

Comparaison de deux modes de pilotage en fatigue ultrasonique et investigation vers les très faibles contraintes

ELHADRI Hamza⁽¹⁾, HFAIED Naila⁽²⁾, PETIT Johann⁽¹⁾, POLIT Olivier⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratoire Énergétique Mécanique Électromagnétisme, 92410 Ville d'Avray, France

⁽²⁾ Léonard de Vinci Pôle Universitaire, Research Center, Paris La Défense, 92916, France

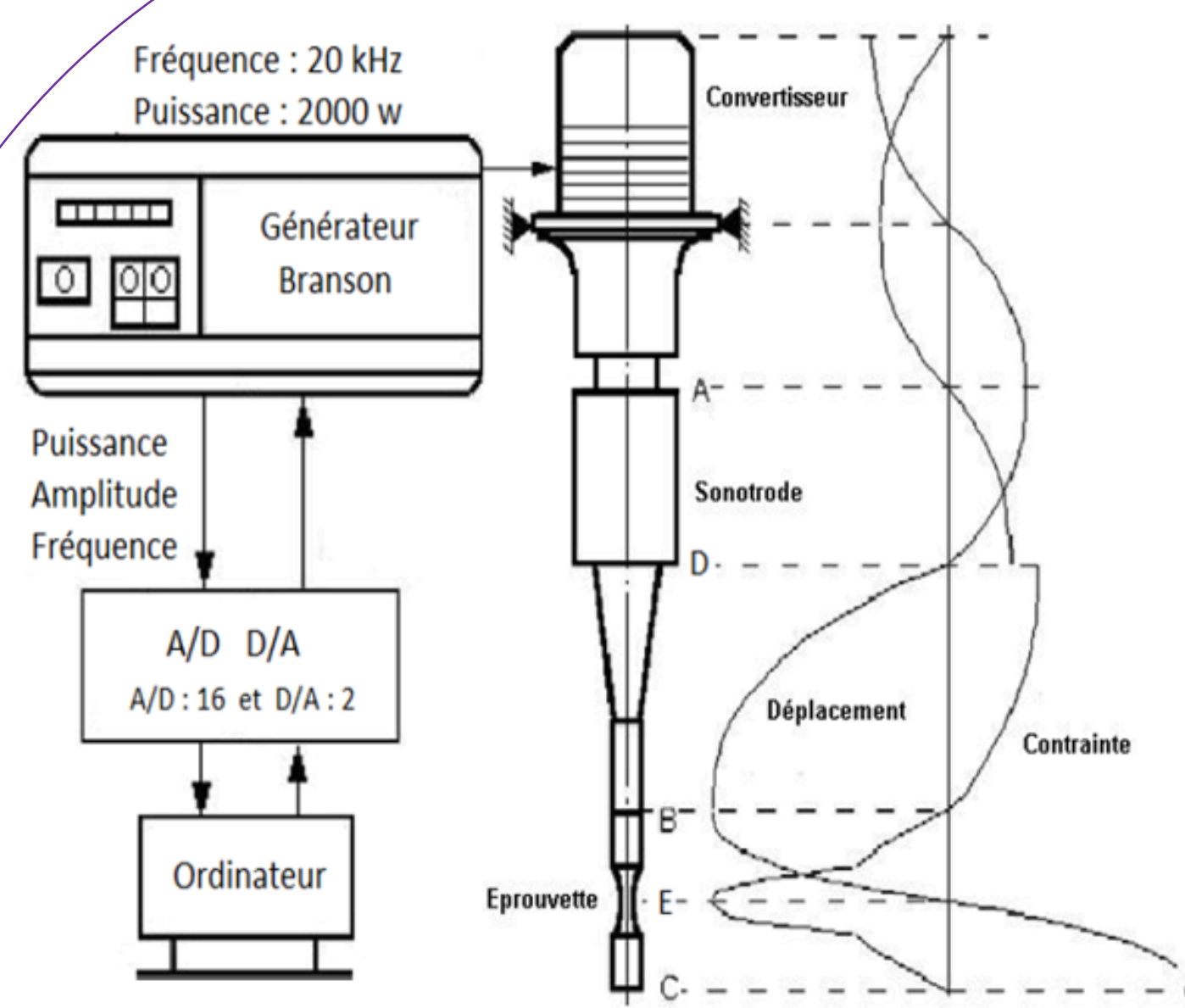
Introduction

L'objectif de l'étude est de comparer l'évolution de la température de deux modes de pilotage en fatigue gigacyclique (l'un en continu et l'autre en pulse-pause) lors d'un essai d'auto-échauffement.

