle peut tout autant réaliser des formes géométriques très complexes, en les positionnant imbriquées à l'intérieur de la feuille. Le poinçonnage de feuille est en mesure de réaliser même une seule pièce, complètement différente des autres obtenues à partir de la même feuille. Donc, il est utilisé également pour la réalisation de très petites séries (de 1 à 50 pièces). La comparaison entre les deux technologies s'effectuera pour une série moyenne de pièces réalisables avec les deux machines. Nous analyserons chacun des facteurs qui composent le coût de la production. Après quoi, nous tirerons les conclusions, valables dans le contexte des hypothèses déjà exprimées.

### Matière première

La poinçonneuse de feuille travaille sur tôles en formats standard commercialisées ou cisailées

à la mesure. Dans le premier cas, il est nécessaire de prévoir un pourcentage de déchet de 10 à 20%, en raison de l'impossibilité d'utiliser entièrement la feuille.

En travaillant avec des tôles cisailées à la mesure, le pourcentage de déchet est minimal mais le coût de la tôle cisailée est supérieur à celle au format standard. Par contre, la poinçonneuse de bobine travaille des bandes sur bobines qui arrivent, coupées à la bonne largeur, du centre de service. Le pourcentage de déchet d'une bobine est au maximum de 1%. En fait, la poinçonneuse de bobine utilise tout le rouleau de matériau, alors que la poinçonneuse de feuille entraîne un coût de matière première plus élevé à cause des déchets plus importants ou du coût plus élevé des tôles cisailées à la mesure.

### Outillage

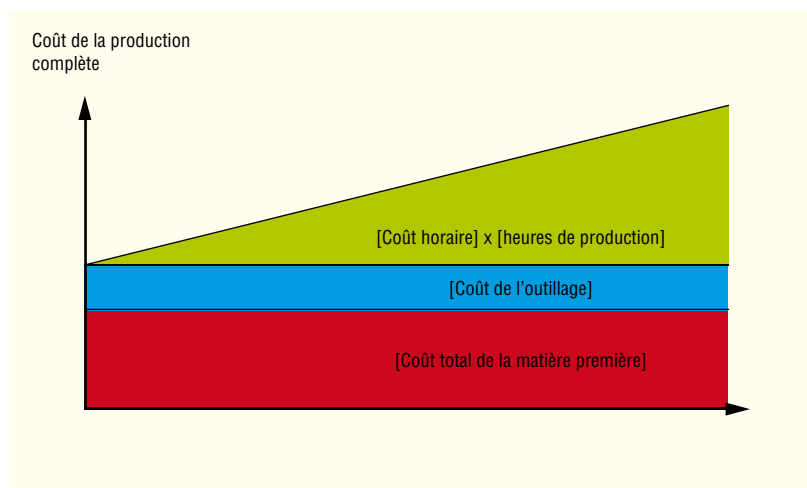
En ce qui concerne le coût de l'outillage, nous estimons que les deux poinçonneuses ont le même coût en outillage du fait que toutes les deux utilisent des poinçons standard (par exemple outillages standard à tourelle haute).

