

Mini-projet de Photomécanique

Analyse thermo-mécanique d'un essai de traction

Présenté par :

Ayoub HAJJAJI

Fares FRIKHA

Encadré par :

Xavier BALANDRAUD

Classe :

M2 Génie Civil

Année Universitaire 2021/2022

Table des matières

I.	Introduction :	4
II.	Description du projet :	4
1.	Les données du projet :	4
2.	L'équation de chaleur :	5
III.	Analyse thermomécanique de l'essai de traction :	5
IV.	Conclusion :	8
	Annexes	9

Liste des figures

Figure 1 : Les résultats de la source de chaleur sans filtre.....	5
Figure 2 : Evolution de la chaleur dans la ligne noire.....	6
Figure 3 : La source de chaleur après filtrage.....	7
Figure 4 : Evolution de la chaleur dans la ligne noire après filtrage.....	7
Figure 5 : Loi de comportement des matériaux	8
Figure 6 : Thêta avant filtrage.....	9
Figure 7 : Thêta après filtrage.....	9
Figure 8 : Dérivé premier de Thêta par rapport du temps avant filtrage.....	10
Figure 9 : Dérivé premier de Thêta par rapport du temps après filtrage.....	10
Figure 10 : Dérivé second de Thêta par rapport du temps avant filtrage.....	11
Figure 11 : Dérivé second de Thêta par rapport du temps après filtrage	11
Figure 13 : Choix du filtre	12
Figure 12 : La source de chaleur.....	12
Figure 14 : Enlevage de l'effet du bord.....	12

I. Introduction :

La thermographie infrarouge est un procédé technique innovant, particulièrement précis et sans la nécessité de contact qui permet la réalisation de mesures thermiques où d'infimes variations de température sont représentées avec une précision de l'ordre du dixième de degré.

Scientifiquement, cette technologie repose sur le principe physique que chaque corps diffuse une certaine quantité de rayonnement électromagnétique, ce rayonnement qui lui est propre et lié au pouvoir émissif du type de matériau qui le compose.

Cette technique est basée sur le principe physique que tout corps diffuse un rayonnement électromagnétique – proportionnel au pouvoir « émissif » des matériaux constituant ce corps – et d'autant plus important que celui-ci est chaud.

Cette technologie est utilisée pour mesurer, à distance et sans contact, la température d'un corps.

L'objectif principale de ce mini-projet est d'analyser la réponse thermomécanique d'un essai de traction sur une éprouvette cylindrique en acier en acier doux.

II. Description du projet :

A l'aide d'une caméra infrarouge, nous mesurons la température le long de l'éprouvette au cours du temps. Du fait de la forme élancée de l'éprouvette, une approche unidimensionnelle est utilisée en extrayant la température le long de la génératrice de cette éprouvette.

Les résultats de la température sont sous forme d'une matrice qui se compose de 640 lignes discrétisant l'espace et 500 colonnes discrétisant le temps.

Nous définissons les deux pas de discrétisation suivant le temps et l'espace :

$$\Delta t = 0,01 \text{ s} ; \Delta z = (0,04 \text{ m}) / 640$$

1. Les données du projet :

Les données de ce projet sont les suivants :

- Longueur utile : 40 mm
- Diamètre : 1 mm
- Capacité calorifique : $480 \text{ J. Kg}^{-1} . \text{K}^{-1}$
- Masse volumique : 7800 Kg. m^{-3}
- Conductivité thermique : $40 \text{ W. m}^{-1} . \text{K}^{-1}$
- Coefficient de dilatation thermique : $12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- La durée : 5 s
- La température ambiante : 20°C
- La constante du temps caractérisant les échanges thermiques avec l'air ambiant : 12,1 s

2. L'équation de chaleur :

L'équation de chaleur en mécanique des matériaux, pour une approche unidimensionnelle (1D) s'écrit :

$$s = \rho C \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\theta}{\tau} \right) - \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2}$$

Sous forme matricielle :

$$s_{i,j} = \rho C \left(\frac{\partial \theta}{\partial t_{i,j}} + \frac{\theta_{i,j}}{\tau} \right) - \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2_{i,j}}$$

Avec :

- s : La source de chaleur dégagée ou absorbée par le matériau
- ρ : masse volumique
- C : Capacité calorifique
- τ : La constante du temps
- λ : La conductivité thermique
- θ : la variation de la température par rapport à l'état initiale

L'idée donc est de calculer la source de chaleur produite ou absorbée par le matériau du fait de sa déformation et ensuite de faire une analyse pour déterminer la déformation réelle du matériau.

