

CHAPITRE 6

MODÉLISATION D'UNE SOUDURE MULTIPASSE

L'analyse d'une soudure avec préparation en « V » permet d'étudier la validité du programme pour les soudures multipasses. Le modèle, tiré d'un essai expérimental réalisé par Murugan [20], est présenté à la figure 51. Il s'agit de la soudure de deux plaques en acier au carbone de 6 mm d'épaisseur en deux passes de soudure. Les plaques sont refroidies jusqu'à la température ambiante entre les deux passes de soudure.

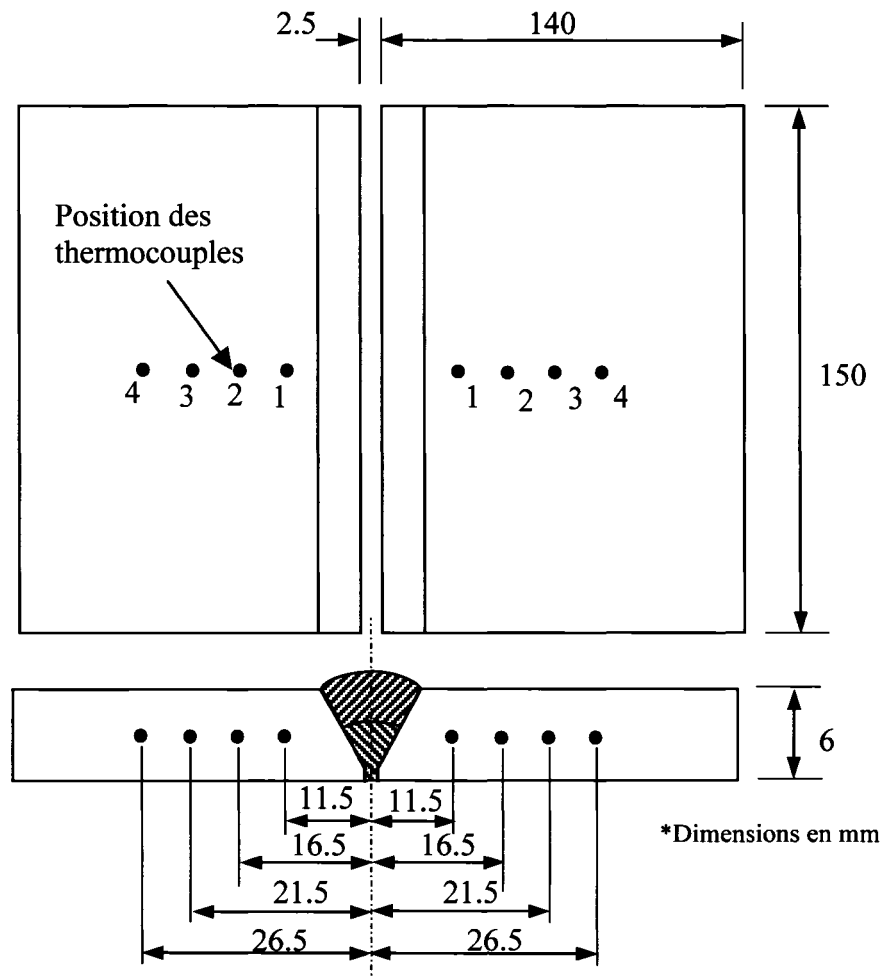


Figure 51 Dimensions du modèle

6.1 Modèle des éléments finis

Cette analyse n'ayant pour but que la démonstration des capacités du programme, l'analyse de la convergence n'a pas été réalisée et un modèle contenant peu d'éléments a été utilisé. La méthode des sections a été choisie pour réaliser le maillage, qui est présenté sur la figure 52. Le modèle, qui a été réalisé en considérant la symétrie du système, contient 31 738 nœuds et 25 860 éléments. La méthode du « birth and death » est utilisée pour gérer le dépôt du métal d'apport. Les éléments de la soudure sont donc désactivés au début du programme, et réactivés au fur et à mesure que l'arc se déplace. Le tableau VII présente les dimensions utilisées pour le double ellipsoïde. Le tableau VIII présente les paramètres de la simulation.

