

IV-4.4.2 Analyse des résultats lors du cyclage isotherme à différentes déformations maximales

Les paramètres les plus importants que nous allons discuter lors du cyclage mécanique isotherme sont la contrainte maximale σ_{\max} et la contrainte critique σ_c .

a) Effet des cycles charge–décharge sur la contrainte maximale

La variation de la contrainte maximale en fonction du nombre de cycles est représentée sur la figure IV-20. On peut remarquer sur cette figure que la contrainte maximale σ_{\max} augmente très légèrement avec le nombre de cycles N et également avec la valeur de la déformation maximale imposée.

La croissance de la contrainte maximale avec celle de la déformation maximale est facilement expliquée par le taux de martensite produit. En effet, plus la déformation maximale atteinte est importante plus le taux de martensite produit sera important, il faut donc fournir plus d'effort (donc augmenter la contrainte) à la matrice pour engendrer la martensite et obtenir le taux de déformation désiré.

D'autre part, la légère croissance observée avec le nombre de cycles serait probablement due aux défauts introduits pendant le cyclage qui s'opposent aux déplacements des variantes de martensite. Il faut appliquer une contrainte plus élevée pour vaincre ces obstacles et atteindre le taux de déformation désiré.

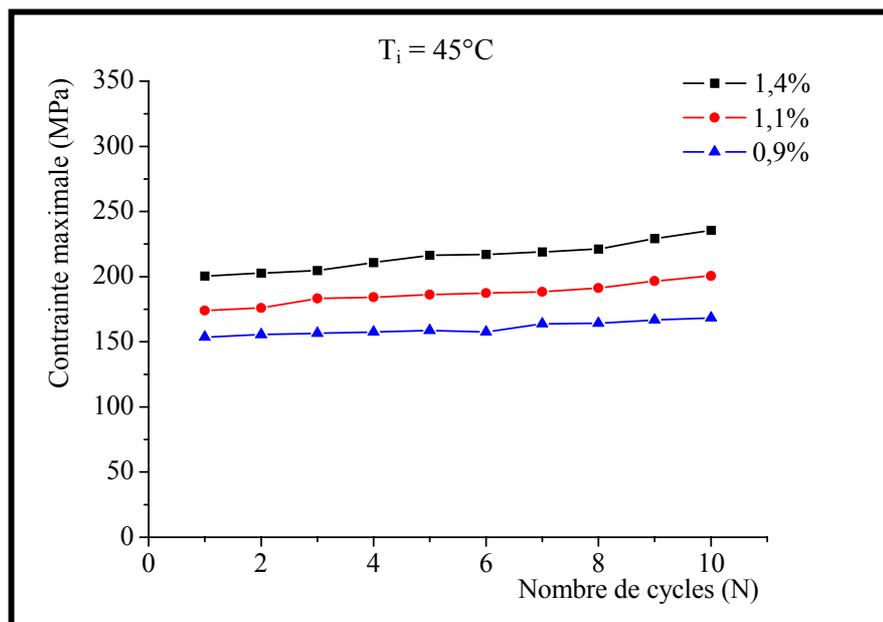


Figure IV-20: Evolution de la contrainte maximale en fonction du nombre de cycles N .

b) Effet des cycles charge–décharge sur la contrainte critique

Comme on peut le voir sur la figure IV-21, la contrainte critique σ_c diminue quelque soit le taux de déformation maximale. Cette diminution semble tout de même plus accentuée pour les grandes déformations.

La diminution de la contrainte critique avec le nombre de cycles et pour une déformation donnée s'explique aisément si l'on admet que le cyclage mécanique engendre des défauts (en particulier des dislocations). En effet beaucoup de travaux [18, 23, 24, 26] sur le cyclage mécanique et/ou thermique ont montré l'apparition de défauts lors du cyclage.

Les défauts introduits lors du cyclage créent des contraintes qui s'ajoutent à la contrainte externe appliquée et contribuent ainsi à la nucléation et à la croissance des variantes de la martensite. La contrainte critique nécessaire à l'application de la martensite diminuera d'autant plus avec le nombre de cycles car le taux de défauts augmente avec ces derniers.

Il est évident que si la déformation maximale ε_{\max} augmente cela suppose une augmentation du taux de défauts pendant le cyclage. Les contraintes internes sont d'autant plus importantes que la déformation maximale est élevée. La diminution de la contrainte critique (contrainte nécessaire à la formation des premières variantes de martensite) sera donc plus accentuée pour les déformations maximales les plus élevées.

