

# Procédés de Fabrication I - IGI

## Chapitre 2. Propriétés Mécaniques des Matériaux

22 octobre 2024

# Programme de la première partie

1. Introduction
2. Description de l'expérience de traction uniaxiale
3. La contrainte en plasticité, Loi de Ludwik et courbe de traction réelle
4. Décharge et relaxation

## 2.1.1 Généralités

### Observation

*Dans la plupart des procédés, la mise en forme de la matière première est basée sur les déformations plastiques. Exemple :*

- *formage des métaux : laminage, forgeage, extrusion, étirage,*
- *formage des feuilles : pliage, emboutissage, découpage,*
- *procédés de coupe (fraisage, perçage, décolletage).*

## 2.1.1 Généralités

### Observation

*Dans la plupart des procédés, la mise en forme de la matière première est basée sur les déformations plastiques. Exemple :*

- *formage des métaux : laminage, forgeage, extrusion, étirage,*
- *formage des feuilles : pliage, emboutissage, découpage,*
- *procédés de coupe (fraisage, perçage, décolletage).*

### Conséquence

*La planification puis l'optimisation des procédés de production cités plus haut est essentiellement conditionnée par les **propriétés mécaniques (élastiques et surtout plastiques)** du matériau à usiner.*

## 2.1.1 Généralités

### Observation

*Dans la plupart des procédés, la mise en forme de la matière première est basée sur les déformations plastiques. Exemple :*

- *formage des métaux : laminage, forgeage, extrusion, étirage,*
- *formage des feuilles : pliage, emboutissage, découpage,*
- *procédés de coupe (fraisage, perçage, décolletage).*

### Conséquence

*La planification puis l'optimisation des procédés de production cités plus haut est essentiellement conditionnée par les **propriétés mécaniques (élastiques et surtout plastiques)** du matériau à usiner.*

### Remarque

*Il existe d'autres procédés comme la fonderie ou l'injection dont les performances dépendent plutôt des **propriétés thermiques** du matériau à mettre en forme. Ce sujet sera traité dans le chapitre suivant.*

## 2.1.1 Généralités

### Observation

*Dans la plupart des procédés, la mise en forme de la matière première est basée sur les déformations plastiques. Exemple :*

- *formage des métaux : laminage, forgeage, extrusion, étirage,*
- *formage des feuilles : pliage, emboutissage, découpage,*
- *procédés de coupe (fraisage, perçage, décolletage).*

### Conséquence

*La planification puis l'optimisation des procédés de production cités plus haut est essentiellement conditionnée par les **propriétés mécaniques (élastiques et surtout plastiques)** du matériau à usiner.*

### Remarque

*Il existe d'autres procédés comme la fonderie ou l'injection dont les performances dépendent plutôt des **propriétés thermiques** du matériau à mettre en forme. Ce sujet sera traité dans le chapitre suivant.*

## 2.1.2 Objectifs du chapitre

### Principales propriétés mécaniques :

<b>Nom</b>	<b>Symbole</b>	<b>Unité</b>
<i>Le module d'élasticité</i> .....	$E$	[GPa]
<i>Le coefficient de Poisson</i> .....	$\nu$	[-]
<i>Le coefficient d'érouissage</i> .....	$n$	[-]
<i>Le module d'érouissage</i> .....	$K$	[MPa]
<i>La limite élastique</i> .....	$R_e$	[MPa]
<i>La résistance à la traction</i> .....	$R_m$	[MPa]
<i>Le taux de déformation réel à la rupture</i> .....	$\epsilon_{ult}$	[-]
<i>La dureté</i> .....	$HB, HV, HK$	[kg/mm <sup>2</sup> ]
...	...	...

## 2.1.2 Objectifs du chapitre

### Principales propriétés mécaniques :

<b>Nom</b>	<b>Symbole</b>	<b>Unité</b>
<i>Le module d'élasticité</i> .....	$E$	[GPa]
<i>Le coefficient de Poisson</i> .....	$\nu$	[-]
<i>Le coefficient d'écroutissement</i> .....	$n$	[-]
<i>Le module d'écroutissement</i> .....	$K$	[MPa]
<i>La limite élastique</i> .....	$R_e$	[MPa]
<i>La résistance à la traction</i> .....	$R_m$	[MPa]
<i>Le taux de déformation réel à la rupture</i> .....	$\epsilon_{ult}$	[-]
<i>La dureté</i> .....	$HB, HV, HK$	[kg/mm <sup>2</sup> ]
...	...	...

► Dictionnaire anglais

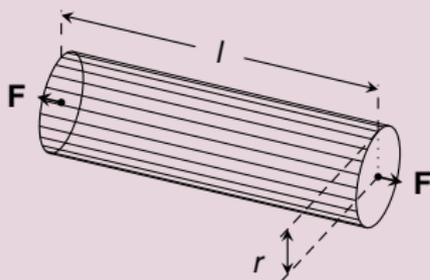
## 2.1.2 Objectifs du chapitre

### Principales propriétés mécaniques :

<b>Nom</b>	<b>Symbole</b>	<b>Unité</b>
<i>Le module d'élasticité</i> .....	$E$	[GPa]
<i>Le coefficient de Poisson</i> .....	$\nu$	[-]
<i>Le coefficient d'écroutissement</i> .....	$n$	[-]
<i>Le module d'écroutissement</i> .....	$K$	[MPa]
<i>La limite élastique</i> .....	$R_e$	[MPa]
<i>La résistance à la traction</i> .....	$R_m$	[MPa]
<i>Le taux de déformation réel à la rupture</i> .....	$\epsilon_{ult}$	[-]
<i>La dureté</i> .....	$HB, HV, HK$	[kg/mm <sup>2</sup> ]
...	...	...

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle

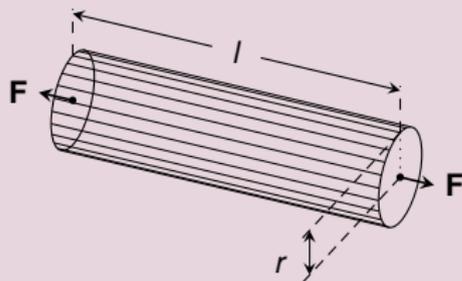


- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé *contrainte de traction réelle*

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle



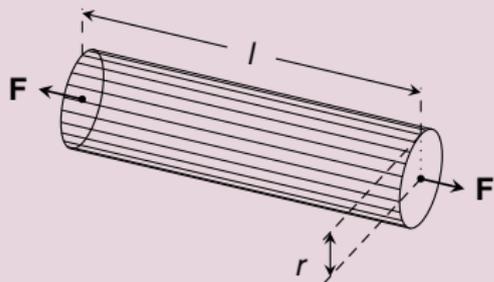
- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé *contrainte de traction réelle*

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

(1)

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle

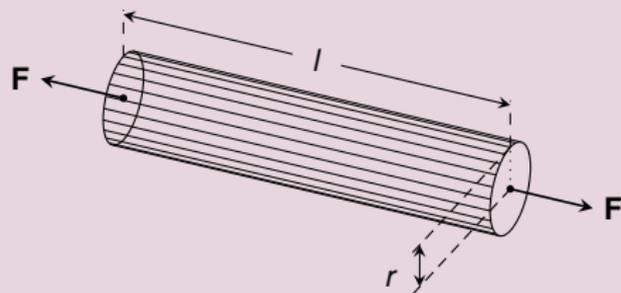


- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé *contrainte de traction réelle*

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle

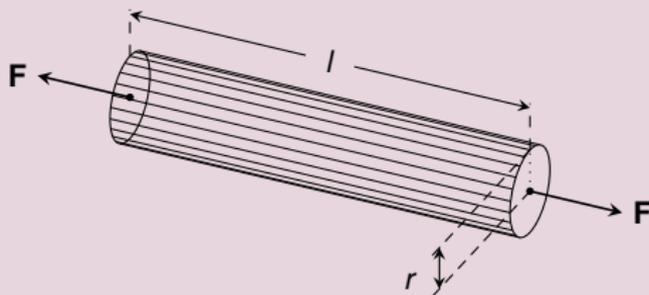


- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé *contrainte de traction réelle*

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle

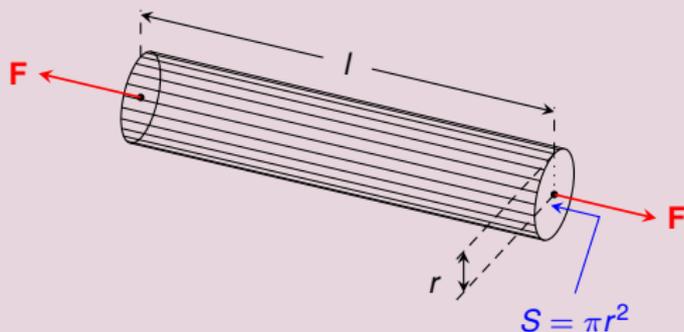


- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé contrainte de traction réelle

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle



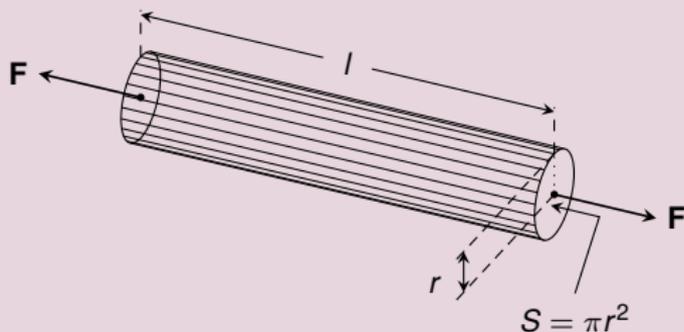
- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé contrainte de traction réelle

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

(1)

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle



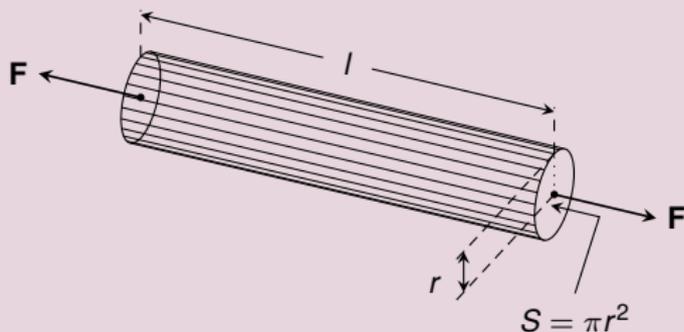
- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé contrainte de traction réelle

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

(1)

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle

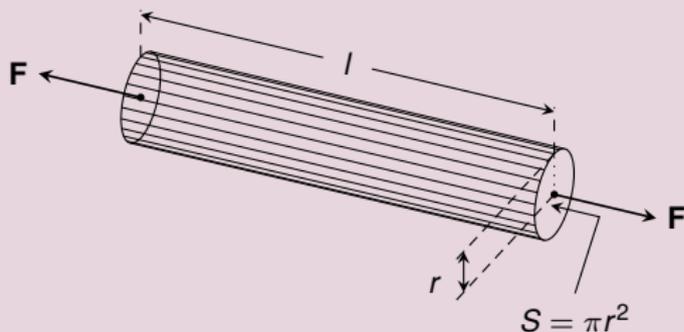


- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé *contrainte de traction réelle*

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle

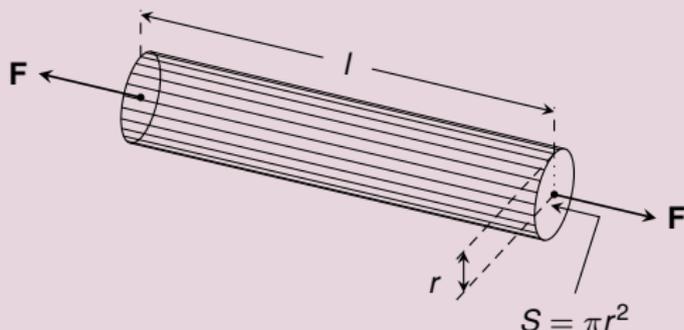


- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon. Le rapport entre la force et la section courante en donne une meilleure idée.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé *contrainte de traction réelle*

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle

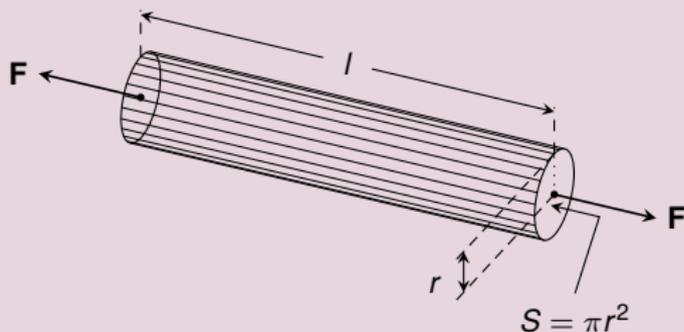


- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon. Le rapport entre la force et la section courante en donne une meilleure idée.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé contrainte de traction **réelle**

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \text{unité : MPa} \quad (1)$$

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle



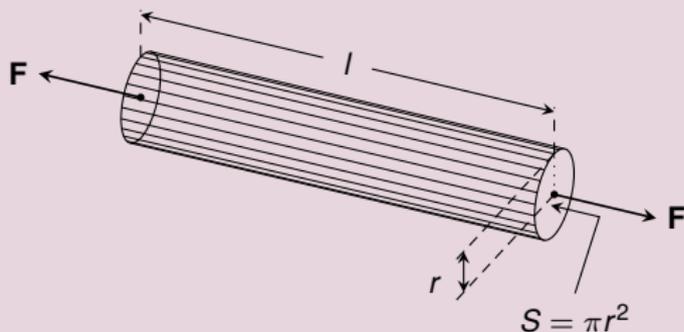
- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon. Le rapport entre la force et la section courante en donne une meilleure idée.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé contrainte de traction **réelle**

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \text{unité : MPa} \quad (1)$$

Quelle est l'unité de la contrainte de traction réelle ?

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle



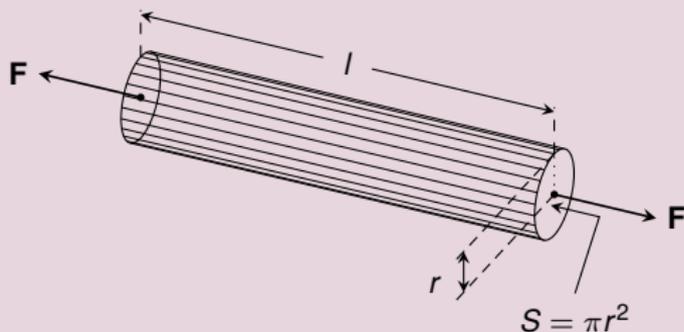
- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon. Le rapport entre la force et la section courante en donne une meilleure idée.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé **contrainte de traction réelle**

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \text{unité : MPa} \quad (1)$$

Quelle est l'unité de la contrainte de traction réelle ?

## 2.2.1 Expérience de traction et contrainte

### Force et contrainte réelle



- Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force  $F$  croissante.
- La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon. Le rapport entre la force et la section courante en donne une meilleure idée.
- Ce rapport est noté  $\sigma$  et appelé contrainte de traction **réelle**

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \text{unité : MPa} \quad (1)$$

Définition (1) de la contrainte réelle aux Tableaux

## 2.2.2 Lois infinitésimales

### Etude d'un épisode de traction infinitésimal



- Si la contrainte de traction  $\sigma$  augmente d'une quantité infinitésimale  $d\sigma$  la longueur  $l$  et le rayon  $r$  de l'échantillon varient de  $dl$  et respectivement  $dr$ .
- Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent élastiques, les variations relatives  $dl/l$  et  $dr/r$  sont en proportion de  $d\sigma$  :

$$\frac{dl}{l} = \frac{1}{E} d\sigma \quad (\text{Loi de Hooke infinitésimale})$$

$$\frac{dr}{r} = -\nu \frac{1}{E} d\sigma \quad (\text{Loi de Poisson infinitésimale})$$

que veut dire élastique ?

## 2.2.2 Lois infinitésimales

### Etude d'un épisode de traction infinitésimal



- Si la contrainte de traction  $\sigma$  augmente d'une quantité infinitésimale  $d\sigma$  la longueur  $l$  et le rayon  $r$  de l'échantillon varient de  $dl$  et respectivement  $dr$ .
- Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent élastiques, les variations relatives  $dl/l$  et  $dr/r$  sont en proportion de  $d\sigma$  :

## 2.2.2 Lois infinitésimales

### Etude d'un épisode de traction infinitésimal



- Si la contrainte de traction  $\sigma$  augmente d'une quantité infinitésimale  $d\sigma$  la longueur  $\ell$  et le rayon  $r$  de l'échantillon varient de  $d\ell$  et respectivement  $dr$ .
- Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent élastiques, les variations relatives  $d\ell/\ell$  et  $dr/r$  sont en proportion de  $d\sigma$  :

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E} d\sigma \quad (\text{Loi de Hooke infinitésimale}) \quad (2)$$

$$\frac{dr}{r} = -\frac{1}{E'} d\sigma \quad (\text{Loi de Hooke-Poisson infinitésimale}). \quad (3)$$

## 2.2.2 Lois infinitésimales

### Etude d'un épisode de traction infinitésimal



- Si la contrainte de traction  $\sigma$  augmente d'une quantité infinitésimale  $d\sigma$  la longueur  $\ell$  et le rayon  $r$  de l'échantillon varient de  $d\ell$  et respectivement  $dr$ .
- Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent élastiques, les variations relatives  $d\ell/\ell$  et  $dr/r$  sont en proportion de  $d\sigma$  :

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E} d\sigma \quad (\text{Loi de Hooke infinitésimale}) \quad (2)$$

$$\frac{dr}{r} = -\frac{1}{E'} d\sigma \quad (\text{Loi de Hooke-Poisson infinitésimale}). \quad (3)$$

Cela est lié à la réversibilité : l'état de contrainte ne modifie pas la déformabilité de la matière

## 2.2.2 Lois infinitésimales

### Etude d'un épisode de traction infinitésimal



- Si la contrainte de traction  $\sigma$  augmente d'une quantité infinitésimale  $d\sigma$  la longueur  $l$  et le rayon  $r$  de l'échantillon varient de  $d\ell$  et respectivement  $dr$ .
- Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent élastiques, les variations relatives  $d\ell/\ell$  et  $dr/r$  sont en proportion de  $d\sigma$  :

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E} d\sigma \quad \text{(Loi de Hooke infinitésimale)} \quad (2)$$

$$\frac{dr}{r} = -\frac{1}{E'} d\sigma \quad \text{(Loi de Hooke-Poisson infinitésimale).} \quad (3)$$

où  $E, E' > 0$  sont les modules d'Young et de Young-Poisson.

## 2.2.2 Lois infinitésimales

### Etude d'un épisode de traction infinitésimal



- Si la contrainte de traction  $\sigma$  augmente d'une quantité infinitésimale  $d\sigma$  la longueur  $l$  et le rayon  $r$  de l'échantillon varient de  $dl$  et respectivement  $dr$ .
- Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent élastiques, les variations relatives  $dl/l$  et  $dr/r$  sont en **proportion** de  $d\sigma$  :

$$\frac{dl}{l} = \frac{1}{E} d\sigma \quad (\text{Loi de Hooke infinitésimale}) \quad (2)$$

$$\frac{dr}{r} = -\frac{1}{E'} d\sigma \quad (\text{Loi de Hooke-Poisson infinitésimale}). \quad (3)$$

où  $E, E' > 0$  sont les modules d'Young et de Young-Poisson.

$E$  et  $E'$  sont des coefficients de proportionnalité. Ils caractérisent le matériau, quels sont leurs noms ?

## 2.2.2 Lois infinitésimales

### Etude d'un épisode de traction infinitésimal



- Si la contrainte de traction  $\sigma$  augmente d'une quantité infinitésimale  $d\sigma$  la longueur  $\ell$  et le rayon  $r$  de l'échantillon varient de  $d\ell$  et respectivement  $dr$ .
- Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent élastiques, les variations relatives  $d\ell/\ell$  et  $dr/r$  sont en **proportion** de  $d\sigma$  :

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E} d\sigma \quad (\text{Loi de Hooke infinitésimale}) \quad (2)$$

$$\frac{dr}{r} = -\frac{1}{E'} d\sigma \quad (\text{Loi de Hooke-Poisson infinitésimale}). \quad (3)$$

où  $E, E' > 0$  sont les modules d'Young et de Young-Poisson. *Le signe moins dans la seconde relation dit que le rayon diminue si la traction augmente.*

$E$  et  $E'$  sont des coefficients de proportionalité. Ils caractérisent le matériau, quels sont leurs noms ?

## 2.2.2 Lois infinitésimales

### Etude d'un épisode de traction infinitésimal



- Si la contrainte de traction  $\sigma$  augmente d'une quantité infinitésimale  $d\sigma$  la longueur  $l$  et le rayon  $r$  de l'échantillon varient de  $dl$  et respectivement  $dr$ .
- Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent élastiques, les variations relatives  $dl/l$  et  $dr/r$  sont en proportion de  $d\sigma$  :

$$\frac{dl}{l} = \frac{1}{E} d\sigma \quad \text{(Loi de Hooke infinitésimale)} \quad (2)$$

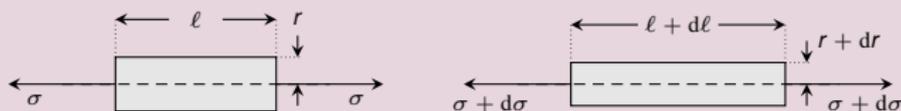
$$\frac{dr}{r} = -\frac{1}{E'} d\sigma \quad \text{(Loi de Hooke-Poisson infinitésimale).} \quad (3)$$

où  $E, E' > 0$  sont les modules d'Young et de Young-Poisson. *Le signe moins dans la seconde relation dit que le rayon diminue si la traction augmente.*

Observez le signe moins dans l'équation (3), que veut-il dire ?

## 2.2.2 Lois infinitésimales

### Etude d'un épisode de traction infinitésimal



- Si la contrainte de traction  $\sigma$  augmente d'une quantité infinitésimale  $d\sigma$  la longueur  $\ell$  et le rayon  $r$  de l'échantillon varient de  $d\ell$  et respectivement  $dr$ .
- Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent élastiques, les variations relatives  $d\ell/\ell$  et  $dr/r$  sont en proportion de  $d\sigma$  :

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E} d\sigma \quad \text{(Loi de Hooke infinitésimale)} \quad (2)$$

$$\frac{dr}{r} = -\frac{1}{E'} d\sigma \quad \text{(Loi de Hooke-Poisson infinitésimale).} \quad (3)$$

où  $E, E' > 0$  sont les modules d'Young et de Young-Poisson. Le signe **moins** dans la seconde relation dit que le rayon diminue si la traction augmente.

Observez le signe moins dans l'équation (3), que veut-il dire ?

## 2.2.2 Lois infinitésimales

### Etude d'un épisode de traction infinitésimal



- Si la contrainte de traction  $\sigma$  augmente d'une quantité infinitésimale  $d\sigma$  la longueur  $l$  et le rayon  $r$  de l'échantillon varient de  $dl$  et respectivement  $dr$ .
- Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent élastiques, les variations relatives  $dl/l$  et  $dr/r$  sont en proportion de  $d\sigma$  :

$$\frac{dl}{l} = \frac{1}{E} d\sigma \quad (\text{Loi de Hooke infinitésimale}) \quad (2)$$

$$\frac{dr}{r} = -\frac{1}{E'} d\sigma \quad (\text{Loi de Hooke-Poisson infinitésimale}). \quad (3)$$

où  $E, E' > 0$  sont les modules d'Young et de Young-Poisson. Le signe moins dans la seconde relation dit que le rayon diminue si la traction augmente.

