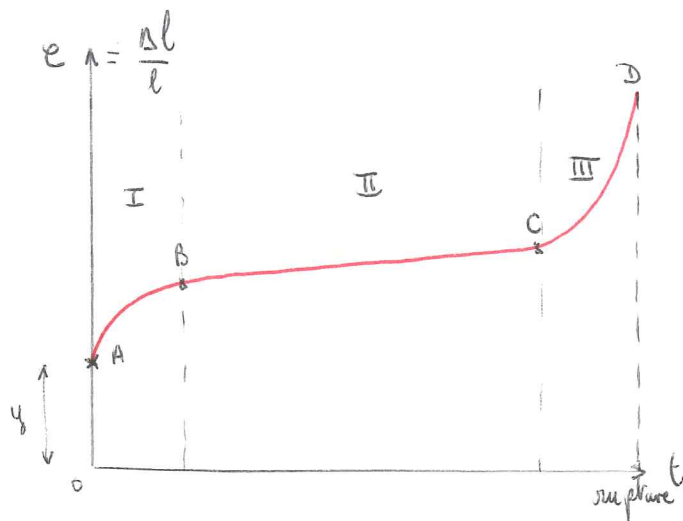


FLUAGE

= déformatio à contrainte cte en fctio du temps

Effet de relaxation : c'est la variatio de contrainte en fctio du temps à déformatio cte. (ou $F = cte$)



pour la plupart des matériaux.

$$y = e_{\text{élastique instantanée}} + e_{\text{plastique instantanée}}$$

AB : déformatio parabolique :

BC : " linéaire

CD : " parabolique

D : rupture

Intéressant : $\dot{e} = \frac{de}{dt}$ = vitesse de fluage.

AB : $\dot{e}$ décroît progressivement : fluage primaire (I)

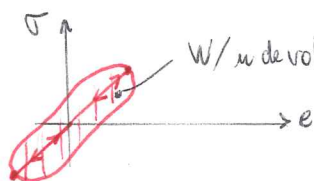
BC : $\dot{e} = cte$: — secondaire (II)

CD : $\dot{e}$ croît : — tertiaire (III)

A priori, le fluage apparaît pour n'importe quelle T. Mais la σ à appliquer sont d'autant + que T est ↑.

Fluage = défo permanente : si on arrête la σ : $e = e_{\text{d'arrêt}} = y$

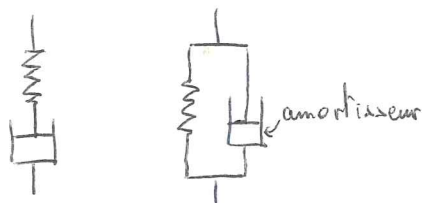
En fait, il y a 1 retard de la déformatio vs à la contrainte : cause diffusionnelle, des sauts atomiques.



W/m de vol : dégagent d'1 certaine quantité de chaleur.

→ phénomène anelastique

ce phénomène rentre en jeu de le fluage. Tout est la viscoélasticité :



→ matériaux polymères par ex.

pour ce phénom, les distances mises en jeu sont + importantes (déformat importantes).

On s'intéressera surtout à la déformat plastique :

- I: Au fur et à mesure du t, le matériau devient de + en + résistant. C'est l'équivalent de l'écrasement de le cas de la déformat instan. On augmente le nb de dislocat.
- II: équilibre dynamique : stabilité de la struct. Le matériau résiste mieux. Le taux de dislocat de le matériau reste $\approx$ de. (on élimine autant de dislocat que l'on en crée).

III:

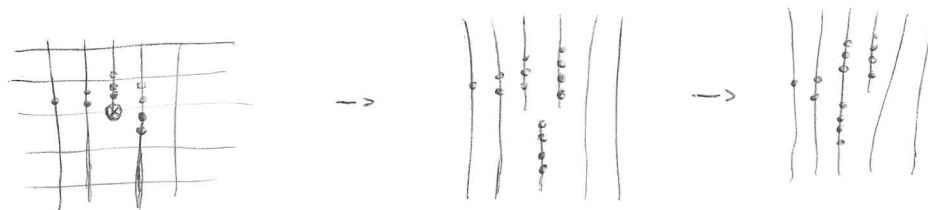


créat de cavités entre les grains
→ point de faiblesse, qui diminue

la sect efficace du matériau. Tout se passe $\hat{=}$ si on augmentait la contrainte appliquée.

1 Différents types de fluage en fct de T

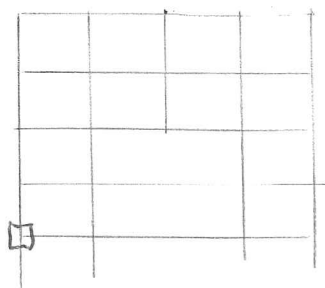
à bT : défo plastique = mvt des dislocat par glissement.



