

Fig. 9. Variation de la dureté en fonction du temps de revenu (échantillons choqués).

du temps de maintien à 400°C et à 480°C des faces voisines des échantillons numérotés 1 et 2. On constate que la dureté de l'échantillon initialement désordonné (numéro 2) croît, puis atteint un palier; au contraire, la dureté de l'échantillon initialement ordonné (numéro 1) diminue; nous n'avons pas prolongé les mesures au-delà des temps qui figurent sur les courbes car les échantillons ont été découpés pour faire des observations au microscope électronique. On peut remarquer également que la température accélère les phénomènes de durcissement de l'échantillon désordonné et d'adoucissement de l'échantillon ordonné.

La Fig. 9 donne les résultats d'expériences analogues aux précédentes; les mesures de dureté ont été réalisées cette fois sur les faces en contact des échantillons numérotés 3 et 4, la température de revenu était de 408°C. Les variations de dureté de l'alliage sont les mêmes que précédemment; il est à noter toutefois que l'augmentation de dureté entre le début de la cinétique et le palier est plus forte pour l'échantillon 2 que pour l'échantillon 4, ce dernier étant moins écroui que le précédent.

L'évolution de l'état d'ordre des échantillons 3 et 4 en fonction du temps de revenu à 408°C est représentée sur les Figs. 10 et 11; la Fig. 10 correspond à

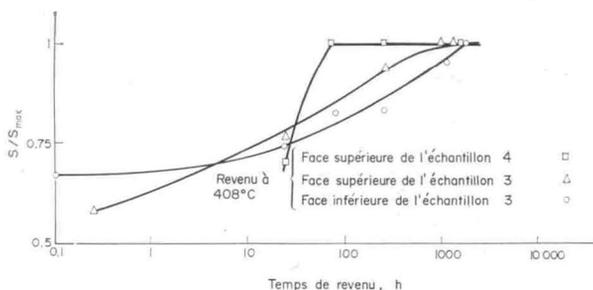


Fig. 10. Variation du degré d'ordre à longue distance en fonction du temps de revenu (échantillons choqués).

la variation du rapport  $S/S_{\max}$  où  $S$  désigne la valeur du paramètre d'ordre à grande distance à un instant donné et  $S_{\max}$  la valeur d'équilibre de  $S$  à la température de 408°C; la Fig. 11 concerne l'évolution de la taille des domaines antiphases. Les résultats que nous donnons sur ces deux figures ont été calculés en prenant comme état de référence celui qui correspond à la fin de la cinétique pour les raisons exposées au paragraphe 3.3. Comme les raies fondamentales (200) n'évoluaient que très faiblement au cours du revenu, nous avons attribué les variations importantes de la largeur des raies de surstructure (100) uniquement à l'augmentation de la taille des domaines antiphases. L'examen des Figs. 10 et 11 permet de faire les remarques suivantes:

—à taux d'écrouissage égal, le degré d'ordre maximum est atteint plus rapidement pour l'échantillon initialement désordonné (numéro 4) que pour l'échantillon initialement ordonné (numéro 3);

—la taille des domaines après choc est de l'ordre de 100 Å pour l'échantillon 3 (cf. paragraphe 3.3) alors

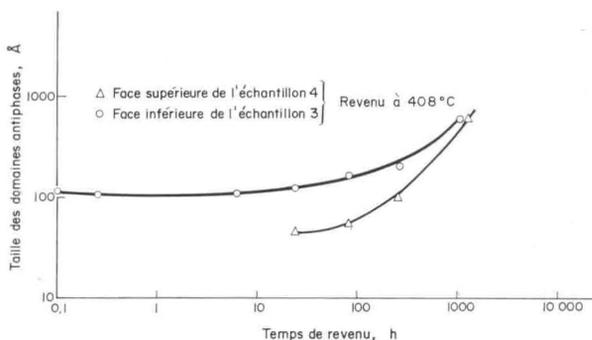


Fig. 11. Variation de la taille des domaines antiphases en fonction du temps de revenu (échantillons choqués).

que pour l'échantillon 4 les premières valeurs calculées sont de 40 Å;

—pour l'échantillon 4, les domaines croissent seulement quand  $S$  a atteint sa valeur maximum alors que, sur l'échantillon 3, la remise en ordre et la croissance des domaines antiphases sont deux phénomènes concomitants.

Enfin l'observation simultanée des Figs. 9 et 10 montre que pour l'échantillon 3 (initialement ordonné puis partiellement désordonné par choc) le palier de dureté est atteint bien avant que  $S$  soit égal à  $S_{\max}$ .