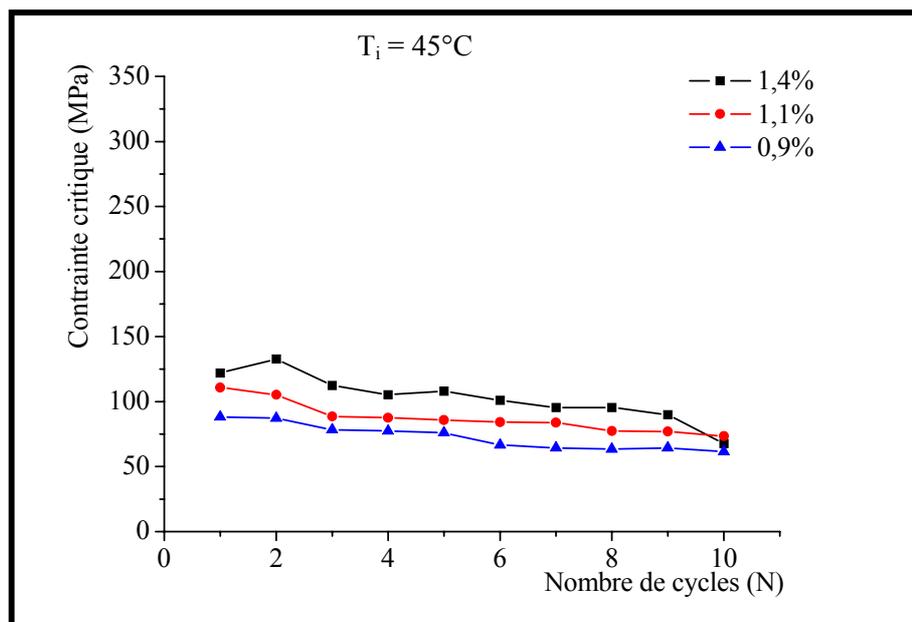


Figure IV-21: Evolution de la contrainte critique en fonction du nombre de cycles N .

IV-4.5 Cyclage mécanique isotherme à différentes températures d'essai pour une déformation maximale donnée

A l'instar de la déformation maximale, la température de l'essai est un paramètre prépondérant quant à la réponse des échantillons lors d'un cyclage mécanique isotherme. Nous avons effectué ainsi plusieurs cycles consécutifs de charge-décharge pour la même déformation maximale mais à différentes températures. Nous avons choisi la déformation maximale $\varepsilon_{\max} = 1,4\%$ et trois températures d'essai $T_i = 45, 50$ et 55 °C.

Les figures IV-18, IV-22 et IV-23 donnent l'allure des courbes σ - ε obtenues lors du cyclage mécanique en fonction du nombre de cycles pour respectivement les températures d'essai 45, 50 et 55 °C.

L'allure des courbes ressemble fort à celles obtenues pour différentes déformations maximales rencontrées au paragraphe précédent. Aussi nous nous sommes intéressés aux variations des deux paramètres les plus importants déjà considérés à savoir la contrainte critique σ_c et la contrainte maximale σ_{\max} .