→ 1 marche / dislocat à la surface.

valable $\forall$ la T: pour des $T < 0,3 T_f$: c'est le phénom prépond.

On mvt par montée des dislocat :



par diffusion, la lacune va se déplacer.

$\dot{\epsilon}$: $D = D_0 \exp\left(-\frac{W}{RT}\right)$, + $T \uparrow$, + $D \uparrow$, + la lacune se déplacera facilement. Pour arriver sur la ligne de dislocation.

Si toute 1 rangée de lacune se déplace vers la ligne de dislocation : montée d'1 pas de réseau de la ligne de dislocation.

Le m^{tr} est dû à l'apport en lacune au syst.

Ce phénomène devient prépondérant à h.T. Plus précisément pour $T > 0,4 T_f$.

2 Fluage primaire et secondaire

2.1 Relations Temps / Fluage

Fluage logarithmique : (I)

$$\epsilon = \epsilon_c + \epsilon_p + \epsilon_0 \ln(1 + \nu t)$$

ϵ_p : dé^o plastique instantanée

ϵ_c : — élastique —

$$\dot{\epsilon} = \frac{\epsilon_0 \nu t}{1 + \nu t}$$

rencontrée pour des $\frac{T}{T_f} \approx 0,3$

ν = dé relative à la vitesse de dé^o variable de la

ϵ_0 = dé du matériau

Fluage parabolique : (II)

$$\epsilon = \epsilon_c + \epsilon_p + \beta t^m$$

$$\dot{\epsilon} = \beta m t^{m-1}$$

rencontrée pour $\frac{T}{T_f} > 0,3$

$m < 1$

Fluage secondaire :

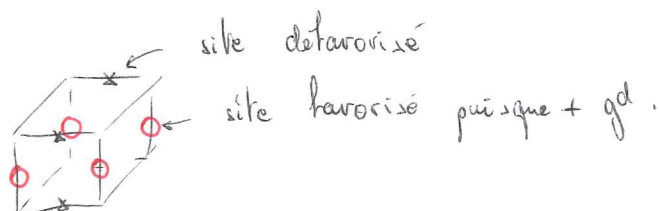
$$\epsilon = \epsilon_0 + v \cdot t$$

Fluage anélastique :

$$\epsilon = \epsilon_0 + \epsilon_p + \epsilon_a \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right)$$

τ : τ de relaxation du matériau.

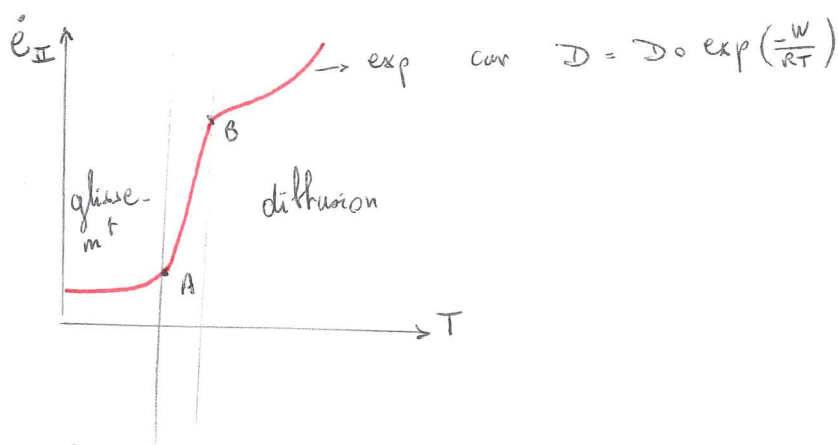
Qd le matériau est soumis à 1σ , on écarte les sites possibles de le sens de la direct de traction :



$\rightarrow$ on peut alors voir les at en site x , sauter sur les sites o .
Ceci met à certain temps : τ .

22 Influence de T

Pour étudier ce type de variat, on se place ds le cas du fluage secondaire.



23 Variat avec la contrainte

très souvent, à $T = \text{cte}$:

$$\dot{\epsilon} \propto \sigma^n$$

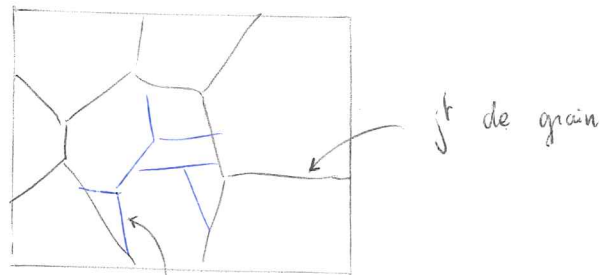
$$n > 1$$

3 Evolu^o de la structure en fonction du fluage

Matériau monophasé, polycristallin.