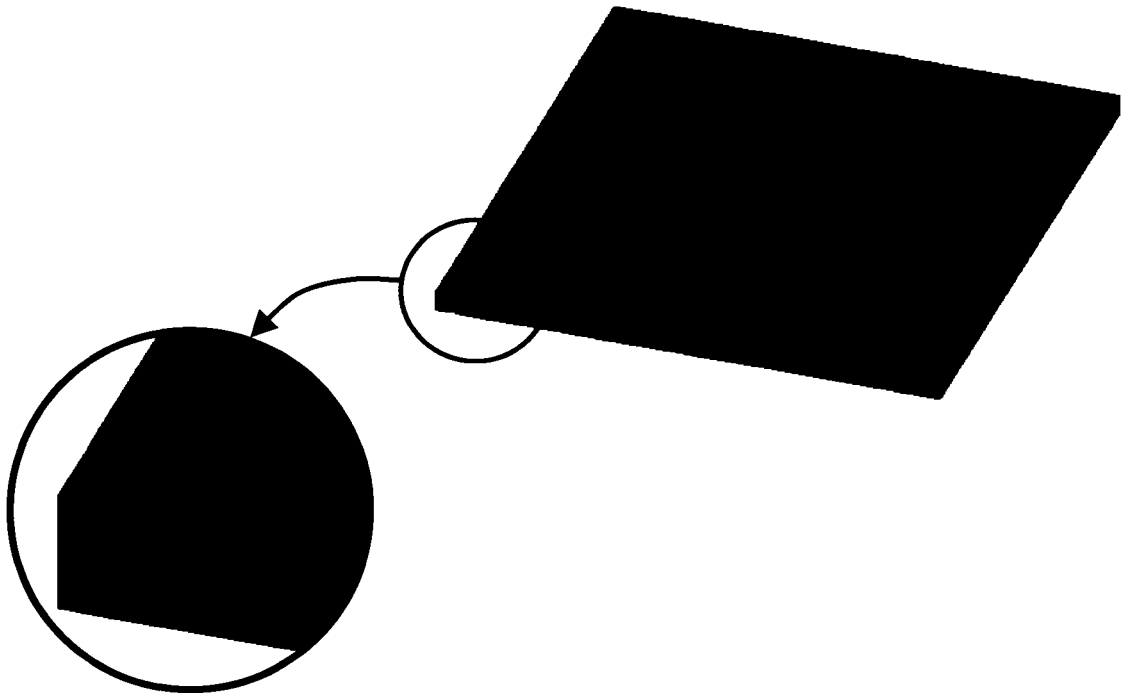


Figure 52 Modèle des éléments finis

Tableau VII
Paramètres du double ellipsoïde

a	5 mm
b	3 mm
c_f	5 mm
c_r	10 mm
f_f	0,6
f_r	1,4

Tableau VIII
Paramètres de la simulation

Facteur de rendement (η)	80 % (passe 1) 90 % (passe 2)
Δt (thermique)	0,2 secondes
Facteur d'amplification du temps (thermique)	0,05
Δt (structural)	0,8 secondes
Facteur d'amplification du temps (structural)	0,10

6.1.1 Paramètres de la soudure

Murugan précise que la soudure a été réalisée manuellement, par un soudeur d'expérience. Bien que cette méthode soit moins précise que l'utilisation d'un robot soudeur, les paramètres ont été considérés comme étant exact. Le tableau IX présente les paramètres du procédé de soudage.