Equations infinitésimales (2) et (3) aux Tableaux

## 2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

### Les caractéristiques élastiques de la matière

- *Le module d'Young est une caractéristique fondamentale des propriétés élastiques du matériau dont est fait l'échantillon.*
- *Le module d'Young-Poisson  $E'$  est aussi une caractéristique de l'échantillon, mais elle n'est pas très célèbre. La caractéristique qui est devenue fameuse est plutôt le rapport entre  $E$  et  $E'$ .*

$$\frac{E}{E'}$$

- *En éliminant le module d'Young-Poisson  $E'$  au profit du coefficient de Poisson, les accroissements relatifs de longueur et de rayon suscités par une augmentation élastique de contrainte de traction valent :*

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E} d\sigma \quad (4)$$

## 2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

### Les caractéristiques élastiques de la matière

- *Le module d'Young est une caractéristique fondamentale des propriétés élastiques du matériau dont est fait l'échantillon.*
- *Le module d'Young-Poisson  $E'$  est aussi une caractéristique de l'échantillon, mais elle n'est pas très célèbre. La caractéristique qui est devenue fameuse est plutôt le rapport entre  $E$  et  $E'$ . Ce rapport est noté  $\nu$  et appelé coefficient de Poisson :*

$$\nu = \frac{E}{E'}$$

- *En éliminant le module d'Young-Poisson  $E'$  au profit du coefficient de Poisson, les accroissements relatifs de longueur et de rayon suscités par une augmentation élastique de contrainte de traction valent :*

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E} d\sigma \quad (4)$$

## 2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

### Les caractéristiques élastiques de la matière

- *Le module d'Young est une caractéristique fondamentale des propriétés élastiques du matériau dont est fait l'échantillon.*
- *Le module d'Young-Poisson  $E'$  est aussi une caractéristique de l'échantillon, mais elle n'est pas très célèbre. La caractéristique qui est devenue fameuse est plutôt le rapport entre  $E$  et  $E'$ . ce rapport est noté  $\nu$  et appelé **coefficient de Poisson** :*

$$\nu = \frac{E}{E'} \implies E' = \frac{E}{\nu}$$

- *En éliminant le module d'Young-Poisson  $E'$  au profit du coefficient de Poisson, les accroissements relatifs de longueur et de rayon suscités par une augmentation élastique de contrainte de traction valent :*

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E} d\sigma \tag{4}$$

## 2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

### Les caractéristiques élastiques de la matière

- *Le module d'Young est une caractéristique fondamentale des propriétés élastiques du matériau dont est fait l'échantillon.*
- *Le module d'Young-Poisson  $E'$  est aussi une caractéristique de l'échantillon, mais elle n'est pas très célèbre. La caractéristique qui est devenue fameuse est plutôt le rapport entre  $E$  et  $E'$ . ce rapport est noté  $\nu$  et appelé **coefficient de Poisson** :*

$$\nu = \frac{E}{E'} \implies E' = \frac{E}{\nu}.$$

- *En éliminant le module d'Young-Poisson  $E'$  au profit du coefficient de Poisson, les accroissements relatifs de longueur et de rayon suscités par une augmentation élastique de contrainte de traction valent :*

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E} d\sigma \tag{4}$$

## 2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

### Les caractéristiques élastiques de la matière

- *Le module d'Young est une caractéristique fondamentale des propriétés élastiques du matériau dont est fait l'échantillon.*
- *Le module d'Young-Poisson  $E'$  est aussi une caractéristique de l'échantillon, mais elle n'est pas très célèbre. La caractéristique qui est devenue fameuse est plutôt le rapport entre  $E$  et  $E'$ . ce rapport est noté  $\nu$  et appelé **coefficient de Poisson** :*

$$\nu = \frac{E}{E'} \implies E' = \frac{E}{\nu}$$

- *En éliminant le module d'Young-Poisson  $E'$  au profit du coefficient de Poisson, les accroissements relatifs de longueur et de rayon suscités par une augmentation élastique de contrainte de traction valent :*

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E} d\sigma \quad \text{et} \quad \frac{dr}{r} = -\nu \frac{d\sigma}{E} \quad (4)$$

Éliminons  $E'$  qui n'est pas célèbre

## 2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

### Les caractéristiques élastiques de la matière

- *Le module d'Young est une caractéristique fondamentale des propriétés élastiques du matériau dont est fait l'échantillon.*
- *Le module d'Young-Poisson  $E'$  est aussi une caractéristique de l'échantillon, mais elle n'est pas très célèbre. La caractéristique qui est devenue fameuse est plutôt le rapport entre  $E$  et  $E'$ . ce rapport est noté  $\nu$  et appelé **coefficient de Poisson** :*

$$\nu = \frac{E}{E'} \implies E' = \frac{E}{\nu}.$$

- *En éliminant le module d'Young-Poisson  $E'$  au profit du coefficient de Poisson, les accroissements relatifs de longueur et de rayon suscités par une augmentation élastique de contrainte de traction valent :*

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E} d\sigma \quad \text{et} \quad \frac{dr}{r} = -\frac{\nu}{E} d\sigma \quad (4)$$

Éliminons  $E'$  qui n'est pas célèbre

## 2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

### Les caractéristiques élastiques de la matière

- *Le module d'Young est une caractéristique fondamentale des propriétés élastiques du matériau dont est fait l'échantillon.*
- *Le module d'Young-Poisson  $E'$  est aussi une caractéristique de l'échantillon, mais elle n'est pas très célèbre. La caractéristique qui est devenue fameuse est plutôt le rapport entre  $E$  et  $E'$ . ce rapport est noté  $\nu$  et appelé **coefficient de Poisson** :*

$$\nu = \frac{E}{E'} \implies E' = \frac{E}{\nu}.$$

- *En éliminant le module d'Young-Poisson  $E'$  au profit du coefficient de Poisson, les accroissements relatifs de longueur et de rayon suscités par une augmentation élastique de contrainte de traction valent :*

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E}d\sigma \quad \text{et} \quad \frac{dr}{r} = -\frac{\nu}{E}d\sigma. \quad (4)$$

## 2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

### Les caractéristiques élastiques de la matière

- *Le module d'Young est une caractéristique fondamentale des propriétés élastiques du matériau dont est fait l'échantillon.*
- *Le module d'Young-Poisson  $E'$  est aussi une caractéristique de l'échantillon, mais elle n'est pas très célèbre. La caractéristique qui est devenue fameuse est plutôt le rapport entre  $E$  et  $E'$ . ce rapport est noté  $\nu$  et appelé **coefficient de Poisson** :*

$$\nu = \frac{E}{E'} \implies E' = \frac{E}{\nu}.$$

- *En éliminant le module d'Young-Poisson  $E'$  au profit du coefficient de Poisson, les accroissements relatifs de longueur et de rayon suscités par une augmentation élastique de contrainte de traction valent :*

$$\frac{d\ell}{\ell} = \frac{1}{E}d\sigma \quad \text{et} \quad \frac{dr}{r} = -\frac{\nu}{E}d\sigma. \quad (4)$$

## 2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

### Les caractéristiques élastiques de la matière

- *Le module d'Young est une caractéristique fondamentale des propriétés élastiques du matériau dont est fait l'échantillon.*
- *Le module d'Young-Poisson  $E'$  est aussi une caractéristique de l'échantillon, mais elle n'est pas très célèbre. La caractéristique qui est devenue fameuse est plutôt le rapport entre  $E$  et  $E'$ . ce rapport est noté  $\nu$  et appelé **coefficient de Poisson** :*

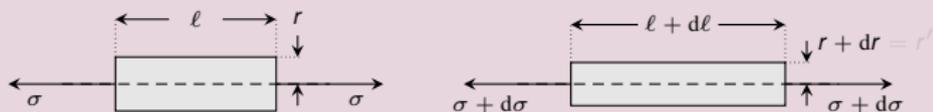
$$\nu = \frac{E}{E'} \implies E' = \frac{E}{\nu}.$$

- *En éliminant le module d'Young-Poisson  $E'$  au profit du coefficient de Poisson, les accroissements relatifs de longueur et de rayon suscités par une augmentation élastique de contrainte de traction valent :*

$$\frac{dl}{l} = \frac{1}{E}d\sigma \quad \text{et} \quad \frac{dr}{r} = -\frac{\nu}{E}d\sigma. \quad (4)$$

Corriger l'équation de Hooke-Poisson infinitésimale aux Tableaux

## 2.2.4 Episode microscopique



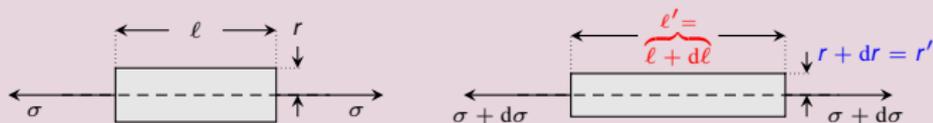
- L'augmentation  $d\sigma$  (très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs  $l, r$  aux valeurs  $l', r'$  :

$$l' = l + dl = \left(1 + \frac{dl}{l}\right) l$$

$$r' = r + dr = \left(1 + \frac{dr}{r}\right) r$$

- L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif :

## 2.2.4 Episode microscopique



- L'augmentation  $d\sigma$  (très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs  $l, r$  aux valeurs  $l', r'$  :

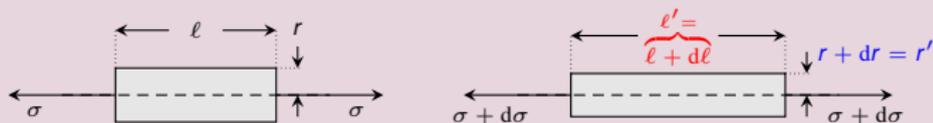
$$l' = l + dl = \left(1 + \frac{dl}{l}\right) l$$

$$r' = r + dr = \left(1 + \frac{dr}{r}\right) r$$

- L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif :

On reconnaît  $l'$  et  $r'$  sur le dessin

## 2.2.4 Episode microscopique



- L'augmentation  $d\sigma$  (très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs  $l, r$  aux valeurs  $l', r'$  :

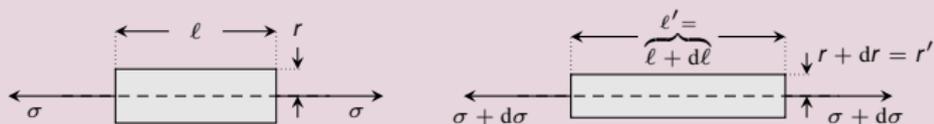
$$l' = l + dl = \left(1 + \frac{dl}{l}\right) l = \left(1 + \frac{\nu}{E} \sigma\right) l$$

$$r' = r + dr = \left(1 + \frac{dr}{r}\right) r = \left(1 - \frac{\nu}{E} \sigma\right) r$$

- L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif :

On reconnaît  $l'$  et  $r'$  sur le dessin

## 2.2.4 Episode microscopique



- L'augmentation  $d\sigma$  (très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs  $l, r$  aux valeurs  $l', r'$  :

$$l' = l + dl = \left(1 + \frac{dl}{l}\right) l = \left(1 + \frac{\nu}{E} \sigma\right) l$$

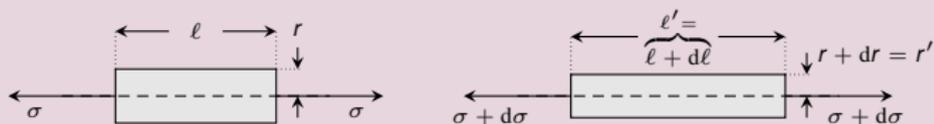
$$r' = r + dr = \left(1 + \frac{dr}{r}\right) r = \left(1 - \frac{\nu}{E} \sigma\right) r$$

- L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif :

Factorisons  $l$  et  $r$  au membre de droite



## 2.2.4 Episode microscopique



- L'augmentation  $d\sigma$  (très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs  $l, r$  aux valeurs  $l', r'$  :

$$l' = l + dl = \left(1 + \frac{dl}{l}\right) l = \left(1 + \frac{1}{E} d\sigma\right) l$$

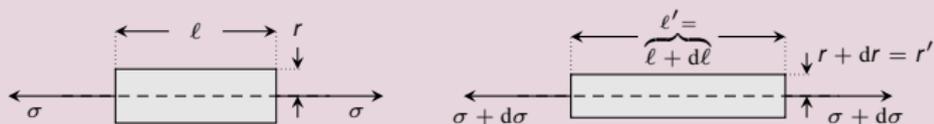
$$r' = r + dr = \left(1 + \frac{dr}{r}\right) r = \left(1 - \frac{\nu}{E} d\sigma\right) r$$

- L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif :

Factorisons  $l$  et  $r$  au membre de droite



## 2.2.4 Episode microscopique



- L'augmentation  $d\sigma$  (très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs  $l, r$  aux valeurs  $l', r'$  :

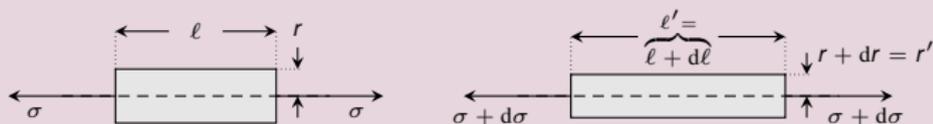
$$l' = l + dl = \left(1 + \frac{dl}{l}\right) l = \left(1 + \frac{1}{E} d\sigma\right) l$$

$$r' = r + dr = \left(1 + \frac{dr}{r}\right) r = \left(1 - \frac{\nu}{E} d\sigma\right) r$$

- L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif :

Utilisons les lois de Hooke, Hooke Poisson infinit. pour exprimer les variations relatives de  $l$  et  $r$

## 2.2.4 Episode microscopique



- L'augmentation  $d\sigma$  (très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs  $\ell, r$  aux valeurs  $\ell', r'$  :

$$\ell' = \ell + d\ell = \left(1 + \frac{d\ell}{\ell}\right) \ell = \left(1 + \frac{1}{E} d\sigma\right) \ell$$

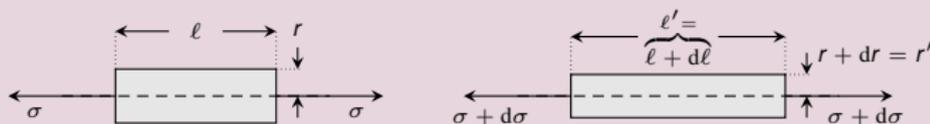
$$r' = r + dr = \left(1 + \frac{dr}{r}\right) r = \left(1 - \frac{\nu}{E} d\sigma\right) r$$

- L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : c'est une amplification d'un facteur  $> 1$  pour la longueur

$$1 + \frac{1}{E} d\sigma \quad (\text{pt. la longu.})$$

Utilisons les lois de Hooke, Hooke Poisson infinit. pour exprimer les variations relatives de  $\ell$  et  $r$

## 2.2.4 Episode microscopique



- L'augmentation  $d\sigma$  (très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs  $l, r$  aux valeurs  $l', r'$  :

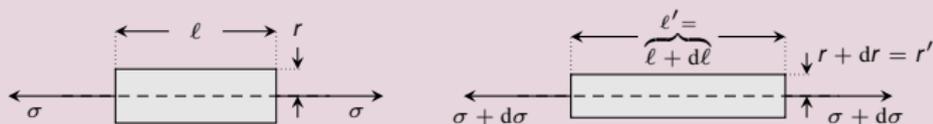
$$l' = l + dl = \left(1 + \frac{dl}{l}\right) l = \left(1 + \frac{1}{E}d\sigma\right) l$$

$$r' = r + dr = \left(1 + \frac{dr}{r}\right) r = \left(1 - \frac{\nu}{E}d\sigma\right) r$$

- L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : c'est une amplification d'un facteur  $> 1$  pour la longueur et une réduction d'un facteur  $< 1$ , pour le rayon

$$1 + \frac{1}{E}d\sigma \quad (\text{pr. la longu.}) \quad 1 - \frac{\nu}{E}d\sigma \quad (\text{pr. le rayon})$$

## 2.2.4 Episode microscopique



- L'augmentation  $d\sigma$  (très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs  $\ell, r$  aux valeurs  $\ell', r'$  :

$$\ell' = \ell + d\ell = \left(1 + \frac{d\ell}{\ell}\right) \ell = \left(1 + \frac{1}{E}d\sigma\right) \ell$$

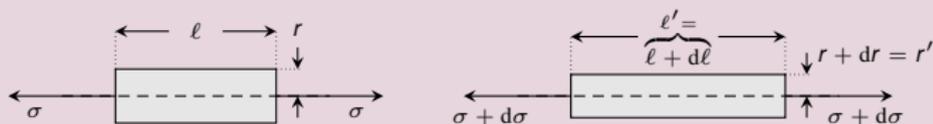
$$r' = r + dr = \left(1 + \frac{dr}{r}\right) r = \left(1 - \frac{\nu}{E}d\sigma\right) r$$

- L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : c'est une amplification d'un facteur  $> 1$  pour la longueur et une réduction d'un facteur  $< 1$ , pour le rayon

$$1 + \frac{1}{E}d\sigma \quad (\text{pr. la longu.}) \quad 1 - \frac{\nu}{E}d\sigma \quad (\text{pr. le rayon})$$

*Bien sûr, ce n'est vrai que si les déformations qu'on considère sont élastiques !*

## 2.2.4 Episode microscopique



- L'augmentation  $d\sigma$  (très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs  $l, r$  aux valeurs  $l', r'$  :

$$l' = l + dl = \left(1 + \frac{dl}{l}\right) l = \left(1 + \frac{1}{E}d\sigma\right) l$$

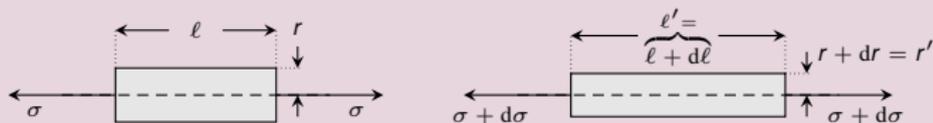
$$r' = r + dr = \left(1 + \frac{dr}{r}\right) r = \left(1 - \frac{\nu}{E}d\sigma\right) r$$

- L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : c'est une amplification d'un facteur  $> 1$  pour la longueur et une réduction d'un facteur  $< 1$ , pour le rayon

$$1 + \frac{1}{E}d\sigma \quad (\text{pr. la longu.}) \quad 1 - \frac{\nu}{E}d\sigma \quad (\text{pr. le rayon})$$

*Bien sûr, ce n'est vrai que si les déformations qu'on considère sont élastiques !*

## 2.2.4 Episode microscopique



- L'augmentation  $d\sigma$  (très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs  $\ell, r$  aux valeurs  $\ell', r'$  :

$$\ell' = \ell + d\ell = \left(1 + \frac{d\ell}{\ell}\right) \ell = \left(1 + \frac{1}{E}d\sigma\right) \ell$$

$$r' = r + dr = \left(1 + \frac{dr}{r}\right) r = \left(1 - \frac{\nu}{E}d\sigma\right) r$$

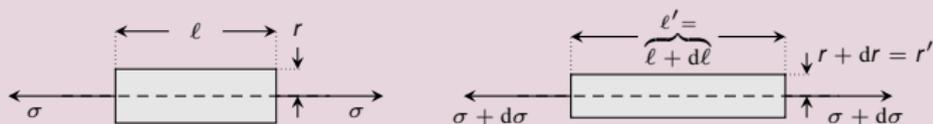
- L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : c'est une amplification d'un facteur  $> 1$  pour la longueur et une réduction d'un facteur  $< 1$ , pour le rayon

$$1 + \frac{1}{E}d\sigma \quad (\text{pr. la longu.}) \quad 1 - \frac{\nu}{E}d\sigma \quad (\text{pr. le rayon})$$

Bien sûr, ce n'est vrai que si les déformations qu'on considère sont élastiques !

Est-ce que cela est toujours vrai ?

## 2.2.4 Episode microscopique



- L'augmentation  $d\sigma$  (très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs  $\ell, r$  aux valeurs  $\ell', r'$  :

$$\ell' = \ell + d\ell = \left(1 + \frac{d\ell}{\ell}\right) \ell = \left(1 + \frac{1}{E}d\sigma\right) \ell$$

$$r' = r + dr = \left(1 + \frac{dr}{r}\right) r = \left(1 - \frac{\nu}{E}d\sigma\right) r$$

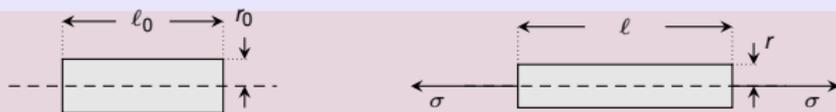
- L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : c'est une amplification d'un facteur  $> 1$  pour la longueur et une réduction d'un facteur  $< 1$ , pour le rayon

$$1 + \frac{1}{E}d\sigma \quad (\text{pr. la longu.}) \quad 1 - \frac{\nu}{E}d\sigma \quad (\text{pr. le rayon})$$

Bien sûr, ce n'est vrai que si les déformations qu'on considère sont **élastiques** !

Est-ce que cela est toujours vrai ?

## 2.2.5 Expérience macroscopique



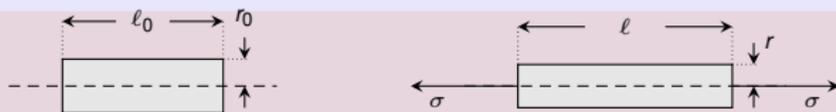
- La mise en traction macroscopique ( $\sigma$ ) d'un échantillon peut être décomposée en une succession de  $n$  étapes où la contrainte est augmentée de  $\sigma/n$  à chaque fois.
- Si  $n$  est très très grand, l'accroissement de contrainte  $\sigma/n$  est  $\simeq$  microscopique et, s'il est élastique, son effet sur la longueur et le rayon est multiplicatif. Au cours des épisodes, la longueur et le rayon évoluent depuis les valeurs  $l_0$  et  $r_0$  selon :

$$l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right) l_0$$

$$r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right) r_0$$

- Les longueur et rayon finaux  $l$  et  $r$ , au terme des  $n$  étapes, sont donc

## 2.2.5 Expérience macroscopique



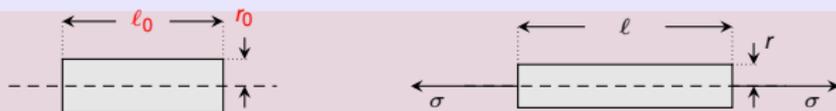
- La mise en traction macroscopique ( $\sigma$ ) d'un échantillon peut être décomposée en une succession de  $n$  étapes où la contrainte est augmentée de  $\sigma/n$  à chaque fois.
- Si  $n$  est très très grand, l'accroissement de contrainte  $\sigma/n$  est  $\simeq$  microscopique et, s'il est élastique, son effet sur la longueur et le rayon est multiplicatif. Au cours des épisodes, la longueur et le rayon évoluent depuis les valeurs  $\ell_0$  et  $r_0$  selon :

$$\ell_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right) \ell_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n \ell_0$$

$$r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right) r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n r_0$$

- Les longueur et rayon finaux  $\ell$  et  $r$ , au terme des  $n$  étapes, sont donc

## 2.2.5 Expérience macroscopique



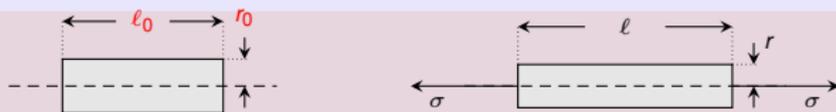
- La mise en traction macroscopique ( $\sigma$ ) d'un échantillon peut être décomposée en une succession de  $n$  étapes où la contrainte est augmentée de  $\sigma/n$  à chaque fois.
- Si  $n$  est très très grand, l'accroissement de contrainte  $\sigma/n$  est  $\simeq$  microscopique et, s'il est élastique, son effet sur la longueur et le rayon est multiplicatif. Au cours des épisodes, la longueur et le rayon évoluent depuis les valeurs  $l_0$  et  $r_0$  selon :

$$l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right) l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n l_0$$

$$r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right) r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n r_0$$

- Les longueur et rayon finaux  $l$  et  $r$ , au terme des  $n$  étapes, sont donc

## 2.2.5 Expérience macroscopique



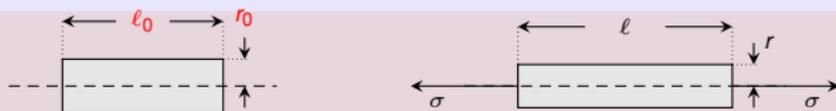
- La mise en traction macroscopique ( $\sigma$ ) d'un échantillon peut être décomposée en une succession de  $n$  étapes où la contrainte est augmentée de  $\sigma/n$  à chaque fois.
- Si  $n$  est très très grand, l'accroissement de contrainte  $\sigma/n$  est  $\simeq$  microscopique et, s'il est élastique, son effet sur la longueur et le rayon est multiplicatif. Au cours des épisodes, la longueur et le rayon évoluent depuis les valeurs  $l_0$  et  $r_0$  selon :

$$l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right) l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^3 l_0$$

$$r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right) r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^3 r_0$$

- Les longueur et rayon finaux  $l$  et  $r$ , au terme des  $n$  étapes, sont donc