Freinage de dislocat^o par : - le j^t de grain

- le réseau de dislocat^o lui m^e.



réseau de Frank : par combinaisons successives
de dislocat^o : peu mobile

il reste la dislocat^o mobile, responsable de la dé^o plastique.

En début de fluage : $\approx$ pas de réseau.

Lors de la dé^o : sources de Frank-Read activées. Elles peuvent
être activées par le réseau lui m^e. (car elles
peuvent s'ancrer sur les nœuds du réseau).

Qd elles arrivent sur des obstacles : soit elles s'éliminent, soit elles
s'empilent, renforçant ainsi la barrière. Le mouvem^t de dislocat^o
va être de $\ominus$ en $\ominus$ rapide, puis qu'elles seront gênées par les dis-
locat^o précédentes $\rightarrow$ la vitesse diminue.

Qd on arrive à 1 vitesse telle que l'on crée autant de dislocat^o
que ce qu'on en élimine (par la montée, l'éliminatioⁿ reste constante),
on est alors en II.

$\rightarrow$ on crée des marches sur les cristaux, qui font apparai-
tre les cavités.

$\rightarrow$ fluage III.

4 Influence de T

Soit : i un mécanisme de fluage

ν une fonction représentant la fréquence de vibration de la struct ($f(T)$)

T la température

S l'entropie

St l'état de la struct

σ_i contrainte due au mécanisme i

ΔH_i enthalpie du mécanisme i

alors :

$$\dot{\epsilon} = \sum Z_i(\nu, T, S, St) \times \sigma_i(T, St) \exp\left(-\frac{\Delta H_i(T, St)}{RT}\right)$$

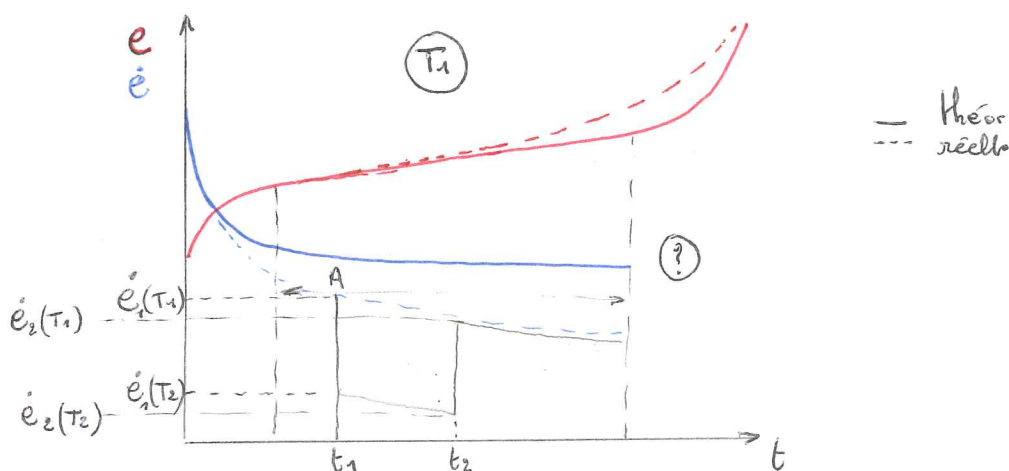
la vitesse de fluage est la conséquence des contributions de tous les mécanismes. Certains sont prépondérants pour certaines condit°.

$St = f(\text{nb de dislocat}, \text{taille des grains}, \text{taille et nb de précipités})$

Pour regarder l'évoluo de $\dot{\epsilon}$ en fct de T : on veut rendre Z_i et $\sigma_i \sim \text{indépend de } T$. Par ex :

en fluage primaire : St varie $\uparrow \Rightarrow Z$ et σ aussi.

$\rightarrow$ il faut travailler ds le domaine du fluage secondaire.