III. Analyse thermomécanique de l'essai de traction :

Après le calcul de la source de chaleur nous avons trouvé les résultats suivants :

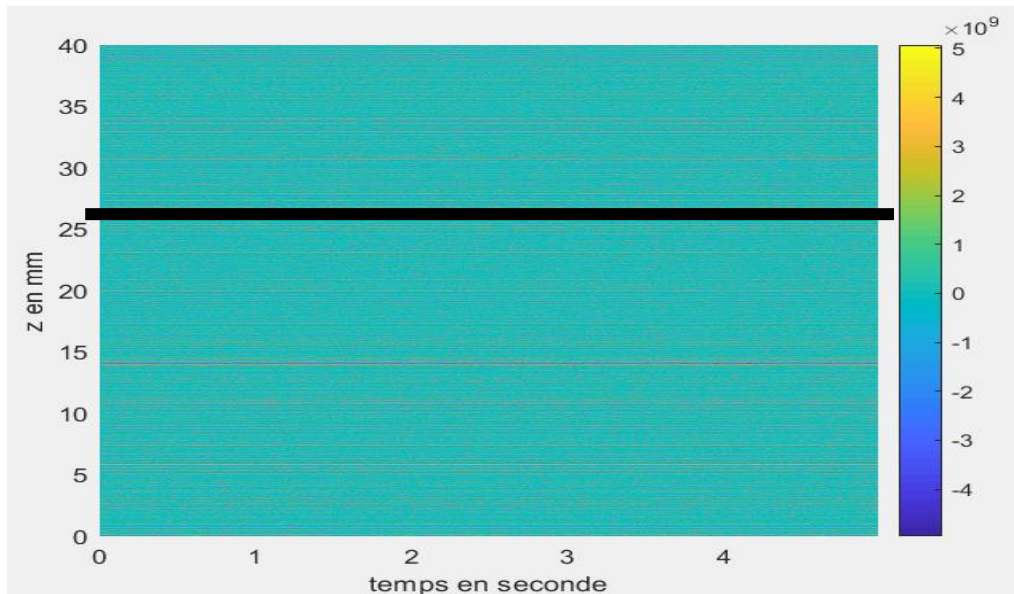


Figure 1 : Les résultats de la source de chaleur sans filtre

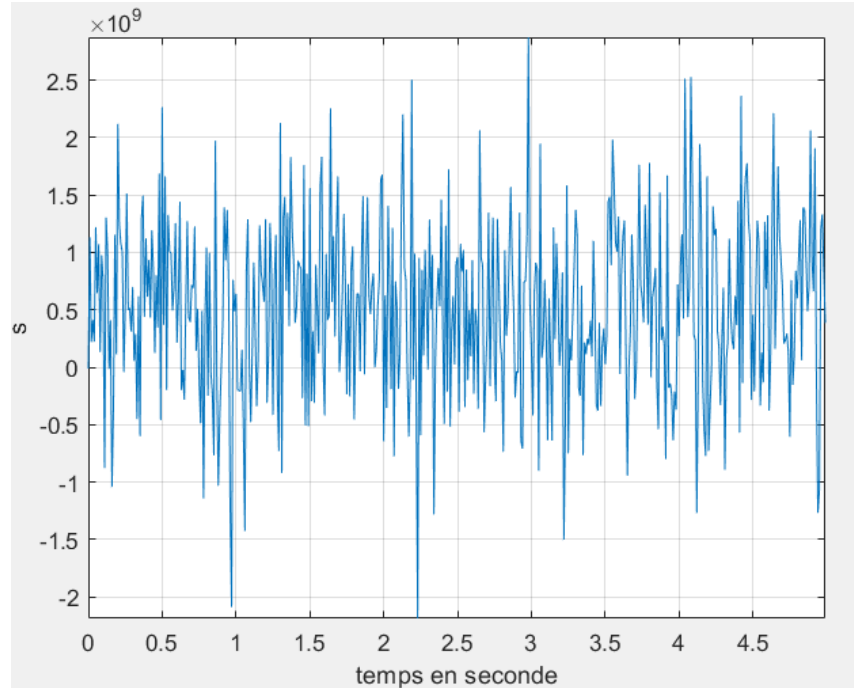


Figure 2 : Evolution de la chaleur dans la ligne noire

Les figures 1 et 2 présentent des résultats inexploitable, puisque les données mesurées sont bruitées.

L'idée donc est d'appliquée des différents tailles de filtrages sur les différents composants de l'équation de chaleur. C'est-à-dire de filtrer $\theta_{i,j}$, $\frac{\partial \theta}{\partial t_{i,j}}$ et $\frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2_{i,j}}$. Mais ce filtrage peut entrainer des effets de bords importants, ces derniers nous ne les tiendrons pas dans cette analyse.

Les figures 3 et 4 présentes les résultats obtenus après l'application des différents filtrages des différents composants de l'équation de chaleur :