## 2.2.5 Expérience macroscopique



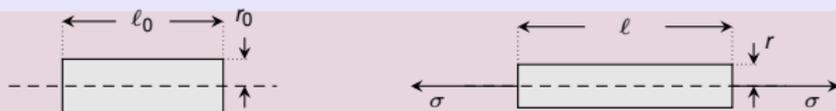
- La mise en traction macroscopique ( $\sigma$ ) d'un échantillon peut être décomposée en une succession de  $n$  étapes où la contrainte est augmentée de  $\sigma/n$  à chaque fois.
- Si  $n$  est très très grand, l'accroissement de contrainte  $\sigma/n$  est  $\simeq$  microscopique et, s'il est élastique, son effet sur la longueur et le rayon est multiplicatif. Au cours des épisodes, la longueur et le rayon évoluent depuis les valeurs  $l_0$  et  $r_0$  selon :

$$l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right) l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^3 l_0 \dots$$

$$r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right) r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^3 r_0 \dots$$

- Les longueur et rayon finaux  $l$  et  $r$ , au terme des  $n$  étapes, sont donc

## 2.2.5 Expérience macroscopique



- La mise en traction macroscopique ( $\sigma$ ) d'un échantillon peut être décomposée en une succession de  $n$  étapes où la contrainte est augmentée de  $\sigma/n$  à chaque fois.
- Si  $n$  est très très grand, l'accroissement de contrainte  $\sigma/n$  est  $\simeq$  microscopique et, s'il est élastique, son effet sur la longueur et le rayon est multiplicatif. Au cours des épisodes, la longueur et le rayon évoluent depuis les valeurs  $\ell_0$  et  $r_0$  selon :

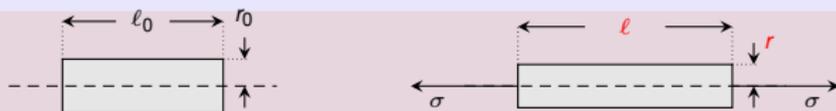
$$\ell_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right) \ell_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 \ell_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^3 \ell_0 \dots$$

$$r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right) r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^3 r_0 \dots$$

- Les longueur et rayon finaux  $\ell$  et  $r$ , au terme des  $n$  étapes, sont donc

$$\ell = \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n \ell_0 \quad \text{et} \quad r = \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n r_0$$

## 2.2.5 Expérience macroscopique



- La mise en traction macroscopique ( $\sigma$ ) d'un échantillon peut être décomposée en une succession de  $n$  étapes où la contrainte est augmentée de  $\sigma/n$  à chaque fois.
- Si  $n$  est très très grand, l'accroissement de contrainte  $\sigma/n$  est  $\simeq$  microscopique et, s'il est élastique, son effet sur la longueur et le rayon est multiplicatif. Au cours des épisodes, la longueur et le rayon évoluent depuis les valeurs  $l_0$  et  $r_0$  selon :

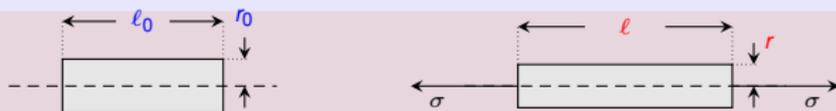
$$l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right) l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^3 l_0 \dots$$

$$r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right) r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^3 r_0 \dots$$

- Les longueur et rayon finaux  $l$  et  $r$ , au terme des  $n$  étapes, sont donc

$$l = \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n l_0 \quad \text{et} \quad r = \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n r_0.$$

## 2.2.5 Expérience macroscopique



- La mise en traction macroscopique ( $\sigma$ ) d'un échantillon peut être décomposée en une succession de  $n$  étapes où la contrainte est augmentée de  $\sigma/n$  à chaque fois.
- Si  $n$  est très très grand, l'accroissement de contrainte  $\sigma/n$  est  $\simeq$  microscopique et, s'il est élastique, son effet sur la longueur et le rayon est multiplicatif. Au cours des épisodes, la longueur et le rayon évoluent depuis les valeurs  $l_0$  et  $r_0$  selon :

$$l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right) l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 l_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^3 l_0 \dots$$

$$r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right) r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^3 r_0 \dots$$

- Les longueur et rayon finaux  $l$  et  $r$ , au terme des  $n$  étapes, sont donc

$$l = \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n l_0 \quad \text{et} \quad r = \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n r_0.$$

## 2.2.5 Expérience macroscopique



- La mise en traction macroscopique ( $\sigma$ ) d'un échantillon peut être décomposée en une succession de  $n$  étapes où la contrainte est augmentée de  $\sigma/n$  à chaque fois.
- Si  $n$  est très très grand, l'accroissement de contrainte  $\sigma/n$  est  $\simeq$  microscopique et, s'il est élastique, son effet sur la longueur et le rayon est multiplicatif. Au cours des épisodes, la longueur et le rayon évoluent depuis les valeurs  $\ell_0$  et  $r_0$  selon :

$$\ell_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right) \ell_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 \ell_0 \rightarrow \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^3 \ell_0 \dots$$

$$r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right) r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^2 r_0 \rightarrow \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^3 r_0 \dots$$

- Les longueur et rayon finaux  $\ell$  et  $r$ , au terme des  $n$  étapes, sont donc

$$\ell = \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n \ell_0 \quad \text{et} \quad r = \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n r_0.$$

## 2.2.6 Expérience macroscopique (suite)

### Des formules additives à la place de multiplicatives

- *Les formules qu'on vient d'obtenir pour  $\ell$  et  $r$  sont malheureusement inexploitable.*  
*Puisque le paramètre  $n$  doit être le plus grand possible, elles reviennent à mettre à une puissance très grande un nombre qui vaut presque 1 :*

$$1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}$$

- *Pour résoudre ce problème il vaut la peine de calculer le logarithme de  $\ell$  et de  $r$ .*

## 2.2.6 Expérience macroscopique (suite)

### Des formules additives à la place de multiplicatives

- *Les formules qu'on vient d'obtenir pour  $\ell$  et  $r$  sont malheureusement inexploitable.*  
*Puisque le paramètre  $n$  doit être le plus grand possible, elles reviennent à mettre à une puissance très grande un nombre qui vaut presque 1 :*

$$1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}$$

- *Pour résoudre ce problème il vaut la peine de calculer le logarithme de  $\ell$  et de  $r$ .*

Quel est le problème avec ces formules ?

## 2.2.6 Expérience macroscopique (suite)

### Des formules additives à la place de multiplicatives

- *Les formules qu'on vient d'obtenir pour  $\ell$  et  $r$  sont malheureusement inexploitables. Puisque le paramètre  $n$  doit être le plus grand possible, elles reviennent à mettre à une puissance très grande un nombre qui vaut presque 1 :*

$$1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}$$

- *Pour résoudre ce problème il vaut la peine de calculer le logarithme de  $\ell$  et de  $r$ .*

Quel est le problème avec ces formules ?

## 2.2.6 Expérience macroscopique (suite)

### Des formules additives à la place de multiplicatives

- *Les formules qu'on vient d'obtenir pour  $\ell$  et  $r$  sont malheureusement inexploitables. Puisque le paramètre  $n$  doit être le plus grand possible, elles reviennent à mettre à une puissance très grande un nombre qui vaut presque 1 :*

$$1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}$$

- *Pour résoudre ce problème il vaut la peine de calculer le logarithme de  $\ell$  et de  $r$ . Puisque le logarithme transforme les multiplications en additions, les formules multiplicatives pour  $\ell$  et  $r$  deviendront des formules additives pour  $\ln \ell$  et  $\ln r$ .*

Pour rendre les calculs simples il vaudrait mieux pouvoir passer de l'état précédent au suivant en ajoutant quelque chose

## 2.2.6 Expérience macroscopique (suite)

### Des formules additives à la place de multiplicatives

- Les formules qu'on vient d'obtenir pour  $\ell$  et  $r$  sont malheureusement inexploitables. Puisque le paramètre  $n$  doit être le plus grand possible, elles reviennent à mettre à une puissance très grande un nombre qui vaut presque 1 :

$$1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}$$

- Pour résoudre ce problème il vaut la peine de calculer le **logarithme** de  $\ell$  et de  $r$ . Puisque le logarithme transforme les multiplications en additions, les formules multiplicatives pour  $\ell$  et  $r$  deviendront des formules additives pour  $\ln \ell$  et  $\ln r$  :

$$\ln \ell = \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n \quad (6)$$

$$\ln r = \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n \quad (7)$$

Pour rendre les calculs simples il vaudrait mieux pouvoir passer de l'état précédent au suivant en ajoutant quelque chose

## 2.2.6 Expérience macroscopique (suite)

### Des formules additives à la place de multiplicatives

- *Les formules qu'on vient d'obtenir pour  $\ell$  et  $r$  sont malheureusement inexploitable. Puisque le paramètre  $n$  doit être le plus grand possible, elles reviennent à mettre à une puissance très grande un nombre qui vaut presque 1 :*

$$1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}$$

- *Pour résoudre ce problème il vaut la peine de calculer le logarithme de  $\ell$  et de  $r$ . Puisque le logarithme transforme les multiplications en additions, les formules multiplicatives pour  $\ell$  et  $r$  deviendront des formules additives pour  $\ln \ell$  et  $\ln r$  :*

$$\ln \ell = \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n \ell_0 \quad (5)$$

$$\ln r = \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n r_0 \quad (6)$$

## 2.2.6 Expérience macroscopique (suite)

### Des formules additives à la place de multiplicatives

- Les formules qu'on vient d'obtenir pour  $\ell$  et  $r$  sont malheureusement inexploitable. Puisque le paramètre  $n$  doit être le plus grand possible, elles reviennent à mettre à une puissance très grande un nombre qui vaut presque 1 :

$$1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}$$

- Pour résoudre ce problème il vaut la peine de calculer le logarithme de  $\ell$  et de  $r$ . Puisque le logarithme transforme les multiplications en additions, les formules multiplicatives pour  $\ell$  et  $r$  deviendront des formules additives pour  $\ln \ell$  et  $\ln r$  :

$$\ln \ell = \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n \ell_0 = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) \quad (5)$$

$$\ln r = \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n r_0 = \ln r_0 + n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) \quad (6)$$

## 2.2.6 Expérience macroscopique (suite)

### Des formules additives à la place de multiplicatives

- Les formules qu'on vient d'obtenir pour  $\ell$  et  $r$  sont malheureusement inexploitable. Puisque le paramètre  $n$  doit être le plus grand possible, elles reviennent à mettre à une puissance très grande un nombre qui vaut presque 1 :

$$1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}$$

- Pour résoudre ce problème il vaut la peine de calculer le logarithme de  $\ell$  et de  $r$ . Puisque le logarithme transforme les multiplications en additions, les formules multiplicatives pour  $\ell$  et  $r$  deviendront des formules additives pour  $\ln \ell$  et  $\ln r$  :

$$\ln \ell = \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n \ell_0 = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) \quad (5)$$

$$\ln r = \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n r_0 = \ln r_0 + n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) \quad (6)$$

Comment simplifier cela ?

## 2.2.6 Expérience macroscopique (suite)

### Des formules additives à la place de multiplicatives

- Les formules qu'on vient d'obtenir pour  $\ell$  et  $r$  sont malheureusement inexploitables. Puisque le paramètre  $n$  doit être le plus grand possible, elles reviennent à mettre à une puissance très grande un nombre qui vaut presque 1 :

$$1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}$$

- Pour résoudre ce problème il vaut la peine de calculer le logarithme de  $\ell$  et de  $r$ . Puisque le logarithme transforme les multiplications en additions, les formules multiplicatives pour  $\ell$  et  $r$  deviendront des formules additives pour  $\ln \ell$  et  $\ln r$  :

$$\ln \ell = \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n \ell_0 = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) \quad (5)$$

$$\ln r = \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n r_0 = \ln r_0 + n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) \quad (6)$$

Comment simplifier cela ?

## 2.2.6 Expérience macroscopique (suite)

### Des formules additives à la place de multiplicatives

- Les formules qu'on vient d'obtenir pour  $\ell$  et  $r$  sont malheureusement inexploitables. Puisque le paramètre  $n$  doit être le plus grand possible, elles reviennent à mettre à une puissance très grande un nombre qui vaut presque 1 :

$$1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}$$

- Pour résoudre ce problème il vaut la peine de calculer le logarithme de  $\ell$  et de  $r$ . Puisque le logarithme transforme les multiplications en additions, les formules multiplicatives pour  $\ell$  et  $r$  deviendront des formules additives pour  $\ln \ell$  et  $\ln r$  :

$$\ln \ell = \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n \ell_0 = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) \quad (5)$$

$$\ln r = \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n r_0 = \ln r_0 + n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) \quad (6)$$

## 2.2.6 Expérience macroscopique (suite)

### Des formules additives à la place de multiplicatives

- Les formules qu'on vient d'obtenir pour  $\ell$  et  $r$  sont malheureusement inexploitables. Puisque le paramètre  $n$  doit être le plus grand possible, elles reviennent à mettre à une puissance très grande un nombre qui vaut presque 1 :

$$1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}$$

- Pour résoudre ce problème il vaut la peine de calculer le logarithme de  $\ell$  et de  $r$ . Puisque le logarithme transforme les multiplications en additions, les formules multiplicatives pour  $\ell$  et  $r$  deviendront des formules additives pour  $\ln \ell$  et  $\ln r$  :

$$\ln \ell = \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n \ell_0 = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) \quad (5)$$

$$\ln r = \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n r_0 = \ln r_0 + n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) \quad (6)$$

Comment simplifier cela ?

## 2.2.6 Expérience macroscopique (suite)

### Des formules additives à la place de multiplicatives

- Les formules qu'on vient d'obtenir pour  $\ell$  et  $r$  sont malheureusement inexploitables. Puisque le paramètre  $n$  doit être le plus grand possible, elles reviennent à mettre à une puissance très grande un nombre qui vaut presque 1 :

$$1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}$$

- Pour résoudre ce problème il vaut la peine de calculer le logarithme de  $\ell$  et de  $r$ . Puisque le logarithme transforme les multiplications en additions, les formules multiplicatives pour  $\ell$  et  $r$  deviendront des formules additives pour  $\ln \ell$  et  $\ln r$  :

$$\ln \ell = \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n \ell_0 = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) \quad (5)$$

$$\ln r = \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right)^n r_0 = \ln r_0 + n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) \quad (6)$$

Comment simplifier cela ?

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \approx x$  dans ce cas.

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :
- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :
- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

► Que vaut  $\ln(1 + x)$  si  $x \approx 0$  ?

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{\sigma}{E} \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu \sigma}{E} \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :
- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :
- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

Utilisons la règle

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :
- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

Utilisons la règle

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ell - \ell_0)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

Simplifions par  $n$

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ell - \ell_0)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

Simplifions par  $n$

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) \quad (9)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) \quad (9)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- *Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- *On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) \quad (9)$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :*

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- *Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- *On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) \quad (9)$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :*

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- *Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- *On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) \quad (9)$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :*

Que vaut une différence de logarithmes ?



## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (9)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \quad (9)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \quad (10)$$

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \quad (9)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \quad (10)$$

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (9)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \implies \ln \frac{r}{r_0} = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \quad (10)$$

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- *Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- *On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (9)$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :*

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \implies \ln \frac{r}{r_0} = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \quad (10)$$

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (9)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \implies \ln \frac{r}{r_0} = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \quad (10)$$

Que vaut une différence de logarithmes ?

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (9)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \implies \ln \frac{r}{r_0} = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \quad (10)$$

Que vaut une différence de logarithmes ?

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (9)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \implies \ln \frac{r}{r_0} = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \quad (10)$$

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (9)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \implies \ln \frac{r}{r_0} = -\nu \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (10)$$

## 2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

### Utilisation des propriétés des logarithmes

- Les logarithmes en facteur de  $n$  sont faciles à calculer car l'argument est de la forme  $1 + x$  avec  $x$  très petit et  $\ln(1 + x) \simeq x$  dans ce cas. En utilisant cette règle on trouve :

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + n \ln \left( 1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln \ell_0 + n \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{1}{E} \sigma \quad (7)$$

$$\ln r = \ln r_0 - n \ln \left( 1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} \right) = \ln r_0 - n \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \frac{\nu}{E} \sigma \quad (8)$$

- On utilise l'équation (7) pour exprimer  $\sigma$  :

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (9)$$

- On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (9) de  $\sigma$  dans l'équation (8) :

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \implies \ln \frac{r}{r_0} = -\nu \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (10)$$

## 2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

### le taux de déformation réel

- Les équations (9) et (10) font intervenir le logarithme du rapport entre les longueurs finale et initiale. Cette quantité est une mesure de la déformation. On lui donne un nom, le *taux de déformation réel*, et on le note  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \quad (11)$$

- Avec cette notation la formule (9) devient donc

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e \quad (\text{Loi de Hooke}) \quad (12)$$

et la formule (10) :

$$\ln \frac{r}{r_0} = -\nu\varepsilon$$

## 2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

### le taux de déformation réel

- Les équations (9) et (10) font intervenir le logarithme du rapport entre les longueurs finale et initiale. Cette quantité est une mesure de la déformation. On lui donne un nom, **taux de déformation réel**, et on la note  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (11)$$

- Avec cette notation la formule (9) devient donc

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e \quad (\text{Loi de Hooke}) \quad (12)$$

et la formule (10) :

$$\ln \frac{r}{r_0} = -\nu\varepsilon$$

ou, en passant à l'exponentielle :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}$$

## 2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

### le taux de déformation réel

- Les équations (9) et (10) font intervenir le logarithme du rapport entre les longueurs finale et initiale. Cette quantité est une mesure de la déformation. On lui donne un nom, **taux de déformation réel**, et on la note  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (11)$$

- Avec cette notation la formule (9) devient donc

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e \quad (\text{Loi de Hooke}) \quad (12)$$

et la formule (10) :

$$\ln \frac{r}{r_0} = -\nu\varepsilon$$

soit, en résolvant pour  $r/r_0$  :

## 2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

### le taux de déformation réel

- Les équations (9) et (10) font intervenir le logarithme du rapport entre les longueurs finale et initiale. Cette quantité est une mesure de la déformation. On lui donne un nom, **taux de déformation réel**, et on la note  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (11)$$

- Avec cette notation la formule (9) devient donc

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e \quad (\text{Loi de Hooke}) \quad (12)$$

et la formule (10) :

$$\ln \frac{r}{r_0} = -\nu\varepsilon$$

soit, en résolvant pour  $r/r_0$  :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e \quad (\text{Loi de Poisson}) \quad (13)$$

## 2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

### le taux de déformation réel

- Les équations (9) et (10) font intervenir le logarithme du rapport entre les longueurs finale et initiale. Cette quantité est une mesure de la déformation. On lui donne un nom, **taux de déformation réel**, et on la note  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (11)$$

- Avec cette notation la formule (9) devient donc

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e \quad (\text{Loi de Hooke}) \quad (12)$$

et la formule (10) :

$$\ln \frac{r}{r_0} = -\nu\varepsilon$$

soit, en résolvant pour  $r/r_0$  :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e. \quad (\text{Loi de Poisson}) \quad (13)$$

Comment exprime-t-on un nombre à partir de son logarithme ?

## 2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

### le taux de déformation réel

- Les équations (9) et (10) font intervenir le logarithme du rapport entre les longueurs finale et initiale. Cette quantité est une mesure de la déformation. On lui donne un nom, **taux de déformation réel**, et on la note  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (11)$$

- Avec cette notation la formule (9) devient donc

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e \quad (\text{Loi de Hooke}) \quad (12)$$

et la formule (10) :

$$\ln \frac{r}{r_0} = -\nu\varepsilon$$

soit, en résolvant pour  $r/r_0$  :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e. \quad (\text{Loi de Poisson}) \quad (13)$$

Comment exprime-t-on un nombre à partir de son logarithme ?

## 2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

### le taux de déformation réel

- Les équations (9) et (10) font intervenir le logarithme du rapport entre les longueurs finale et initiale. Cette quantité est une mesure de la déformation. On lui donne un nom, **taux de déformation réel**, et on la note  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (11)$$

- Avec cette notation la formule (9) devient donc

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e \quad (\text{Loi de Hooke}) \quad (12)$$

et la formule (10) :

$$\ln \frac{r}{r_0} = -\nu\varepsilon$$

soit, en résolvant pour  $r/r_0$  :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e. \quad (\text{Loi de Poisson}) \quad (13)$$

Pourquoi ai-je précisé un intervalle de validité ?

## 2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

### le taux de déformation réel

- Les équations (9) et (10) font intervenir le logarithme du rapport entre les longueurs finale et initiale. Cette quantité est une mesure de la déformation. On lui donne un nom, **taux de déformation réel**, et on la note  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \quad (11)$$

- Avec cette notation la formule (9) devient donc

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e \quad (\text{Loi de Hooke}) \quad (12)$$

et la formule (10) :

$$\ln \frac{r}{r_0} = -\nu\varepsilon$$

soit, en résolvant pour  $r/r_0$  :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e. \quad (\text{Loi de Poisson}) \quad (13)$$

## 2.2.9 Taux de déformation réel en limite élastique

### Intervalle de validité des lois de Hooke et de Poisson

- On prendra note que les lois de Hooke (12) et de Poisson (13) ne sont valables que si

$$0 < \varepsilon < \varepsilon_e$$

où  $\varepsilon_e$  est le taux réel en deçà duquel les déformations sont **élastiques** et au delà duquel elles sont **plastiques**. cela veut dire que si  $\varepsilon < \varepsilon_e$  alors l'échantillon reprend sa forme initiale (longueur  $l_0$ , rayon  $r_0$ ) si on relaxe la force. En revanche, si  $\varepsilon > \varepsilon_e$  alors l'échantillon va garder une déformation permanente après la relaxation.

- On appelle  $\varepsilon_e$  taux de déformation réel en limite élastique.



Thomas Young, 1773-1829



Siméon Poisson, 1781-1840



Robert Hooke, 1635-1703

## 2.2.9 Taux de déformation réel en limite élastique

### Intervalle de validité des lois de Hooke et de Poisson

- On prendra note que les lois de Hooke (12) et de Poisson (13) ne sont valables que si

$$0 < \varepsilon < \varepsilon_e$$

où  $\varepsilon_e$  est le taux réel en deçà duquel les déformations sont **élastiques** et au delà duquel elles sont **plastiques**. cela veut dire que si  $\varepsilon < \varepsilon_e$  alors l'échantillon reprend sa forme initiale (longueur  $\ell_0$ , rayon  $r_0$ ) si on relaxe la force. En revanche, si  $\varepsilon > \varepsilon_e$  alors l'échantillon va garder une déformation **permanente** après la relaxation.

- On appelle  $\varepsilon_e$  taux de déformation réel en limite élastique.



Thomas Young, 1773-1829



Siméon Poisson, 1781-1840



Robert Hooke, 1635-1703

## 2.2.9 Taux de déformation réel en limite élastique

### Intervalle de validité des lois de Hooke et de Poisson

- On prendra note que les lois de Hooke (12) et de Poisson (13) ne sont valables que si

$$0 < \varepsilon < \varepsilon_e$$

où  $\varepsilon_e$  est le taux réel en deçà duquel les déformations sont **élastiques** et au delà duquel elles sont **plastiques**. cela veut dire que si  $\varepsilon < \varepsilon_e$  alors l'échantillon reprend sa forme initiale (longueur  $\ell_0$ , rayon  $r_0$ ) si on relaxe la force. En revanche, si  $\varepsilon > \varepsilon_e$  alors l'échantillon va garder une déformation **permanente** après la relaxation.

- On appelle  $\varepsilon_e$  taux de déformation réel en limite élastique. Cette quantité est une caractéristique du matériau dont est fait l'échantillon mais pas universelle.



Thomas Young, 1773-1829



Siméon Poisson, 1781-1840)



Robert Hooke, 1635-1703)

## 2.2.9 Taux de déformation réel en limite élastique

### Intervalle de validité des lois de Hooke et de Poisson

- On prendra note que les lois de Hooke (12) et de Poisson (13) ne sont valables que si

$$0 < \varepsilon < \varepsilon_e$$

où  $\varepsilon_e$  est le taux réel en deçà duquel les déformations sont **élastiques** et au delà duquel elles sont **plastiques**. cela veut dire que si  $\varepsilon < \varepsilon_e$  alors l'échantillon reprend sa forme initiale (longueur  $\ell_0$ , rayon  $r_0$ ) si on relaxe la force. En revanche, si  $\varepsilon > \varepsilon_e$  alors l'échantillon va garder une déformation **permanente** après la relaxation.

- On appelle  $\varepsilon_e$  taux de déformation réel en limite élastique. Cette quantité est une caractéristique du matériau dont est fait l'échantillon mais pas seulement. Elle dépend l'historique de déformation et peut être mesurée expérimentalement.



