DÉCOUPE DU BOIS ET DE SES DÉRIVÉS PAR LASER
Mythe ou réalité ?

par Marc ROQUESALANE* et Jean FRIBOURG**

Après être resté pendant 20 ans confiné en laboratoire, le LASER a fait enfin son entrée dans l'atelier. Cette pénétration est encore modeste vis-à-vis de nos voisins européens mais elle s'accélère. Sous l'impulsion des grands secteurs industriels (aéronautique, automobile...) et des laboratoires de recherche, la technique est devenue plus sûre. Le LASER entre ainsi dans les mœurs et son utilisation n'est plus réservée aux seuls aventuriers.

Cet article est donc une présentation de la technique LASER : il décrit son fonctionnement, son environnement, ses applications et son développement dans les industries du bois, tels que le CRIC* les a appréhendés.**

Quelques exemples de pièces découpées ou gravées au laser CO_2.

* Ancien ingénieur lasériste au Centre de Recherche et d'Innovation de Cluny (CRIC).

** Professeur responsable de l'Enseignement Formation Bois à l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM) de Cluny.

*** Implanté dans les bâtiments de l'ENSAM de Cluny, qui comporte depuis 1984 un enseignement orienté vers le bois, le CRIC étudie, entre autres, les problèmes liés à la découpe du bois et de ses dérivés par laser.

SUMMARY

**CUTTING WOOD AND ITS BY-PRODUCTS WITH LASER
MYTH OR REALITY ?**

Cutting metal with laser is now widespread in the industrial world.

When applied to wood, this technique can be attractive, but it has not been studied at length.

The economic and technical viability, which remains to be proved, has to be analysed notably through the knowledge of the technical aspects of cutting itself.

The approach followed in this paper mainly aims at presenting the basic principles of laser operation, as well as specific aspects linked to wood cutting. The problems encountered and caused by the thermal effect of laser are dealt with, but the stress is laid on the small number of studies carried out, aiming at improving quality. The numerous factors which act upon this quality make every application a special case deserving special attention.

The industrialist who wants to decide on an option will have to integrate other elements than the quality of cutting only, e.g. investment and operating costs.

RESUMEN

**CORTE DE LA MADERA Y DE SUS DERIVADOS POR LASER
¿ MITO O REALIDAD ?**

En la actualidad, se aplica ampliamente el corte de los metales mediante láser, en todos los medios industriales.

En sus aplicaciones a la madera, esta técnica no deja de tener interés, aun cuando ha sido poco estudiada.

La factibilidad tecnico-económica, que aún queda por demostrar, precisa, fundamentalmente el conocimiento de los aspectos técnicos del corte propiamente dicho.

El planteamiento seguido en el presente artículo tiene principalmente por objeto presentar los grandes principios del funcionamiento del láser, así como el carácter específico que cabe tener en cuenta al tratarse del corte de la madera. Se da cuenta de los problemas con que se ha tropezado, derivados del efecto térmico del láser, y se insiste, asimismo, respecto al contado número de estudios llevados a cabo con el propósito de mejorar la calidad. Los numerosos parámetros que intervienen acerca de dicha calidad hacen que cada aplicación constituya un caso específico que precisa un examen exhaustivo.

El industrial deberá, si desea proceder a una opción, integrar otros factores, distintos de la calidad del corte propiamente dicho, y concretamente, el costo de las inversiones y de funcionamiento.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU LASER

Le principe du laser repose sur le phénomène introduit en 1917 par EINSTEIN : l'émission stimulée.

L'énergie interne d'un atome est fonction du niveau d'énergie sur lequel se trouvent ses électrons. Ces niveaux sont dans la nature bien définis et il faut une excitation extérieure pour faire passer un électron de son niveau fondamental à un niveau supérieur. La position instable de ce niveau supérieur fait qu'il y a retour spontané de l'électron à son niveau initial et émission d'un photon dont l'énergie, qui caractérisera la longueur d'onde du rayonnement, est égale à la différence d'énergie entre les deux niveaux.