Cette étude va nous permettre à la fois de développer un modèle thermomécanique des matériaux étudiés en s'appuyant sur l'identification de la dissipation intrinsèque, et de déterminer le couple optimal {temps de pulse-temps de pause} permettant de contrôler l'échauffement de l'éprouvette, et comprendre les premiers mécanismes conduisant aux irréversibilités de la déformation.

Les essais ont été effectués sur une machine de fatigue ultrasonique à une fréquence de 20 kHz, l'évolution de la température est mesurée par une caméra infrarouge, et le déplacement des éprouvettes est mesuré par un capteur laser. Ensuite, la dissipation intrinsèque a été estimée en utilisant une expression locale de l'équation de diffusion de la chaleur.

Essai expérimental



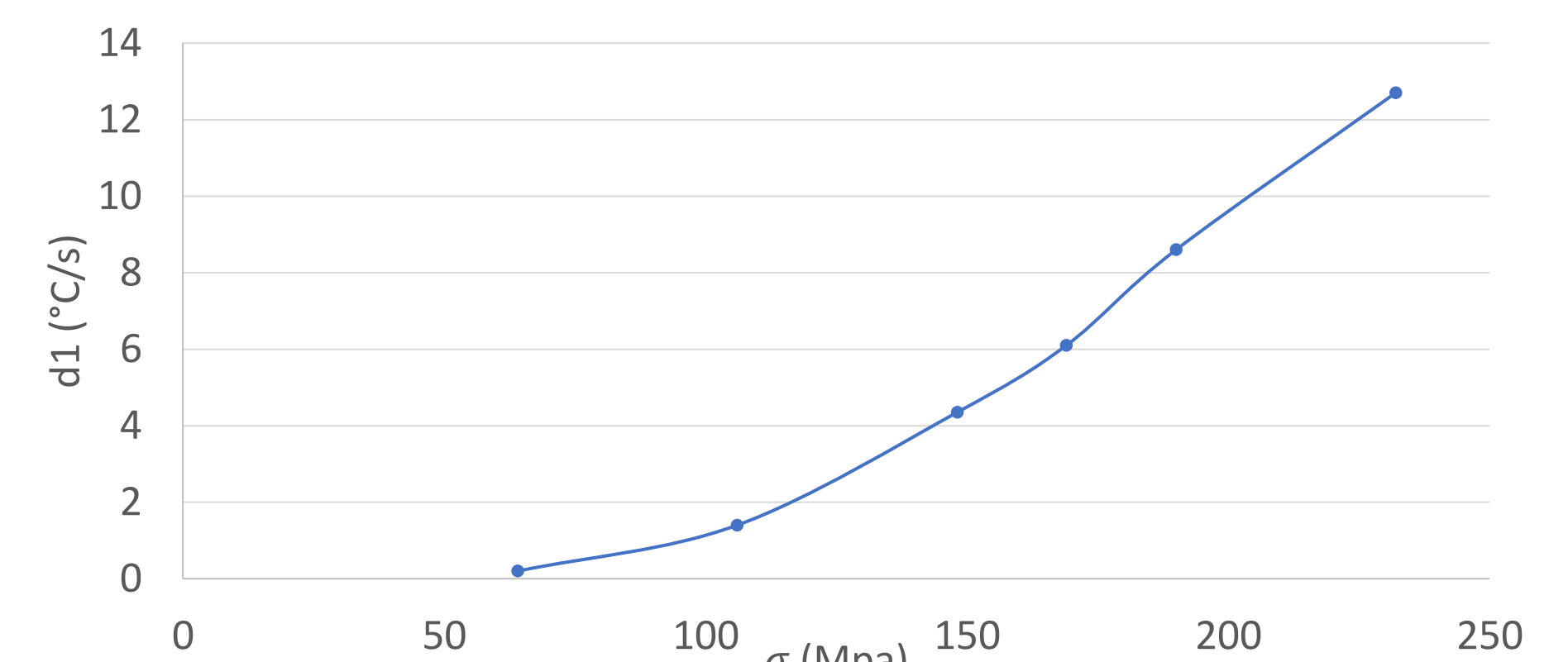
- Machine de fatigue ultrasonique fonctionnant à une fréquence de 20 kHz.
- Caméra infrarouge FLIR A325 pour mesurer l'évolution de la température.
- Capteur Laser pour mesurer le déplacement appliqué.