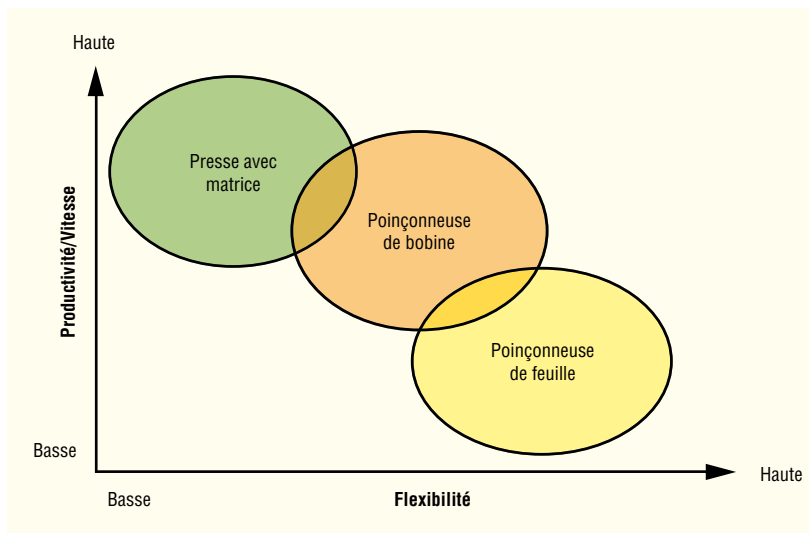
### Coût horaire

Le dernier facteur à évaluer est le coût horaire qui sera multiplié ultérieurement par le temps de production. Pour le calcul, nous considérons que les coûts de maintenance et de l'énergie électrique sont les mêmes dans les deux types de machine. Le coût de la main-d'œuvre est lié au type d'installation. La poinçonneuse de feuille impose la présence continue d'au moins un opérateur pour les opérations de chargement de la feuille et déchargement du produit. Ce coût peut être éliminé en introduisant un système robotisé de chargement et déchargement sur la poinçonneuse de feuille, ce qui impose naturellement un investissement majeur et entraîne en conséquence une augmentation du coût d'amortissement de la poinçonneuse de feuille, comme nous verrons par la suite.

En revanche, une simple poinçonneuse de bobine produit en automatique sans la pré-

**Fig. 6**  
Composition du coût de la production en fonction des heures de production.





**Fig. 7**  
Diagramme de productivité - souplesse et position des technologies examinées

sence constante d'un opérateur qui se limite aux seules opérations de chargement bobine et déchargement palettes. Le coût d'amortissement pour les poinçonneuses de feuille et de bande dépend du type d'installation achetée. Dans cette analyse, nous considérons que le coût d'amortissement d'une poinçonneuse de feuille avec chargement et déchargement manuels est égal au coût d'amortissement d'une poinçonneuse de bobine. Si la poinçonneuse de feuille est dotée de chargement et déchargement automatique, le coût horaire de la main-d'œuvre diminue mais le coût d'amortissement de la machine augmente. Par ailleurs, il existe dans le commerce des poinçonneuses de bobine compactes qui permettent de minimaliser l'investissement (figure 8) et d'obtenir ainsi un coût d'amortissement encore plus bas. Pour toutes ces raisons, la poinçonneuse de bobine affiche, dans les différentes conditions opérationnelles, des coûts horaires de 20 à 30% plus bas par rapport à la poinçonneuse de feuille.

### Le temps de production

La valeur du coût horaire doit ensuite être multipliée par les heures de production.

Dans la poinçonneuse de feuille, comme il a été dit au paragraphe inhérent à la vitesse, il faut ajouter au temps machine de poinçonnage le temps nécessaire au chargement de la feuille et déchargement de la pièce.

Ce temps oscille entre les 30 et 50 centièmes de minute quelle que soit la manœuvre, manuelle ou automatique. Par contre, dans la poinçonneuse de bobine, le temps machine est égal au temps du cycle de production du produit, ce qui fait que la poinçonneuse de bobine est normalement plus rapide que la poinçonneuse de feuille, d'où une production réalisable en moins d'heures. En général, il est à remarquer que, par rapport à la poinçonneuse de feuille, la poinçonneuse de bobine est d'autant plus productive que la pièce est simple à réaliser.

### Conclusion

La poinçonneuse de bobine comporte donc des coûts plus bas en matière première et en coût horaire, et emploie normalement moins d'heures pour exécuter la production.

Les premiers et troisième termes de la somme [matière première] + [outillage] + [coût horaire] x [heures de production] = [coût de production] sont inférieurs dans la poinçonneuse de bobine par rapport à la poinçonneuse de feuille. On peut en déduire que, pour des moyennes et petites séries, et avec des pièces adaptées à la production à partir de bobine, cette dernière est la technologie qui permet de réaliser la production au moindre coût.

### COMPARAISON ENTRE POINÇONNAGE À PARTIR DE BOBINE ET EMBOUTISSAGE PAR PRESSE

Avec ces deux technologies à disposition, et en

**Fig. 8**  
Poinçonneuse de bobine pour bandes allant jusqu'à 1000 mm de largeur.





considérant le coût élevé de l'outillage de presse, l'objectif est de déterminer le nombre de pièces discriminant N sous lequel il convient de travailler avec poinçonneuse de bobine. Pour productions supérieures à N, il conviendra de produire une matrice spéciale pour presse. Dans ce cas également, nous analyserons chacun des facteurs qui composent le coût de la production et tirerons ensuite les conclusions.

#### *Matière première*

Les deux machines travaillent toute à partir de bobine, le coût de la matière première est identique.

#### *Outillage*

Le coût de l'outillage spécial pour presse est beaucoup plus élevé que celui de l'outillage pour poinçonneuse, qui est standard et réutilisable pour différentes productions. Le coût du temps de réglage (préparation de la machine) est compris dans le prix de l'outillage; nous considérons qu'il est le même pour les deux machines et qu'il est tout à fait négligeable face au coût de l'outillage spécial pour presse.