Thomas Young, 1773-1829



Siméon Poisson, 1781-1840



Robert Hooke, 1635-1703

## 2.2.9 Taux de déformation réel en limite élastique

### Intervalle de validité des lois de Hooke et de Poisson

- On prendra note que les lois de Hooke (12) et de Poisson (13) ne sont valables que si

$$0 < \varepsilon < \varepsilon_e$$

où  $\varepsilon_e$  est le taux réel en deçà duquel les déformations sont **élastiques** et au delà duquel elles sont **plastiques**. cela veut dire que si  $\varepsilon < \varepsilon_e$  alors l'échantillon reprend sa forme initiale (longueur  $\ell_0$ , rayon  $r_0$ ) si on relaxe la force. En revanche, si  $\varepsilon > \varepsilon_e$  alors l'échantillon va garder une déformation **permanente** après la relaxation.

- On appelle  $\varepsilon_e$  taux de déformation réel en limite élastique. Cette quantité est une caractéristique du matériau dont est fait l'échantillon mais pas seulement. Elle dépend de l'historique de déformation et peut être modifiée mécaniquement, c'est le phénomène d'écrouissage qui sera plus tard.



Thomas Young, 1773-1829



Siméon Poisson, 1781-1840



Robert Hooke, 1635-1703

## 2.2.9 Taux de déformation réel en limite élastique

### Intervalle de validité des lois de Hooke et de Poisson

- On prendra note que les lois de Hooke (12) et de Poisson (13) ne sont valables que si

$$0 < \varepsilon < \varepsilon_e$$

où  $\varepsilon_e$  est le taux réel en deçà duquel les déformations sont **élastiques** et au delà duquel elles sont **plastiques**. cela veut dire que si  $\varepsilon < \varepsilon_e$  alors l'échantillon reprend sa forme initiale (longueur  $\ell_0$ , rayon  $r_0$ ) si on relaxe la force. En revanche, si  $\varepsilon > \varepsilon_e$  alors l'échantillon va garder une déformation **permanente** après la relaxation.

- On appelle  $\varepsilon_e$  taux de déformation réel en limite élastique. Cette quantité est une caractéristique du matériau dont est fait l'échantillon mais pas seulement. Elle dépend de l'historique de déformation et peut être modifiée mécaniquement, c'est le phénomène d'érouissage dont nous parlerons plus tard.



Thomas Young, 1773-1829



Siméon Poisson, 1781-1840



Robert Hooke, 1635-1703

## 2.2.9 Taux de déformation réel en limite élastique

### Intervalle de validité des lois de Hooke et de Poisson

- On prendra note que les lois de Hooke (12) et de Poisson (13) ne sont valables que si

$$0 < \varepsilon < \varepsilon_e$$

où  $\varepsilon_e$  est le taux réel en deçà duquel les déformations sont **élastiques** et au delà duquel elles sont **plastiques**. cela veut dire que si  $\varepsilon < \varepsilon_e$  alors l'échantillon reprend sa forme initiale (longueur  $\ell_0$ , rayon  $r_0$ ) si on relaxe la force. En revanche, si  $\varepsilon > \varepsilon_e$  alors l'échantillon va garder une déformation **permanente** après la relaxation.

- On appelle  $\varepsilon_e$  taux de déformation réel en limite élastique. Cette quantité est une caractéristique du matériau dont est fait l'échantillon mais pas seulement. Elle dépend de l'historique de déformation et peut être modifiée mécaniquement, c'est le phénomène d'érouissage dont nous parlerons plus tard.



Thomas Young, 1773-1829



Siméon Poisson, 1781-1840



Robert Hooke, 1635-1703

## 2.2.10 Lois de Poisson

### Variation de la section et du volume

- La loi de Poisson (13) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu \varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$$

- Mais si le rapport des rayons est connu, celui des sections est facile à calculer et, comme le rapport des longueurs est lié de façon simple à  $\varepsilon$  :

- C'est en fait les trois relations (13)-(15) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.

## 2.2.10 Lois de Poisson

### Variation de la section et du volume

- *La loi de Poisson (13) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

$$\frac{r}{r_0} = \mathbf{e}^{-\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$$

- *Mais si le rapport des rayons est connu, celui des sections est facile à calculer et, comme le rapport des longueurs est lié de façon simple à  $\varepsilon$  :*

- *C'est en fait les trois relations (13)-(15) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.*

## 2.2.10 Lois de Poisson

### Variation de la section et du volume

- *La loi de Poisson (13) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$$

- *Mais si le rapport des rayons est connu, celui des sections est facile à calculer et, comme le rapport des longueurs est lié de façon simple à  $\varepsilon$  :  $l/l_0 = e^\varepsilon$ , on peut trouver le rapport des volumes :*

- *C'est en fait les trois relations (13)-(15) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.*

## 2.2.10 Lois de Poisson

### Variation de la section et du volume

- La loi de Poisson (13) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu \varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$$

- Mais si le rapport des rayons est connu, celui des sections est facile à calculer et, comme le rapport des longueurs est lié de façon simple à  $\varepsilon$  :  $l/l_0 = e^\varepsilon$ , on peut trouver le rapport des volumes :

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 \frac{l}{l_0} = e^{-2\nu \varepsilon} e^\varepsilon = e^{-(2\nu - 1)\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e \quad (14)$$

- C'est en fait les trois relations (13)-(15) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.

Comment  $l/l_0$  est-il lié à  $\varepsilon$  ?

## 2.2.10 Lois de Poisson

### Variation de la section et du volume

- La loi de Poisson (13) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$$

- Mais si le rapport des rayons est connu, celui des sections est facile à calculer et, comme le rapport des longueurs est lié de façon simple à  $\varepsilon$  :  $l/l_0 = e^\varepsilon$ , on peut trouver le rapport des volumes :

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = e^{-2\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e, \quad (14)$$

- C'est en fait les trois relations (13)-(15) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.

## 2.2.10 Lois de Poisson

### Variation de la section et du volume

- La loi de Poisson (13) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$$

- Mais si le rapport des rayons est connu, celui des sections est facile à calculer et, comme le rapport des longueurs est lié de façon simple à  $\varepsilon$  :  $l/l_0 = e^\varepsilon$ , on peut trouver le rapport des volumes :

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = e^{-2\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e, \quad (14)$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0} \frac{l}{l_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e. \quad (15)$$

- C'est en fait les trois relations (13)-(15) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.

## 2.2.10 Lois de Poisson

### Variation de la section et du volume

- La loi de Poisson (13) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$$

- Mais si le rapport des rayons est connu, celui des sections est facile à calculer et, comme le rapport des longueurs est lié de façon simple à  $\varepsilon$  :  $l/l_0 = e^\varepsilon$ , on peut trouver le rapport des volumes :

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = e^{-2\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e, \quad (14)$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0} \frac{l}{l_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e. \quad (15)$$

- C'est en fait les trois relations (13)-(15) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.

## 2.2.10 Lois de Poisson

### Variation de la section et du volume

- La loi de Poisson (13) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$$

- Mais si le rapport des rayons est connu, celui des sections est facile à calculer et, comme le rapport des longueurs est lié de façon simple à  $\varepsilon$  :  $l/l_0 = e^\varepsilon$ , on peut trouver le rapport des volumes :

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = e^{-2\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e, \quad (14)$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0} \frac{l}{l_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e. \quad (15)$$

- C'est en fait les trois relations (13)-(15) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.

## 2.2.10 Lois de Poisson

### Variation de la section et du volume

- La loi de Poisson (13) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$$

- Mais si le rapport des rayons est connu, celui des sections est facile à calculer et, comme le rapport des longueurs est lié de façon simple à  $\varepsilon$  :  $l/l_0 = e^\varepsilon$ , on peut trouver le rapport des volumes :

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = e^{-2\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e, \quad (14)$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0} \frac{l}{l_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e. \quad (15)$$

- C'est en fait les trois relations (13)-(15) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ( $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$ ).

## 2.2.10 Lois de Poisson

### Variation de la section et du volume

- La loi de Poisson (13) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$$

- Mais si le rapport des rayons est connu, celui des sections est facile à calculer et, comme le rapport des longueurs est lié de façon simple à  $\varepsilon$  :  $l/l_0 = e^\varepsilon$ , on peut trouver le rapport des volumes :

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = e^{-2\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e, \quad (14)$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0} \frac{l}{l_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e. \quad (15)$$

- C'est en fait les trois relations (13)-(15) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ( $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$ ).

## 2.2.10 Lois de Poisson

### Variation de la section et du volume

- La loi de Poisson (13) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$$

- Mais si le rapport des rayons est connu, celui des sections est facile à calculer et, comme le rapport des longueurs est lié de façon simple à  $\varepsilon$  :  $l/l_0 = e^\varepsilon$ , on peut trouver le rapport des volumes :

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = e^{-2\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e, \quad (14)$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0} \frac{l}{l_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e. \quad (15)$$

- C'est en fait les trois relations (13)-(15) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ( $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$ ).

## 2.2.10 Lois de Poisson

### Variation de la section et du volume

- La loi de Poisson (13) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$$

- Mais si le rapport des rayons est connu, celui des sections est facile à calculer et, comme le rapport des longueurs est lié de façon simple à  $\varepsilon$  :  $l/l_0 = e^\varepsilon$ , on peut trouver le rapport des volumes :

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = e^{-2\nu\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e, \quad (14)$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0} \frac{l}{l_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e. \quad (15)$$

- C'est en fait les trois relations (13)-(15) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ( $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$ ).

► Lois de Poisson (13)-(15) aux Tableaux

## 2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

### Croissance des volumes

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson  $\nu$  intervenant dans la loi (15) :*

$$\frac{V}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}.$$

*Il faut que  $V/V_0 > 1$  si  $\varepsilon > 0$*

- *Si  $\nu = \frac{1}{2}$ , le volume reste cst. ( $V = V_0$ ),*
- *Notons que  $\nu$  n'est pas forcément positif.*

## 2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

### Croissance des volumes

- Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson  $\nu$  intervenant dans la loi (15) :

$$\frac{V}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}.$$

Il faut que  $V/V_0 > 1$  si  $\varepsilon > 0$  donc que

$$\nu \leq 0.5 \quad (15)$$

- Si  $\nu = \frac{1}{2}$ , le volume reste cst. ( $V = V_0$ ),
- Notons que  $\nu$  n'est pas forcément positif.

## 2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

### Croissance des volumes

- Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson  $\nu$  intervenant dans la loi (15) :

$$\frac{V}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}.$$

Il faut que  $V/V_0 > 1$  si  $\varepsilon > 0$  donc que

$$\nu \leq 0.5 \tag{16}$$

- Si  $\nu = \frac{1}{2}$ , le volume reste cst. ( $V = V_0$ ), l'élongation est dite isovolumétrique.
- Notons que  $\nu$  n'est pas forcément positif.

## 2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

### Croissance des volumes

- Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson  $\nu$  intervenant dans la loi (15) :

$$\frac{V}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}.$$

Il faut que  $V/V_0 > 1$  si  $\varepsilon > 0$  donc que

$$\nu \leq 0.5 \tag{16}$$

- Si  $\nu = \frac{1}{2}$ , le volume reste cst. ( $V = V_0$ ), l'échantillon est dit incompressible.
- Notons que  $\nu$  n'est pas forcément positif.

## 2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

### Croissance des volumes

- Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson  $\nu$  intervenant dans la loi (15) :

$$\frac{V}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}.$$

Il faut que  $V/V_0 > 1$  si  $\varepsilon > 0$  donc que

$$\nu \leq 0.5 \tag{16}$$

- Si  $\nu = \frac{1}{2}$ , le volume reste cst. ( $V = V_0$ ), l'échantillon est dit *incompressible*.
- Notons que  $\nu$  n'est pas forcément positif.

## 2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

### Croissance des volumes

- Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson  $\nu$  intervenant dans la loi (15) :

$$\frac{V}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}.$$

Il faut que  $V/V_0 > 1$  si  $\varepsilon > 0$  donc que

$$\nu \leq 0.5 \quad (16)$$

- Si  $\nu = \frac{1}{2}$ , le volume reste cst. ( $V = V_0$ ), l'échantillon est dit **incompressible**.
- Notons que  $\nu$  n'est pas forcément positif. Il existe des (méta-)matériaux à coefficient de Poisson  $\nu < 0$  (matériaux auxiliaires).

## 2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

### Croissance des volumes

- Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson  $\nu$  intervenant dans la loi (15) :

$$\frac{V}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}.$$

Il faut que  $V/V_0 > 1$  si  $\varepsilon > 0$  donc que

$$\nu \leq 0.5 \quad (16)$$

- Si  $\nu = \frac{1}{2}$ , le volume reste cst. ( $V = V_0$ ), l'échantillon est dit **incompressible**.
- Notons que  $\nu$  n'est pas forcément positif. Il existe des (méta-)matériaux à coefficient de Poisson  $\nu < 0$  (matériaux auxétiques), ceux là augmentent de rayon durant l'expérience de traction (18).

## 2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

### Croissance des volumes

- Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson  $\nu$  intervenant dans la loi (15) :

$$\frac{V}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}.$$

Il faut que  $V/V_0 > 1$  si  $\varepsilon > 0$  donc que

$$\nu \leq 0.5 \quad (16)$$

- Si  $\nu = \frac{1}{2}$ , le volume reste cst. ( $V = V_0$ ), l'échantillon est dit **incompressible**.
- Notons que  $\nu$  n'est pas forcément positif. Il existe des (méta-)matériaux à coefficient de Poisson  $\nu < 0$  (matériaux auxétiques), ceux là augmentent de rayon durant l'expérience de traction (13) :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon} > 1 \quad \text{si } \varepsilon > 0.$$

## 2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

### Croissance des volumes

- Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson  $\nu$  intervenant dans la loi (15) :

$$\frac{V}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}.$$

Il faut que  $V/V_0 > 1$  si  $\varepsilon > 0$  donc que

$$\nu \leq 0.5 \quad (16)$$

- Si  $\nu = \frac{1}{2}$ , le volume reste cst. ( $V = V_0$ ), l'échantillon est dit **incompressible**.
- Notons que  $\nu$  n'est pas forcément positif. Il existe des (méta-)matériaux à coefficient de Poisson  $\nu < 0$  (matériaux auxétiques), ceux là augmentent de rayon durant l'expérience de traction (13) :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon} > 1 \quad \text{si } \varepsilon > 0.$$

## 2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

### Croissance des volumes

- Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson  $\nu$  intervenant dans la loi (15) :

$$\frac{V}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon}.$$

Il faut que  $V/V_0 > 1$  si  $\varepsilon > 0$  donc que

$$\nu \leq 0.5 \quad (16)$$

- Si  $\nu = \frac{1}{2}$ , le volume reste cst. ( $V = V_0$ ), l'échantillon est dit **incompressible**.
- Notons que  $\nu$  n'est pas forcément positif. Il existe des (méta-)matériaux à coefficient de Poisson  $\nu < 0$  (matériaux auxétiques), ceux là augmentent de rayon durant l'expérience de traction (13) :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu\varepsilon} > 1 \quad \text{si } \varepsilon > 0.$$

▶ Film playAuxetics

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- *Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :*

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

*que vous connaissez sans doute.*

- *Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :*

$\varepsilon$

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$\varepsilon$

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Quel est le rapport entre le taux de déformation nominal de l'échantillon et ses longueurs initiale/finale ?

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon \approx e$$

Quel est le rapport entre le taux de déformation nominal de l'échantillon et ses longueurs initiale/finale ?

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \left( 1 + \frac{l - l_0}{l_0} \right)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} \approx \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

Reprenons la définition du taux réel

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0}$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

Reprenons la définition du taux réel

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0} \quad \left( \frac{l - l_0}{l_0} \right)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0} \approx \left( \frac{l - l_0}{l_0} \right)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

Faisons intervenir  $l_0$  au numérateur sans changer sa valeur

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0} = \ln \left( 1 + \frac{l - l_0}{l_0} \right)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

Faisons intervenir  $l_0$  au numérateur sans changer sa valeur

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0} = \ln \left( 1 + \frac{l - l_0}{l_0} \right)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0} = \ln \left( 1 + \frac{l - l_0}{l_0} \right)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

Distribuons la division par  $l_0$

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0} = \ln \left( 1 + \frac{l - l_0}{l_0} \right) = \ln(1 + e)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

Distribuons la division par  $l_0$

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0} = \ln \left( 1 + \frac{l - l_0}{l_0} \right) = \ln(1 + e)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0} = \ln \left( 1 + \frac{l - l_0}{l_0} \right) = \ln(1 + e)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

Reconnaissons le taux de déformation nominal

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0} = \ln \left( 1 + \frac{l - l_0}{l_0} \right) = \ln(1 + e)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

Reconnaissons le taux de déformation nominal

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des petites déformations, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0} = \ln \left( 1 + \frac{l - l_0}{l_0} \right) = \ln(1 + e)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des *petites déformations*, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0} = \ln \left( 1 + \frac{l - l_0}{l_0} \right) = \ln(1 + e)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

Que vaut  $\ln(1 + e)$  si  $e$  est petit

## 2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

### Le taux de déformation nominal

- Le taux de déformation réel  $\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

que vous connaissez sans doute.

- Dans le cas des *petites déformations*, ces deux taux coïncident :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + l - l_0}{l_0} = \ln \left( 1 + \frac{l - l_0}{l_0} \right) = \ln(1 + e)$$

donc

$$\varepsilon \approx e, \text{ si } e < 0.05$$

Que vaut  $\ln(1 + e)$  si  $e$  est petit

## 2.2.13 La loi de Hooke linéarisée

- Vous avez peut-être vu la loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  avec le **taux nominal**  $e$  à la place du **taux réel**  $\varepsilon$  :

$$\sigma = Ee, e \leq e_e \quad \text{(cf. exos 2.2.12 et 2.2.14)}$$

- Comme  $e \neq \varepsilon$ , cette nouvelle loi ne peut être vraie qu'asymptotiquement lorsque  $e$  est très petit (car alors  $\varepsilon \approx e$ ). On l'appelle *loi de Hooke linéarisée*.
- Elle a un intérêt calculatoire : elle évite l'extraction d'un logarithme pour calculer le taux de déformation lorsque  $\ell_0, \ell$  sont connus.
- Mais on verra qu'elle conduit à des prédictions aberrantes comme une **diminution de la déformabilité** de la matière sous précontraintes (cf.exos).
- On peut montrer que le **taux nominal est toujours supérieur au taux réel** :

$$e > \varepsilon.$$

## 2.2.13 La loi de Hooke linéarisée

- Vous avez peut-être vu la loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  avec le **taux nominal**  $e$  à la place du **taux réel**  $\varepsilon$  :

$$\sigma = Ee, e \leq e_e \quad (\text{loi de Hooke linéarisée})$$

- Comme  $e \neq \varepsilon$ , cette nouvelle loi ne peut être vraie qu'asymptotiquement lorsque  $e$  est très petit (car alors  $\varepsilon \approx e$ ). On l'appelle *loi de Hooke linéarisée*.
- Elle a un intérêt calculatoire : elle évite l'extraction d'un logarithme pour calculer le taux de déformation lorsque  $\ell_0, \ell$  sont connus.
- Mais on verra qu'elle conduit à des prédictions aberrantes comme une **diminution de la déformabilité** de la matière sous précontraintes (cf.exos).
- On peut montrer que le **taux nominal est toujours supérieur au taux réel** :

$$e > \varepsilon.$$

## 2.2.13 La loi de Hooke linéarisée

- Vous avez peut-être vu la loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  avec le taux nominal  $e$  à la place du taux réel  $\varepsilon$  :

$$\sigma = Ee, e \leq e_e \quad (\text{loi de Hooke linéarisée})$$

- Comme  $e \neq \varepsilon$ , cette nouvelle loi ne peut être vraie qu'asymptotiquement lorsque  $e$  est très petit (car alors  $\varepsilon \approx e$ ). On l'appelle loi de Hooke linéarisée.
- Elle a un intérêt calculatoire : elle évite l'extraction d'un logarithme pour calculer le taux de déformation lorsque  $\ell_0, \ell$  sont connus.
- Mais on verra qu'elle conduit à des prédictions aberrantes comme une **diminution de la déformabilité** de la matière sous précontraintes (cf.exos).
- On peut montrer que le taux nominal est **toujours** supérieur au taux réel :

$$e > \varepsilon.$$

## 2.2.13 La loi de Hooke linéarisée

- Vous avez peut-être vu la loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  avec le taux nominal  $e$  à la place du taux réel  $\varepsilon$  :

$$\sigma = Ee, e \leq e_e \quad (\text{loi de Hooke linéarisée})$$

- Comme  $e \neq \varepsilon$ , cette nouvelle loi ne peut être vraie qu'asymptotiquement lorsque  $e$  est très petit (car alors  $\varepsilon \approx e$ ). On l'appelle loi de Hooke linéarisée.
- Elle a un intérêt calculatoire : elle évite l'extraction d'un logarithme pour calculer le taux de déformation lorsque  $\ell_0, \ell$  sont connus.
- Mais on verra qu'elle conduit à des prédictions aberrantes comme une **diminution de la déformabilité** de la matière sous précontraintes (cf.exos).
- On peut montrer que le taux nominal est **toujours** supérieur au taux réel :

$$e > \varepsilon.$$

## 2.2.13 La loi de Hooke linéarisée

- Vous avez peut-être vu la loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  avec le taux nominal  $e$  à la place du taux réel  $\varepsilon$  :

$$\sigma = Ee, e \leq e_e \quad (\text{loi de Hooke linéarisée})$$

- Comme  $e \neq \varepsilon$ , cette nouvelle loi ne peut être vraie qu'asymptotiquement lorsque  $e$  est très petit (car alors  $\varepsilon \approx e$ ). On l'appelle loi de Hooke linéarisée.
- Elle a un intérêt calculatoire : elle évite l'extraction d'un logarithme pour calculer le taux de déformation lorsque  $\ell_0, \ell$  sont connus.
- Mais on verra qu'elle conduit à des prédictions aberrantes comme une **diminution de la déformabilité** de la matière sous précontraintes (cf.exos).
- On peut montrer que le taux nominal est **toujours** supérieur au taux réel :

$$e > \varepsilon.$$

Quel est l'intérêt de la loi de Hooke linéarisée ?

## 2.2.13 La loi de Hooke linéarisée

- Vous avez peut-être vu la loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  avec le taux nominal  $e$  à la place du taux réel  $\varepsilon$  :

$$\sigma = Ee, e \leq e_e \quad (\text{loi de Hooke linéarisée})$$

- Comme  $e \neq \varepsilon$ , cette nouvelle loi ne peut être vraie qu'asymptotiquement lorsque  $e$  est très petit (car alors  $\varepsilon \approx e$ ). On l'appelle loi de Hooke linéarisée.
- Elle a un intérêt calculatoire : elle évite l'extraction d'un logarithme pour calculer le taux de déformation lorsque  $\ell_0, \ell$  sont connus.
- Mais on verra qu'elle conduit à des prédictions aberrantes comme une **diminution de la déformabilité** de la matière sous précontraintes (cf.exos).
- On peut montrer que le taux nominal est **toujours** supérieur au taux réel :

$$e > \varepsilon.$$

Quel est l'intérêt de la loi de Hooke linéarisée ?

## 2.2.13 La loi de Hooke linéarisée

- Vous avez peut-être vu la loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  avec le taux nominal  $e$  à la place du taux réel  $\varepsilon$  :

$$\sigma = Ee, e \leq e_e \quad (\text{loi de Hooke linéarisée})$$

- Comme  $e \neq \varepsilon$ , cette nouvelle loi ne peut être vraie qu'asymptotiquement lorsque  $e$  est très petit (car alors  $\varepsilon \approx e$ ). On l'appelle loi de Hooke linéarisée.
- Elle a un intérêt calculatoire : elle évite l'extraction d'un logarithme pour calculer le taux de déformation lorsque  $\ell_0, \ell$  sont connus.
- Mais on verra qu'elle conduit à des prédictions aberrantes comme une **diminution de la déformabilité** de la matière sous précontraintes (cf.exos).
- On peut montrer que le taux nominal est **toujours** supérieur au taux réel :

$$e > \varepsilon.$$

La loi de Hooke linéarisée surestime donc systématiquement le constant réel  $\nu$  qu'il faut appliquer pour atteindre une déformation donnée.

