

## ETUDE THERMIQUE ET DYNAMIQUE D'UN BAIN FONDU LORS D'UN SOUDAGE PROFOND PAR LASER

N. ALLALOU (\*), M. DEBIANE

(\*)Université de Boumerdes, Faculté des Sciences, Département de Physique.

Boumerdes35000, ALGERIE

USTHB, BP 32 EL ALIA, Faculté de physique,

Beb Ezzouar, 16111 ALGER, ALGERIE

(\*)Email: [n\\_allalou2004@yahoo.fr](mailto:n_allalou2004@yahoo.fr)

### RESUME:

On présente un modèle bidimensionnel stationnaire pour étudier numériquement par la méthode des volumes finis l'écoulement d'un fluide et le transfert de chaleur qui se produit pendant le soudage par Laser à vitesse constante de la plaque métallique en fer. Le code FLUENT a été utilisé pour la modélisation du soudage laser dans le but de prédire la forme de la zone fondue en fonction de la vitesse de soudage. Les résultats obtenus montrent que la zone fondue et la zone chaude diminuent quand la vitesse de soudage augmente.

Mots clés : Navier-Stokes, alliage, interaction matière laser, volumes finis, soudage, laser, bain fondu, keyhole.

### 1. INTRODUCTION :

Au cours des récentes années, il y a eu une croissance importante de l'utilisation du système de soudage par laser dans l'industrie. Ce procédé qui utilise des densités d'énergie supérieures à  $10^5 \text{ W/cm}^2$  permettant la formation d'un capillaire de vapeur métallique, appelé Keyhole, au sein de la pièce à souder. L'énergie thermique est alors transférée au métal sur toute la hauteur du capillaire depuis l'intérieur de la pièce. Il y aura donc minimisation des pertes par conduction et par rayonnement donnant lieu à un transfert de chaleur beaucoup plus efficace permettant d'utiliser des vitesses de soudage plus importantes. Les études expérimentales et numériques montrent que la forme du bain fondu est influencée par les champs dynamique et thermique dans le bain. Ce travail fait l'objet d'une simulation numérique pour obtenir le champ dynamique et la distribution de la température dans la zone fondue pour un alliage Aluminium 6061.

### 2. FORMULATION DU PROBLEME :

Comme on le voit sur la *figure 1* la source laser est localisée perpendiculairement sur une pièce qui se déplace avec une vitesse constante  $U$ . Pour tenir compte de quelques hypothèses nous supposons que la vapeur métallique est parfaitement développée et nous ne tenons pas compte du processus physique relatif à la formation et à la stabilité du keyhole et des interactions avec le bain fondu. Du fait que nous ignorons les effets de la tension superficielle et de la convection naturelle ceci nous a amené à étudier seulement un problème bidimensionnel comme montré sur la *figure 2*, avec toutefois une origine des axes qui est placée au centre du keyhole. Nous travaillons dans le cadre d'un régime stationnaire et nous supposons que les propriétés physiques du métal sont constantes.

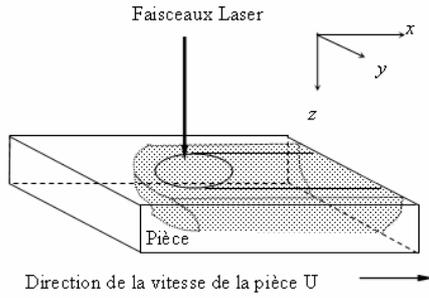


Figure 1 : L'orientation du faisceau laser relatif à la pièce.

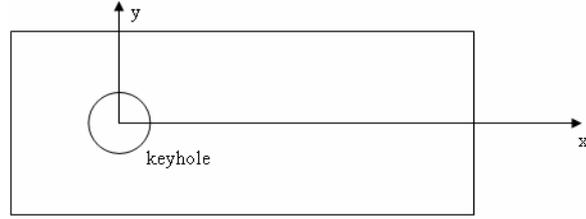


Figure 2 : Vue de haut de la pièce.