#### *Coût horaire*

Les deux machines n'imposent pas la présence continue d'un opérateur, donc, l'incidence de la main-d'œuvre est négligeable. Le coût annuel de la maintenance et le coût de l'énergie électrique sont identiques pour les deux machines. Le coût de l'amortissement des deux machines dépend ici aussi du type d'installation. En principe, la poinçonneuse de bobine, avec un investissement légèrement supérieur, permet une économie considérable en outillage

à moyen et long terme. C'est pour cette raison que le coût d'amortissement et en conséquence le coût horaire de la ligne d'emboutissage seront considérés comme étant légèrement inférieurs à ceux d'une poinçonneuse de bobine.

#### *Le temps de production*

Comme il a été dit précédemment, la presse d'emboutissage produit une pièce à chaque cycle. Par conséquent, il s'agit généralement d'une production de 40, 60, 80, 120 pièces à la minute et même davantage. La poinçonneuse de bobine nécessite pour chaque opération un temps oscillant entre 0,5 et 1 seconde. La production d'une pièce peut se faire par exemple en un temps qui va de quelques secondes à quelques dizaines de secondes.

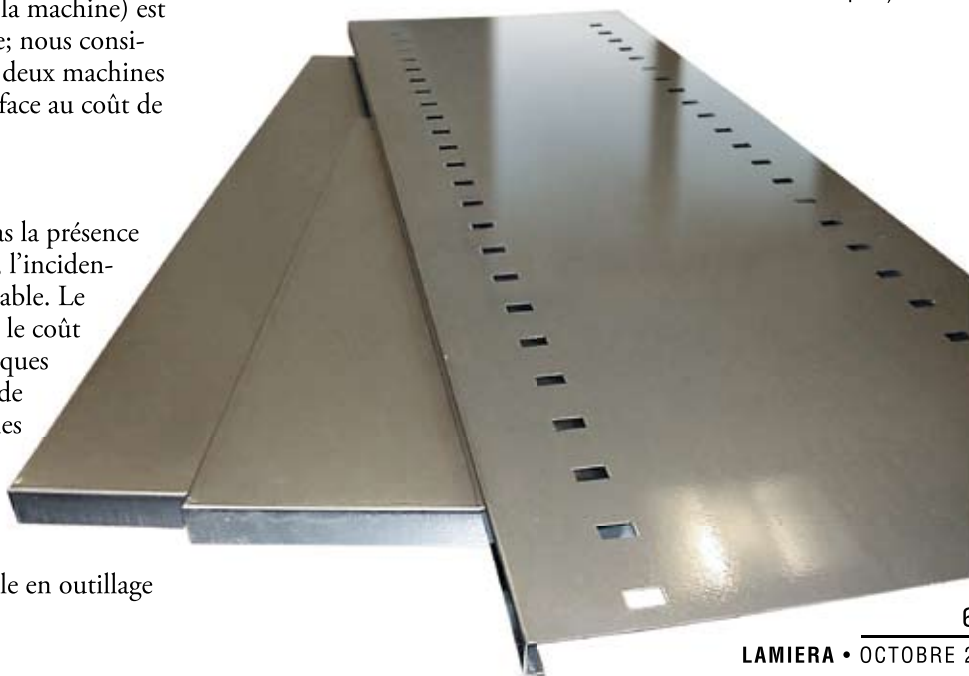
#### *Conclusions*

Pour obtenir le nombre de pièces discriminant N qui, par la définition donnée, indique si c'est le cas ou non d'effectuer la production au moyen d'une poinçonneuse de bobine ou de construire un outil spécial pour l'emboutissage par presse, il est nécessaire de rendre égaux les deux coûts de la production déterminés par l'équation vue précédemment: [coût de production] = [matière première] + [outillage] + [coût horaire] x [heures de production]. Le coût de la matière première étant le même, il peut être exclu du calcul. Vu la grande différence entre le coût de l'outillage pour poinçonneuse et la matrice de la presse, on considère, par approximation, comme étant nul le coût de l'outillage de poinçonneuse par rapport à celui de la matrice spécial.