**4.1.2 Cas des éprouvettes laminées.** Une étude analogue à celle décrite au paragraphe précédent a été effectuée sur des échantillons désordonnés par trempe puis laminés; cette étude a déjà fait l'objet d'une récente publication<sup>(13)</sup> dont nous ne rappellerons ici que les principaux résultats:

—la dureté de l'alliage désordonné puis laminé

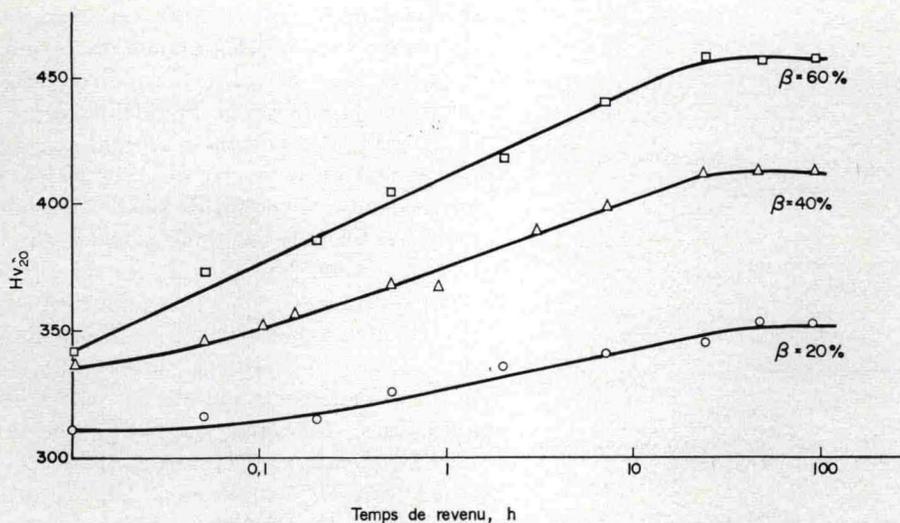


FIG. 12. Variation de la dureté en fonction du temps de revenu à 400°C et du taux de laminage.

d'au moins 20% croît au cours de la restauration de l'ordre puis atteint un palier avant que le degré d'ordre à longue distance soit maximum;

—l'accroissement de dureté pendant le revenu augmente avec le taux de laminage initial (Fig. 12);

—la phase de coalescence des domaines antiphases ne débute que lorsque le degré d'ordre à longue distance a atteint sa valeur maximum.

On peut constater dès maintenant l'analogie de comportement entre les échantillons désordonnés puis choqués et les échantillons désordonnés puis laminés. L'étude n'a pas été effectuée sur des éprouvettes ordonnées laminées à cause de la fragilité de l'alliage.

#### 4.2 Observation des dislocations au microscope électronique

Des observations ont été effectuées sur les échantillons choqués 1 et 2 dont les cinétiques de remise en ordre ont été volontairement écourtées (cf. paragraphe 4.1.1); elles ont montré l'existence d'un début de polygonisation qui, pour un même temps de revenu, est plus avancée sur l'échantillon initialement désordonné que sur l'échantillon ordonné; toutefois, à cause de la nature destructive des essais, nous n'avons pas pu situer l'apparition de ce phénomène par rapport aux moments où la dureté et l'ordre à longue distance atteignent leur valeur maximum.

Les auteurs de la publication<sup>(13)</sup> ont également observé l'évolution de la structure écrouie pendant la restauration de l'ordre dans l'alliage désordonné par trempe puis laminé. Les résultats sont les suivants: dès le début des revenus d'ordre, la dureté des échantillons laminés augmente et un réarrangement

des dislocations peut être décelé; il semble que le début du palier de dureté coïncide avec l'apparition de sous-joints, le métal évoluant ensuite vers un état polygonisé; les sous-grains sont allongés et désorientés les uns par rapport aux autres; la polygonisation se poursuit encore après que le degré d'ordre à longue distance ait atteint sa valeur maximum (Fig. 13).

#### 4.3 Discussion

Dans ce paragraphe, nous nous proposons de comparer les temps nécessaires pour restaurer intégralement l'ordre dans les divers échantillons ainsi que de discuter les variations de la dureté au cours des revenus.

Le degré d'ordre maximum est atteint au bout d'un

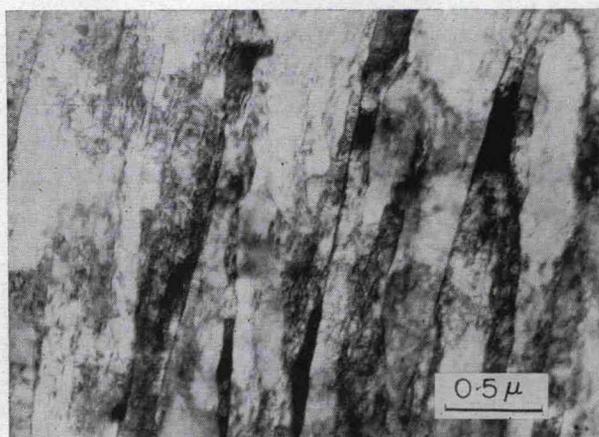


FIG. 13. Polygonisation dans un échantillon initialement désordonné puis laminé de 40% et restauré 282 h à 400°C.