Si ce photon rencontre un atome voisin, se trouvant dans le même état d'excitation que l'atome dont il est issu, il provoque l'émission d'un nouveau photon sans pour autant être absorbé.

Les rayonnements induits et inducteurs ont les mêmes caractéristiques physiques. Tout se passe comme si l'on avait amplifié le rayonnement, d'où l'explication du terme LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiations).

L'ensemble des atomes produisant le faisceau est appelé le milieu actif. Il est soumis de façon impulsionnelle ou en continu à une excitation extérieure de sorte que le nombre de ses atomes excités soit toujours supérieur au nombre de ceux qui ne le sont pas.

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES DU RAYON LASER : SON TRANSPORT

La principale caractéristique du rayonnement laser est sa cohérence. Elle est due au fait que tous les photons qui le composent ont même phase, même fréquence et même direction.

C'est cette propriété qui permet de diriger sans pertes le faisceau vers la matière à travailler et de le concentrer à l'aide d'un système optique. On obtient ainsi des densités de puissance très élevées.

DIFFÉRENTS TYPES DE LASERS

Depuis la découverte du principe laser, les chercheurs ont tenté de développer différentes sources se distinguant les unes des autres par la nature de leur milieu actif.

Celui-ci détermine la longueur d'onde du laser ainsi que plus indirectement sa puissance, qui est liée au rendement énergétique du milieu actif.

Industriellement, les deux types de laser les plus répandus dans le domaine de la découpe et du soudage sont le laser CO_2 et le laser YAG.

□ LE LASER CO_2

C'est un laser dont le milieu actif est constitué d'un mélange de gaz (CO_2, Hélium, Azote) et dont l'excitation est produite par des décharges électriques. Sa technologie lui permet d'atteindre des puissances de plusieurs kilowatts.

□ LE LASER YAG

Il est quant à lui un laser dit « solide » : c'est-à-dire que son milieu actif n'est plus gazeux comme dans le cas du CO_2 mais constitué d'un cristal de Grenat d'Alumine à l'Yttrium (YAG), contenant à l'état de dopant des ions d'une terre rare appelée néodyme. L'excitation est faite à l'aide d'éclairs lumineux produits par des lampes flash. Les problèmes thermiques limitent les puissances à 500 W environ, un YAG de 1 kW étant cependant sur le marché.

La source laser étant rarement au voisinage de la pièce, il faut pouvoir assurer avec le maximum de précision son transport. Il existe deux façons d'y parvenir :

- transport par miroir : c'est le système le plus répandu,
- transport par fibre optique : il se limite au transport des rayonnements laser n'interagissant pas avec le verre.

Le dernier maillon du système de transport du faisceau est le système de focalisation. Il a pour but de concentrer l'énergie du faisceau sur un petit diamètre (quelques 1/10 mm).

Les systèmes optiques de focalisation sont très simples pour les lasers CO_2 : une simple lentille ou un miroir concave métallique.

APPLICATION INDUSTRIELLE : LE DÉCOUPAGE

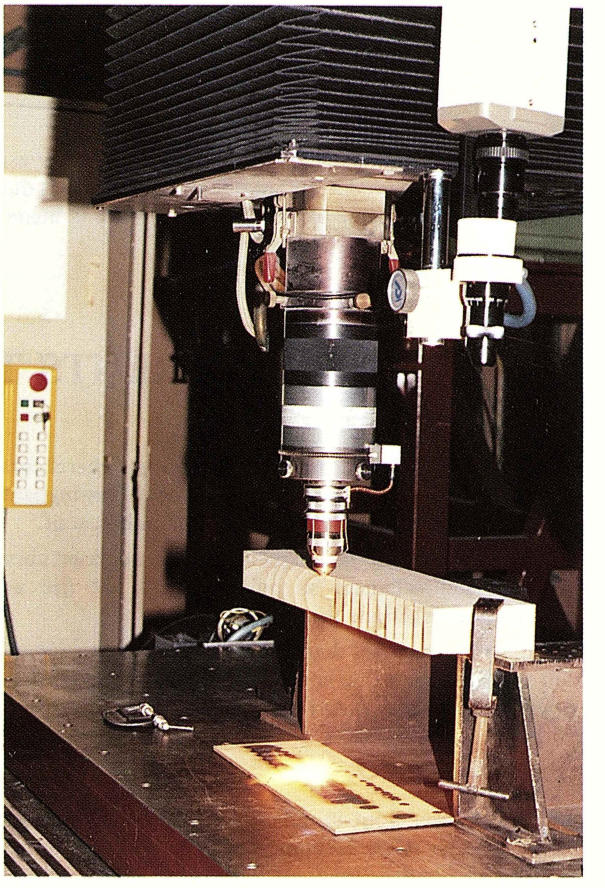
Le principe est de focaliser le faisceau à travers une buse située à proximité de la pièce. Un capillaire de matière vaporisée se forme alors et la découpe est réalisée en déplaçant le faisceau ou la pièce.