Basées sur ces hypothèses les équations dynamiques et thermiques sont comme suit :

- L'équation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

- Les équations de quantités de mouvement dans les directions x et y :

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} + S_u \quad (2)$$

$$\rho \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} + S_v \quad (3)$$

- L'équation de la chaleur :

$$\rho C_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + S_h \quad (4)$$

Où  $u$  et  $v$  sont les composantes de la vitesse dans les directions  $x$  et  $y$  et les variables  $p$  et  $T$  représentent la pression et la température, alors que  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $k$  et  $C_p$  sont, respectivement la densité, la viscosité, la conductivité thermique et la chaleur spécifique. Afin de tenir compte du changement de phase liquide- solide dans le bain fondu, la méthode enthalpique développée par Voller et al [1] est employée. Dans cette méthode, les conditions de transfert de chaleur et de quantité de mouvement à l'interface liquide- solide sont incorporées dans les équations gouvernantes *via* les termes sources  $S_h$ ,  $S_u$  et  $S_v$  et qui ont les expressions suivantes:

$$S_u = A(u - U) , S_v = Av \text{ et } S_h = -\rho L \left( u \frac{\partial f}{\partial x} + v \frac{\partial f}{\partial y} \right) \quad (5)$$

Où  $L$  représente la chaleur latente de fusion.

Les conditions aux limites associées aux équations précédentes sont [2] :

- En amont :  $u=U$ ,  $v=0$  et  $T = T_0$ .

- En aval :  $u=U, v=0$  et  $T = T_0$ .
- Sur les parois latérales :  $u=U, v=0$  et  $T = T_0$ .
- Sur le Keyhole :  $u_r = 0, \frac{\partial u_\theta}{\partial r} = 0$ , et  $T = T_v$ .

Où  $u_r$  et  $u_\theta$  sont les vitesses radiales et transversales et  $T_v$  est la température de vaporisation.

Les équations du problème sont résolues par le logiciel FLUENT qui repose sur la méthode des volumes finis [3]. L'algorithme Simplier est utilisé pour le traitement du couplage vitesse pression. Un grand nombre de nœuds est nécessaire au voisinage du keyhole où il y a un fort gradient de vitesse.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS:

Les résultats présentés dans ce travail sont indiqués dans le cas de l'Aluminium 6061 dont les propriétés physiques sont confinées dans le tableau 1.

Tableau 1: Propriétés thermophysiques de l'Aluminium 6061.

Alliage	$T_L$ (K)	$T_S$ (K)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$C_S$ (J/Kg.K)	$C_L$ (J/Kg.K)	$K_S$ (W/m.K)	$K_L$ (W/m.K)	$\mu_S$ (Kg/m.s)	$\mu_L$ (Kg/m.s)	$L$ (J/Kg)
Aluminium 6061	925	855	2700	1066	1066	168	108	$10^5$	$10^{-03}$	$3,95 \cdot 10^5$

Les dimensions de la pièce sont 13 cm × 6 cm et le rayon du keyhole est 0.1 mm.

Les figures 3 et 4 montrent les contours de la fonction de courant et de la vitesse dans la pièce pour  $U=0.1$  m/s. Elles montrent que les forts gradients de vitesse se situent autour du keyhole. La figure 5 illustre la distribution de la température pour  $U=0.1$  m/s et elle montre que les gradients de température en amont du keyhole sont plus grands que ceux qui apparaissent en aval du keyhole. La figure 6 montre la forme du bain fondu autour du Keyhole. Le bain se rétrécit dans la direction de la vitesse de déplacement de la pièce.

Les figures 7 a, b, c et d présentent les distributions de la température pour diverses valeurs des vitesses. Elles montrent que les zones chaudes situées autour du keyhole diminuent lorsque la vitesse augmente.

L'évolution du bain fondu pour différentes valeurs de la vitesse est présentée dans la figure 8 pour un keyhole de rayon 0.1mm. Nous remarquons que lorsque la vitesse augmente la longueur du bain fondu augmente alors que la largeur diminue.

