

Manuel d'utilisation d'ADlam, version 1.5

Septembre 2011

Olivier Lurdos

1. Renseigner les paramètres matériaux / lois de comportement et paramètres du calcul :

PARAMETRES MATERIAU											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
Paramètres matériau											
Emissivité	0,70	0,65									
Masse volumique	4300,0	4300,0									kg.m ⁻³
Chaleur massique	800,0	800,0									J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Conductivité thermique	17,00	17,00									J.s ⁻¹ .m ⁻¹ .K ⁻¹
Conditions aux limites / conditions initiales											
Température barre/air	50,00	50,00									°C
Echange thermique/air	10,00	10,00									J.s ⁻¹ .m ⁻² .K ⁻¹
Température barre/outil	50,00	50,00									°C
Echange thermique/outil	3000,00	3000,00									J.s ⁻¹ .m ⁻² .K ⁻¹
Effusivité outil	11763,00	11763,00									
Paramètres loi de comportement											
Loi :	<input type="checkbox"/> HS	<input type="checkbox"/> HS	<input checked="" type="checkbox"/> HS	<input checked="" type="checkbox"/> HS	<input checked="" type="checkbox"/> HS	<input checked="" type="checkbox"/> HS	<input checked="" type="checkbox"/> HS	<input checked="" type="checkbox"/> HS	<input checked="" type="checkbox"/> HS	<input checked="" type="checkbox"/> HS	
Hansel-Spittel	A	127371,0	127371,0								MPa
	m1	-0,0076	-0,0076								
	m2	-0,0817	-0,0817								
	m3	-0,2348	-0,2348								
	m4	-0,0133	-0,0133								
	m5	0,0000	0,0000								
	m6	0,0000	0,0000								
	m7	-0,2781	-0,2781								
	m8	0,0005	0,0005								
	m9	0,0000	0,0000								
ε _{SS} =	2,0000	4,0000									
Puissance	<input checked="" type="checkbox"/> Pow	<input checked="" type="checkbox"/> Pow	<input type="checkbox"/> Pow	<input type="checkbox"/> Pow	<input type="checkbox"/> Pow	<input type="checkbox"/> Pow	<input type="checkbox"/> Pow	<input type="checkbox"/> Pow	<input type="checkbox"/> Pow	<input type="checkbox"/> Pow	
	σ ₀	0,03327	1,50338								MPa
	n	0,0330	0,0109								
	m	0,1740	0,0348								kJ.mol ⁻¹
	Q	80,97	47,14								
Paramètres différences finies											
Pas de temps R	1,0E-01	5,0E-02									s
Pas de temps L	5,0E-04	5,0E-05									s
Pas de température max.	1,0	1,0									°C
Pas de temps de stockage R	1,0E-01	1,0E-01									s
Pas de temps de stockage L	5,0E-04	5,0E-04									s

Figure 1 : tableau renseignant jusqu'à 10 configurations différentes.

Il est possible de définir 10 "configurations" différentes (lettres A à J). Cela permet de passer d'une loi de comportement à une autre si, par exemple, la température change de domaine. Par exemple sur la figure 1, la loi de comportement A et la B ne correspondent pas aux mêmes intervalles de température. Il est possible d'utiliser une loi de Hansel-Spittel ou une loi puissance (type Norton-Hoff).

En ce qui concerne les paramètres "conditions aux limites / conditions initiales", le laminage se passe généralement dans un atelier où la barre circule à l'air libre. La température vue par la barre est choisie à 50°C et le coefficient d'échange thermique est de 10 J.s⁻¹.m⁻².K⁻¹. Il faut donc laisser ces paramètres aux valeurs renseignées sur la figure 1.

Les "paramètres différences finies" seront renseignés plus tard.