On utilise un gaz d'assistance qui circule dans l'axe de la buse. Il a plusieurs fonctions :

- Ejection de la matière fondue ou vaporisée de la saignée.
- Protection de la lentille de focalisation contre les remontées des scories.
- Aide à la réaction d'oxydation exothermique dans le cas de l'oxygène.
- Réduction de l'oxydation dans le cas de gaz inertes (Argon, Hélium).

De nombreux matériaux peuvent être découpés au laser mais il faut savoir que l'absorption du faisceau par un matériau dépend de sa longueur d'onde. C'est ainsi que le laser CO_2 est plus approprié à l'usinage des aciers et matériaux organiques (papiers, bois, verre...) qu'à celui de métaux à forte réflexion (cuivre, aluminium...), domaine réservé au laser YAG.

Effet du faisceau laser CO_2 sur du bois massif.



Recherche des meilleurs paramètres de coupe sur une éprouvette de 30 mm d'épaisseur. On remarque que la base du laser est réglée très près de la face supérieure de l'éprouvette.

APPLICATION À LA DÉCOUPE DU BOIS

□ PRINCIPE

Le principe de la découpe du bois est identique à celui de la découpe des métaux.

L'action du gaz d'assistance se réduit à l'heure actuelle à l'évacuation des fumées loin du trajet du faisceau et de la lentille.

Nous allons voir, dans ce qui suit, l'influence des divers paramètres de réglages à travers les problèmes rencontrés dans la découpe du bois.

□ PROBLÈMES LIÉS À LA DÉCOUPE DU BOIS

• Brunissage des chants

Le mécanisme de découpe, qui n'est autre qu'une réaction classique de combustion, laisse subsister sur chaque chant découpé une épaisseur plus ou moins grande de bois bruni. Cette couche, d'épaisseur variable selon les espèces et les épaisseurs, demeure un problème important tant au niveau de l'aspect qu'à celui de la propreté (figure 1).

Les solutions résident dans la maîtrise la plus complète de cette réaction de combustion (puissance, vitesse d'avance, emploi de gaz de protection inertes).

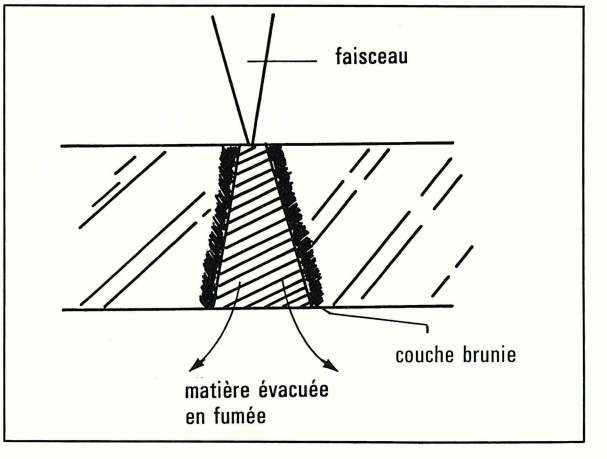


FIG. 1.