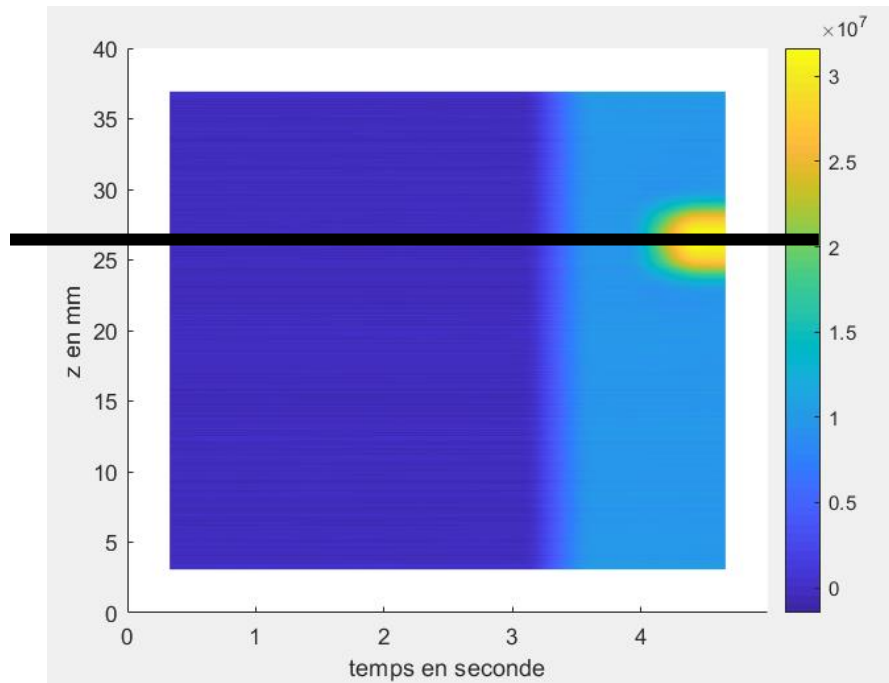


Figure 3 : La source de chaleur après filtrage

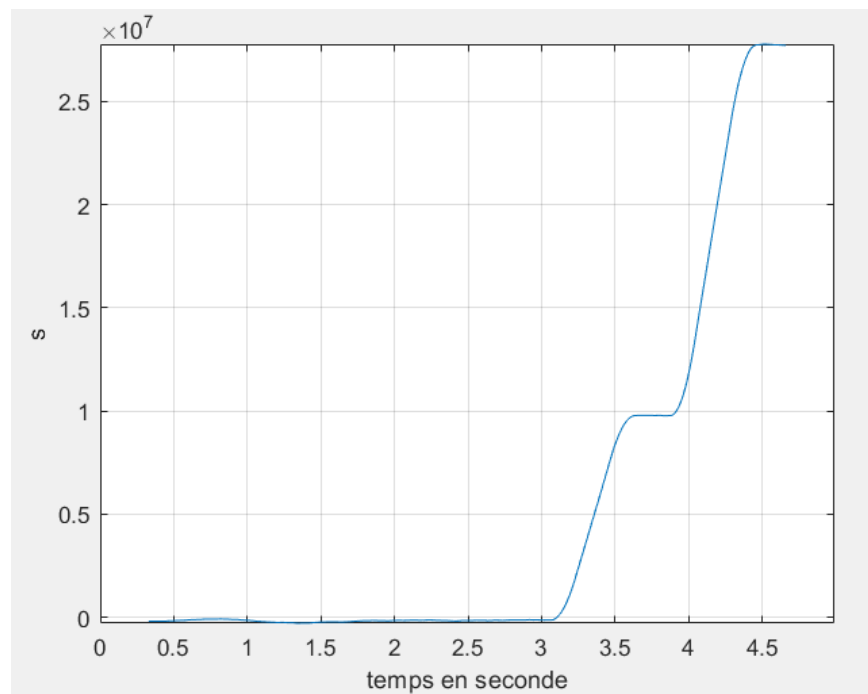


Figure 4 : Evolution de la chaleur dans la ligne noire après filtrage

Nous remarquons maintenant d'après la figure 3 que les résultats sont exploitables, nous avons l'apparition de trois couleurs différents le bleu, le bleu ciel et le jaune. Pendant les trois premières secondes nous avons un palier constant de la source de chaleur, ensuite nous remarquons une augmentation de cette dernière, et en $z = 26,5\text{mm}$ nous avons la rupture ou l'apparition d'une fissure.

Nous avons dessiné la courbe de l'évolution de chaleur en $z = 26,5$ mm, il s'agit de la figure 4, nous avons dans ce point 4 zones ou 4 paliers, 2 paliers constants et 2 paliers croissants. On se référant a la figure 5, nous pouvons dire que dans le premier palier constant le matériau évolue toujours dans son domaine élastique, ensuite la première augmentation de chaleur signifie que l'acier maintenant est dans son domaine plastique mais avec une déformation plastique homogène. Le deuxième palier constant signifie que le matériau est dans l'état de striction. C'est-à-dire entre la déformation plastique homogène et la déformation plastique hétérogène. Et finalement le dernier palier croissant signifie que le matériau est dans l'état de la déformation plastique hétérogène jusqu'à l'apparition de la rupture ou l'apparition d'une fissure, qui est modélisée en couleur jaune dans la figure 3.