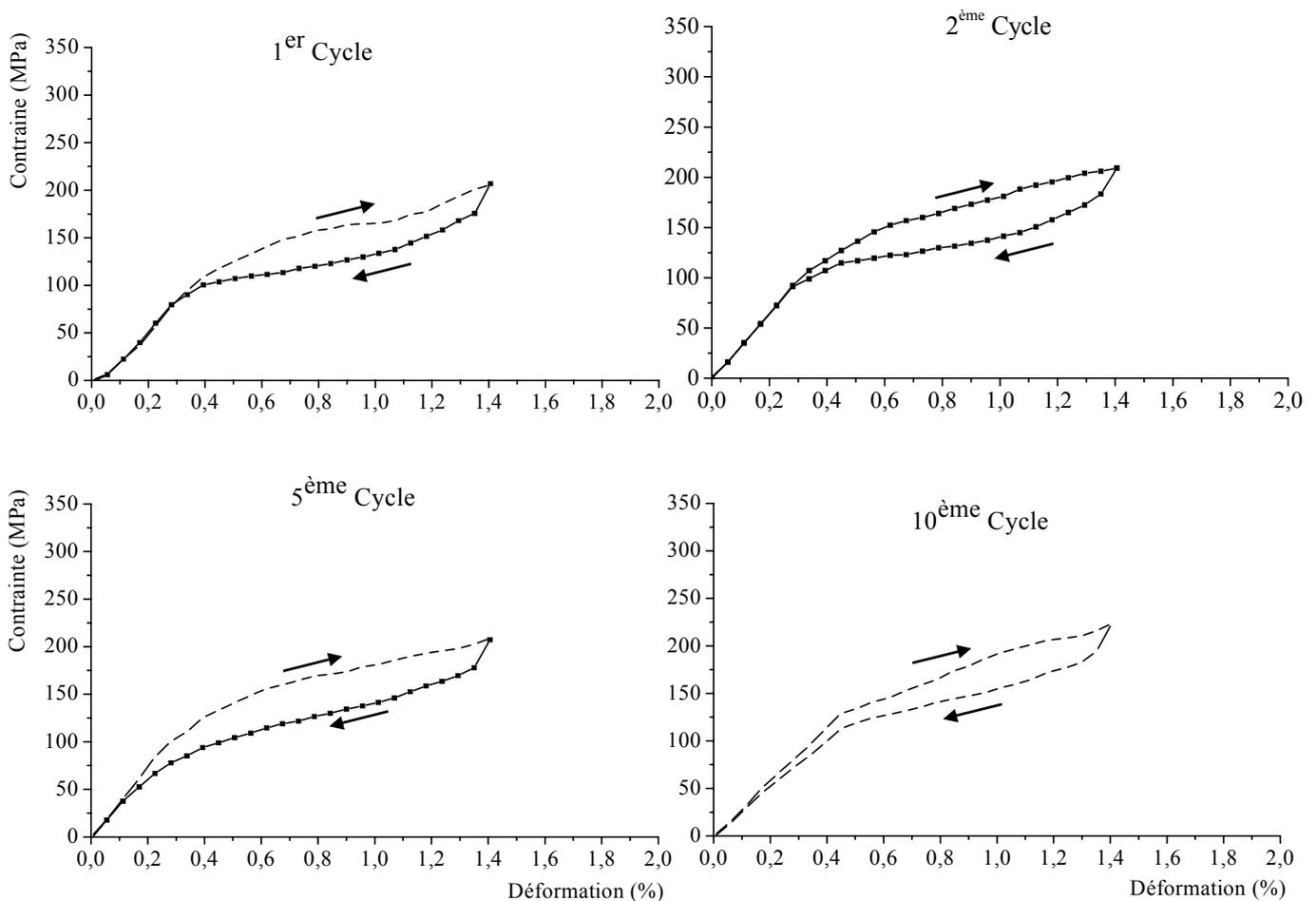


Figure IV 22: Cyclage isotherme en effet superélastique à $T_i = 50^\circ\text{C}$ ($\varepsilon_{\max} = 1,4\%$).

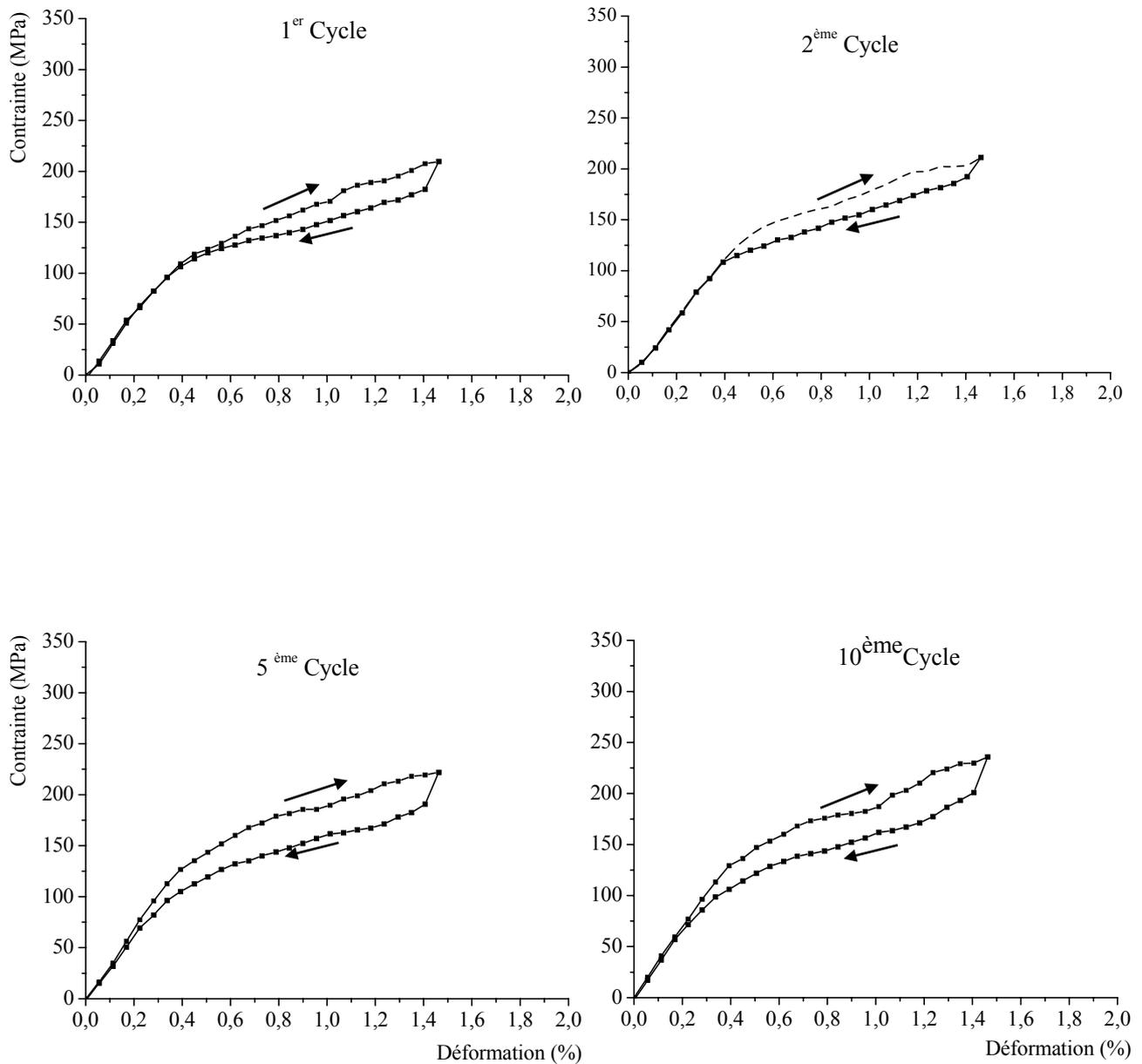


Figure IV 23: Cyclage mécanique isotherme en effet superélastiques à $T_i = 55^\circ\text{C}$ ($\epsilon_{\max} = 1,4\%$).