• Brûlure sur la surface supérieure

Là encore il s'agit d'un phénomène lié à la combustion et, plus particulièrement, à la flamme qui en résulte et qui

brunit le bois en surface. Ce phénomène, qui dépend également des espèces et des épaisseurs, peut être en partie résolu en soufflant la flamme à l'aide d'un jet de gaz transversal. Une autre technique nécessite une préparation du bois en protégeant la face supérieure par un film adhésif qui subira les effets de la flamme sans altérer le faisceau.

- **Dépouille**

Le phénomène de dépouille sur les chants bruts de découpe laser est parfaitement visible dès que l'on atteint certaines épaisseurs (> 5 mm). Cette dépouille est due à

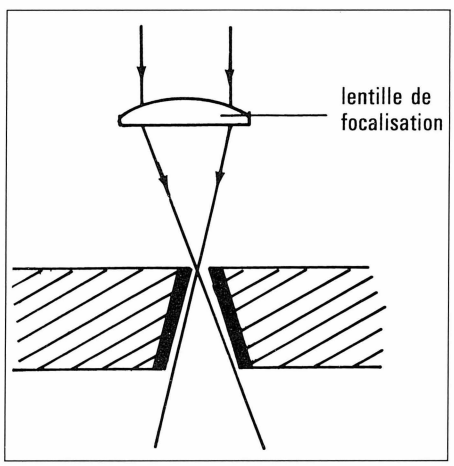


FIG. 2.

la forme du faisceau et à sa façon d'interagir avec le bois (figure 2).

Le laser découpe en effet d'abord verticalement par couches successives, et ce avec un diamètre de plus en plus grand dû à la forme du faisceau. Cette action combinée à un mouvement de déplacement du faisceau ou de la pièce conduit à imprimer cette forme sur toute la longueur de la découpe.

Le meilleur moyen pour résoudre ce problème consiste à utiliser des lentilles de grande focale. Comme l'illustre la figure 3, plus la focale est grande plus la profondeur de champ, c'est-à-dire la longueur où le faisceau a un diamètre minimal, est grande.

- **Fumées**

La formation plus ou moins importante de fumées, lors de la découpe du bois, impose de prévoir une évacuation de celles-ci qui aura pour but de protéger et les opérateurs et le phénomène de combustion. Si le problème d'hygiène et de sécurité est évident, celui de l'éloignement des fumées hors du trajet du faisceau est également important. Il ne faut pas en effet créer d'interférences entre le faisceau et la matière car, si le laser est puissant, il est aussi très sensible à toute perturbation.

- **Présence de colle**

L'interaction laser-matière est, comme nous l'avons vu, liée à l'absorption de la longueur d'onde du laser par ce matériau. Des problèmes de discontinuité entre colles et bois, pour les dérivés du bois par exemple, peuvent induire des phénomènes nuisibles : perturbations du faisceau, combustions, parasites. Ce paramètre est donc à étudier avec soin car il peut entraîner une modification importante des réglages et du matériau.

□ PERFORMANCES

Peu d'études exhaustives existent sur la découpe du bois par laser.

Les chiffres donnés page 66 sont indicatifs, chaque découpe étant souvent un cas particulier du fait de la nature même du bois et de ses dérivés.

□ LA COMMANDE NUMÉRIQUE

Le laser utilisé en découpe est indissociable de la commande numérique. C'est elle qui lui donne toute sa souplesse. Associé à un logiciel de dessin, le laser est un outil puissant permettant de découper des pièces de formes très variables dans des temps très courts. On peut très facilement programmer la découpe d'une pièce même si l'on n'en possède pas le plan. Les logiciels d'imbrication, déjà connus dans le domaine de la découpe de tissus, permettent également un gain de matière appréciable.