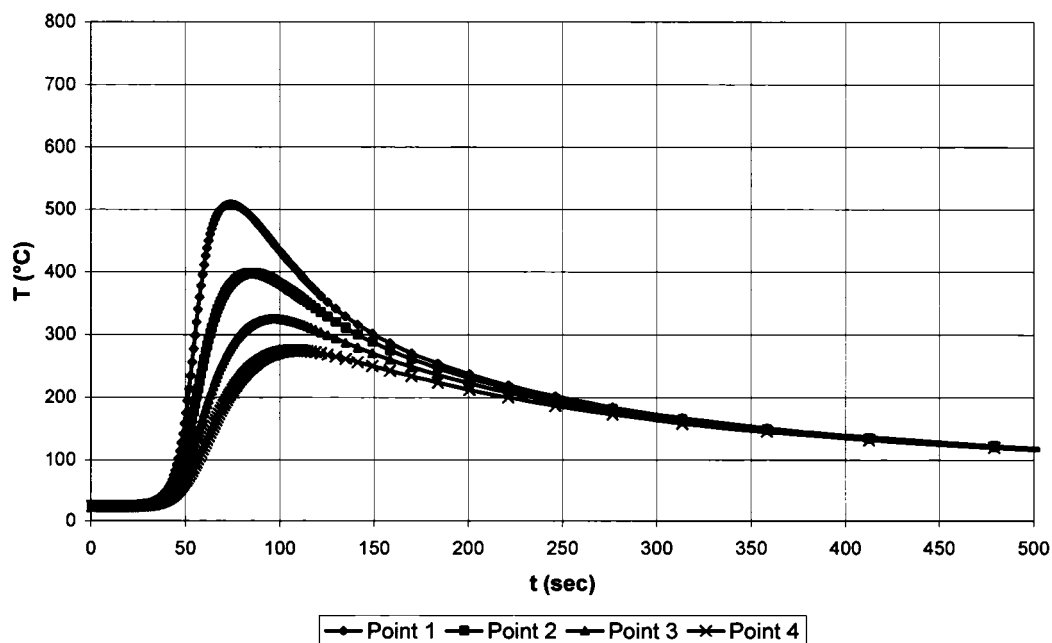
Tableau IX
Paramètres de la soudure

Paramètre	Passe #1	Passe #2
Tension	21 V	21 V
Courant	62,5 A	147,5 A
Vitesse	1,3 mm / s	2,08 mm / s