IV-4.5.1 Analyse des courbes du cyclage isotherme à différentes températures

a) Effet de la température d'essai sur la contrainte maximale

L'influence de la température d'essai sur les valeurs de la contrainte maximale est illustrée sur la figure IV-24 qui représente l'évolution de la contrainte maximale en fonction du nombre de cycles à différentes températures.

On notera ainsi que la contrainte maximale σ_{\max} augmente légèrement avec le nombre de cycles et ceci pour les trois températures d'essai choisies [16, 17]. D'autre part, le niveau de la contrainte change avec la température: plus la température est élevée plus la contrainte maximale σ_{\max} l'est aussi. En fait, pour une température T_i donnée, la contrainte maximale est liée à la valeur de la contrainte critique car comme on le verra dans ce qui suit la contrainte critique σ_c augmente également avec la température d'essai.

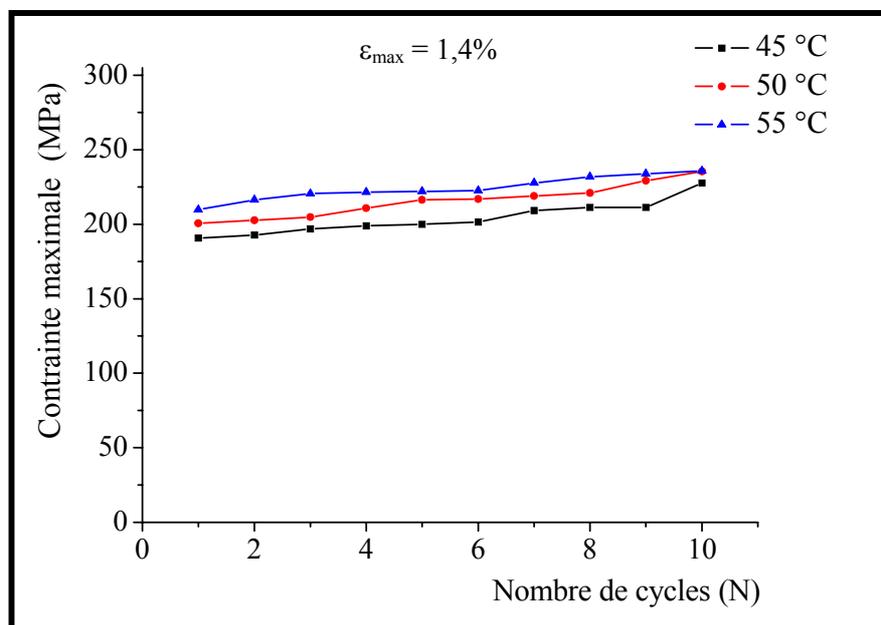


Figure IV-24: Effet de la température d'essai sur la contrainte maximale pendant le cyclage mécanique.

b) Effet de la température d'essai sur la contrainte critique

La courbe de la variation de la contrainte critique en fonction du nombre de cycles pour différentes températures d'essai est représentée sur la figure IV-25. On peut remarquer sur cette figure que la contrainte critique décroît avec le nombre de cycles quelque soit la température d'essai [19, 22]. Cette diminution de la contrainte critique lors du cyclage est principalement due aux défauts introduits par les cycles successifs qui créent un champ de contraintes internes qui vient s'ajouter à la contrainte externe appliquée et favoriser l'apparition des premières variantes de martensite.

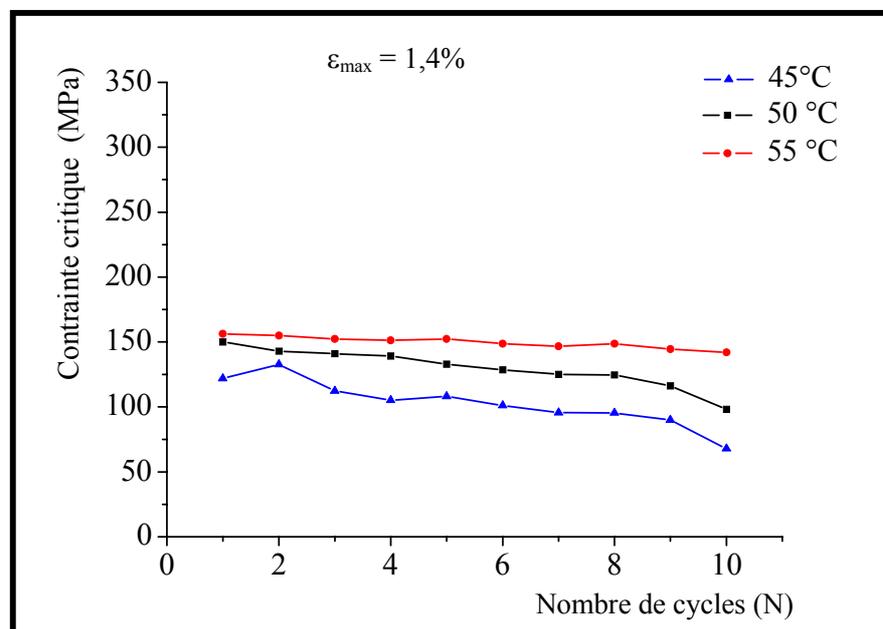


Figure IV-25: Effet de la température d'essai sur la contrainte critique pendant le cyclage mécanique