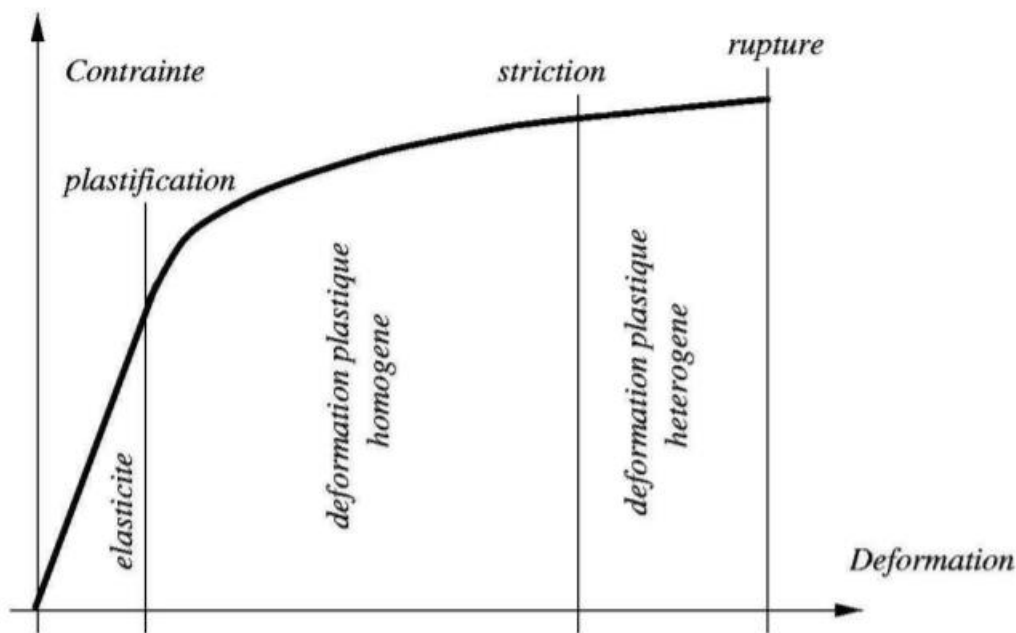


Figure 5 : Loi de comportement des matériaux

IV. Conclusion :

La thermographie infrarouge nous a permis d'établir une analyse thermomécanique d'un essai de traction sur une éprouvette cylindrique en acier doux. Mais les résultats obtenus étaient bruités donc il s'avère nécessaire de faire un filtrage des composantes de l'équation de chaleur afin d'obtenir des résultats exploitables.

Cette technique nous a permis à partir de l'évolution de la chaleur dégagées par le matériau de visualiser son comportement mécanique pendant toute la durée de l'essai.