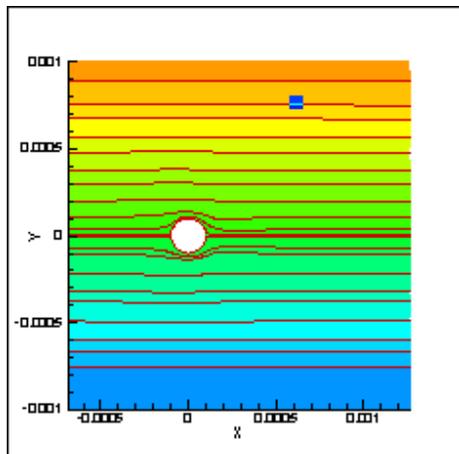


Figure 3 : Le contour de la fonction de courant pour  $U=0.1$  m/s

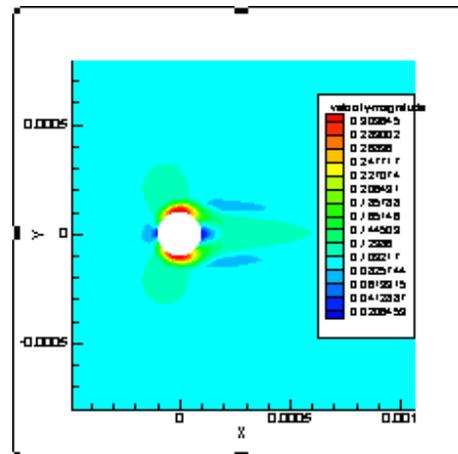


Figure 4 : Le contour de la vitesse pour  $U=0.1$  m/s

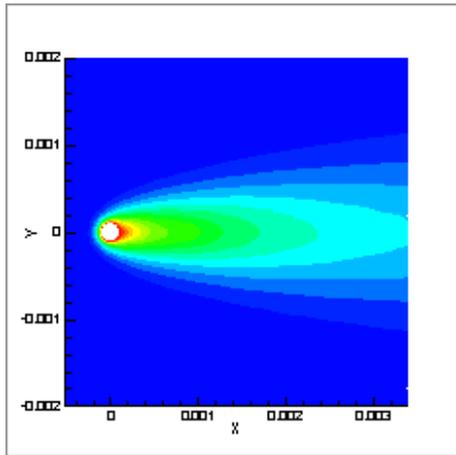


Figure 5 : distribution de la température pour  $U=0.1$  m/s

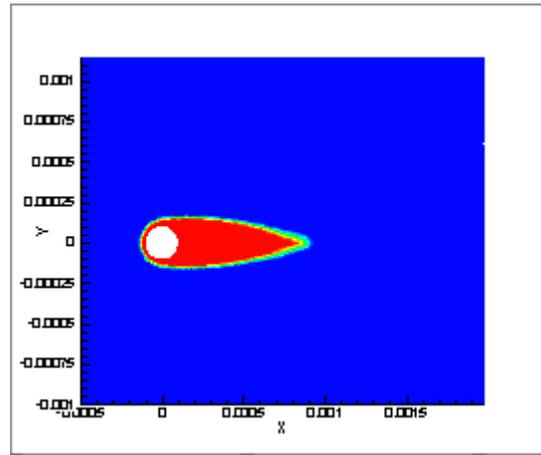
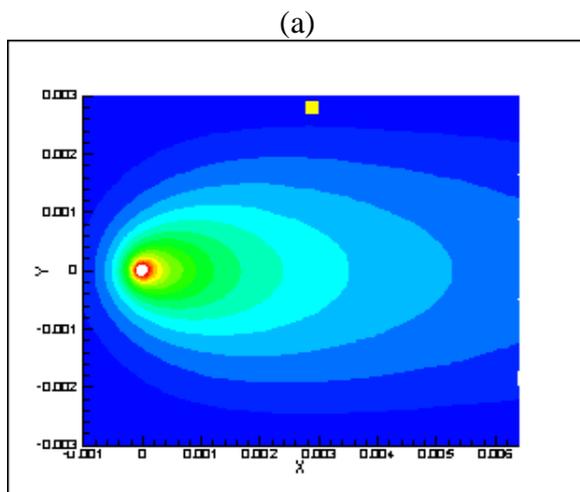
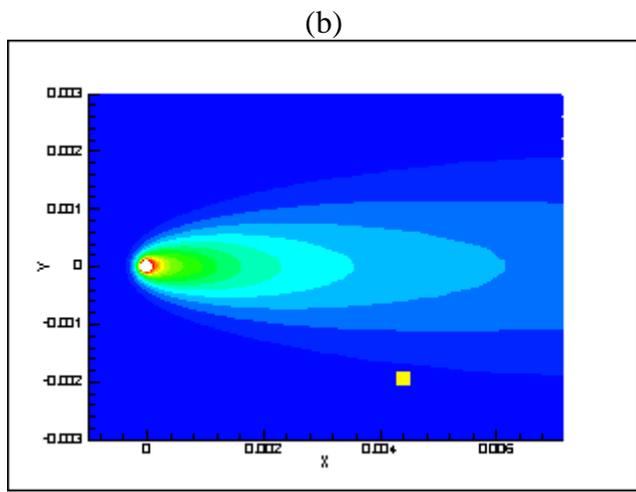