## 2.2.13 La loi de Hooke linéarisée

- Vous avez peut-être vu la loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  avec le taux nominal  $e$  à la place du taux réel  $\varepsilon$  :

$$\sigma = Ee, e \leq e_e \quad (\text{loi de Hooke linéarisée})$$

- Comme  $e \neq \varepsilon$ , cette nouvelle loi ne peut être vraie qu'asymptotiquement lorsque  $e$  est très petit (car alors  $\varepsilon \approx e$ ). On l'appelle loi de Hooke linéarisée.
- Elle a un intérêt calculatoire : elle évite l'extraction d'un logarithme pour calculer le taux de déformation lorsque  $\ell_0, \ell$  sont connus.
- Mais on verra qu'elle conduit à des prédictions aberrantes comme une **diminution de la déformabilité** de la matière sous précontraintes (cf.exos).
- On peut montrer que le taux nominal est **toujours** supérieur au taux réel :

$$e > \varepsilon.$$

La loi de Hooke linéarisée *surestime* donc systématiquement la contrainte réelle  $\sigma$  qu'il faut appliquer pour atteindre une déformation donnée.

## 2.2.13 La loi de Hooke linéarisée

- Vous avez peut-être vu la loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  avec le taux nominal  $e$  à la place du taux réel  $\varepsilon$  :

$$\sigma = Ee, e \leq e_e \quad (\text{loi de Hooke linéarisée})$$

- Comme  $e \neq \varepsilon$ , cette nouvelle loi ne peut être vraie qu'asymptotiquement lorsque  $e$  est très petit (car alors  $\varepsilon \approx e$ ). On l'appelle loi de Hooke linéarisée.
- Elle a un intérêt calculatoire : elle évite l'extraction d'un logarithme pour calculer le taux de déformation lorsque  $\ell_0, \ell$  sont connus.
- Mais on verra qu'elle conduit à des prédictions aberrantes comme une **diminution de la déformabilité** de la matière sous précontraintes (cf.exos).
- On peut montrer que le taux nominal est **toujours** supérieur au taux réel :

$$e > \varepsilon.$$

La loi de Hooke linéarisée **surestime** donc systématiquement la contrainte réelle  $\sigma$  qu'il faut appliquer pour atteindre une déformation donnée.

## 2.3.1 Exemple de loi d'écroutissage - Loi de Ludwik

### Zone plastique et loi d'écroutissage

- La loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  n'est plus valable si  $\varepsilon$  excède  $\varepsilon_e$  (**plasticité**).
- La loi d'écroutissage donne le rapport entre  $\sigma$  et  $\varepsilon$  dans la zone plastique.

### Loi de Ludwik

Pour toute une classe de matériaux réversibles, cette relation peut être

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e \quad (\text{Ludwik})$$

où  $n$  est le coefficient d'écroutissage et  $K$  le module d'écroutissage, unité  $:[K] = \text{CFa}$ .

Le module d'écroutissage  $K$  est défini pour que les lois de Hooke et de Ludwik soient compatibles.

## 2.3.1 Exemple de loi d'écroutissage - Loi de Ludwik

### Zone plastique et loi d'écroutissage

- La loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  n'est plus valable si  $\varepsilon$  excède  $\varepsilon_e$  (**plasticité**).
- La **loi d'écroutissage** donne le rapport entre  $\sigma$  et  $\varepsilon$  dans la zone plastique.

### Loi de Ludwik

Pour une certaine classe de matériaux réversibles, cette relation peut être

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e \quad (\text{Ludwik})$$

où  $n$  est le coefficient d'écroutissage et  $K$  le module d'écroutissage, unité  $[K] = \text{CFPa}$ .

La courbe d'écroutissage  $\sigma = K\varepsilon^n$  est représentée sur les figs. 2.3.1 et 2.3.2.

## 2.3.1 Exemple de loi d'écroutissement - Loi de Ludwik

### Zone plastique et loi d'écroutissement

- La loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  n'est plus valable si  $\varepsilon$  excède  $\varepsilon_e$  (**plasticité**).
- La **loi d'écroutissement** donne le rapport entre  $\sigma$  et  $\varepsilon$  dans la zone plastique.

### Loi de Ludwik

- Pour toute une classe de matériaux **revenus**, cette relation peut être

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e \quad (\text{Ludwik})$$

où  $n$  est le **coefficient d'écroutissement** et  $K$  le module d'écroutissement, **unité** :  $[K] = \text{GPa}$ .

- Le module d'écroutissement  $K$  est ajustée pour que les lois de Hooke et de Ludwik coïncident en  $\varepsilon = \varepsilon_e$

## 2.3.1 Exemple de loi d'écroutissement - Loi de Ludwik

### Zone plastique et loi d'écroutissement

- La loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  n'est plus valable si  $\varepsilon$  excède  $\varepsilon_e$  (**plasticité**).
- La **loi d'écroutissement** donne le rapport entre  $\sigma$  et  $\varepsilon$  dans la zone plastique.

### Loi de Ludwik

- Pour toute une classe de matériaux **revenus**, cette relation peut être

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e \quad (\text{Ludwik})$$

où  $n$  est le **coefficient d'écroutissement** et  $K$  le module d'écroutissement, **unité** :  $[K] = \text{GPa}$ .

- Le module d'écroutissement  $K$  est ajustée pour que les lois de Hooke et de Ludwik coïncident en  $\varepsilon = \varepsilon_e$

►► Loi de Ludwik aux tableaux

## 2.3.1 Exemple de loi d'écouissage - Loi de Ludwik

### Zone plastique et loi d'écouissage

- La loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  n'est plus valable si  $\varepsilon$  excède  $\varepsilon_e$  (**plasticité**).
- La **loi d'écouissage** donne le rapport entre  $\sigma$  et  $\varepsilon$  dans la zone plastique.

### Loi de Ludwik

- Pour tout une classe de matériaux **revenus**, cette relation peut être

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e \quad (\text{Ludwik})$$

où  $n$  est le **coefficient d'écouissage** et  $K$  le module d'écouissage, **unité** :  $[K] = \text{GPa}$ .

- Le module d'écouissage  $K$  est ajustée pour que les lois de Hooke et de Ludwik coïncident en  $\varepsilon = \varepsilon_e$

$$K = E\varepsilon_e^{1-n}$$

(18)

## 2.3.1 Exemple de loi d'écouissage - Loi de Ludwik

### Zone plastique et loi d'écouissage

- La loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  n'est plus valable si  $\varepsilon$  excède  $\varepsilon_e$  (**plasticité**).
- La **loi d'écouissage** donne le rapport entre  $\sigma$  et  $\varepsilon$  dans la zone plastique.

### Loi de Ludwik

- Pour toute une classe de matériaux **revenus**, cette relation peut être

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e \quad (\text{Ludwik})$$

où  $n$  est le **coefficient d'écouissage** et  $K$  le module d'écouissage, **unité** :  $[K] = \text{GPa}$ .

- Le module d'écouissage  $K$  est ajustée pour que les lois de Hooke et de Ludwik coïncident en  $\varepsilon = \varepsilon_e$

$$K = E\varepsilon_e^{1-n}. \quad (18)$$

► Tableau 3

## 2.3.1 Exemple de loi d'écouissage - Loi de Ludwik

### Zone plastique et loi d'écouissage

- La loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  n'est plus valable si  $\varepsilon$  excède  $\varepsilon_e$  (**plasticité**).
- La **loi d'écouissage** donne le rapport entre  $\sigma$  et  $\varepsilon$  dans la zone plastique.

### Loi de Ludwik

- Pour tout une classe de matériaux **revenus**, cette relation peut être

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e \quad (\text{Ludwik})$$

où  $n$  est le **coefficient d'écouissage** et  $K$  le module d'écouissage, **unité** :  $[K] = \text{GPa}$ .

- Le module d'écouissage  $K$  est ajustée pour que les lois de Hooke et de Ludwik coïncident en  $\varepsilon = \varepsilon_e$  :

$$K = E\varepsilon_e^{1-n}. \quad (18)$$

## 2.3.1 Exemple de loi d'écroutissement - Loi de Ludwik

### Zone plastique et loi d'écroutissement

- La loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  n'est plus valable si  $\varepsilon$  excède  $\varepsilon_e$  (**plasticité**).
- La **loi d'écroutissement** donne le rapport entre  $\sigma$  et  $\varepsilon$  dans la zone plastique.

### Loi de Ludwik

- Pour toute une classe de matériaux **revenus**, cette relation peut être

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e \quad (\text{Ludwik})$$

où  $n$  est le **coefficient d'écroutissement** et  $K$  le module d'écroutissement, **unité** :  $[K] = \text{GPa}$ .

- Le module d'écroutissement  $K$  est ajustée pour que les lois de Hooke et de Ludwik coïncident en  $\varepsilon = \varepsilon_e$  :

$$K = E\varepsilon_e^{1-n}. \quad (18)$$

► Elimination du module d'écroutissement aux tableaux

## 2.3.1 Exemple de loi d'écroutissement - Loi de Ludwik

### Zone plastique et loi d'écroutissement

- La loi de Hooke  $\sigma = E\varepsilon$  n'est plus valable si  $\varepsilon$  excède  $\varepsilon_e$  (**plasticité**).
- La **loi d'écroutissement** donne le rapport entre  $\sigma$  et  $\varepsilon$  dans la zone plastique.

### Loi de Ludwik

- Pour toute une classe de matériaux **revenus**, cette relation peut être

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e \quad (\text{Ludwik})$$

où  $n$  est le **coefficient d'écroutissement** et  $K$  le module d'écroutissement, **unité** :  $[K] = \text{GPa}$ .

- Le module d'écroutissement  $K$  est ajustée pour que les lois de Hooke et de Ludwik coïncident en  $\varepsilon = \varepsilon_e$  :

$$K = E\varepsilon_e^{1-n}. \quad (18)$$

## 2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écroutissage

### Règle générale

- *Pour des raisons thermodynamiques (cf. exercices), on a que*

$$0 < n < 1.$$

## 2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écroutissage

### Règle générale

- *Pour des raisons thermodynamiques (cf. exercices), on a que*

$$0 < n < 1.$$

► Valeurs possibles de  $n$

## 2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écroutissage

### Règle générale

- *Pour des raisons thermodynamiques (cf. exercices), on a que*

$$0 < n < 1.$$

## 2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écroutissage

### Règle générale

- Pour des raisons thermodynamiques (cf. exercices), on a que

$$0 < n < 1.$$

### Discussion des valeurs possibles de $n$

- Le cas limite  $n = 0$  correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**.
- Pour les matériaux réels,  $n > 0$  et la contrainte  $\sigma$  croît avec  $\varepsilon$ .

## 2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écroutissage

### Règle générale

- Pour des raisons thermodynamiques (cf. exercices), on a que

$$0 < n < 1.$$

### Discussion des valeurs possibles de $n$

- Le cas limite  $n = 0$  correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**. Dans ce cas  $\sigma = c^{\text{ste}}$  au delà de la limite élastique
- Pour les matériaux réels,  $n > 0$  et la contrainte  $\sigma$  croît avec  $\varepsilon$ .

## 2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écroutissage

### Règle générale

- Pour des raisons thermodynamiques (cf. exercices), on a que

$$0 < n < 1.$$

### Discussion des valeurs possibles de $n$

- Le cas limite  $n = 0$  correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**. Dans ce cas  $\sigma = c^{\text{ste}}$  au delà de la limite élastique

$$n_{or} \simeq 0.$$

- Pour les matériaux réels,  $n > 0$  et la contrainte  $\sigma$  croît avec  $\varepsilon$ .

## 2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrrouissage

### Règle générale

- Pour des raisons thermodynamiques (cf. exercices), on a que

$$0 < n < 1.$$

### Discussion des valeurs possibles de $n$

- Le cas limite  $n = 0$  correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**. Dans ce cas  $\sigma = c^{\text{ste}}$  au delà de la limite élastique

$$n_{or} \simeq 0.$$

- Pour les matériaux réels,  $n > 0$  et la contrainte  $\sigma$  croît avec  $\varepsilon$ .

## 2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écroutissage

### Règle générale

- Pour des raisons thermodynamiques (cf. exercices), on a que

$$0 < n < 1.$$

### Discussion des valeurs possibles de $n$

- Le cas limite  $n = 0$  correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**. Dans ce cas  $\sigma = \sigma^{ste}$  au delà de la limite élastique

$$n_{or} \simeq 0.$$

- Pour les matériaux réels,  $n > 0$  et la contrainte  $\sigma$  croît avec  $\varepsilon$ . Si  $n \simeq 1$ , plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler

## 2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écroissage

### Règle générale

- Pour des raisons thermodynamiques (cf. exercices), on a que

$$0 < n < 1.$$

### Discussion des valeurs possibles de $n$

- Le cas limite  $n = 0$  correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**. Dans ce cas  $\sigma = c^{ste}$  au delà de la limite élastique

$$n_{or} \simeq 0.$$

- Pour les matériaux réels,  $n > 0$  et la contrainte  $\sigma$  croît avec  $\varepsilon$ . Si  $n \simeq 1$ , plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler (**écroissage par augmentation de la densité de dislocations**)

## 2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écroutissage

### Règle générale

- Pour des raisons thermodynamiques (cf. exercices), on a que

$$0 < n < 1.$$

### Discussion des valeurs possibles de $n$

- Le cas limite  $n = 0$  correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**. Dans ce cas  $\sigma = c^{\text{ste}}$  au delà de la limite élastique

$$n_{\text{or}} \simeq 0.$$

- Pour les matériaux réels,  $n > 0$  et la contrainte  $\sigma$  croît avec  $\varepsilon$ . Si  $n \simeq 1$ , plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler (**écroutissage par augmentation de la densité de dislocations**)

$$n_{\text{cuivre}} \simeq 1.$$

## 2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écroissage

### Règle générale

- Pour des raisons thermodynamiques (cf. exercices), on a que

$$0 < n < 1.$$

### Discussion des valeurs possibles de $n$

- Le cas limite  $n = 0$  correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**. Dans ce cas  $\sigma = c^{ste}$  au delà de la limite élastique

$$n_{or} \simeq 0.$$

- Pour les matériaux réels,  $n > 0$  et la contrainte  $\sigma$  croît avec  $\varepsilon$ . Si  $n \simeq 1$ , plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler (**écrouissage par augmentation de la densité de dislocations**)

$$n_{cuivre} \simeq 1.$$

► Valeurs de  $n$  pour différents matériaux

## 2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrrouissage

### Règle générale

- Pour des raisons thermodynamiques (cf. exercices), on a que

$$0 < n < 1.$$

### Discussion des valeurs possibles de $n$

- Le cas limite  $n = 0$  correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**. Dans ce cas  $\sigma = c^{\text{ste}}$  au delà de la limite élastique

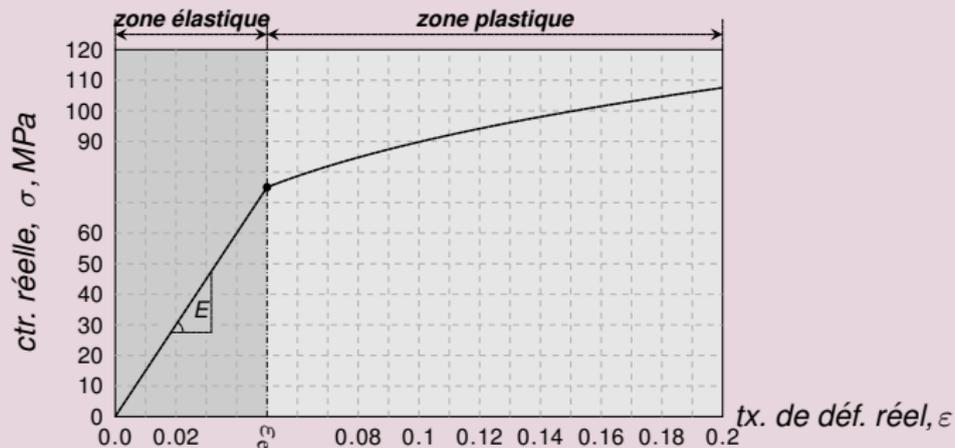
$$n_{\text{or}} \simeq 0.$$

- Pour les matériaux réels,  $n > 0$  et la contrainte  $\sigma$  croît avec  $\varepsilon$ . Si  $n \simeq 1$ , plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler (**écrrouissage par augmentation de la densité de dislocations**)

$$n_{\text{cuivre}} \simeq 1.$$

## 2.3.3 Courbe de traction et limite élastique réelle

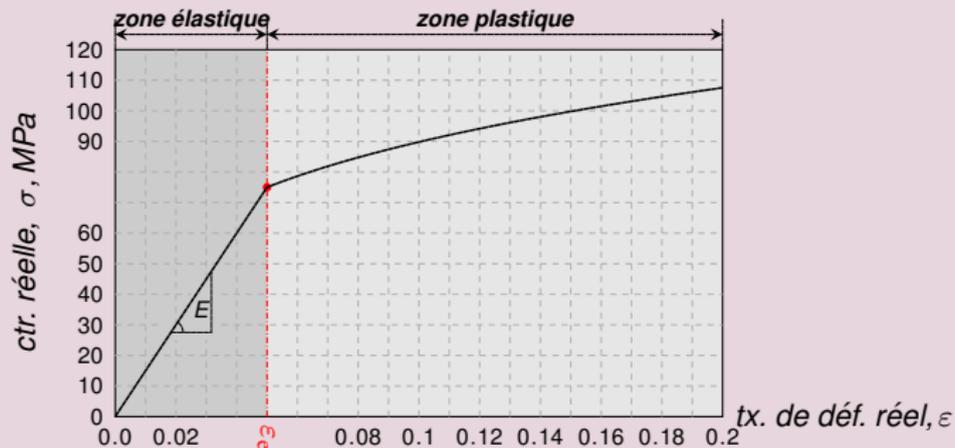
La contrainte en fonction de l'allongement



- La quantité  $\sigma_e = E\epsilon_e$  est la limite élastique réelle du matériau.

## 2.3.3 Courbe de traction et limite élastique réelle

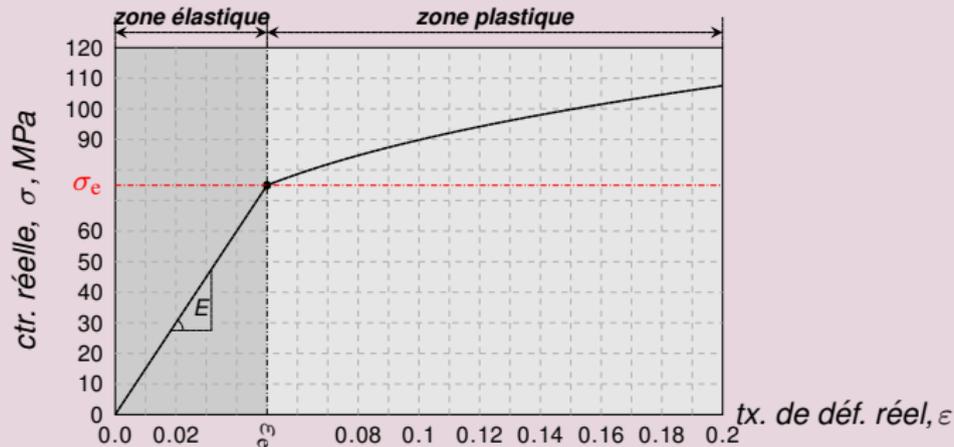
### La contrainte en fonction de l'allongement



- La quantité  $\sigma_e = E\epsilon_e$  est la **limite élastique réelle du matériau**. Si la contrainte de traction appliquée excède cette limite, le matériau subit une déformation permanente.

## 2.3.3 Courbe de traction et limite élastique réelle

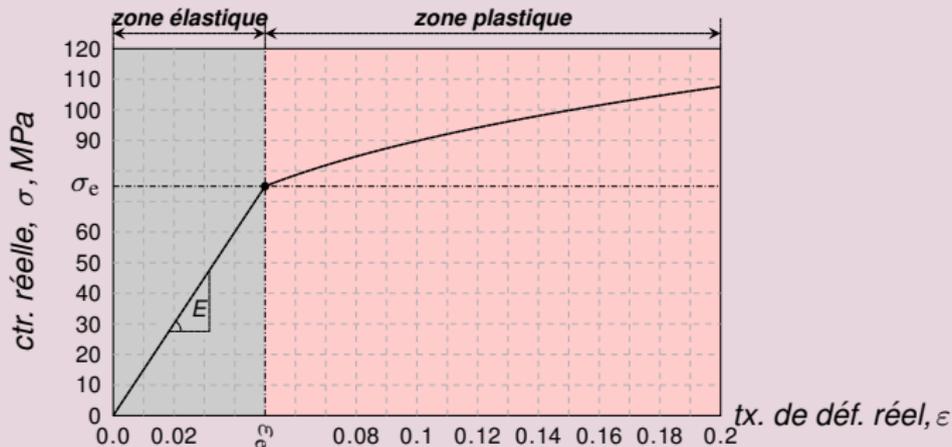
### La contrainte en fonction de l'allongement



- La quantité  $\sigma_e = E\epsilon_e$  est la **limite élastique réelle du matériau**. Si la contrainte de traction appliquée excède cette limite, le matériau subit une déformation permanente. Cet état est celui recherché dans les processus de **formage** (forgeage, laminage, ...). Les forces mises en jeu par ces procédés amèneront le niveau de contrainte au-delà de la valeur  $\sigma_e$ . Cela justifie l'importance de la partie plastique de la courbe de traction dans ce cours.

## 2.3.3 Courbe de traction et limite élastique réelle

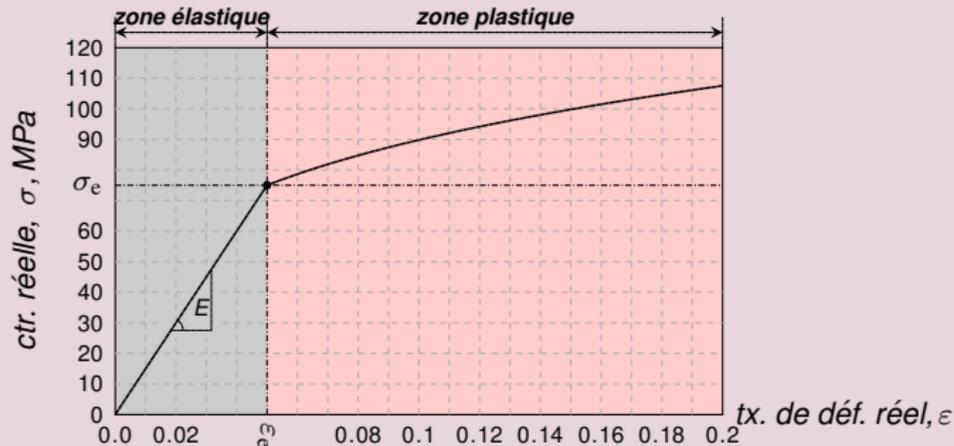
### La contrainte en fonction de l'allongement



- La quantité  $\sigma_e = E\epsilon_e$  est la **limite élastique réelle du matériau**. Si la contrainte de traction appliquée excède cette limite, le matériau subit une déformation permanente. Cet état est celui recherché dans les processus de **formage** (forgeage, laminage, ...). Les forces mises en jeu par ces procédés amèneront le niveau de contrainte au-delà de la valeur  $\sigma_e$ . Cela justifie l'importance de la partie plastique de la courbe de traction dans ce cours.

## 2.3.3 Courbe de traction et limite élastique réelle

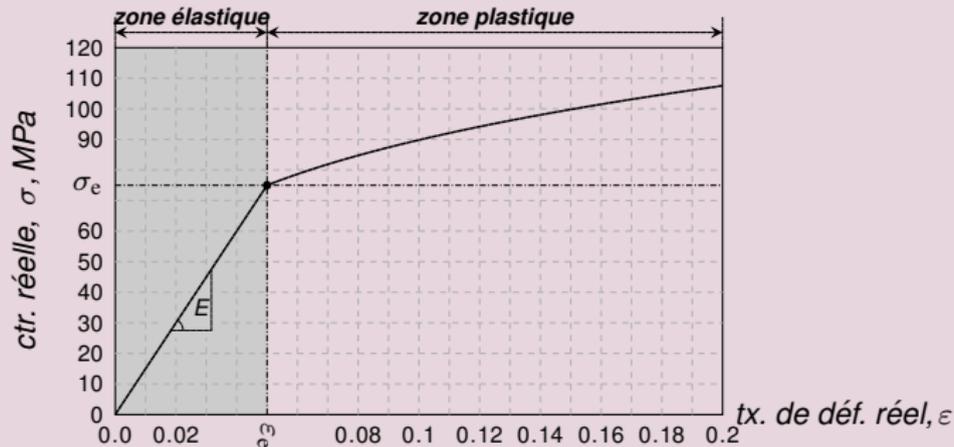
### La contrainte en fonction de l'allongement



- La quantité  $\sigma_e = E\epsilon_e$  est la **limite élastique réelle du matériau**. Si la contrainte de traction appliquée excède cette limite, le matériau subit une déformation permanente. Cet état est celui recherché dans les processus de **formage** (forgeage, laminage, ...). Les forces mises en jeu par ces procédés amèneront le niveau de contrainte au-delà de la valeur  $\sigma_e$ . Cela justifie l'importance de la partie plastique de la courbe de traction dans ce cours.