Note : il est possible de simuler un chauffage dans un four à atmosphère (transfert de la chaleur par conduction depuis l'atmosphère vers la barre). Dans ce cas, il faut renseigner la température de l'atmosphère du four dans la case "Température barre/air". Ce type de manipulation permet de simuler des évolutions de température sur produits forgés pendant leur remise au feu, ou bien d'évaluer la thermique pendant un "overshoot" (passage rapide dans un four de maintien à température plus élevée pour diminuer le gradient thermique lors du transfert du produit du four vers la forge ou la cage de laminage).

2. Etablir les conditions initiales de la barre :

Paramètres passes laminage et refroidissement									Paramètres cylindres laminage			Paramètres interpasses		
No.	Note	Type	Config. matériau	Surface section (mm²)	h (mm)	L (mm)	Temps interp. (s)	Rotation deg	Diam. (mm)	RPM	Type	Distance intercege (m)	Speed (m/s)	Long. barre (m)
0	rond 101mm		A	8188,96	102,20	102,20					duo		1,0	2,0

Figure 2 : Première ligne du tableau renseignant la géométrie initiale de la billette.

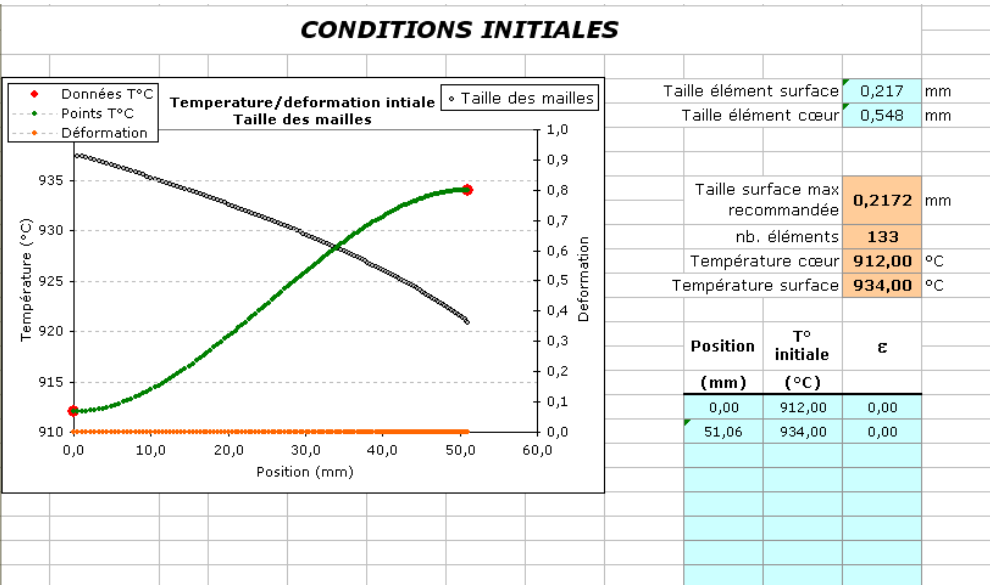


Figure 3 : tableau renseignant les conditions initiales.

Dans un premier temps, il faut renseigner la géométrie initiale de la barre (figure 2). Il faut pour cela renseigner la première ligne de la partie "Paramètres passes laminage et refroidissement", à avoir la surface, largeur et hauteur de la billette initiale (à titre d'exemple, on donnera le diamètre de la barre pour les hauteur et largeur si la section est ronde). Ces données permettront de calculer le rayon de la section circulaire équivalente (formule en annexe).

Ensuite, il faut renseigner la partie "conditions initiales". Le tableau "position / t°c initiale / ε" permet d'initialiser les température et déformation initiales en fonction de la position considérée. Il est possible de renseigner plusieurs points pour rentrer un profil de température non constant (par exemple, lors d'un chauffage par induction, la surface de la barre est plus chaude que son cœur). Dans l'exemple ci-dessus (figure 3), seuls deux points sont renseignées (cœur et surface). ADlam interpole les valeurs intermédiaires par une fonction spline.

Enfin, il faut renseigner la taille des éléments en surface et celles à cœur de la barre. ADlam propose par défaut une taille d'élément maximale en surface (ici 0.2172mm). Une taille supérieure en surface est susceptible de donner des résultats erronés. La taille des éléments à cœur peut être plus grande, puisque les échanges thermiques sont moins importants à cœur qu'en surface.