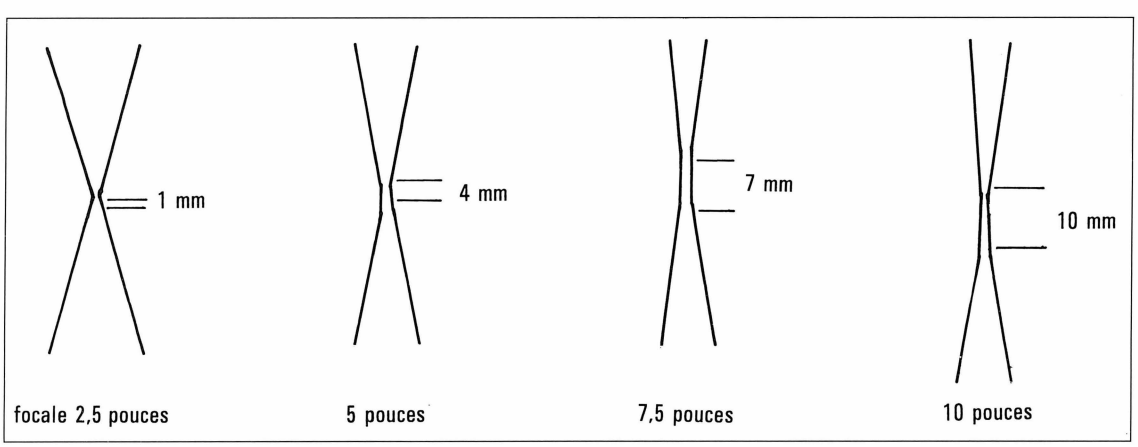


FIG. 3.

TABLEAU DE QUELQUES PERFORMANCES

Espèce	Epaisseur (mm)	Puissance (W)	Vitesse (m/min.)
CHÊNE	24	1 100	2
CONTRE-PLAQUÉ OKOUMÉ	4,7	850	10
CONTRE-PLAQUÉ OKOUMÉ	18,4	850	5
CONTRE-PLAQUÉ	27	1 100	1,5
PEUPLIER	24	1 100	4
PANNEAU DE PARTI-CULES	3,4	425	5
SAPIN	24	1 100	3,5

□ GRAVURE SUR BOIS

La gravure sur bois est une application également très intéressante du laser.

Le principe est le même que celui de la découpe, sauf que l'on joue sur la puissance et la focalisation pour réaliser des traits plus ou moins larges et non débouchants.

La mise en œuvre s'effectue de 3 manières :

- **Par balayage :** le faisceau est déplacé sur la pièce par un ensemble de miroirs piloté par ordinateur. La taille des caractères peut être inférieure à 0,1 mm et la cadence atteindre plusieurs dizaines de caractères à la seconde.

- **Par masque :** on dirige le faisceau d'un laser CO_2 pulsé à travers un masque métallique. On forme ainsi une image qui sera focalisée sur la pièce. L'opération est très rapide.

- **Par déplacement de la pièce :** c'est une technique peu répandue, peu coûteuse mais lente.

DÉVELOPPEMENT DU LASER CO_2 DANS LES INDUSTRIES DU BOIS

Dans le cadre de leur Projet de fin d'études, MM. HERVÉ et THOMMASSON, élèves-ingénieurs de la formation Bois de l'ENSAM, ont mené un programme de recherche complet sur les possibilités du laser CO_2 dans le domaine du bois et de ses dérivés.

Les essais ont été effectués à Cluny sur l'unité d'usinage laser CO_2 de 1 500 W (mode TEM 10) du CRIC. Il s'agit d'une machine PRECIACIER, dotée d'une source ROFIN-SINAR avec une table 4 axes (courses X.Y.Z = 1 000 - 600 - 600 mm + plateau tournant 360° continu) guidée par un calculateur IBM-micro MOD BUS. Avec cette machine 30 mm maximum pourront être découpés dans de bonnes conditions.

LE LASER PAR RAPPORT À L'USINAGE TRADITIONNEL

□ Inconvénients : propres aux procédés classiques

- La largeur du trait de coupe de l'outil qui entraîne une perte de matière.
- La gestion d'un magasin d'outils.
- L'entretien coûteux des outils coupants.
- Les réglages d'outils.
- Le bruit, ainsi que les poussières et copeaux à stocker et à évacuer.

propres au laser

- Le brunissage des chants.
- Le coût actuel élevé de cette technologie.
- Pour les pièces simples, le rendement inférieur à celui des procédés classiques.
- Evacuation des fumées.