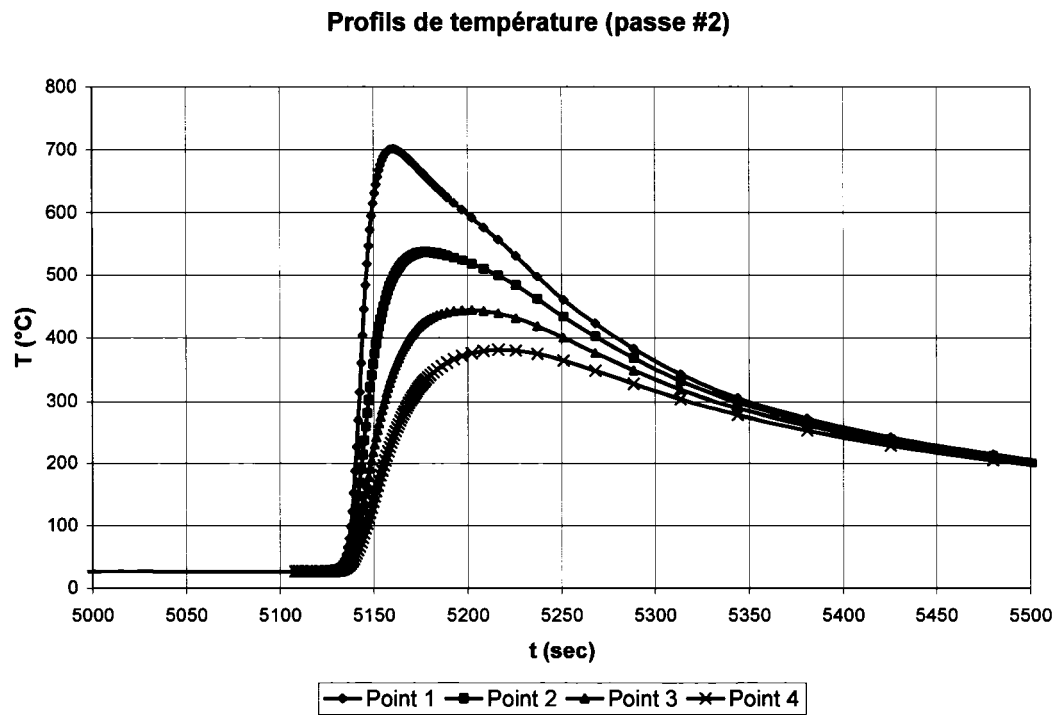
6.1.2 Résultats thermiques

Les graphiques 50 et 51 présentent les profils de température obtenus par la simulation. Murugan donne la température maximale atteinte par chaque thermocouple, pour chaque passe. Le tableau X présente la comparaison de ces températures entre le modèle numérique et l'essai expérimental.

Profils de température (passe #1)



Graphique 50 Profils des températures de la première passe de soudure



Graphique 51 Profils des températures de la deuxième passe de soudure

Tableau X
Température maximale atteinte

Point	Passe	Expérimental	MEF	Écart
1	1	509	508	0%
	2	731	701	4%
2	1	396	398	1%
	2	540	536	1%
3	1	332	325	2%
	2	443	444	0%
4	1	276	275	0%
	2	400	381	5%

Les différences observées entre la simulation et l'expérimentation sont très faibles : l'écart maximal est de 5 %. Les facteurs de rendements ont été ajustés afin de minimiser cet écart. Si les profils de température expérimentaux complets avaient été disponibles, et non seulement la température maximale, il eut été possible d'ajuster également les paramètres du double ellipsoïde. À défaut de posséder ces données, seuls les facteurs de rendement ont pu être ajustés, en donnant tout de même des résultats fort satisfaisants. La figure 53 montre un exemple de la température des plaques à mi-chemin de la première passe de soudure.