Calcul de la dissipation intrinsèque

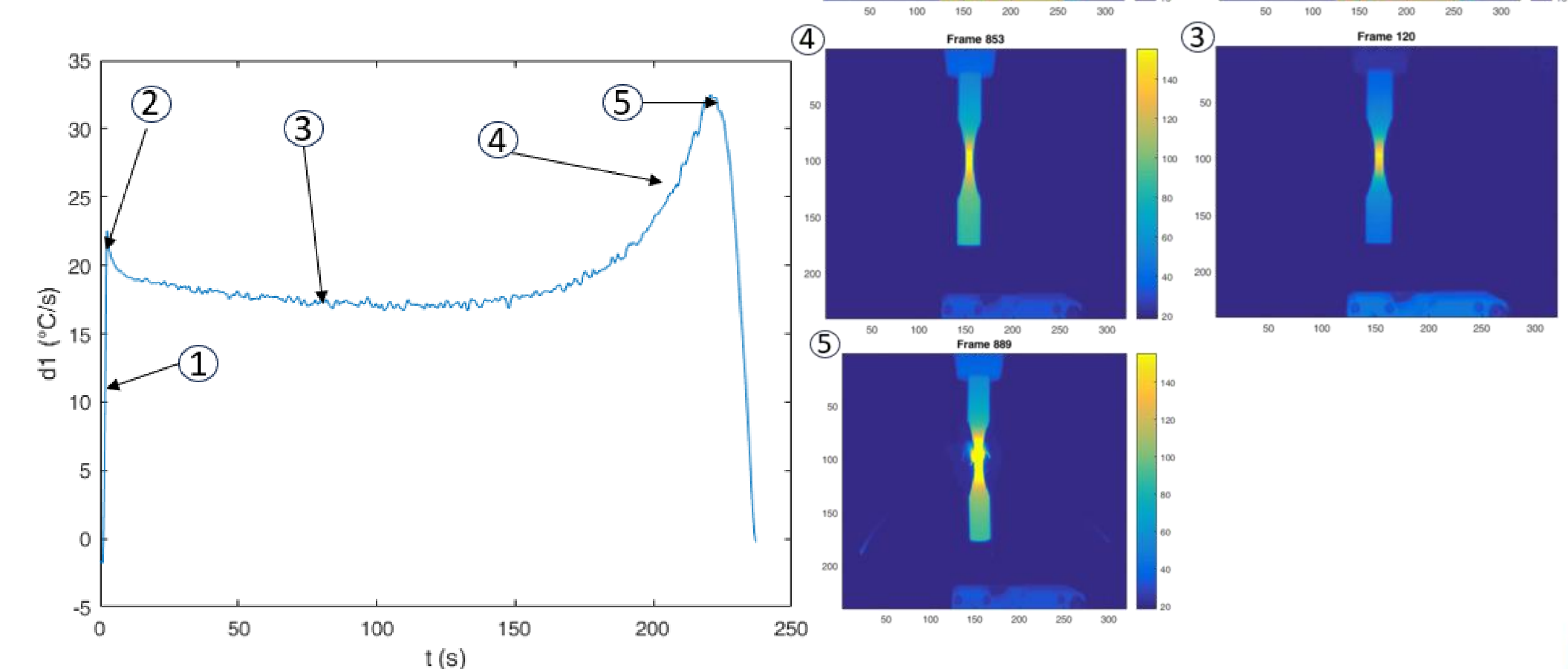
- Le calcul de la dissipation intrinsèque d_1 , représentant les sources internes de chaleur issues des mécanismes de déformation, est effectué à partir de l'équation classique de diffusion de chaleur. En combinant le premier et second principe de la thermodynamique et moyennant un certain nombre d'hypothèses sur le plan thermique et cinématique, nous déduisons une écriture simplifiée de l'équation de diffusion de la chaleur pour un problème 1D [3].