## 2.3.3 Courbe de traction et limite élastique réelle

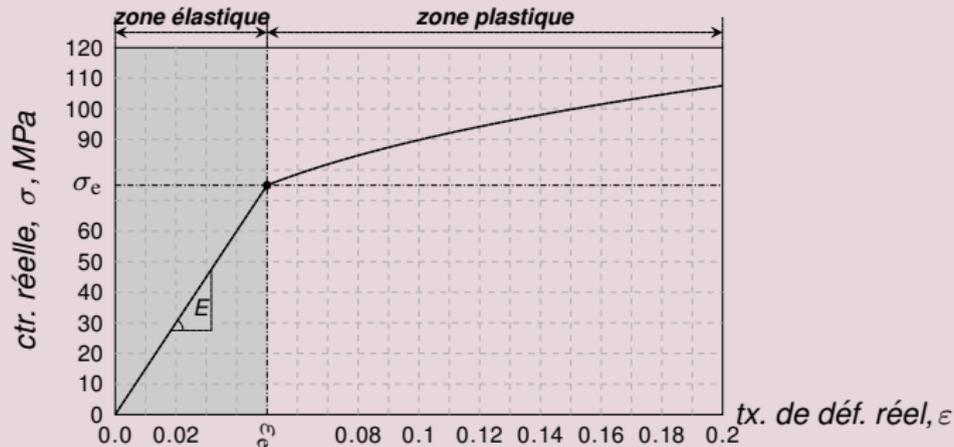
### La contrainte en fonction de l'allongement



- La quantité  $\sigma_e = E\epsilon_e$  est la **limite élastique réelle du matériau**. Si la contrainte de traction appliquée excède cette limite, le matériau subit une déformation permanente. Cet état est celui recherché dans les processus de **formage** (forgeage, laminage, ...). Les forces mises en jeu par ces procédés amèneront le niveau de contrainte au-delà de la valeur  $\sigma_e$ . Cela justifie l'importance de la partie plastique de la courbe de traction dans ce cours.

## 2.3.3 Courbe de traction et limite élastique réelle

### La contrainte en fonction de l'allongement



- La quantité  $\sigma_e = E\epsilon_e$  est la **limite élastique réelle du matériau**. Si la contrainte de traction appliquée excède cette limite, le matériau subit une déformation permanente. Cet état est celui recherché dans les processus de **formage** (forgeage, laminage, ...). Les forces mises en jeu par ces procédés amèneront le niveau de contrainte au-delà de la valeur  $\sigma_e$ . Cela justifie l'importance de la partie plastique de la courbe de traction dans ce cours.

## 2.3.4 Limite élastique réelle

### Interprétation microscopique et augmentation

- La quantité  $\sigma_e$  correspond au niveau de traction uniaxiale à partir duquel les dislocations se mettent à bouger (**écoulement du matériau**).
  - Il faut souligner que seules des contraintes de **cisaillement** peuvent mobiliser des dislocations.
- On peut augmenter la limite élastique réelle  $\sigma_e$  (donc la **dureté** du matériau à laquelle elle est liée)

► Ecoulement du matériau

## 2.3.4 Limite élastique réelle

### Interprétation microscopique et augmentation

- La quantité  $\sigma_e$  correspond au niveau de traction uniaxiale à partir duquel les dislocations se mettent à bouger (écoulement du matériau).
  - Il faut souligner que seules des contraintes de **cisaillement** peuvent mobiliser des dislocations. Or un état de traction uniaxiale implique que certains plans sont sollicités en cisaillement !
- On peut augmenter la limite élastique réelle  $\sigma_e$  (donc la **dureté** du matériau à laquelle elle est liée)

## 2.3.4 Limite élastique réelle

### Interprétation microscopique et augmentation

- La quantité  $\sigma_e$  correspond au niveau de traction uniaxiale à partir duquel les dislocations se mettent à bouger (écoulement du matériau).
  - Il faut souligner que seules des contraintes de **cisaillement** peuvent mobiliser des dislocations. Or un état de traction uniaxiale implique que certains plans sont sollicités en cisaillement !
- On peut augmenter la limite élastique réelle  $\sigma_e$  (donc la **dureté** du matériau à laquelle elle est liée)

## 2.3.4 Limite élastique réelle

### Interprétation microscopique et augmentation

- La quantité  $\sigma_e$  correspond au niveau de traction uniaxiale à partir duquel les dislocations se mettent à bouger (écoulement du matériau).
  - Il faut souligner que seules des contraintes de **cisaillement** peuvent mobiliser des dislocations. Or un état de traction uniaxiale implique que certains plans sont sollicités en cisaillement !
- On peut augmenter la limite élastique réelle  $\sigma_e$  (donc la *dureté* du matériau à laquelle elle est liée)

*en augmentant la densité de dislocation car les dislocations gênent leurs mouvements mutuels (phénomène d'écrouissage),*

*en augmentant la densité de dislocation car les dislocations gênent leurs mouvements mutuels (phénomène d'écrouissage),*

## 2.3.4 Limite élastique réelle

### Interprétation microscopique et augmentation

- La quantité  $\sigma_e$  correspond au niveau de traction uniaxiale à partir duquel les dislocations se mettent à bouger (écoulement du matériau).
  - Il faut souligner que seules des contraintes de **cisaillement** peuvent mobiliser des dislocations. Or un état de traction uniaxiale implique que certains plans sont sollicités en cisaillement !
- On peut augmenter la limite élastique réelle  $\sigma_e$  (donc la **dureté** du matériau à laquelle elle est liée)
  - en accroissant la densité de dislocation car les dislocations gênent leurs mouvements mutuels (phénomène d'**écrouissage**),
  - en **raffinant** la microstructure du matériau pour augmenter les joints de grains qui eux aussi gênent le mouvement des dislocations,
  - en ajoutant des impuretés pour **bloquer** les dislocations (durcissement par ajout d'éléments d'alliage).

## 2.3.4 Limite élastique réelle

### Interprétation microscopique et augmentation

- La quantité  $\sigma_e$  correspond au niveau de traction uniaxiale à partir duquel les dislocations se mettent à bouger (écoulement du matériau).
  - Il faut souligner que seules des contraintes de **cisaillement** peuvent mobiliser des dislocations. Or un état de traction uniaxiale implique que certains plans sont sollicités en cisaillement !
- On peut augmenter la limite élastique réelle  $\sigma_e$  (donc la **dureté** du matériau à laquelle elle est liée)
  - en accroissant la densité de dislocation car les dislocations gênent leurs mouvements mutuels (phénomène d'**écrouissage**),
  - en **raffinant** la microstructure du matériau pour augmenter les joints de grains qui eux aussi gênent le mouvement des dislocations,
  - en ajoutant des impuretés pour **bloquer** les dislocations (durcissement par ajout d'éléments d'alliage).

## 2.3.4 Limite élastique réelle

### Interprétation microscopique et augmentation

- La quantité  $\sigma_e$  correspond au niveau de traction uniaxiale à partir duquel les dislocations se mettent à bouger (écoulement du matériau).
  - Il faut souligner que seules des contraintes de **cisaillement** peuvent mobiliser des dislocations. Or un état de traction uniaxiale implique que certains plans sont sollicités en cisaillement !
- On peut augmenter la limite élastique réelle  $\sigma_e$  (donc la **dureté** du matériau à laquelle elle est liée)
  - en accroissant la densité de dislocation car les dislocations gênent leurs mouvements mutuels (phénomène d'**écrouissage**),
  - en **raffinant la microstructure** du matériau pour augmenter les joints de grains qui eux aussi gênent le mouvement des dislocations,
  - en ajoutant des impuretés pour **bloquer** les dislocations (durcissement par ajout d'éléments d'alliage).

► Microstructure

## 2.3.4 Limite élastique réelle

### Interprétation microscopique et augmentation

- La quantité  $\sigma_e$  correspond au niveau de traction uniaxiale à partir duquel les dislocations se mettent à bouger (écoulement du matériau).
  - Il faut souligner que seules des contraintes de **cisaillement** peuvent mobiliser des dislocations. Or un état de traction uniaxiale implique que certains plans sont sollicités en cisaillement !
- On peut augmenter la limite élastique réelle  $\sigma_e$  (donc la **dureté** du matériau à laquelle elle est liée)
  - en accroissant la densité de dislocation car les dislocations gênent leurs mouvements mutuels (phénomène d'**écrouissage**),
  - en **raffinant** la microstructure du matériau pour augmenter les joints de grains qui eux aussi gênent le mouvement des dislocations,
  - en ajoutant des impuretés pour **bloquer** les dislocations (durcissement par ajout d'éléments d'alliage).

## 2.3.4 Limite élastique réelle

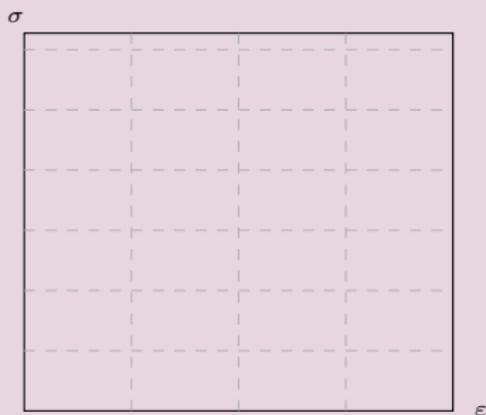
### Interprétation microscopique et augmentation

- La quantité  $\sigma_e$  correspond au niveau de traction uniaxiale à partir duquel les dislocations se mettent à bouger (écoulement du matériau).
  - Il faut souligner que seules des contraintes de **cisaillement** peuvent mobiliser des dislocations. Or un état de traction uniaxiale implique que certains plans sont sollicités en cisaillement !
- On peut augmenter la limite élastique réelle  $\sigma_e$  (donc la **dureté** du matériau à laquelle elle est liée)
  - en accroissant la densité de dislocation car les dislocations gênent leurs mouvements mutuels (phénomène d'**écrouissage**),
  - en **raffinant** la microstructure du matériau pour augmenter les joints de grains qui eux aussi gênent le mouvement des dislocations,
  - en ajoutant des impuretés pour **bloquer** les dislocations (durcissement par ajout d'éléments d'alliage).

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



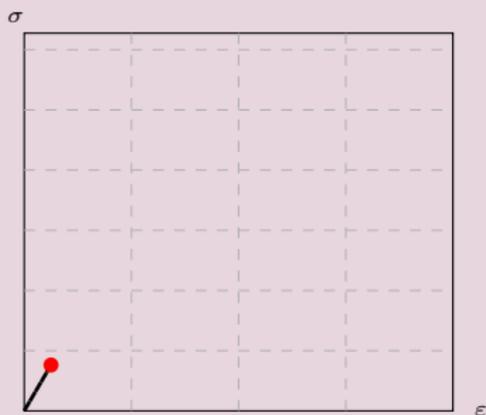
#### **courbe de traction réelle :**

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



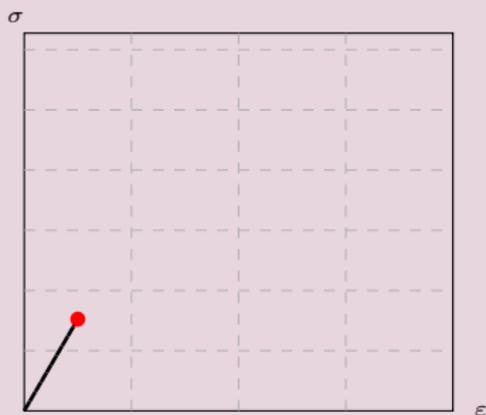
#### **courbe de traction réelle :**

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



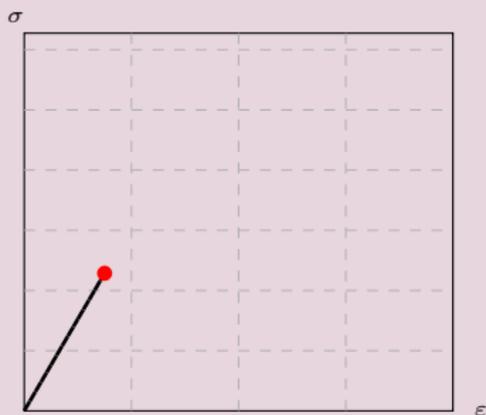
#### **courbe de traction réelle :**

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



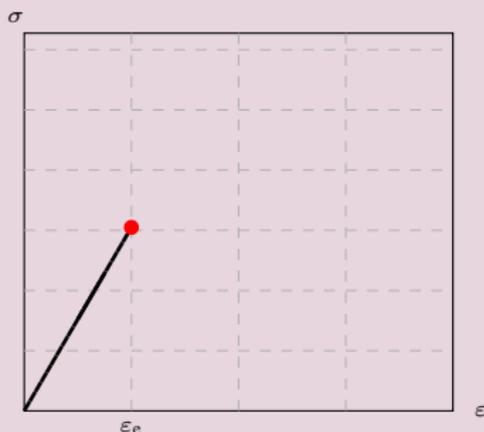
#### **courbe de traction réelle :**

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



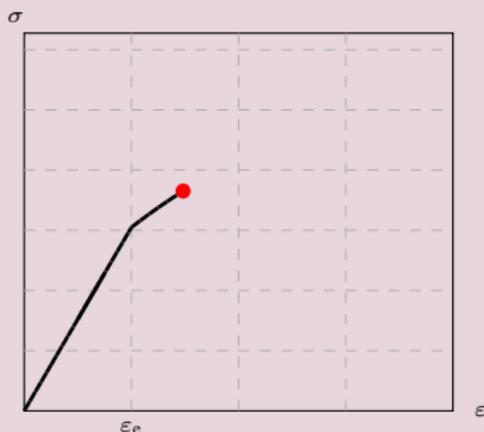
#### **courbe de traction réelle :**

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



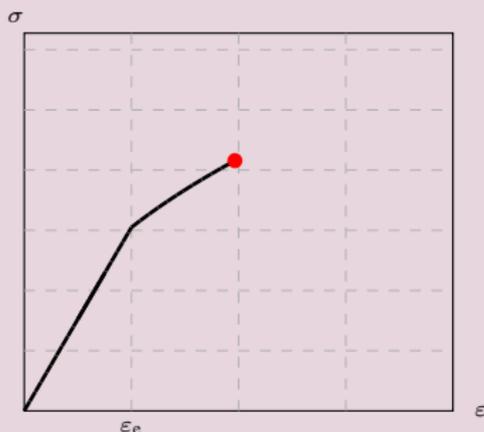
#### **courbe de traction réelle :**

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



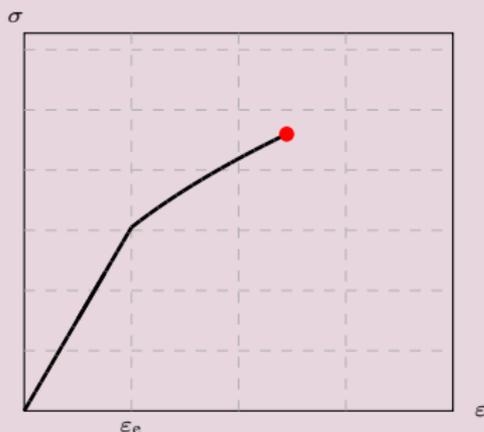
#### **courbe de traction réelle :**

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



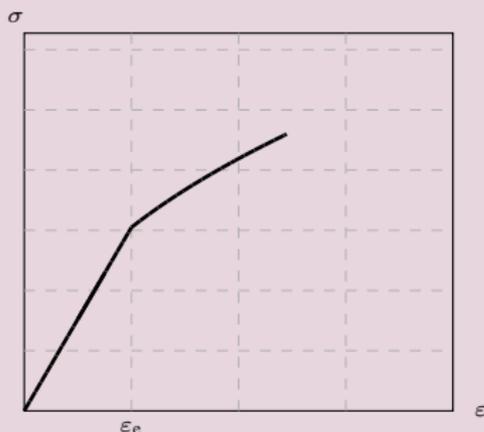
#### **courbe de traction réelle :**

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



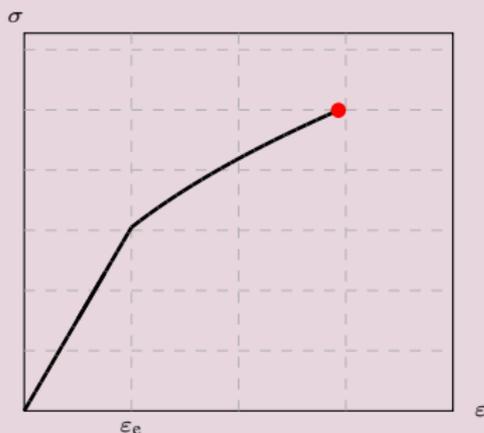
#### **courbe de traction réelle :**

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



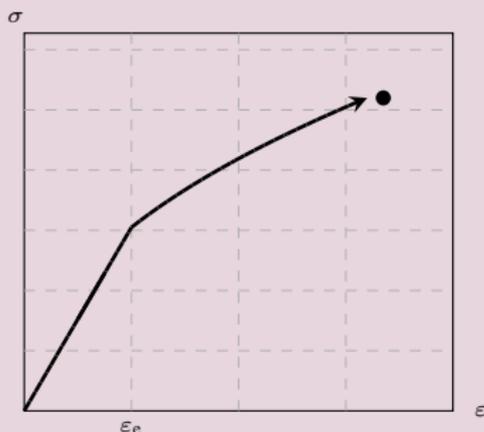
#### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



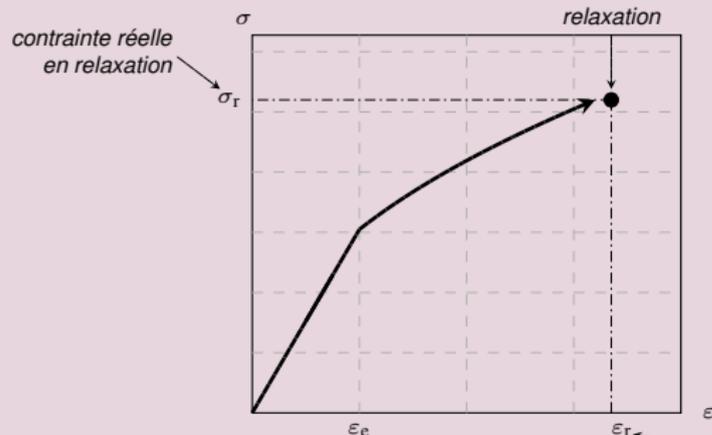
#### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



### courbe de traction réelle :

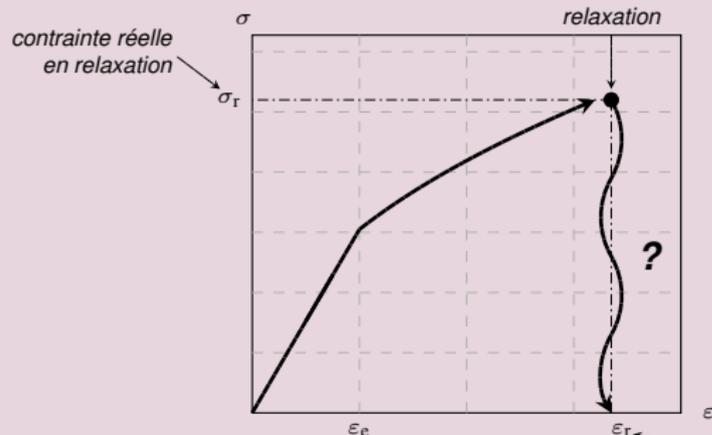
Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

←  $\varepsilon_r$  ← taux de déformation réel en relaxation

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en ligne droite.
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



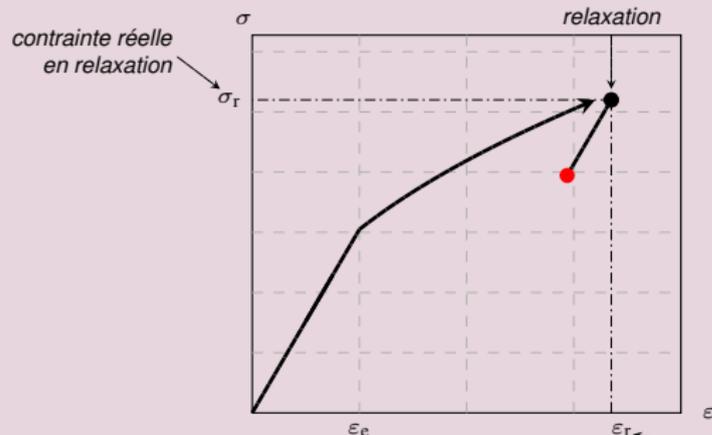
#### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\epsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la portion élastique, sa pente étant exactement égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\epsilon_p$  : le **taux de déformation réel permanent**.



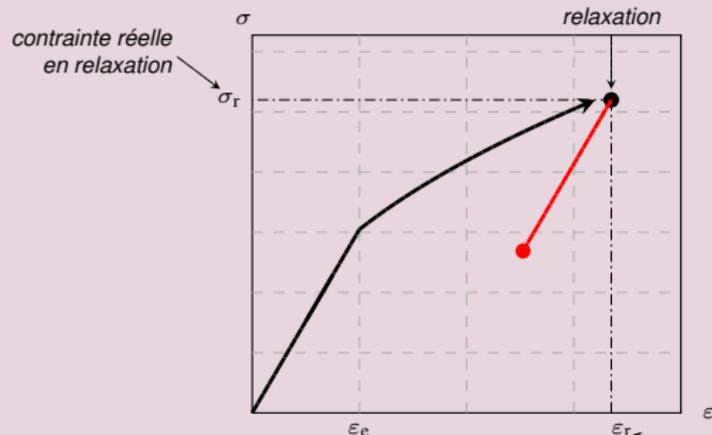
### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\epsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la montée élastique, sa pente est donc **exactement** égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le **taux de déformation réel permanent**.