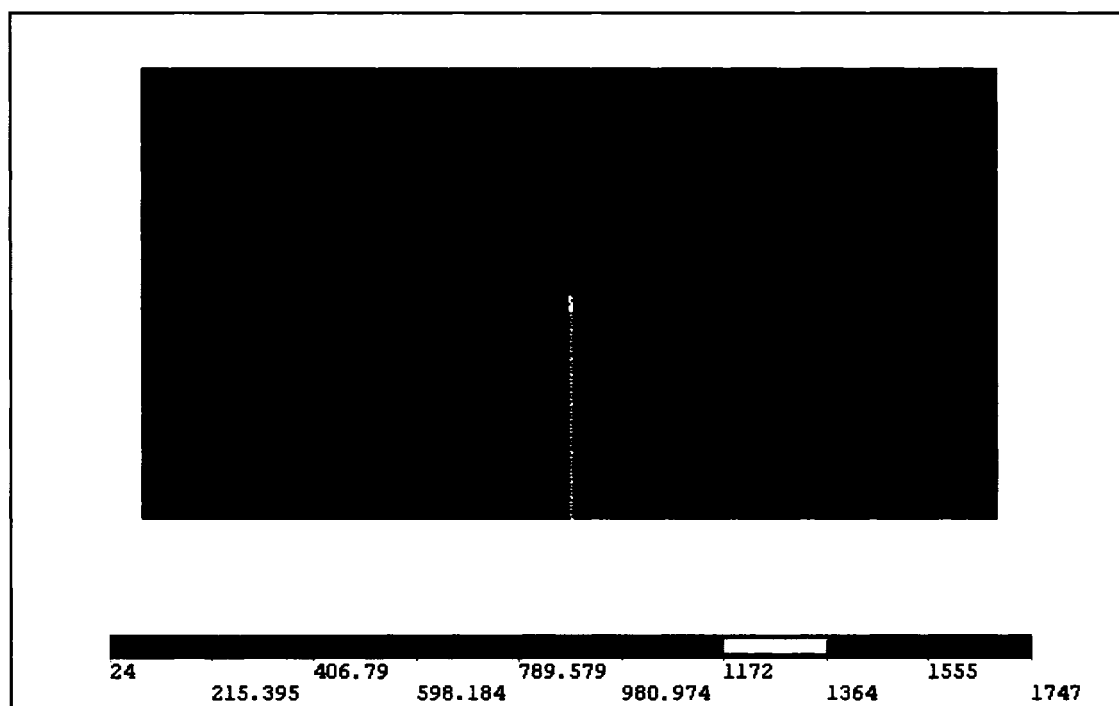


Figure 53 Température des plaques à 50 % de la première passe

6.2 Résultats structuraux

La figure 54 présente les conditions frontières du modèle. Murugan indique que lors de l'expérimentation, les plaques étaient soudées sur des supports afin d'être maintenues en place. Aucun dessin du montage n'étant disponible, la position des points de soudure a

été approximée. Pour chacun des quatre points de soudure, deux nœuds sont bloqués dans toutes les directions. Une fois les plaques complètement refroidies à la fin de la deuxième passe, les blocages représentant les points de soudure sont éliminés et remplacés par les blocages représentant la condition de plaques simplement supportées (figure 55), qui sont alors libres de se déformer.

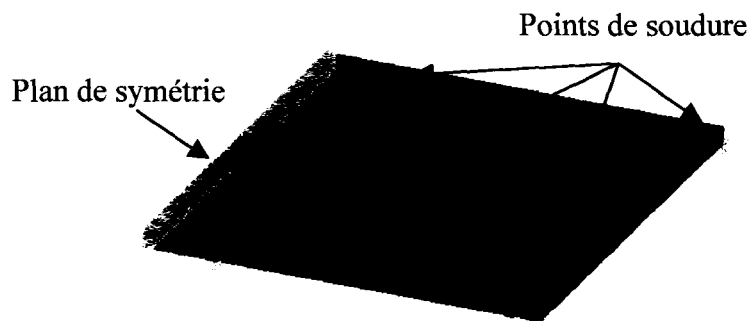


Figure 54 Conditions frontières (avec points de soudure)