Conclusion

L'étude du comportement superélastique de l'alliage à mémoire de forme ternaire de type CuZnAl à l'aide du dispositif de flexion quatre points a permis d'obtenir les résultats suivantes:

- ▣ La contrainte maximale atteinte lors de la charge augmente légèrement avec le nombre de cycles ainsi que q' avec l'augmentation de la température d'essai.
- ▣ Le module de Young associé à l'état austénitique est d'ordre de 70 GPa.

- ▣ La contrainte critique augmente avec la température d'essai, cette croissance a permis de vérifier la loi de Clausius–Clapeyron pour ce mode de sollicitation. Cette même contrainte décroît avec l'augmentation du nombre de cycles.
- ▣ La déformation de transformation est liée directement à la déformation maximale imposée au cours d'un cycle mécanique contrainte–déformation.

IV-5 CYCLES THERMOMECHANIQUES CONTRAINTE–TEMPERATURE

IV-5.1 Cycles thermomécaniques après un état prédéformé à l'état austénitique

L'utilisation d'un alliage à mémoire de forme (AMF) soumis à une déformation constante, dans un environnement où la température est susceptible de varier peut trouver des applications industrielles intéressantes (les contacts électriques de puissance, ...). C'est dans cette optique que nous allons étudier l'évolution de la contrainte avec la température lorsque l'échantillon est soumis à une déformation constante.

IV-5.1.1 Cycle contrainte–température à déformation constante

L'essai consiste à imposer une déformation à l'échantillon à l'état austénitique $T_i = 40\text{ °C}$ puis de suivre l'évolution de la contrainte en fonction de la température lors d'un cycle thermique chauffage–refroidissement (figure IV-26). Il serait intéressant d'étudier l'influence sur la contrainte de mode de déformation imposée. En effet et pour un même taux, la déformation imposée à la montée (c'est à dire à la charge ε_{imp}^c) diffère de celle imposée à la descente (c'est à dire à la décharge ε_{imp}^d) par la valeur de la contrainte atteinte ainsi que par la nature et la quantité de martensite produite.

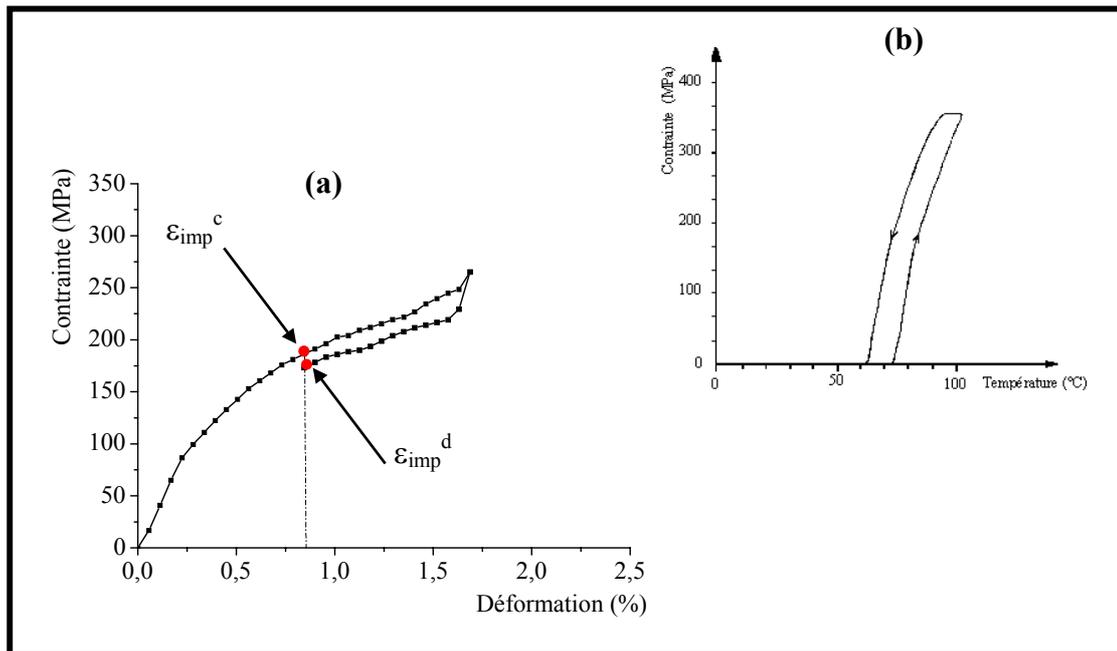


Figure IV-26: Représentation d'un cycle σ - T (figure b) à partir d'un cycle superélastique figure (a).