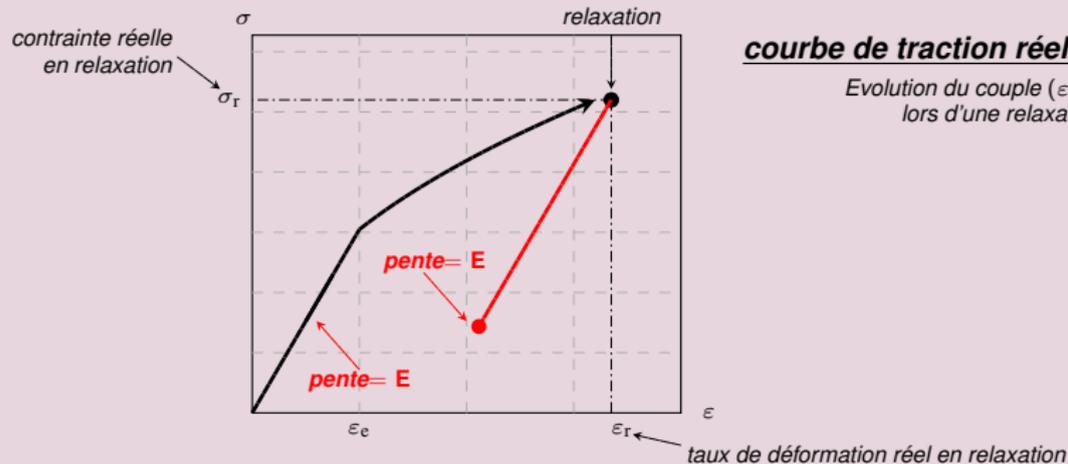
#### **courbe de traction réelle :**

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la montée élastique, sa pente est donc **exactement** égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



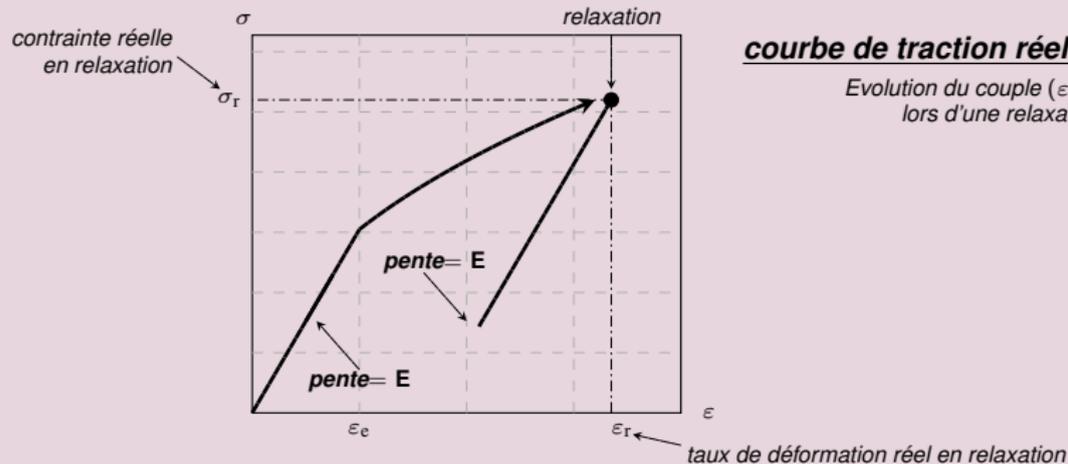
#### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\epsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la montée élastique, sa pente est donc **exactement** égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\epsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



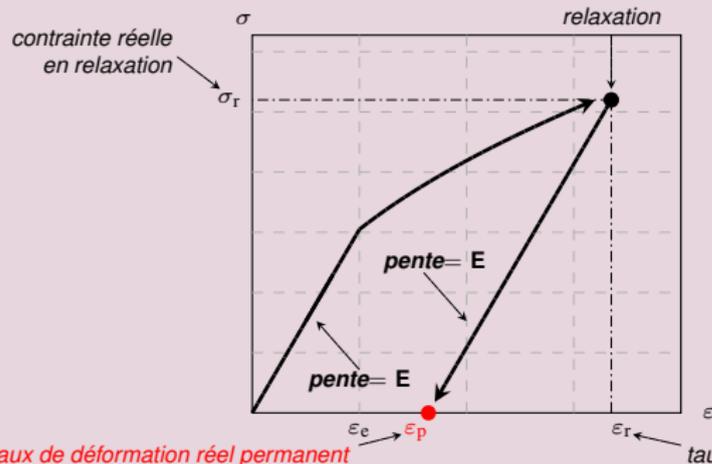
#### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\epsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la montée élastique, sa pente est donc **exactement** égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le **taux de déformation réel permanent**.



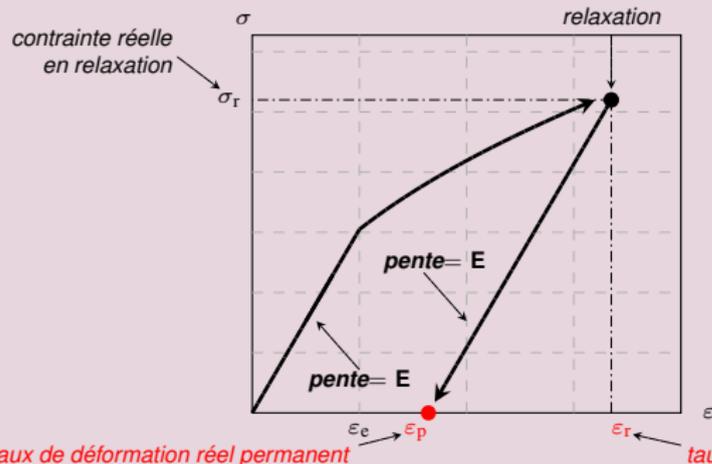
### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la montée élastique, sa pente est donc **exactement** égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le **taux de déformation réel permanent**.



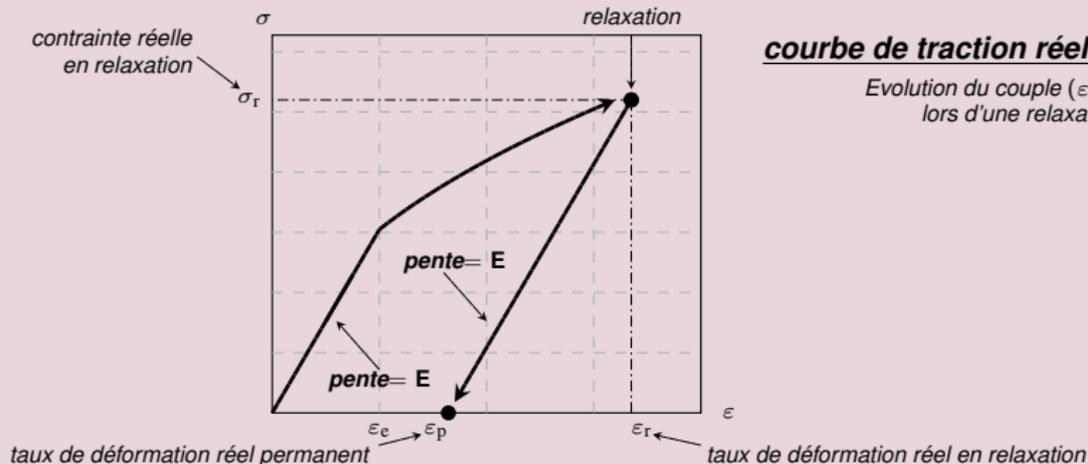
### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la montée élastique, sa pente est donc **exactement** égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



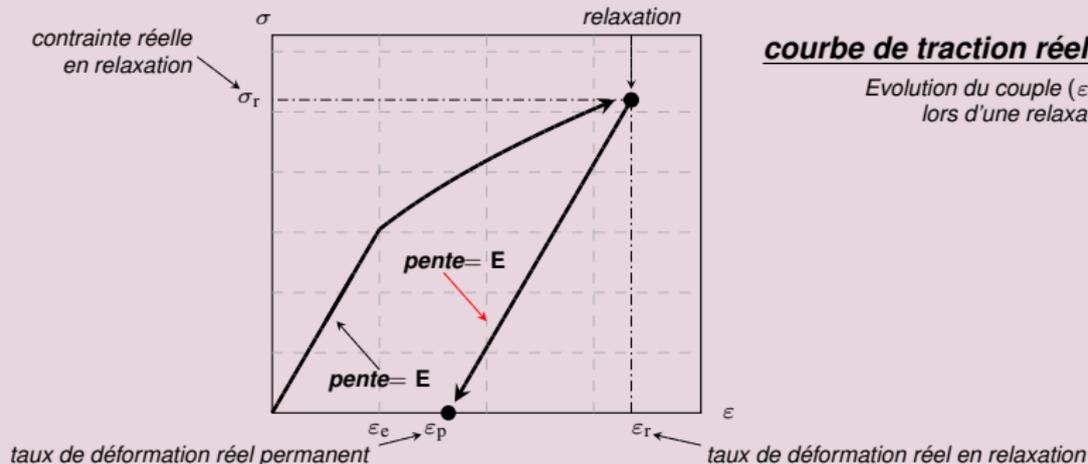
### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la montée élastique, sa pente est donc **exactement** égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



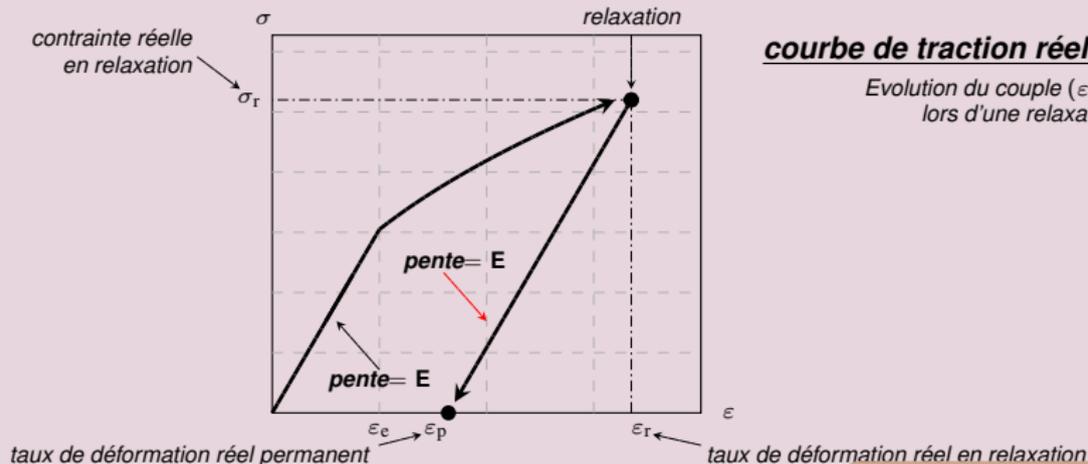
#### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la montée élastique, sa pente est donc **exactement** égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



### courbe de traction réelle :

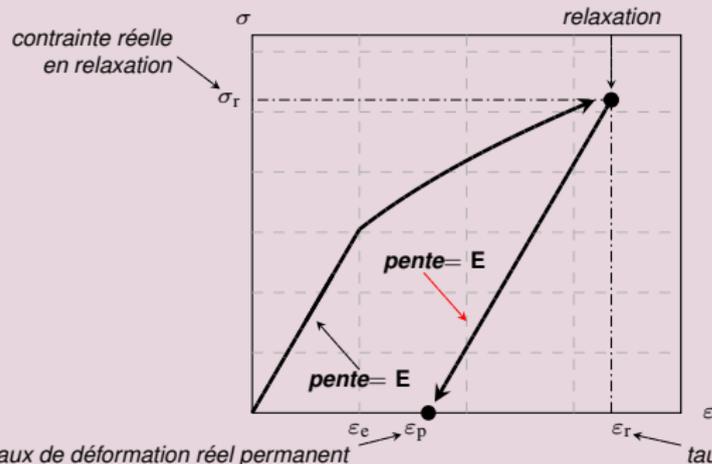
Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

▶ Exo 3, série 1 : anticipation des retraits

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la montée élastique, sa pente est donc **exactement** égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



#### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

#### Relation entre $\varepsilon_r$ et $\varepsilon_p$ :

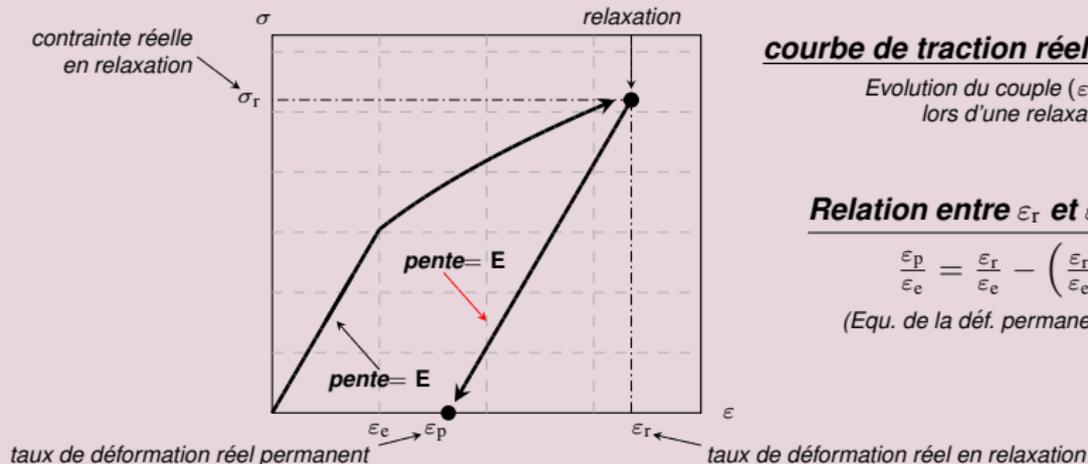
$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_e} = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_e} - \left( \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_e} \right)^n$$

(Equ. de la déf. permanente)

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la montée élastique, sa pente est donc **exactement** égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



#### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

#### Relation entre $\varepsilon_r$ et $\varepsilon_p$ :

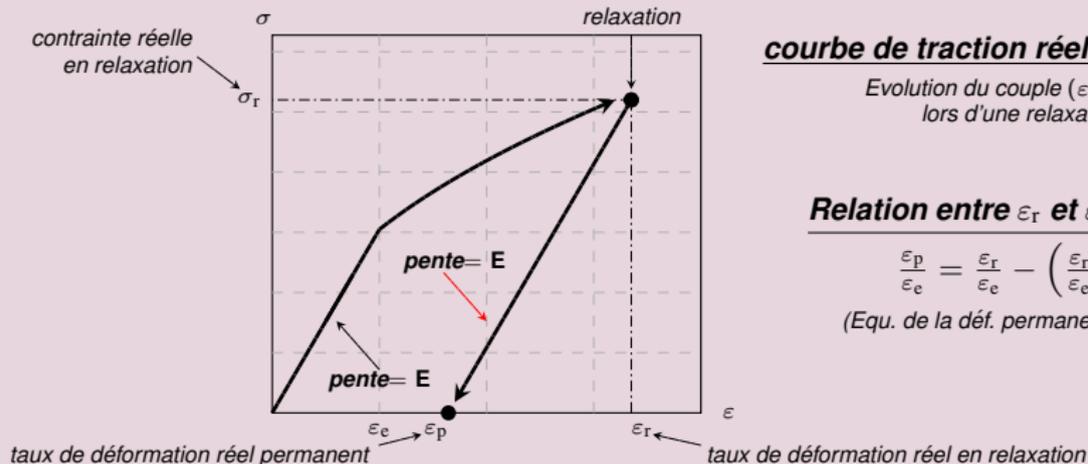
$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_e} = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_e} - \left( \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_e} \right)^n$$

(Equ. de la déf. permanente)

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la montée élastique, sa pente est donc **exactement** égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



#### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

#### Relation entre $\varepsilon_r$ et $\varepsilon_p$ :

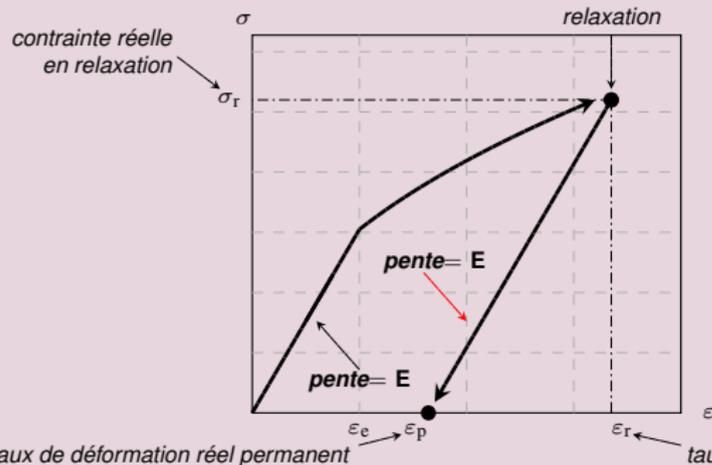
$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_e} = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_e} - \left( \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_e} \right)^n$$

(Equ. de la déf. permanente)

## 2.4.1 Relaxation

### Déformation permanente

- Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force (donc la contrainte réelle) à zéro.
- On observe que le point  $(\varepsilon, \sigma)$  représentatif de l'état de l'échantillon retourne sur l'axe  $\sigma = 0$  en **ligne droite**. Cette ligne droite est parallèle à la montée élastique, sa pente est donc **exactement** égale au module d'Young  $E$ .
- Elle rejoint l'axe  $\sigma = 0$  en l'abscisse  $\varepsilon_p$  : le taux de déformation réel permanent.



#### courbe de traction réelle :

Evolution du couple  $(\varepsilon, \sigma)$   
lors d'une relaxation.

#### Relation entre $\varepsilon_r$ et $\varepsilon_p$ :

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_e} = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_e} - \left( \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_e} \right)^n$$

(Equ. de la déf. permanente)

## 2.4.2 Ecrouissage

### Définition

- *Une pièce ayant subi une traction jusqu'en zone plastique est dite **écrouie**.*
- *Si l'échantillon écroui subit une nouvelle exp. de traction, il revient à l'état de relaxation de façon élastique*

## 2.4.2 Ecrouissage

### Définition

- Une pièce ayant subi une traction jusqu'en zone plastique est dite **écrouie**.
- Si l'échantillon écroui subit une nouvelle exp. de traction, il revient à l'état de relaxation de façon **élastique** puis son point représentatif dans le plan  $(\epsilon, \sigma)$

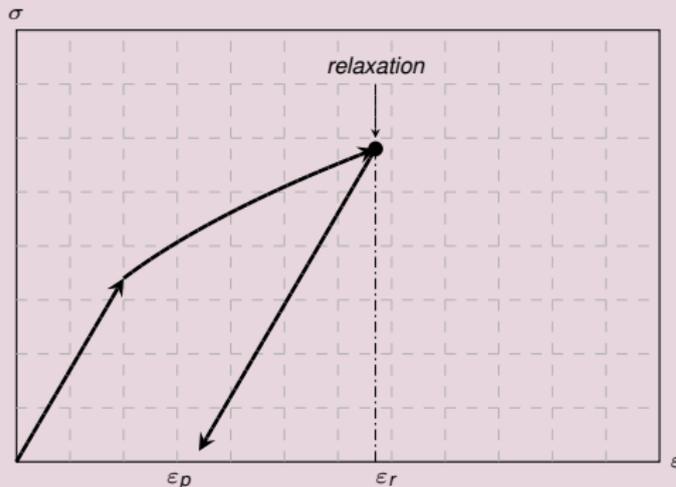


Fig.9 Reprise de l'exp. de traction après relaxation.

## 2.4.2 Ecrouissage

### Définition

- Une pièce ayant subi une traction jusqu'en zone plastique est dite **écrouie**.
- Si l'échantillon écroui subit une nouvelle exp. de traction, il revient à l'état de relaxation de façon **élastique** puis son point représentatif dans le plan  $(\varepsilon, \sigma)$  se trouve sur la courbe qui

aurait été obtenue si la relaxation n'avait pas eu lieu.

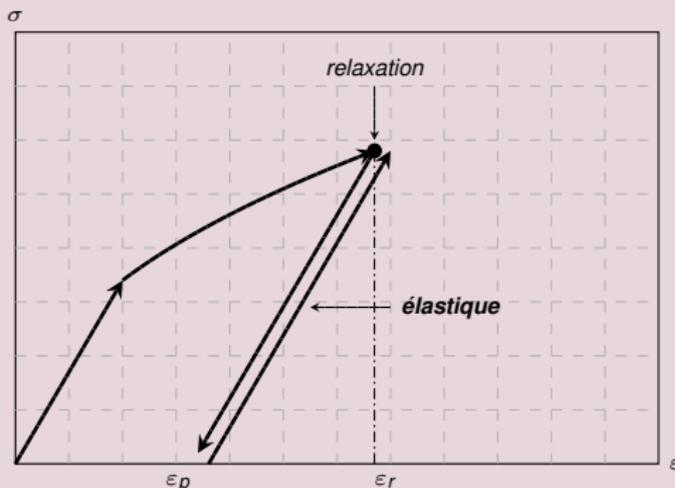


Fig.9 Reprise de l'exp. de traction après relaxation.

## 2.4.2 Ecrouissage

### Définition

- Une pièce ayant subi une traction jusqu'en zone plastique est dite **écrouie**.
- Si l'échantillon écroui subit une nouvelle exp. de traction, il revient à l'état de relaxation de façon **élastique** puis son point représentatif dans le plan  $(\epsilon, \sigma)$  dessine la courbe qu'il aurait dessinée si la relaxation n'avait pas eu lieu.

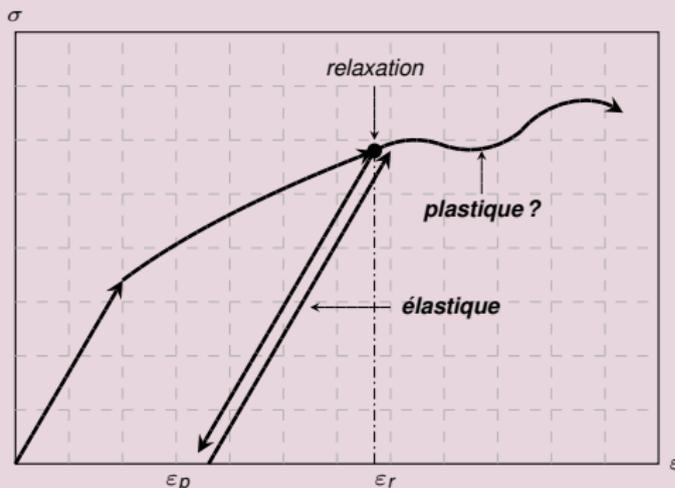


Fig.9 Reprise de l'exp. de traction après relaxation.

## 2.4.2 Ecrouissage

### Définition

- Une pièce ayant subi une traction jusqu'en zone plastique est dite **écrouie**.
- Si l'échantillon écroui subit une nouvelle exp. de traction, il revient à l'état de relaxation de façon **élastique** puis son point représentatif dans le plan  $(\varepsilon, \sigma)$  **dessine la courbe qu'il aurait dessinée si la relaxation n'avait pas eu lieu**.

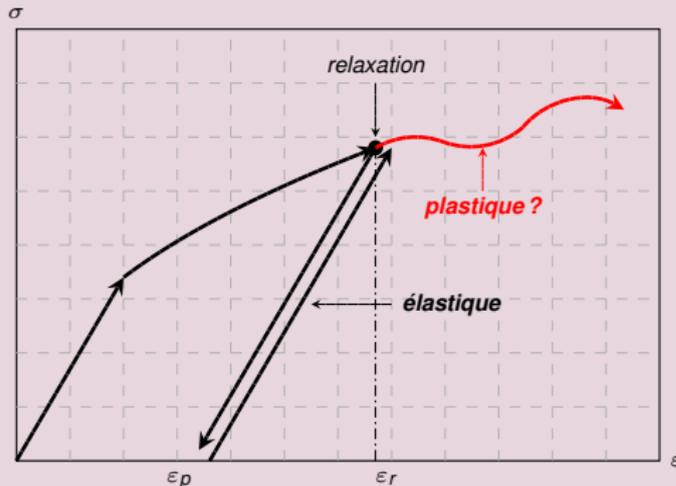


Fig.9 Reprise de l'exp. de traction après relaxation.

## 2.4.2 Ecrouissage

### Définition

- Une pièce ayant subi une traction jusqu'en zone plastique est dite **écrouie**.
- Si l'échantillon écroui subit une nouvelle exp. de traction, il revient à l'état de relaxation de façon **élastique** puis son point représentatif dans le plan  $(\varepsilon, \sigma)$  **dessine la courbe qu'il aurait dessiné si la relaxation n'avait pas eu lieu**.

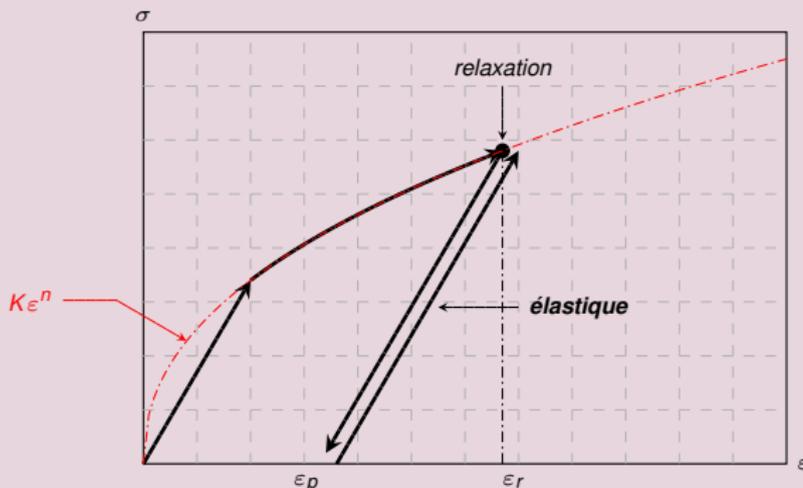


Fig.9 Reprise de l'exp. de traction après relaxation.

## 2.4.2 Ecrouissage

### Définition

- Une pièce ayant subi une traction jusqu'en zone plastique est dite **écrouie**.
- Si l'échantillon écroui subit une nouvelle exp. de traction, il revient à l'état de relaxation de façon **élastique** puis son point représentatif dans le plan  $(\varepsilon, \sigma)$  **dessine la courbe qu'il aurait dessiné si la relaxation n'avait pas eu lieu**.