Annexes

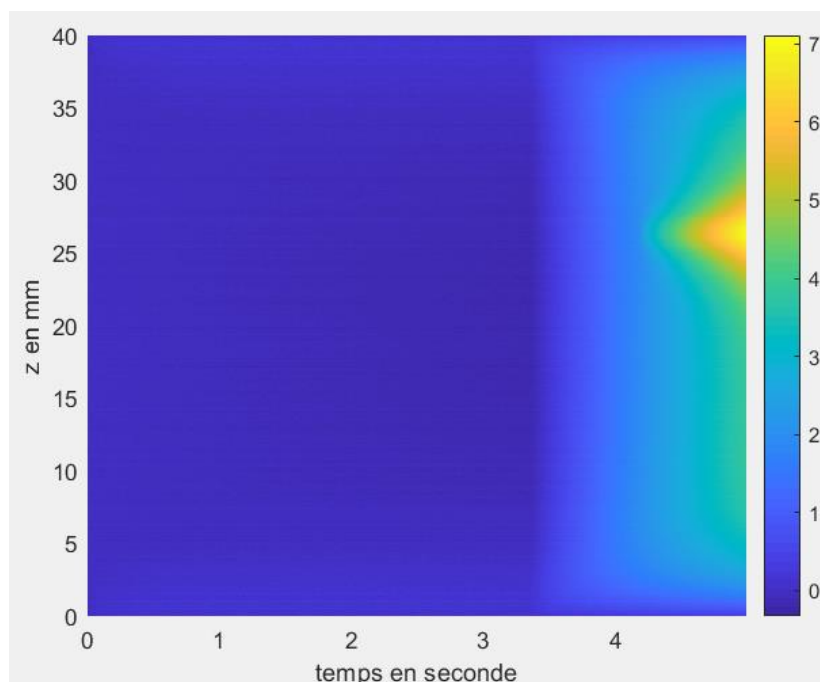


Figure 6 : *Thêta avant filtrage*

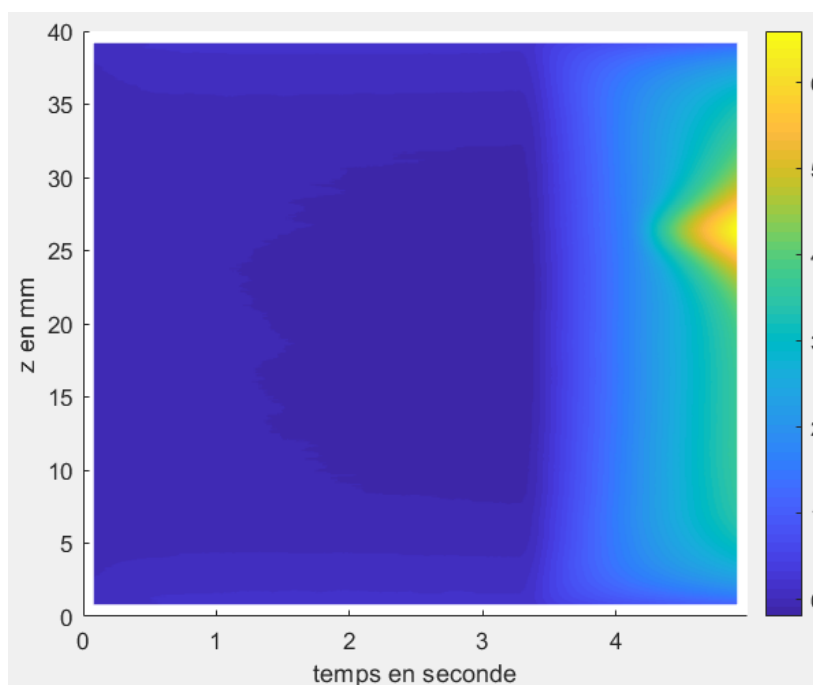


Figure 7 : *Thêta après filtrage*

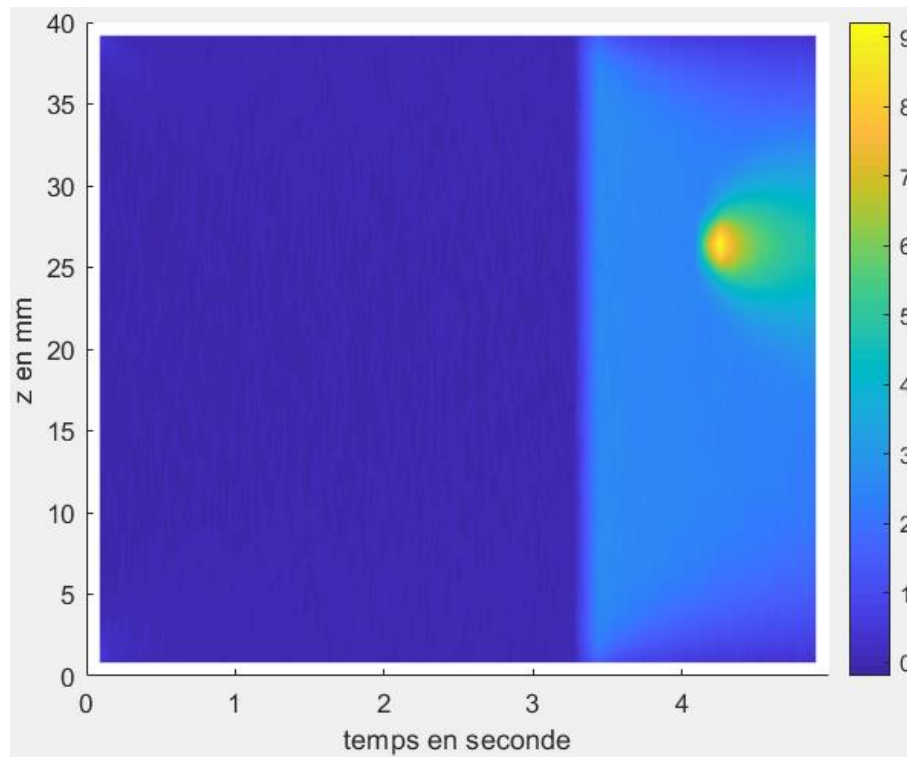


Figure 8 : Dérivé premier de Θ par rapport du temps avant filtrage

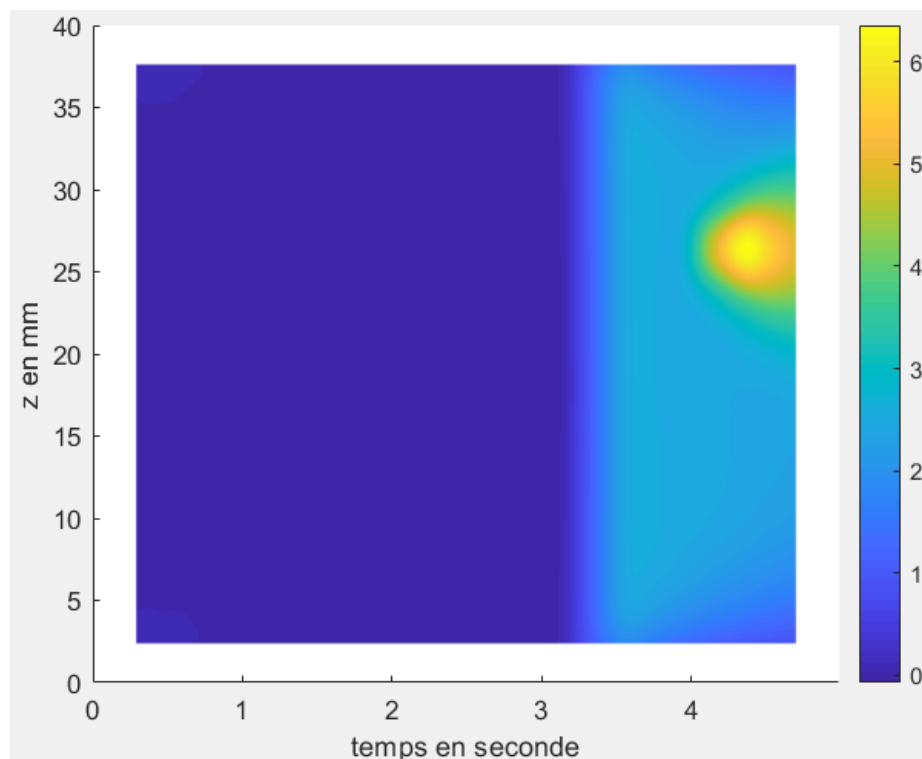


Figure 9 : Dérivé premier de Θ par rapport du temps après filtrage