Nous présentons sur la figure IV-27, l'évolution de la contrainte en fonction de la température pour une déformation imposée à la charge (figure IV-27.a) et à la décharge (figure IV-27.b) de 0,84%. Le cycle superélastique σ - ϵ étant effectué à 40°C. On observe une augmentation de la contrainte jusqu'à atteindre un palier. Cette augmentation est due à la réversion des variantes de martensite en austénite. On remarque que la contrainte atteinte pour la déformation imposée à la charge est très légèrement supérieure à celle atteinte pour la déformation à la décharge.

Le fait de faire varier la température d'essai des cycles superélastiques σ - ϵ n'a apparemment pas d'effet sur les cycles σ - T (voir figure IV-28).

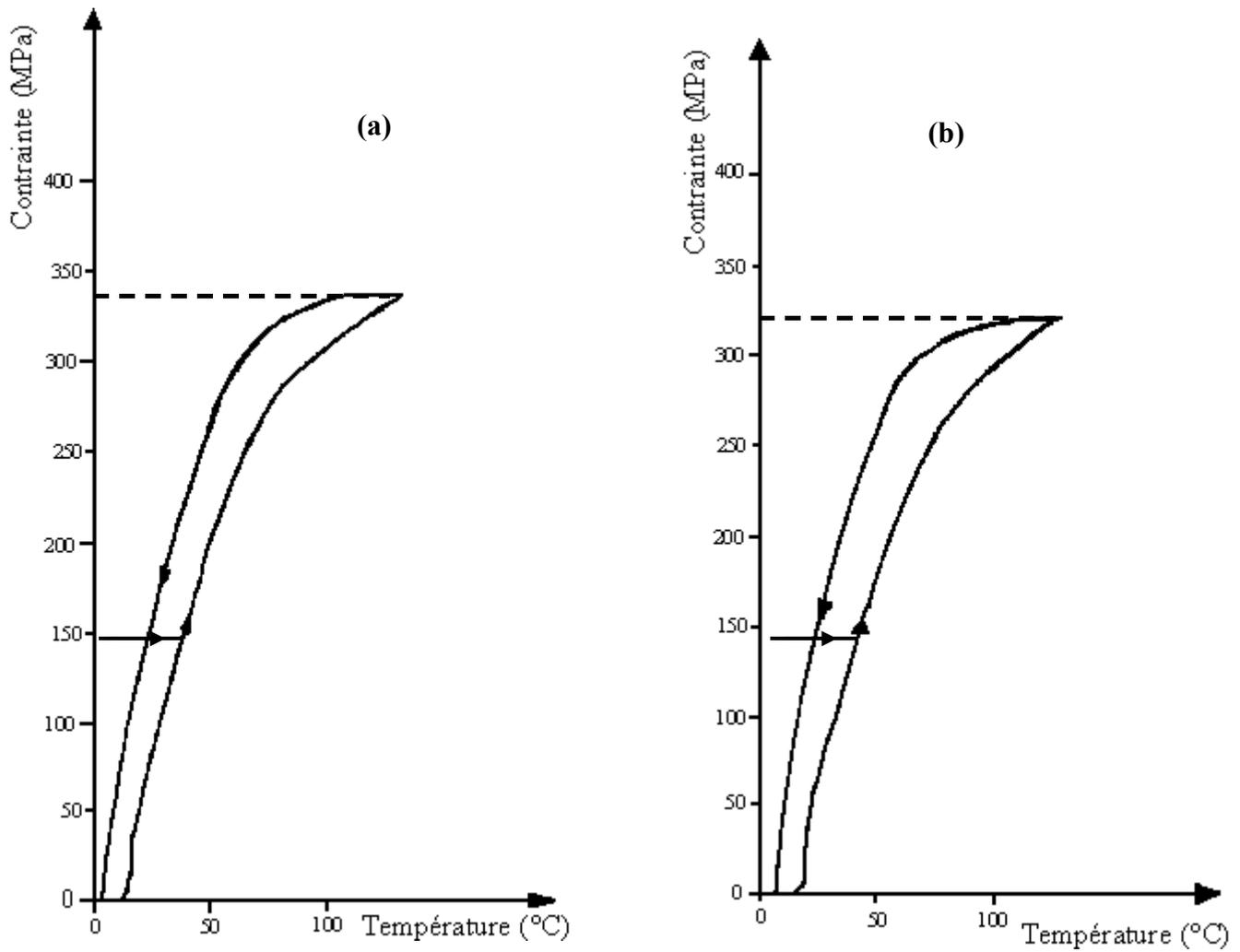
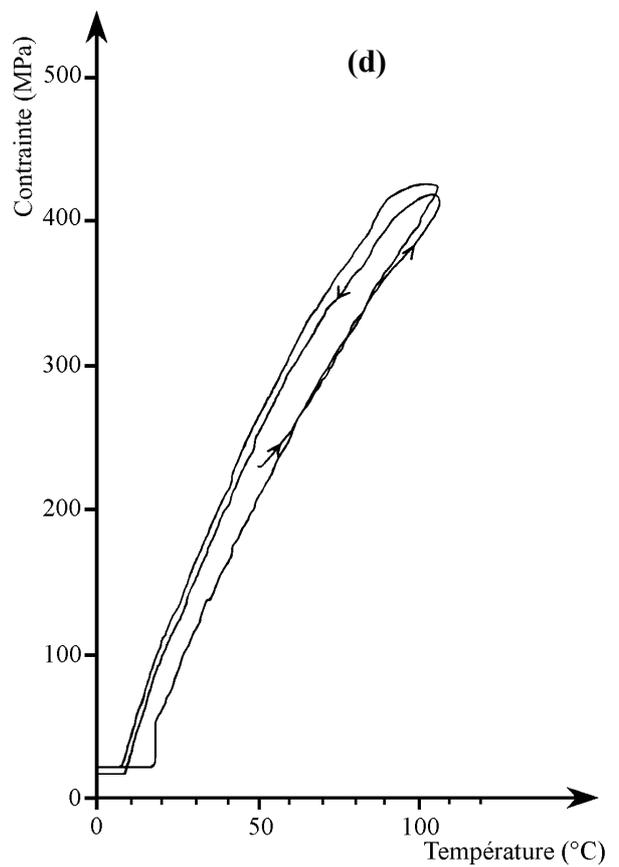
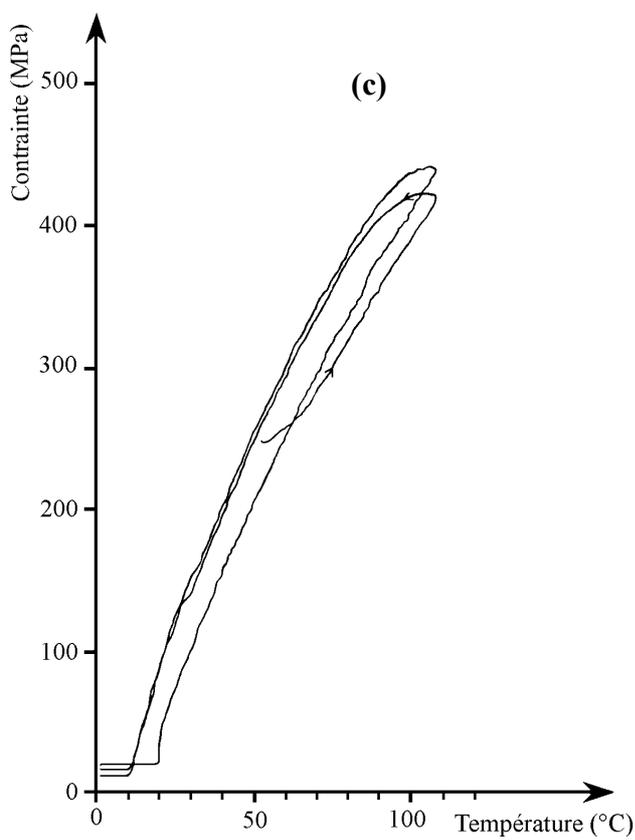
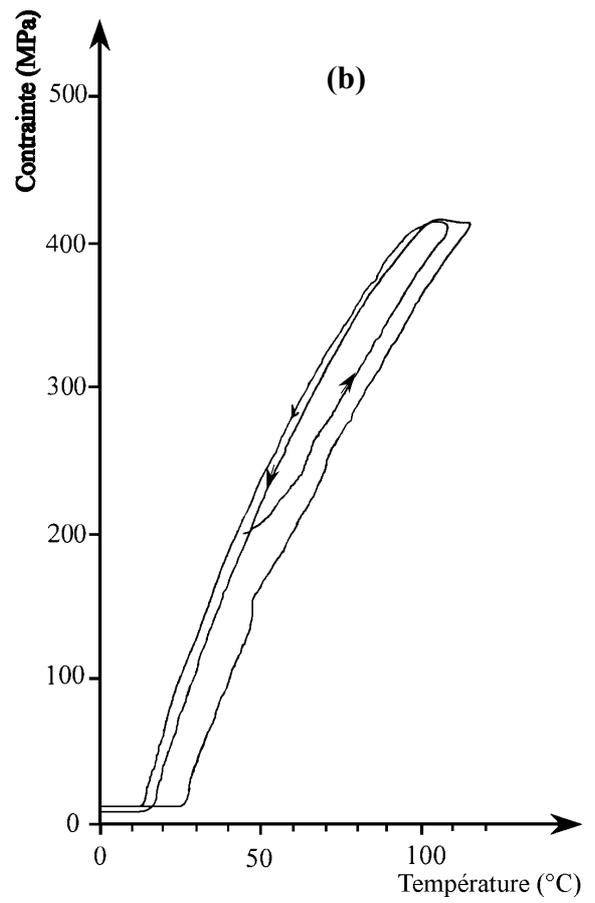
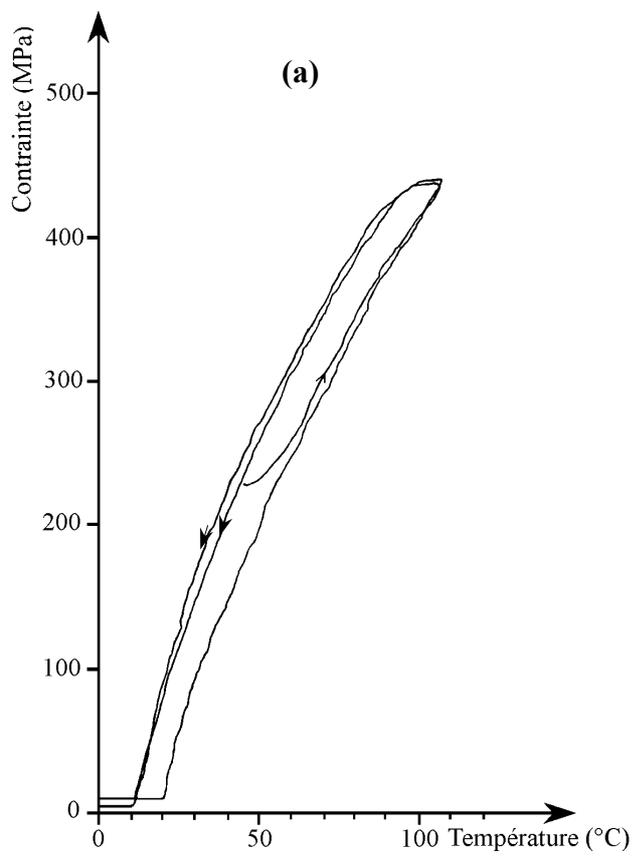