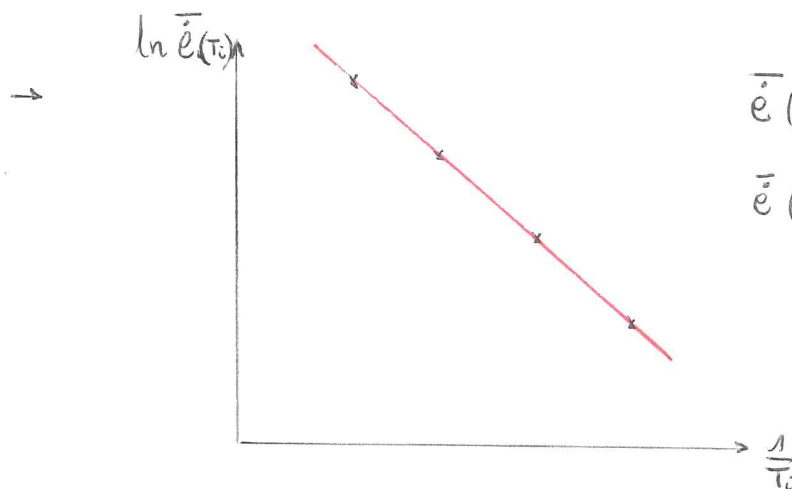


En fait la zone II est quasiment tout à fait linéaire, on obtient en pointillés.

En t_1 : fluage secondaire : struct $\sim$ stabilisée.

jusqu'au point A, on fait l'essai de fluage. Ensuite on abaisse T ,
 telle que $T_2 < T_1$, brutalement. La vitesse $\dot{\epsilon}$ diminue d'autant : courbe
 papier. Puis on remonte à T_1 . On a ainsi: $\dot{\epsilon}(T_2)$ et $\dot{\epsilon}(T_1)$.

On cherche la moyenne des 2 domaines: $\bar{\dot{\epsilon}}(T_1)$ $\bar{\dot{\epsilon}}(T_2)$



$$\bar{\dot{\epsilon}}(T_1) = \frac{\dot{\epsilon}_1^{t_1} + \dot{\epsilon}_2^{t_1}}{2}$$

$$\bar{\dot{\epsilon}}(T_2) = \frac{\dot{\epsilon}_1(T_2) + \dot{\epsilon}_2(T_2)}{2}$$

Marche si le t d'exposé à T_2 est court.

→ on peut exploiter pour avoir ΔH_i

St et S sont les seuls paramètres à pouvoir être $\pm$ fixés.

5 Influence de la contrainte sur le fluage

$$hT: \quad \dot{\epsilon} = k T^n \cdot f(T) \quad \text{expér}$$

k n'est pas sans dimensions.

Dorn: modification de cette loi pour avoir k sans dim:

$$\dot{\epsilon} = A' \frac{D^* G b}{k T} \left(\frac{\sigma}{G} \right)^n$$

G : module de cisaillement

b : vecteur de burgers moyen

D^* : coef auto diffusion ou A' sans dim.

marque pour la plupart des syst polycristallins.

loi $\propto$ au fluage (en $(\frac{\sigma}{a})^{\frac{1}{n}}$)

6 Les $\neq$ mécanismes de fluage

τ favorise le glissement

diffusion : permet de débloquent des dislocations.

dislocation :
 $\nearrow$ déplacement par glissement $\rightarrow$ contrainte ($b\tau$), montée localisée.
 $\searrow$ " par montée



$\perp$: plan de glissement (b, l) ne peut pas le quitter.

$\parallel$: $b \parallel l$ pas de plan de glissement : peut se déplacer + librement.

obstacles intranchissables : cohérents avec la matrice (réseau cristallin) ($\hat{m}$ ordre de grandeur que la maille du réseau).

$\rightarrow$ zones GP, θ'' de AlCu

obstacles franchissables : incohérents : θ' et θ

$\rightarrow$ de les 2 cas les dislocations sont bloquées (mécanisme d'Orowan).

Le fluage peut se faire soit par apport de contrainte, soit par apport de lacunes (cas du fluage) $\rightarrow$ passage du précipité ou de la struct résistante.

Fluage gouverné par glissement des dislocations (avec montées locales aux précipités) : $n = 4$

Fluage gouverné par la montée (totale) de dislocations : $n = 1$

7 Influence de la struct

7.1 Joints de grains

à $b\tau$: écoulement : loi de Hall-Petch : $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{-\frac{1}{2}}$

d = taille des grains.

→ + la struct possède de joints de grains (grains petits), + elle est dure à déformer par fluage.

à hT : struct à gros grain favorable. Le joint n'est pas 1 barrière car la diffusion l'emporte. Mais + il y a de grains, $\ominus$ ceux-ci peuvent s'accomoder de la déformation (les grains sont + petits).

→ qd $d \uparrow$, $\dot{\epsilon} \downarrow$

→ 1 mat sera bon à b ou hT, et mauvais à h ou bT resp.

72 Solus solides

basse T : durcissement

hT : tout dépend de D_A et D_B

73 Précipités

à hT : grossissent des précipités au cours du fluage → le durcissement décroît au cours du temps → fluage + facile.

Seuls les carbures n'induisent pas de vieillissement du mat.

74 Rupture

bT : type transgranulaire par clivage. } rupture fragile.
hT : type intergranulaire