Figure 6 : le bain fondu pour  $U=0.1$  m/s



(c)



(d)

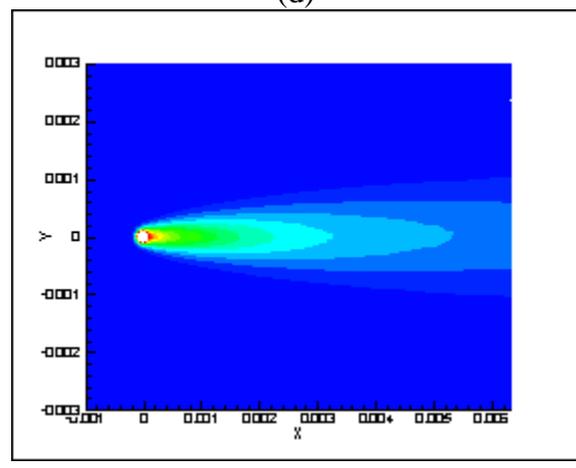
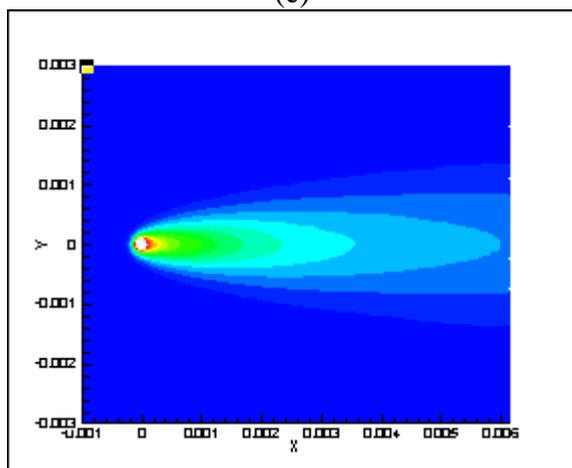


Figure 7: distribution de la température pour diverse valeur de la vitesse:  
(a)  $U=0.01$  m/s, (b)  $U=0.05$  m/s, (c)  $U=0.1$  m/s, (d)  $U=0.2$  m/s.

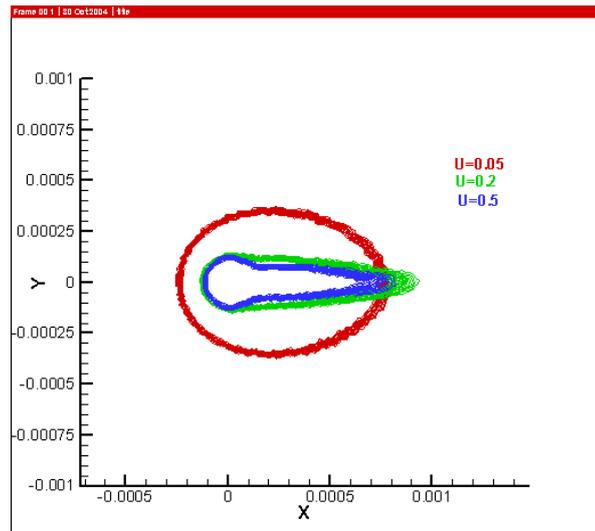


Figure 8 : L'évolution du bain fondu pour différentes valeurs de la vitesse.

#### 4. CONCLUSION:

Le présent travail a permis de simuler avec les dynamiques et thermique lors d'un soudage profond par laser de l'Aluminium 6061. Cela a montré aussi que le zone du bain fondu et la région chaude diminue lorsque la vitesse augmente.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. V.R. Voller, C. Prakash, 1987, *A fixed -grid numerical modeling methodology for convection-diffusion mushy region phase-change problems*, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 30, p. 1709-1719.
2. Xiao Hu Ye & Xi Chen, 2002, *Three dimensional modelling of heat transfer and fluid flow in laser full penetration welding*, J Phys. D: Appl. Phys., vol 35, pp1049.
3. S V Patankar, 1980, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. McGraw.