Figure IV-27: Evolution de la contrainte en fonction de la température après un état prédéformé (0,84%).

(a) charge.

(b) décharge.



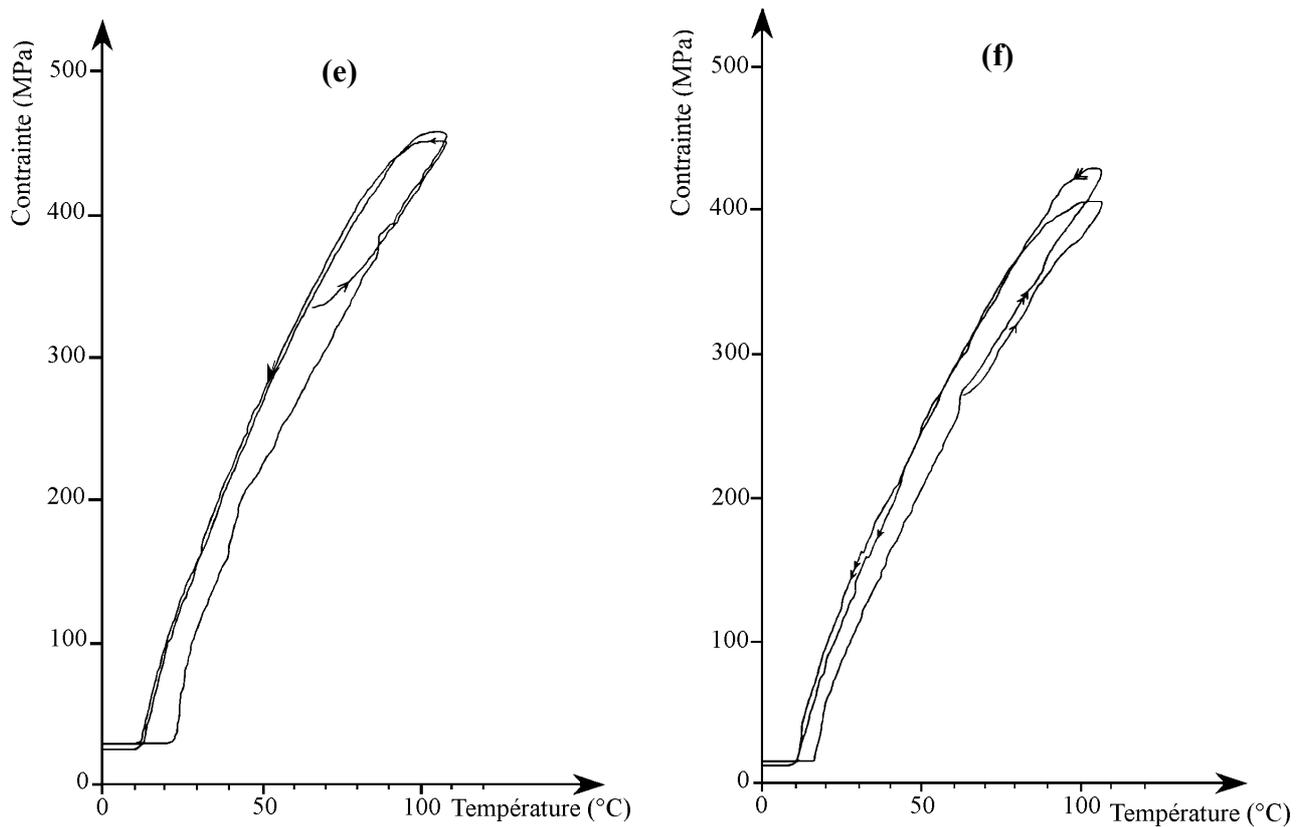


Figure IV-28: Evolution de la contrainte en fonction de température après un état prédéformé.

(a) et (b) à 40°C

(c) et (d) à 50°C,

(e) et (f) à 60°C