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} - a \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} - a \frac{S'(x)}{S(x)} \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} + \frac{T(x,t) - T_\infty}{\tau_c^{1D}} + \frac{T^4(x,t) - T_p^4}{\tau_r^{1D}} = \frac{d_1(x,t)}{\rho c_p}$$

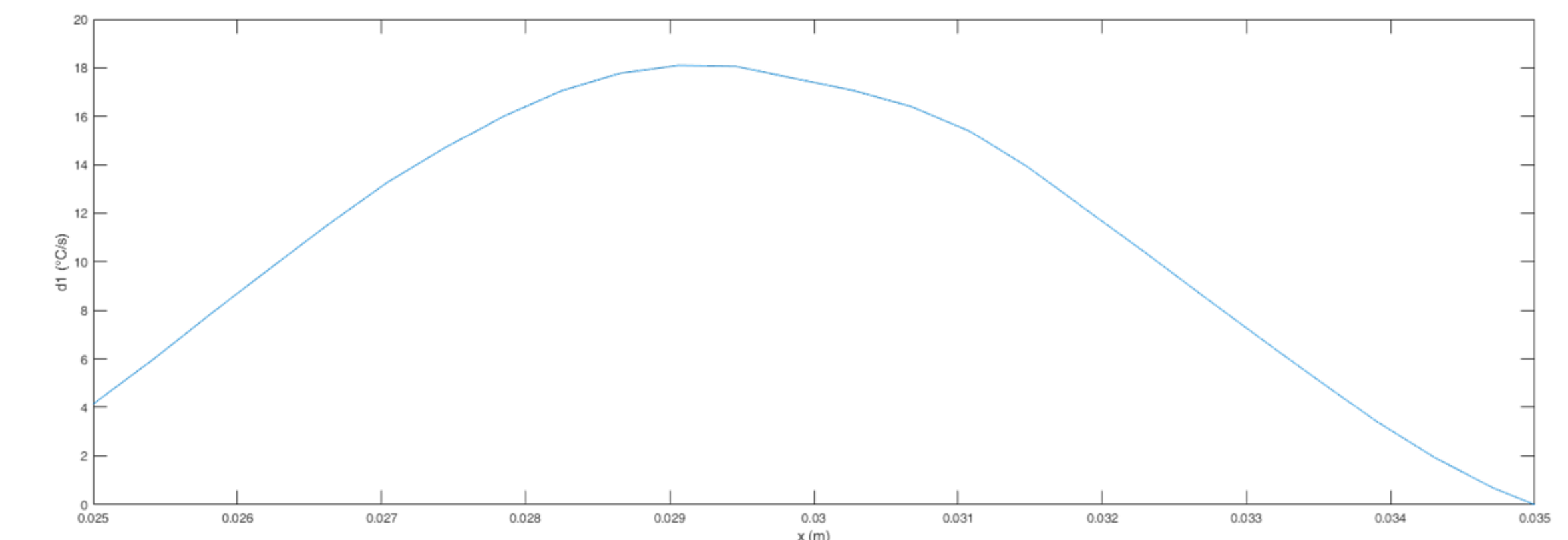
- Évolution de la Dissipation en fonction de l'amplitude de contrainte au centre de l'éprouvette.



- Images thermiques infrarouges et dissipation intrinsèque pour un chargement cyclique à une amplitude de contrainte de 274 MPa. Les images illustrent l'évolution de la température pendant un essai d'auto-échauffement jusqu'à la rupture de l'éprouvette.