Par ailleurs, vu la plus grande vitesse de la presse par rapport à la poinçonneuse, nous considérons, en première analyse, que les heures de production nécessaires à une production par presse et matrice sont égales à zéro. Les heures de production nécessaires à exécuter la production au moyen d'une poinçonneuse

**Fig. 9**  
Exemples de produits réalisés par poinçonnage de bobine (panneaux pour portes).

**Fig. 10**  
Produits usinés par poinçonnage de bobine (panneaux et tablettes pour meubles métalliques)

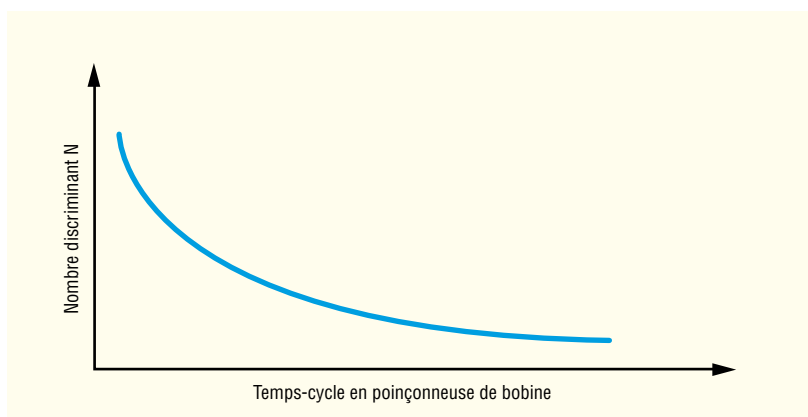


**Fig. 11**  
Produits usinés par  
poinçonnage de bobines  
(cadres pour portes de  
sécurité)



de bobine sont égales au nombre de pièces  $N$  multiplié par la durée nécessaire à réaliser une pièce (temps-cycle). Après quelques passages, on obtient que  $N = [\text{Coût outil presse}] / ([\text{coût horaire poinçonneuse}] \times [\text{heures par pièce en poinçonneuse}])$ . Imaginons par exemple que la réalisation de l'outil coûte 8 000 ,00 Euros, que le coût horaire de la poinçonneuse de bobine soit de 40,00 Euros/Heure et que la poinçonneuse emploie 20 secondes (ce qui correspond à 0,0056 heure) pour réaliser la même pièce. Le numéro discriminant  $N$  sera égal à 35.700 pièces. Pour productions inférieures, il conviendra de produire au moyen d'une poinçonneuse de bobine. Pour productions supérieures, il conviendra de réaliser une matrice. Il est à remarquer que la formule proposée, par les approximations introduites, est incomplète du fait qu'il manque dans le calcul le coût de l'outillage pour poinçonneuse (qui augmente de dénominateur de la formule) et le coût des heures de production par presse (qui augmente par contre le numérateur). Toutefois, elle fournit, en plus de l'avantage de la simplicité, une indication valable sur l'ordre dimensionnelle du nombre discriminant  $N$  et amène à quelques réflexions. Considérons comme étant constants le coût horaire de la poinçonneuse et le coût de l'outil pour presse. Le graphique qui exprime

**Fig. 12**  
Nombre discriminant  $N$   
en fonction du temps de  
production à partir de  
bobine



l'évolution du discriminant  $N$  en fonction du temps-cycle en poinçonneuse évolue comme illustré en fig. 12. Le nombre discriminant  $N$  augmente quand le temps-cycle de production à partir de bobine diminue, ce qui signifie qu'ils sont inversement proportionnels. Ensuite, si dans la formule on considère comme constants le coût horaire de la poinçonneuse de bobine et le temps-cycle de production à partir de bobine, on constate que le nombre discriminant  $N$  augmente quand le coût de la matrice augmente.

## CONCLUSIONS

On a analysé avant tout la structure des coûts de production et du coût horaire du poinçonnage de feuille, du poinçonnage de bobine et de l'emboutissage par presse et matrice. Donc, nous avons comparé le poinçonnage de feuille et le poinçonnage de bobine. Il en résulte que le poinçonnage de feuille est tout indiqué pour l'usinage de pièces d'une forme géométrique complexe ou pour de très petites séries (de 1 à 50 pièces). Pour pièces d'une forme plus simple (rectangles, carrés, panneaux chanfreinés) et pour moyennes et petites séries (de 200 pièces à 500 mille pièces), le poinçonnage de bobine est toujours préférable. À la fin, nous avons comparé le poinçonnage de bobine et l'emboutissage par presse. Nous avons constaté que l'emboutissage par presse est préférable pour de grandes et très grandes séries (millions de pièces), alors que le poinçonnage de bobine est plutôt indiqué pour les petites et moyennes séries. Ceci nous a conduit à une simple formule qui, connaissant le coût de l'outil, le coût horaire de la poinçonneuse de bobine et le temps de production par poinçonneuse de bobine, fournit le nombre de pièces  $N$  sous lequel il convient d'effectuer le poinçonnage de bobine plutôt que l'emboutissage par presse.