□ Avantages du laser

- Exactitude de coupe et précision de guidage permettent d'éviter les surépaisseurs d'usinage, donc les déchets (économie de bois d'environ 5 % de la consommation globale, intéressante notamment pour la découpe de bois précieux).
- Pas d'outils, pas d'affûtage.
- Pas d'action mécanique, donc pas de déformations ni d'arrachement (bridage minimal des pièces, pas de contrefil).
- Finesse du trait de coupe (quelques dixièmes).
- Possibilité de découpe en pleine matière.
- Possibilité de gravage.
- Moins de bruit et moins de poussières.
- Possibilité de travailler sur des matériaux finis sans altération (par exemple vernis ou teintés).
- Flexibilité et automatisation faciles.
- Dans certains cas, les chants obtenus ne demandent pas de finition complémentaire.

DÉBOUCHÉS - APPLICATIONS

- Obtention de poinçons pour le découpage du carton.
- Découpage de tableaux de bord pour voiture haut de gamme.
- Pièces diverses pour instruments de musique (violons, clarinettes...).
- Jouets - puzzles - logos.
- Marqueterie.
- Gravure.
- Aménagement de bateaux de plaisance.
- Balustres de balcons.
- Structure d'aile d'U.L.M., etc.

ÉTUDE ÉCONOMIQUE SOMMAIRE

INVESTISSEMENTS

☐ Les sources laser

On distingue deux catégories de sources :

- inférieures à 100 W, pour le gravage ou la découpe de placages ;
- au-delà, les lasers de puissance pour la découpe en pleine matière.

Quelques prix indicatifs* :

Source	25 W	70 KF	700 W	600 KF
	45	150	1 200	920
	120	270	1 500	1 100
	250	400		

☐ Les tables

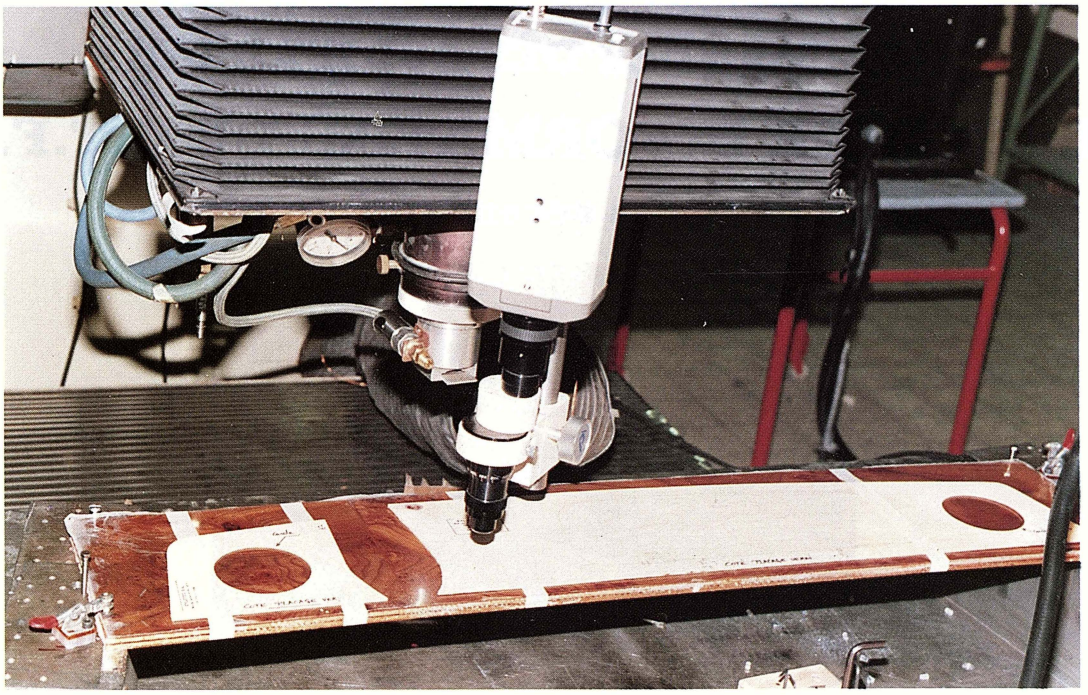
Suivant les caractéristiques voulues, on passe rapidement de 400 KF à 1 MF, ce dernier prix correspondant aux tables grand format équipées d'une commande numérique performante.