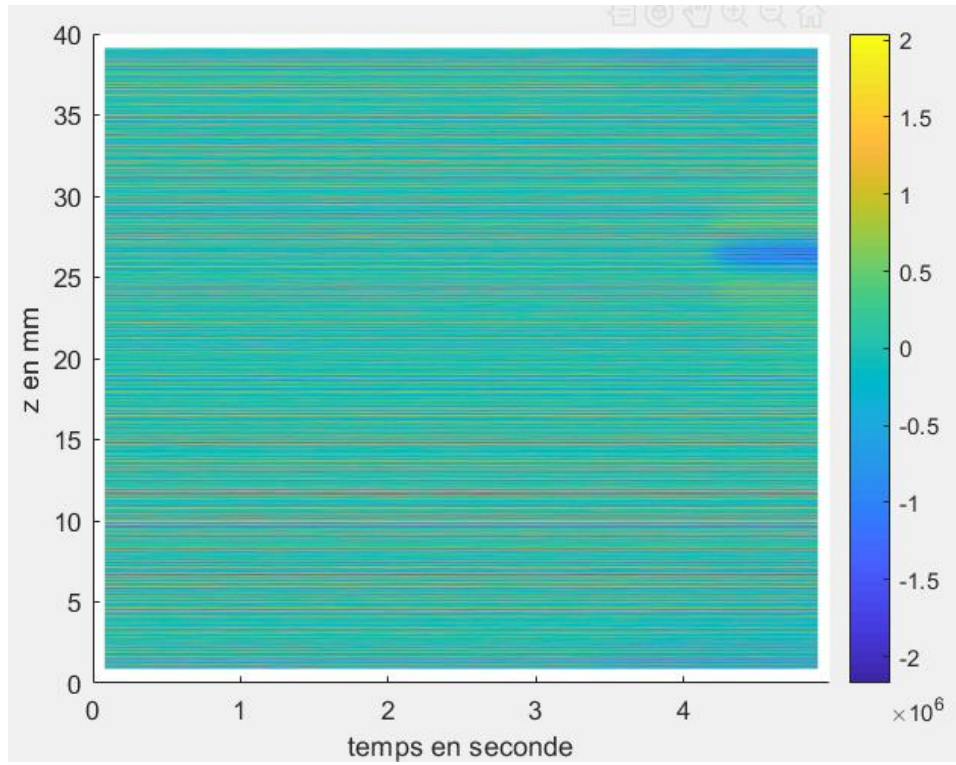


Figure 10 : Dérivé second de Thêta par rapport du temps avant filtrage

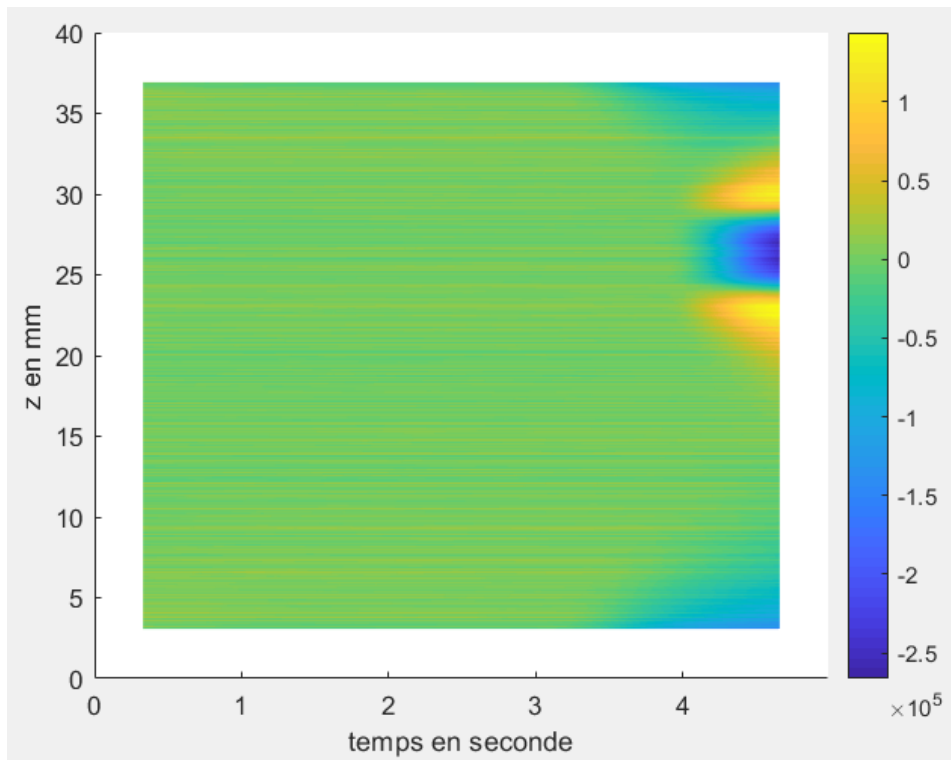


Figure 11 : Dérivé second de Thêta par rapport du temps après filtrage

```

rho = 7800;
c = 480;
tho = 12.1;
lamda = 40;
s = zeros(size(1),size(2));
for i=1:size(1)
    for j=1:size(2)
s(i,j) = (rho*c)*(d1theta_f(i,j) + (1/tho)*theta_f(i,j) ) - lamda*d2theta_f(i,j) ;
    end
end

```

Figure 13 : La source de chaleur

```

taille_filtre_temps=17;
taille_filtre_espace=27;
filtre=ones(taille_filtre_espace,taille_filtre_temps)/(taille_filtre_espace*taille_filtre_temps);
theta_filtre=conv2(theta,filtre,'same');

```

Figure 12 : Choix du filtre

```

theta_filtre(1:round((taille_filtre_espace-1)/2),1:size(2))=NaN*ones(size(2),round((taille_filtre_espace-1)/2));
theta_filtre(size(1)-round((taille_filtre_espace-1)/2)+1:size(1),1:size(2))=NaN*ones(size(2),round((taille_filtre_espace-1)/2));
theta_filtre(1:size(1),1:round((taille_filtre_temps-1)/2))=NaN*ones(round((taille_filtre_temps-1)/2),size(1));
theta_filtre(1:size(1),size(2)-round((taille_filtre_temps-1)/2)+1:size(2))=NaN*ones(round((taille_filtre_temps-1)/2),size(1));

```

Figure 14 : Enlevage de l'effet du bord