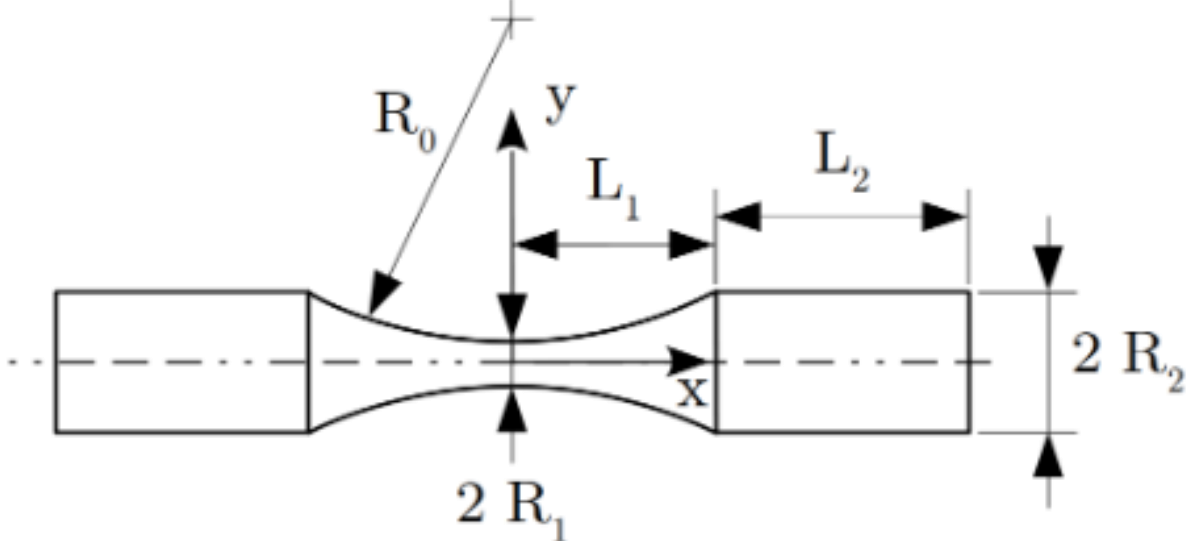
- La distribution de d_1 tout au long de l'éprouvette.



Dimensionnement

- A partir de l'équation de propagation d'onde [1]

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = \frac{E_d}{\rho} \left(p(x) \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} + \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \right)$$