☐ Outils informatiques

Pour une utilisation optimale de l'outil laser, les différentes études techniques ont montré la nécessité d'avoir un outil informatique performant, adapté à l'utilisation envisagée. Pour information, il faut compter entre 150 et 300 KF pour un matériel correct.

Coûts de fonctionnement

On s'aperçoit donc que s'équiper d'un système complet et fiable demande, aux fortes puissances, un investissement qui peut atteindre 2,4 MF. Dès lors, les frais de fonctionnement courant (électricité, eau, gaz, entretien...) qui s'élèvent à moins de 100 F/h deviennent secondaires par rapport au coût d'amortissement de la machine. On conçoit donc facilement l'intérêt que pourrait représenter le fonctionnement en deux équipes de l'atelier laser.



Avant découpe d'un tableau de bord en loupe d'orme pour voiture de prestige, apprentissage des profils à l'aide d'une caméra à partir de gabarits (puissance du laser : 1 000 W, avance 5 m/min., épaisseur 12 mm).

* Les prix sont donnés H.T.

Quoi qu'il en soit, les prix couramment facturés sur une machine 1 500 W varient de 800 à 1 500 F/h en sous-traitance.

Quelques vitesses d'avance moyennes utilisées pour l'obtention de pièces complexes réalisées au cours de l'étude

- Chêne : 24 mm = 1,5 m/min.
- Ebène : 10 mm = 1 m/min.
- Panneaux de fibres 12 mm = 20 m/min.
- Merisier : 24 mm = 2 m/min.
- Erable : 30 mm = 2 m/min.
- Panneau de particules : 16 mm = 10 m/min.
- Contreplaqué multiplis : 10 mm, finition vernis polyester : 6 m/min.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

HERVÉ (J.-S.) et THOMMASSON (T.), 1990. — La découpe industrielle du Bois et de ses Dérivés au LASER CO_2 : Mythe ou réalité ? (projet de fin d'étude de l'ENSAM). Cluny, France.

MAILLET (H.), 1986. — Le laser, principes et techniques d'applications. Techniques et Documentation. Lavoisier.

PRADIE (D.), 1988. — Le laser et ses applications. Série technologie et développement. ANVAR.

VANNES (A. B.), 1986. — Lasers et industries de transformation. Editions Techniques et Documentation. Lavoisier.

CONCLUSION

Le laser demeure une technologie chère ; il doit donc être considéré, pour l'instant, comme une machine spéciale à employer comme telle, c'est-à-dire pour obtenir des pièces (en fabrication unitaire ou de série) précises et délicates à haute valeur ajoutée.

Que l'on se rassure, ce constat était exactement le même il n'y a pas si longtemps encore dans l'industrie mécanique, ce qui n'a pas empêché le laser de s'y développer.

Le brunissage des chants, si souvent décrié, est un faux problème, puisqu'une analyse fine de l'utilisation des pièces en bois et dérivés montre que ces chants seront soit cachés ou revêtus, soit réusinés ou même employés en l'état pour leur intérêt esthétique.

Aux industriels du bois de savoir utiliser judicieusement les potentialités du LASER CO_2, outil du futur, afin que le MYTHE devienne RÉALITÉ.

Pour faciliter vos choix et décisions

COMMANDEZ DÈS AUJOURD'HUI

LE FICHIER INFORMATISÉ DU C.T.F.T.

sur les essences secondaires tropicales

Pour tous renseignements, contactez :

LE PROGRAMME TECHNOLOGIE DES BOIS DU C.T.F.T.