Note: la position 0 correspond au cœur du produit.

3. Renseigner les paramètres de chaque passe de laminage :

Il faut maintenant éditer le tableau principal intitulé « Paramètres passes laminage et refroidissement» (figure 4). Chaque ligne correspond soit à un refroidissement, soit à une passe de laminage. La première colonne (Note) est du texte libre. Elle permet par exemple de se repérer rapidement lorsqu'une gamme comporte beaucoup de passes. Attention, l'ensemble des données de ce tableau font référence à des diamètres de barre (et non rayon) ou côtés de section carré (et non ½ coté).

La première ligne (no 0) correspond à la géométrie initiale de la barre, déjà remplie. Dans le cas ci-dessous, il s'agit d'une barre de diamètre 102,2mm. La surface initiale est donc $\pi \times 102,2^2/4 \approx 8188,96\text{mm}^2$.

Paramètres passes laminage et refroidissement									Paramètres cylindres laminage			Paramètres interpasses		
No.	Note	Type	Config. matériau	Surface section	h	L	Temps interp.	Rotation	Diam.	RPM	Type	Distance intercage	Speed	Long. barre
				(mm ²)	(mm)	(mm)	(s)	deg	(mm)			(m)	(m/s)	(m)
0	rond 101mm		A	8188,96	102,20	102,20					duo		1,0	2,0
1		R					25,0							
2	pre-ov146	L		6350,60	74,82	112,13			542	82,0	duo		1,0	2,6
3		R					14,0							
4	ov146	L		5436,88	63,71	121,01							1,0	3,0
5		R					12,0	90,0						
6	car64	L		4021,44	81,38	80,61							1,0	4,1
7		R					100,0	-45,0						
8	ov104	L		3004,06	49,39	77,81							1,0	5,5
9		R					16,0	-90,0						
10	car50	L		2410,22	63,62	58,68							1,0	6,8

Figure 4 : tableau renseignant les paramètres nécessaires au calcul de chaque passe de laminage ou de refroidissement.

La 2^e colonne (Type) détermine si la ligne correspond à un laminage ou à un refroidissement de la barre :

- _ R ou r : passe de refroidissement
- _ L ou l : passe de laminage

3.1 Données à renseigner lors d'une passe de refroidissement :

Deux paramètres décrivent les refroidissements entre 2 cages de laminage. La durée du refroidissement (colonne H) et la rotation de la barre entre les 2 passes de laminage (colonne I). Si le paramètre rotation est vide (comme ici à la ligne n°1 du tableau), alors ADlam considère que la barre ne subit aucune rotation.

Un seul paramètre est nécessaire pour calculer une passe de refroidissement : sa durée, colonne I.

3.2 Données à renseigner lors d'une passe de laminage :

Il faut renseigner plusieurs paramètres pour modéliser la nouvelle forme après la passe de laminage. Dans le tableau précédent, nous allons prendre la ligne 2 (pre-ov146) comme exemple. Il s'agit de la passe de laminage de la barre initiale (rond de 102,2mm) dans la cage pré-ovale 146.

- Dans la colonne « Surface section », il faut renseigner la surface *après* la passe de laminage (On connaît déjà la surface avant laminage, ligne 0). Ici, on passe de 8011.85 à 6742.62 mm².



La nouvelle surface doit nécessairement être strictement inférieure à l'ancienne. Dans le cas contraire, ADlam buggera à l'exécution.