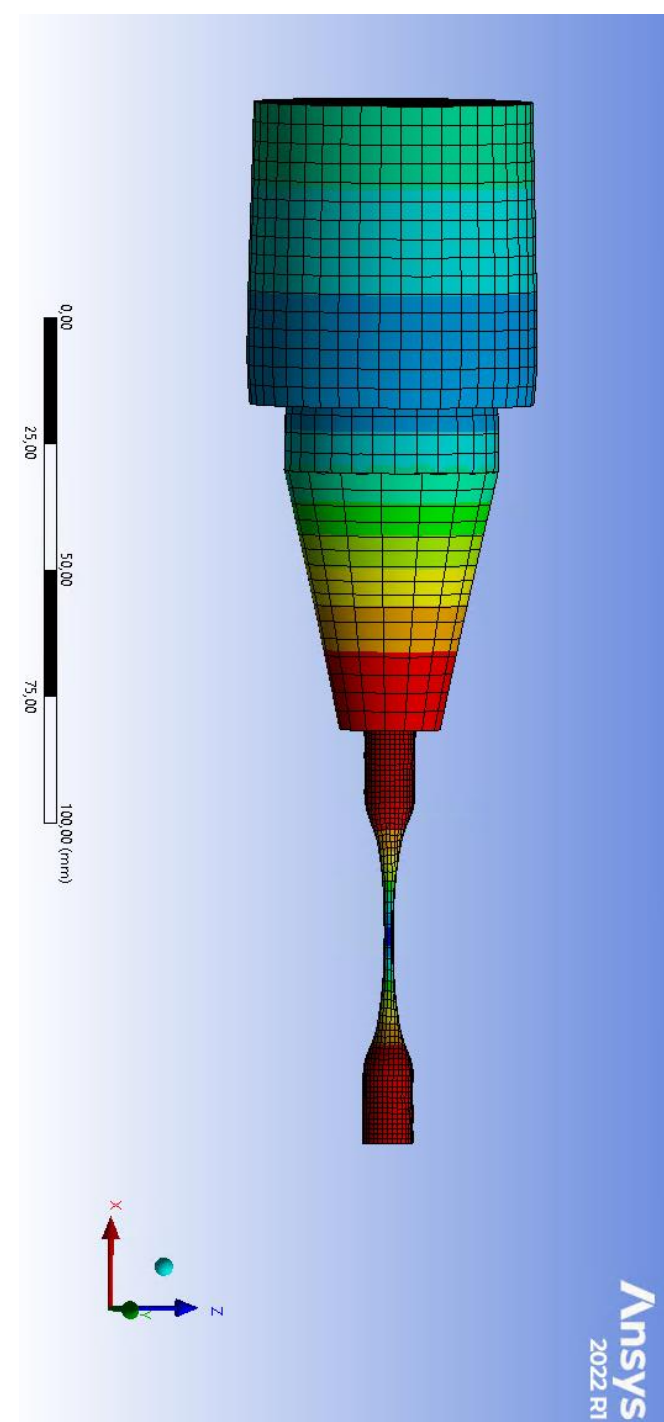


- Le facteur de concentration de contrainte K_t doit être voisin de 1

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}}$$

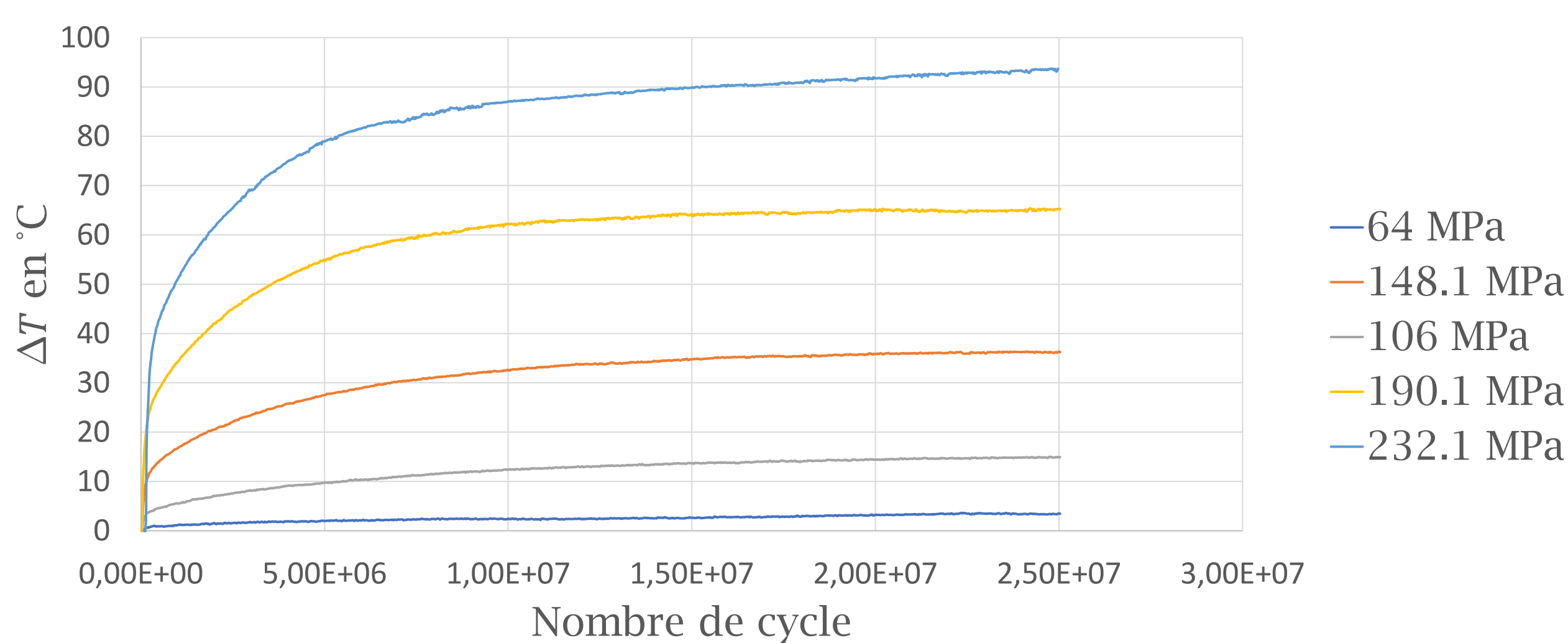
- Le coefficient de triaxialité doit être égal à 0,33, il est défini par [2]

