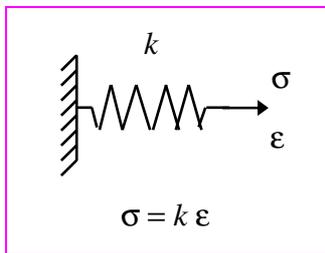


### Viscoplasticité

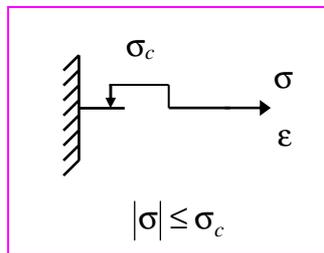
- Partage de la déformation en une partie élastique et une partie viscoplastique :

	$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^e + \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^{vp}$
Elasticité :	$\dot{\boldsymbol{\sigma}} = \mathbb{C} : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^e$
Loi de fluage :	$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^{vp} = \mathcal{F}(\boldsymbol{\sigma})$

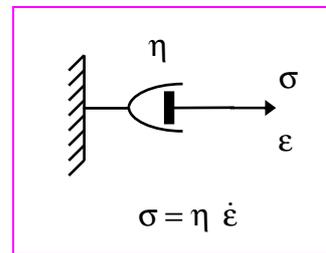
- Éléments rhéologiques de base :



Elastique



Plastique



Visqueux

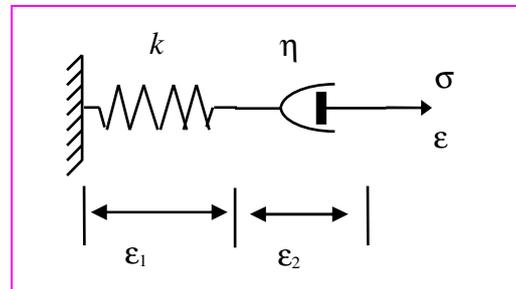
- Modèles analogiques

#### Matériau de Maxwell (non linéaire)

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = \frac{\dot{\boldsymbol{\sigma}}}{k} + \frac{\boldsymbol{\sigma}^n}{\eta s_0^{n-1}}$$

Relaxation (cas  $n=1$ )

$$t \geq t_0 ; \quad \boldsymbol{\sigma}(t) = k \boldsymbol{\varepsilon}_0 e^{-(t-t_0)/\tau}$$



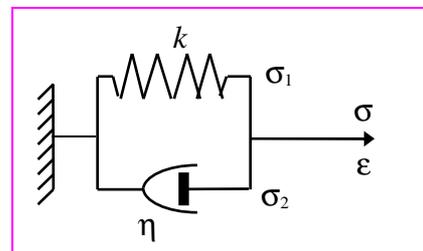
#### Matériau de Kelvin

$$\boldsymbol{\sigma} = k \boldsymbol{\varepsilon} + \eta \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}$$

Fluage :

$$t \geq t_0 ; \quad \boldsymbol{\varepsilon}(t) = \frac{\boldsymbol{\sigma}_0}{k} \left( 1 - e^{-(t-t_0)/\tau} \right)$$

Temps caractéristique :  $\tau = \frac{\eta}{k}$



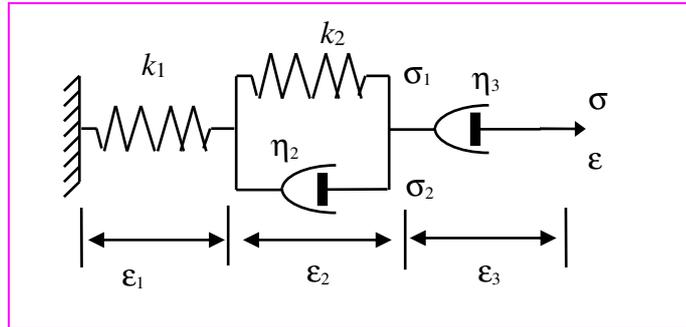
## Matériau de Burger

$$\begin{cases} \dot{\epsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{k_1} + \frac{\sigma - k_2 \epsilon_2}{\eta_2} + \frac{\sigma}{\eta_3} \\ \dot{\epsilon}_2 = \frac{\sigma - k_2 \epsilon_2}{\eta_2} \end{cases}$$

Variable interne  $\epsilon_2$

Temps caractéristique du fluage

primaire :  $\tau = \frac{\eta_2}{k_2}$



### • Modèle de Norton-Hoff

Fluage uniaxiale :  $\dot{\epsilon}^{vp} = a \sigma^n$ , ou  $\dot{\epsilon}^{vp} = \sigma^n / (\eta s_0^{n-1})$ ,  $\eta$  et  $s_0$  des paramètres constants

Extension 3D à partir de la contrainte équivalente de Mises :

$$\dot{\boldsymbol{\epsilon}}^{vp} = \frac{3}{2\eta} \left( \frac{\sigma_e}{s_0} \right)^{n-1} \boldsymbol{S}$$

avec  $\boldsymbol{S}$  le déviateur des contraintes et  $\sigma_e = \sqrt{\frac{3}{2} \boldsymbol{S} : \boldsymbol{S}}$  contrainte équivalente de Mises.

### • Modèle de Lemaître :

Fluage uniaxiale :  $\epsilon^{vp}(t) = a \sigma^n t^\alpha$

Variable interne :  $\xi = |\epsilon^{vp}|^{1/\alpha}$ ,  $\dot{\epsilon}^{vp} = \alpha \xi^{\alpha-1}$ ,  $\dot{\xi} = (a \sigma^n)^{1/\alpha}$

Extension 3D à partir de la contrainte équivalente de Mises :

$$\dot{\boldsymbol{\epsilon}}^{vp} = \frac{3\alpha}{2\sigma_e} \xi^{\alpha-1} \boldsymbol{S}, \quad \dot{\xi} = (a \sigma_e^n)^{1/\alpha}$$