- Dans les colonnes « h » et « l », il faut renseigner les nouvelles hauteur et largeur du produit (après laminage, figure 5) :

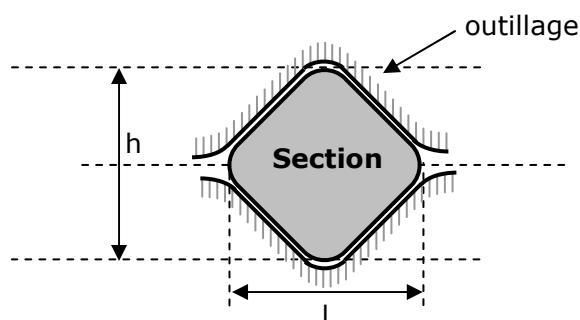


Figure 5 : Exemple de section de barre

Cette passe de laminage fait donc passer la billette initiale (rond de 102.2mm) à un pré-oval de largeur 74,82mm et de hauteur 112,13mm.



Dans le cas de d'une passe de laminage où les cylindres sont verticaux, les largeurs et hauteurs inversent leur positions respectives (figure 6) :

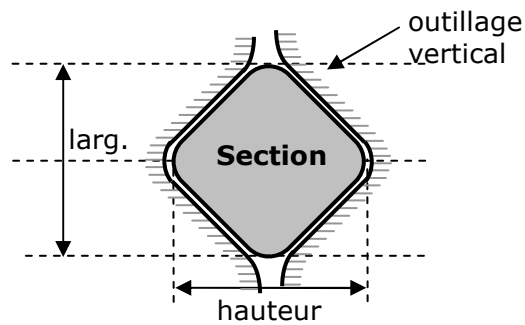


Figure 6 : Section de la barre APRES la passe de laminage pour le cas de cylindres verticaux

Une fois les données géométriques de la barre renseignées, il faut indiquer des paramètres concernant les cylindres de laminage (diamètre et rotation, colonnes J et K). Ceux-ci permettront de déterminer le temps de contact entre un point de la barre avec les cylindres (voir formule en annexe). La colonne L détermine le type d'installation de laminage (duo ou Kocks uniquement). Cette colonne est pour le moment facultative et n'a pas d'impact sur le calcul.

4. Paramètres de la résolution par différences finies :

Paramètres différences finies									
Pas de temps R	1,0E-01	5,0E-02							s
Pas de temps L	5,0E-04	5,0E-05							s
Pas de température max.	1,0	1,0							°C
Pas de temps de stockage R	1,0E-01	1,0E-01							s
Pas de temps de stockage L	5,0E-04	5,0E-04							s

Figure 7 : tableau renseignant les paramètres nécessaires au calcul de chaque passe de laminage

Il faut enfin déterminer les paramètres de différences finies. Le pas de temps R correspond au pas de temps utilisé pendant le refroidissement de la barre. Il doit être cohérent avec les temps d'interpasse utilisés. Le pas de temps L correspond au pas de temps utilisé pendant les phases de laminage.

Le pas de température max. peut être laissé à 1°C.

Enfin, les pas de stockage correspondent aux points sauvegardés pendant le calcul.

5. Paramètres "distance intercage" "vitesse" et "longueur de la barre"

Ces paramètres (colonnes N, O et P) sont très souvent utilisés pour calculer différents paramètres nécessaires au calcul ADIam. Ils ne sont toutefois pas influents à proprement parler sur le résultat du calcul. Seuls les paramètres renseignés dans les colonnes D à L sont "lues" par ADIam.

6. Exécution du programme :

Une fois le tableau rempli, on lance le calcul en cliquant sur le bouton « lancer le calcul ». Pendant l'exécution, il est possible d'aller voir le résultat en cours de calcul sur l'onglet « Graph_Tcoeur-Tsurface ».

Annexe

- Formule permettant de calculer le rayon de la section circulaire équivalente :

$$f = \frac{1}{2} [1 + \sin \pi(h/l - 1/2)]$$
$$R = (1 - f) \frac{h}{2} + f \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

où S, h, et l sont les surface, hauteur et largeur réelles de la section considérée.

- Durée du contact entre un point de la barre et le cylindre de laminage

$$t = \frac{60}{2\pi RPM} \arccos \left(1 - \frac{\Delta h}{2\Phi} \right)$$

où RPM est la vitesse de rotation, Φ le diamètre des cylindres et Δh la variation de hauteur de la barre.