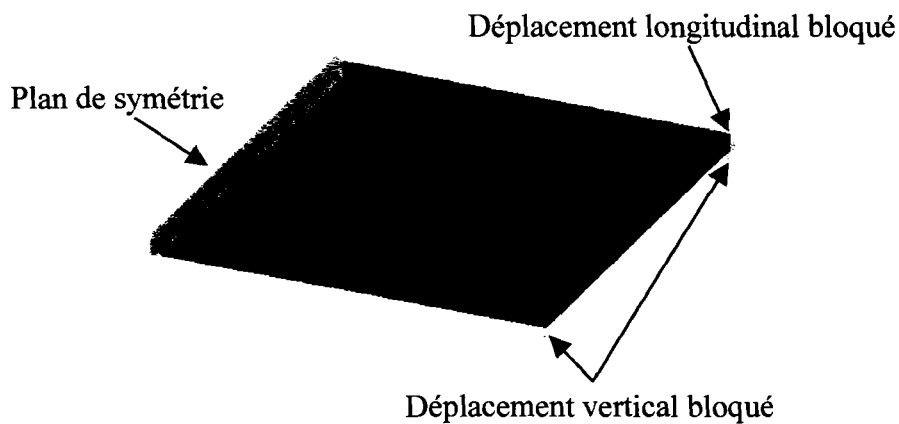
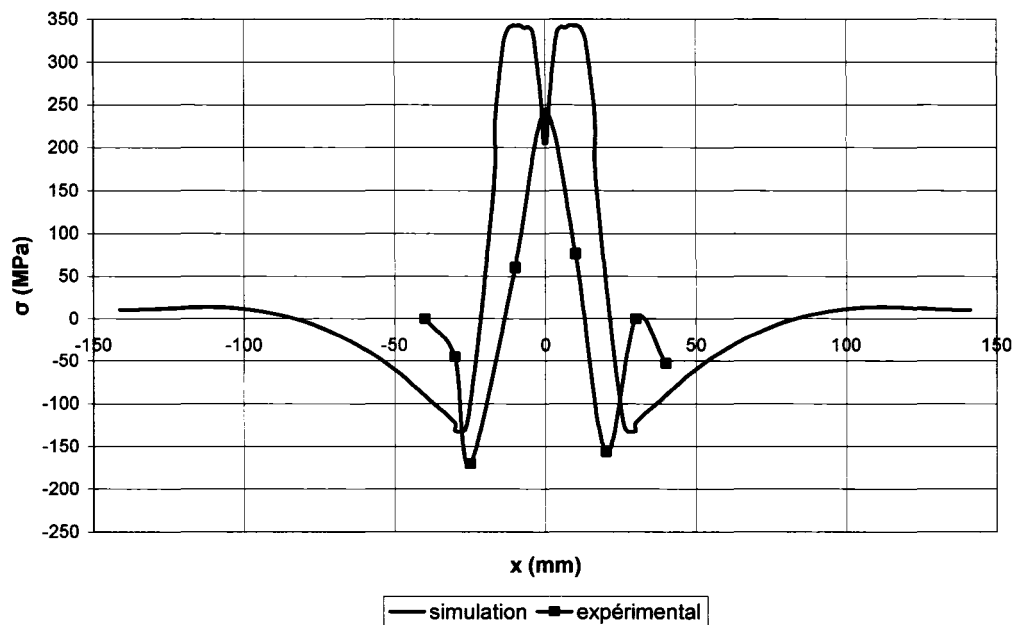


Figure 55 Conditions frontières (plaques simplement supportées)

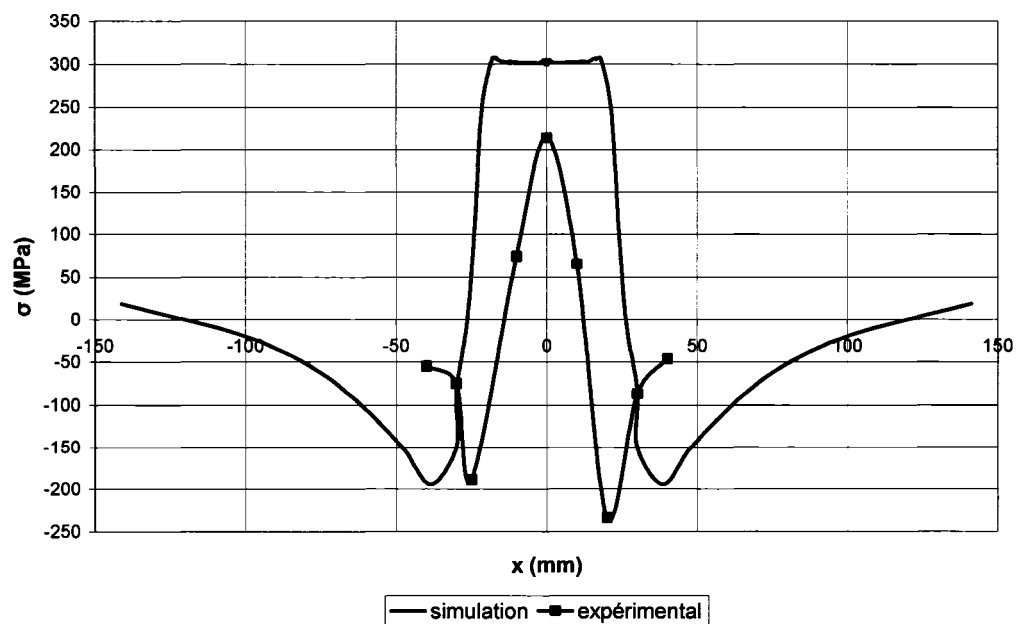
Les graphiques 52 et 53 présentent la comparaison des contraintes transversales sous la plaque après le refroidissement complet suivant chaque passe. Bien que les courbes présentent des profils similaires, l'amplitude des résultats obtenus présente une certaine différence. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette différence. Ces facteurs sont regroupés en deux catégories : les erreurs relatives à l'expérimentation et les erreurs relatives à la simulation.