$$\eta = \frac{1}{3} \frac{\text{Tr}(\bar{\sigma})}{\sigma_{eq}^{VM}}$$



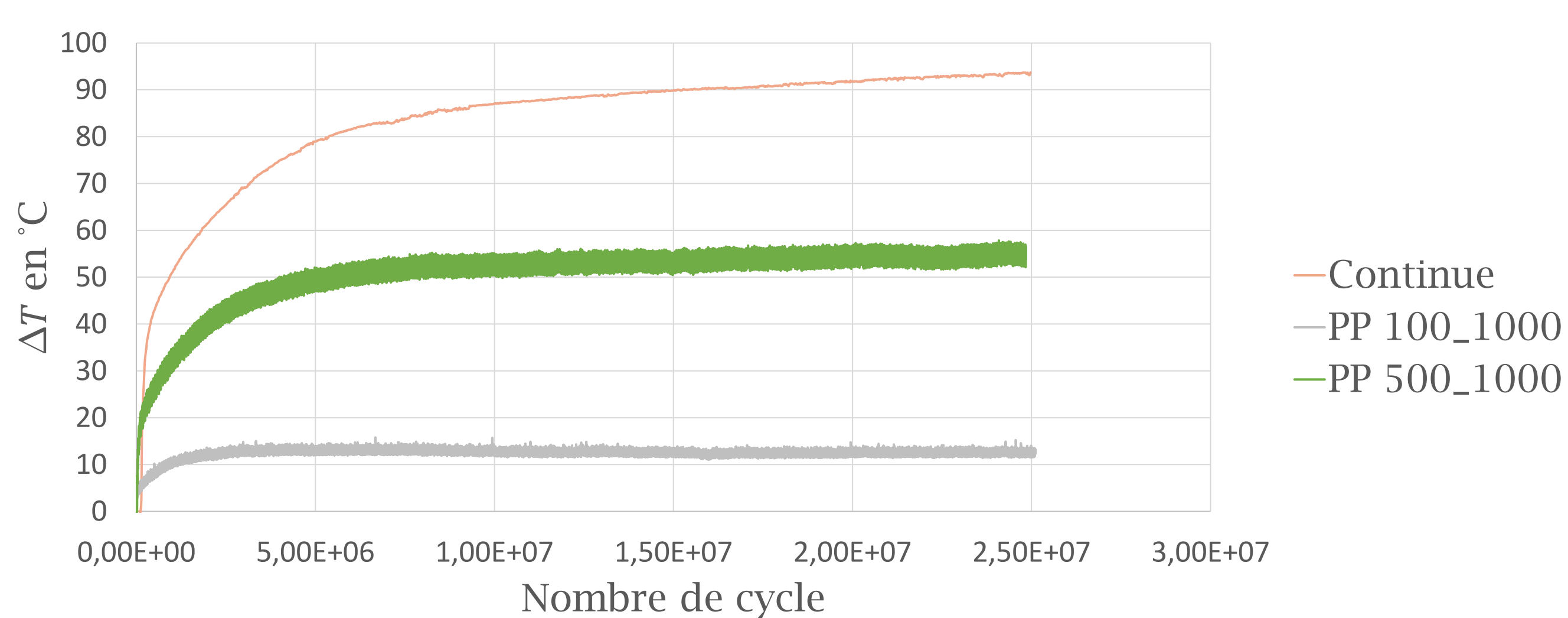
Évolution de la température

- Évolution de la température lors d'un essai d'auto-échauffement en mode continue, à une fréquence de 20kHz.



- Comparaison de l'évolution de la température lors d'un essai d'auto-échauffement en mode continue et en mode pulse-pause, en gardant la même amplitude de contrainte de 232,1 MPa.

- Continue : essai en continue, fréquence de 20 kHz.
- PP 100_1000 : essai en pulse pause (100ms de vibration et 900ms de pause), fréquence effective de 2 kHz.
- PP 500_1000 : essai en pulse pause (500ms de vibration et 500ms de pause), fréquence effective de 10 kHz.



Conclusion

- La température augmente en augmentant l'amplitude du chargement.
- En comparant les deux modes de pilotage, on conclut que, en utilisant le mode pulse-pause l'augmentation de la température reste très faible même à une grande amplitude de chargement.
- La dissipation intrinsèque varie linéairement avec l'amplitude de chargement.
- La dissipation intrinsèque est plus élevée au centre de l'éprouvette, où il y a une concentration de contrainte. L'évolution de d_1 est observée dans la section réduite de l'éprouvette. d_1 reste presque nulle dans les extrémités de l'éprouvette où la section est constante.

Références

- [1] Bathias, C., & Paris, P. (2004). Gigacyclique fatigue in mechanical practice. CRC Press.
- [2] BLANCHE, Antoine, et al. «Energy Dissipation in very high cycle fatigue for polycrystalline pure copper and Armco iron.» Key Engineering Materials, Trans Tech Publications, 2016: 33-46.
- [3] Petit J, Pu X, Darbord-Ranc I, Wagner D. Sensitivity to dynamic strain aging of carbon-manganese steels measured by ultrasonic fatigue testing. Fatigue Fract Eng Mater Struct. 2022;1-14.