Contrainte longitudinale sous la plaque (passe #1)



Graphique 52 Comparaison des contraintes transversales (passe #1)

Contrainte longitudinale sous la plaque (passe #2)



Graphique 53 Comparaison des contraintes transversales (passe #2)

Erreurs relatives à l'expérimentation :

La soudure est réalisée manuellement. Exécuter la soudure manuellement plutôt qu'à l'aide d'un système robotisé influence surtout la précision de la vitesse d'avance de la torche. Il est aussi possible que la torche n'était pas parfaitement centrée entre les deux plaques. Dans ce cas, la quantité de chaleur à chaque plaque aurait été différente, ce qui semble être le cas.

L'absence d'un dessin du montage. Le fait de ne pas modéliser correctement le bridage des plaques peut influencer significativement le profil des contraintes. Une description plus détaillée du bridage aurait permis d'appliquer des conditions frontières plus précises sur le modèle.

La méthode de mesure des contraintes résiduelles. Les contraintes résiduelles ont été mesurées avec la méthode des rayons X. Corroborer les résultats à l'aide d'une autre méthode aurait permis d'assurer la précision des résultats.

Erreurs relatives à la simulation :

L'utilisation de la méthode « birth and death ». La désactivation des éléments de la soudure fait en sorte qu'au début de la simulation, les blocages représentant la condition de symétrie sont appliqués entièrement sur des éléments désactivés. Les effets en sont facilement remarquables sur les graphiques 52 et 53. Après la première passe, la contrainte au centre de la soudure diminue grandement alors qu'elle devrait demeurer constante ou même augmenter légèrement. Après la deuxième passe, qui débute alors que tous les éléments de la première passe sont actifs, la contrainte au centre de la soudure demeure constante. Même si le profil de la deuxième passe semble bon, il est fort probable que ses résultats aient été influencés par les résultats de la première passe. Afin de vérifier cette théorie, un modèle contenant les deux plaques devrait être analysé.

L'ajustement des paramètres du double ellipsoïde. Puisque les profils de températures n'étaient pas disponibles, les paramètres du double ellipsoïde n'ont pas été ajustés. Une mauvaise répartition de la chaleur pourrait influencer les déformations près de la soudure, qui produisent les contraintes sur toute la plaque.

L'épaisseur de la plaque. Il est possible que le modèle de la source de chaleur perde de la précision pour les plaques minces. Des essais devraient être effectués sur des plaques à épaisseur variable afin de valider la précision du modèle.

La taille du maillage. Un maillage relativement grossier a été utilisé afin d'obtenir des résultats dans un délai raisonnable. Une analyse de la convergence permettrait de vérifier la précision du maillage.

En résumé, le modèle des éléments finis a une fois de plus permis de simuler avec précision la distribution de la température dans la pièce pendant le soudage. La simulation des contraintes résiduelles a donné des résultats prometteurs, mais d'autres analyses devraient être effectuées afin d'améliorer la précision du modèle. L'analyse la plus importante à effectuer est de modéliser les deux plaques afin d'éliminer la condition de symétrie appliquée sur des nœuds désactivés, mais ce faisant la taille du modèle augmenterait considérablement. La même remarque qu'au chapitre cinq s'impose donc : il serait très avantageux de développer le modèle en utilisant la méthode du remaillage.