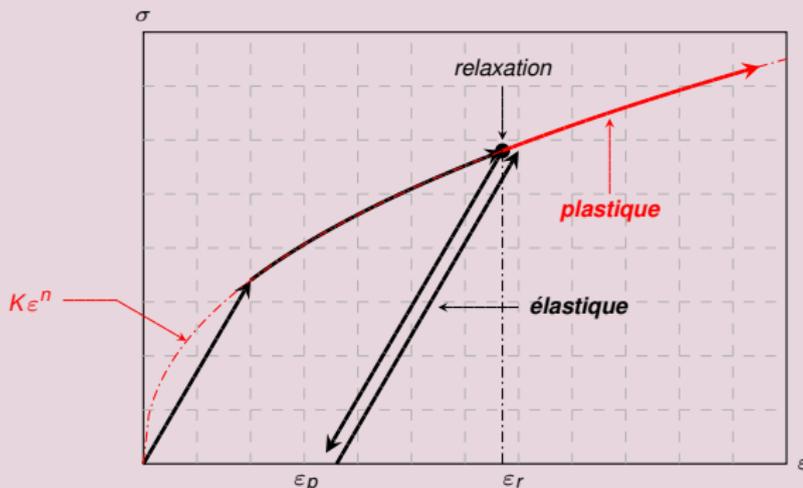


Fig.9 Reprise de l'exp. de traction après relaxation.

## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\epsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

- Le taux  $\epsilon_{p,ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon !**

$\sigma, Pa$



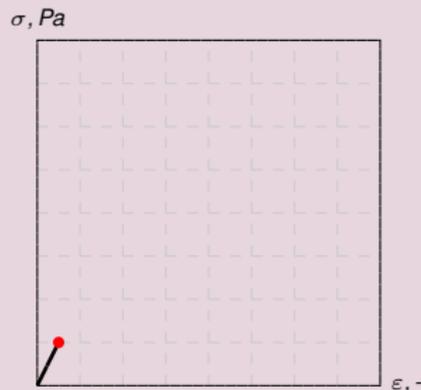
$\epsilon, -$

## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\epsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

- Le taux  $\epsilon_{p,ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon** !

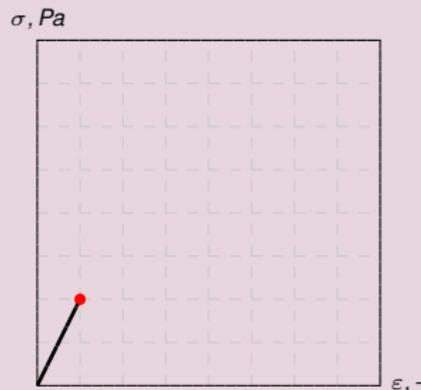


## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\epsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

- Le taux  $\epsilon_{p,ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon !**

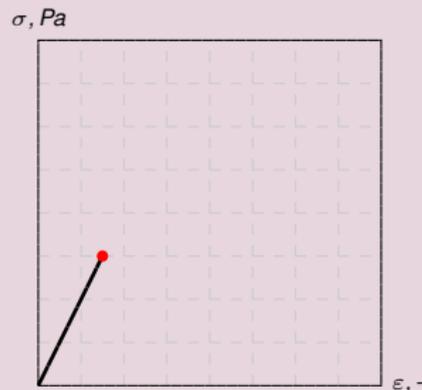


## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\epsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

- Le taux  $\epsilon_{p,ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon** !

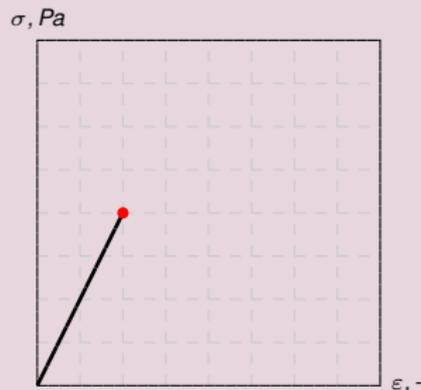


## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\epsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

- Le taux  $\epsilon_{p,ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon !**

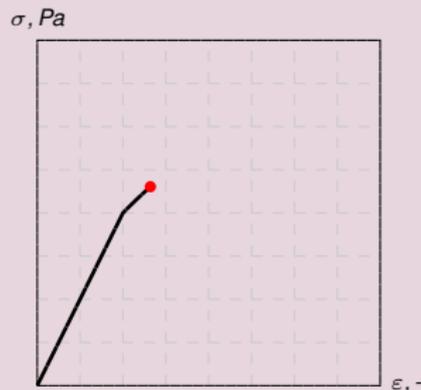


## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\epsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

- Le taux  $\epsilon_{p,ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon !**

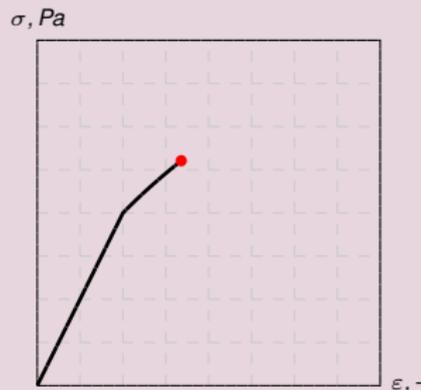


## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\epsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

- Le taux  $\epsilon_{p,ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon !**

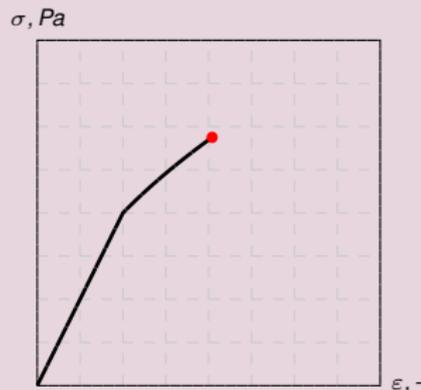


## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\epsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

- Le taux  $\epsilon_{p,ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon** !

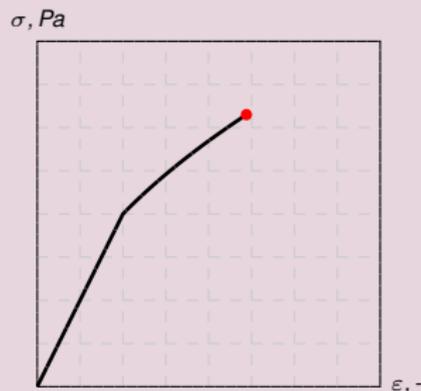


## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\epsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

- Le taux  $\epsilon_{p,ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon** !

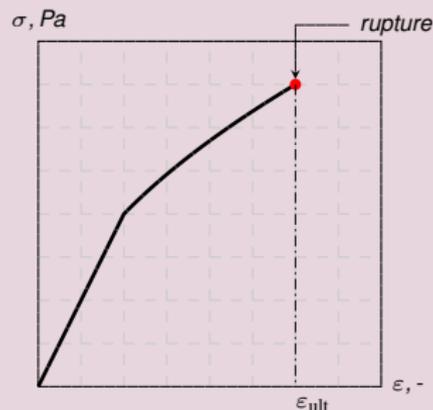


## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\epsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

- Le taux  $\epsilon_{p,ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon !**

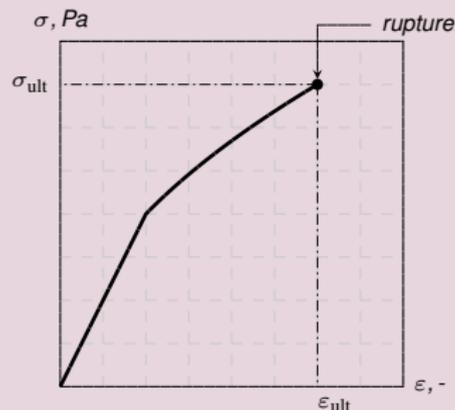


## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\epsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

- Le taux  $\epsilon_{p,ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon** !



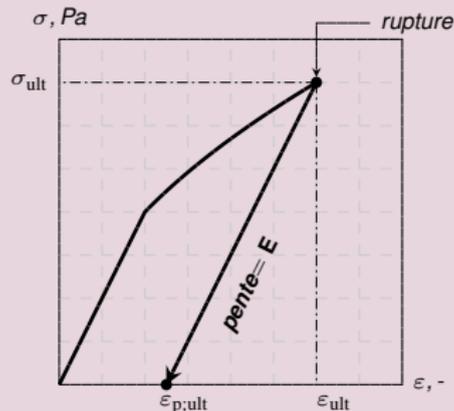
## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\varepsilon_{\text{ult}}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{\text{ult}}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

$$\varepsilon_{\text{p;ult}} = \varepsilon_{\text{ult}} - \varepsilon_e^{1-n} \varepsilon_{\text{ult}}^n \quad (19)$$

- Le taux  $\varepsilon_{\text{p;ult}}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon !**



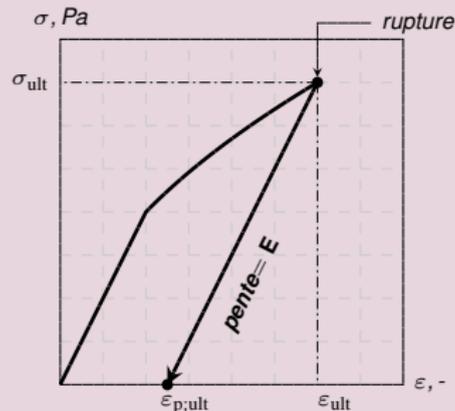
## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\varepsilon_{\text{ult}}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{\text{ult}}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

$$\varepsilon_{\text{p;ult}} = \varepsilon_{\text{ult}} - \varepsilon_e^{1-n} \varepsilon_{\text{ult}}^n \quad (19)$$

- Le taux  $\varepsilon_{\text{p;ult}}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon !**



► Tableaux 4a

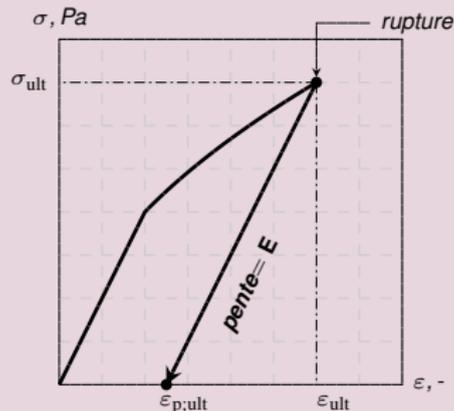
## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\varepsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

$$\varepsilon_{p;ult} = \varepsilon_{ult} - \varepsilon_e^{1-n} \varepsilon_{ult}^n \quad (19)$$

- Le taux  $\varepsilon_{p;ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon !**



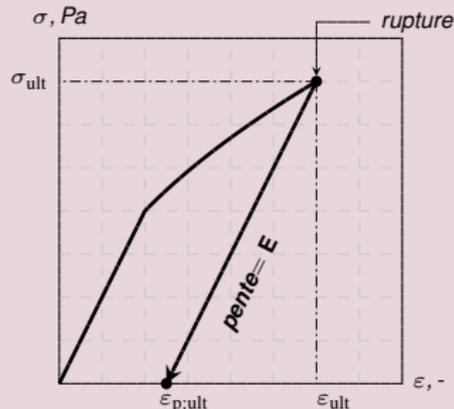
## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\varepsilon_{ult}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{ult}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

$$\varepsilon_{p;ult} = \varepsilon_{ult} - \varepsilon_e^{1-n} \varepsilon_{ult}^n \quad (19)$$

- Le taux  $\varepsilon_{p;ult}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation qu'on peut induire de façon permanente dans un échantillon !**



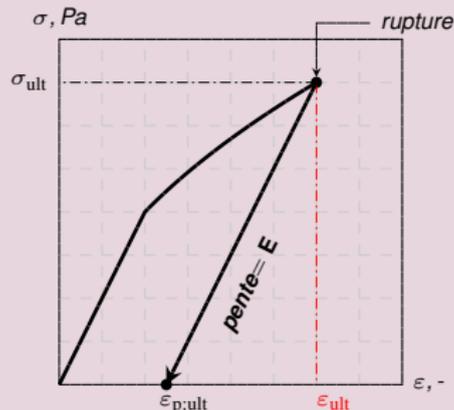
## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\varepsilon_{\text{ult}}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{\text{ult}}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

$$\varepsilon_{\text{p;ult}} = \varepsilon_{\text{ult}} - \varepsilon_e^{1-n} \varepsilon_{\text{ult}}^n \quad (19)$$

- Le taux  $\varepsilon_{\text{p;ult}}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !



## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

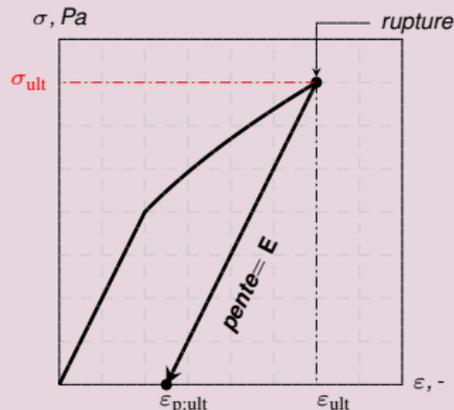
### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\varepsilon_{\text{ult}}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{\text{ult}}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

$$\varepsilon_{\text{p;ult}} = \varepsilon_{\text{ult}} - \varepsilon_e^{1-n} \varepsilon_{\text{ult}}^n \quad (19)$$

- Le taux  $\varepsilon_{\text{p;ult}}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !

**ATTENTION** : Il ne faut pas confondre la contrainte de traction ultime  $\sigma_{\text{ult}}$  et la résistance  $R_m$  qui sera introduite au trspt. 2.6.1 et qui représente la force maximale qu'un échantillon de traction de section initiale unité peut supporter sans rompre (cf. trspt. 2.6.3).



## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

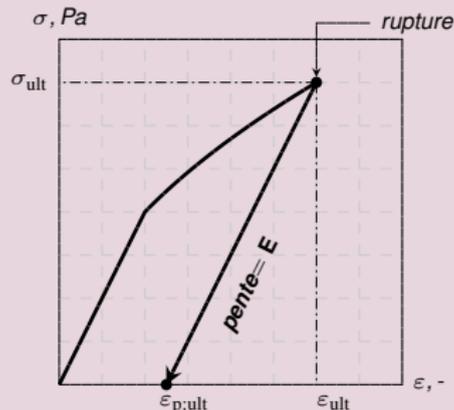
### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\varepsilon_{\text{ult}}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{\text{ult}}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

$$\varepsilon_{\text{p;ult}} = \varepsilon_{\text{ult}} - \varepsilon_e^{1-n} \varepsilon_{\text{ult}}^n \quad (19)$$

- Le taux  $\varepsilon_{\text{p;ult}}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !

**ATTENTION** : Il ne faut pas confondre la contrainte de traction ultime  $\sigma_{\text{ult}}$  et la résistance  $R_m$  qui sera introduite au trspt. 2.6.1 et qui représente la force maximale qu'un échantillon de traction de section initiale unité peut supporter sans rompre (cf. trspt. 2.6.3).



► Exo 4, série 1 : notion de déformabilité en élasticité/plasticité, calcul des forces

## 2.4.3 Contrainte de traction ultime

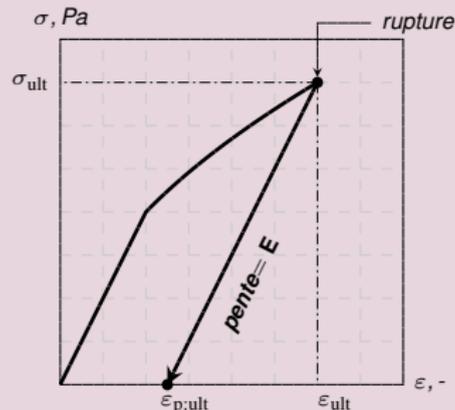
### Rupture et déformation permanente maximale

- Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel  $\varepsilon_{\text{ult}}$ , appelé **taux de déformation réel en rupture**, à partir duquel l'échantillon se casse. La contrainte réelle mesurée à ce moment-là est la **contrainte de traction ultime (réelle)**. Elle est notée  $\sigma_{\text{ult}}$ .
- Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :

$$\varepsilon_{\text{p;ult}} = \varepsilon_{\text{ult}} - \varepsilon_e^{1-n} \varepsilon_{\text{ult}}^n \quad (19)$$

- Le taux  $\varepsilon_{\text{p;ult}}$  est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !

**ATTENTION** : Il ne faut pas confondre la contrainte de traction ultime  $\sigma_{\text{ult}}$  et la résistance  $R_m$  qui sera introduite au trspt. 2.6.1 et qui représente la force maximale qu'un échantillon de traction de section initiale unité peut supporter sans rompre (cf. trspt. 2.6.3).



► Exo 1, série 2 : anticipation du rebond et nécessité du revenu

5. Variation des dimensions latérales en plasticité
6. La force de traction et la contrainte nominale
7. L'inversion de la fonction de traction, applications

## 2.5.1 Variation des dimensions latérales en plasticité

### Théorie de Hencky et Considère

- *En régime élastique, les variations des dimensions latérales et du volume de l'échantillon obéissent aux lois de Poisson (13), (14) et (15) :*

$$r = r_0 e^{-\nu \varepsilon}$$

$$S = S_0 e^{-2\nu \varepsilon}$$

$$V = V_0 e^{(1-2\nu)\varepsilon}$$

- *En régime plastique et à l'instar de la loi de Hooke (12), ces lois ne sont plus valables.*
- *Elles vont être remplacées par les équations de Considère (ou de Hencky dans certains cas).*



**Armand Considère**  
(1841-1914)



**Heinrich Hencky**  
(1885-1951)

## 2.5.1 Variation des dimensions latérales en plasticité

### Théorie de Hencky et Considère

- *En régime élastique, les variations des dimensions latérales et du volume de l'échantillon obéissent aux lois de Poisson (13), (14) et (15) :*

$$r = r_0 e^{-\nu \varepsilon}$$

$$S = S_0 e^{-2\nu \varepsilon}$$

$$V = V_0 e^{(1-2\nu)\varepsilon}$$

- *En régime plastique et à l'instar de la loi de Hooke (12), ces lois ne sont plus valables.*
- *Elles vont être remplacées par les équations de Considère (ou de Hencky dans certains cas).*



**Armand Considère**  
(1841-1914)



**Heinrich Hencky**  
(1885-1951)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \epsilon \geq \epsilon_e, \quad (20)$$

*avec  $V_e$ , le volume en limite élastique .*

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} \quad \epsilon > \epsilon_e \quad (21)$$



**Armand Considère**  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e$ , le volume en limite élastique .

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$



**Armand Considère**  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$



**Armand Considère**  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



**Armand Considère**  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



**Armand Considère**  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} e^{-\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} e^{-\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} e^{-\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



**Armand Considère**  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}} = e^{\left(\frac{1}{2}-\nu\right)\varepsilon_e - \frac{1}{2}\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- La conclusion de (20) est que

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}} = e^{\left(\frac{1}{2}-\nu\right)\varepsilon_e - \frac{1}{2}\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}} = e^{\left(\frac{1}{2}-\nu\right)\varepsilon_e - \frac{1}{2}\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}} = e^{\left(\frac{1}{2}-\nu\right)\varepsilon_e - \frac{1}{2}\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- La conclusion de (20) est que

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}} = e^{\left(\frac{1}{2}-\nu\right)\varepsilon_e - \frac{1}{2}\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



Armand Considère  
(1841-1914)

## 2.5.2 Rapport entre les propriétés géométriques

### Plasticité-Théorie de Considère

- *La théorie de Considère repose sur l'hypothèse que le volume de l'échantillon ne change plus dès lors qu'il a atteint la plasticité, autrement dit :*

$$V = V_e, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e, \quad (20)$$

avec  $V_e = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e} V_0$ , le volume en limite élastique (15).

- *La conclusion de (20) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_e}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (21)$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (22)$$

$$\frac{r}{r_0} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{2}} = \mathbf{e}^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_e - \frac{1}{2}\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_e \quad (23)$$



**Armand Considère**  
(1841-1914)

## 2.5.3 Rapport entre les propriétés géométriques

### Inconsistance de la Théorie de Considère

- *Dans les faits, la Théorie de Considère est inconsistante. En effet, elle prédit qu'un échantillon soumis à un cycle écouissage-relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_p < V_0.$$

*et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :*

$$V_0 \rightarrow 0.$$



## 2.5.3 Rapport entre les propriétés géométriques

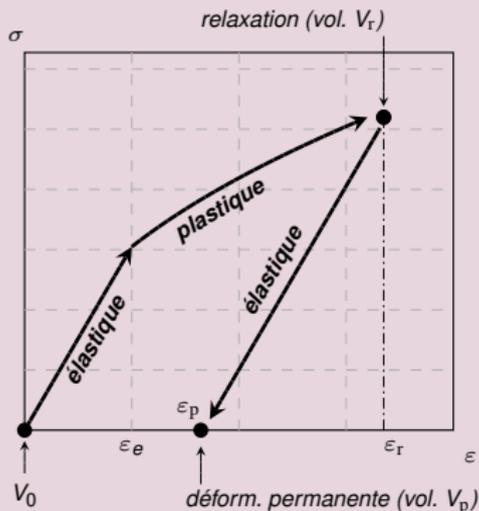
### Inconsistance de la Théorie de Considère

- *Dans les faits, la Théorie de Considère est inconsistante. En effet, elle prédit qu'un échantillon soumis à un cycle écoulement-relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_p < V_0.$$

*et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :*

$$V_0 \rightarrow 0.$$



## 2.5.3 Rapport entre les propriétés géométriques

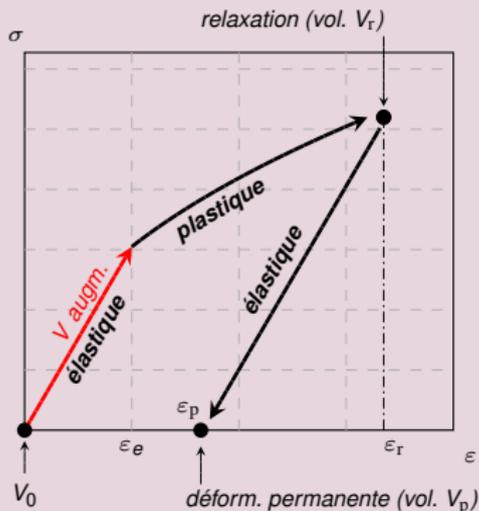
### Inconsistance de la Théorie de Considère

- *Dans les faits, la Théorie de Considère est inconsistante. En effet, elle prédit qu'un échantillon soumis à un cycle écoulement-relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_p < V_0.$$

*et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :*

$$V_0 \rightarrow 0.$$



## 2.5.3 Rapport entre les propriétés géométriques

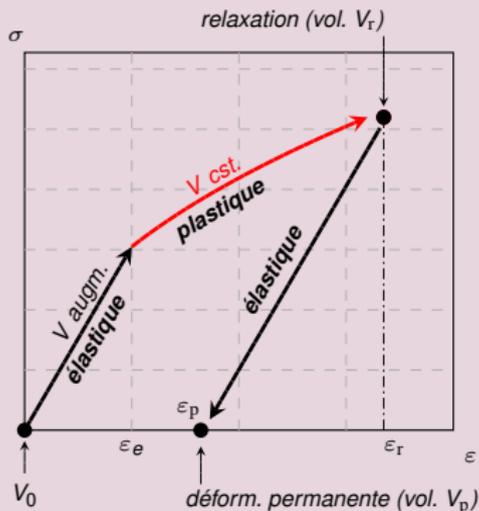
### Inconsistance de la Théorie de Considère

- *Dans les faits, la Théorie de Considère est inconsistante. En effet, elle prédit qu'un échantillon soumis à un cycle écrouissage-relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_p < V_0.$$

*et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :*

$$V_0 \rightarrow 0.$$



## 2.5.3 Rapport entre les propriétés géométriques

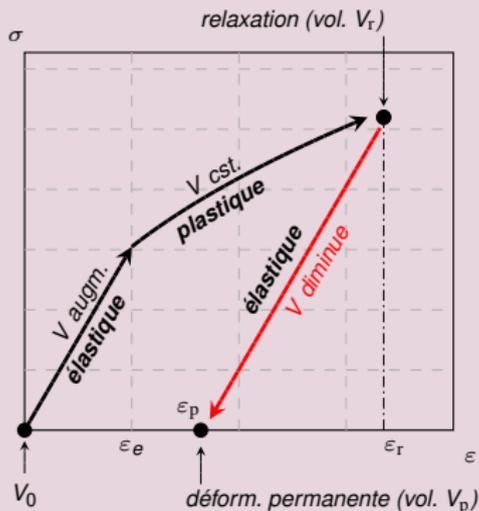
### Inconsistance de la Théorie de Considère

- *Dans les faits, la Théorie de Considère est inconsistante. En effet, elle prédit qu'un échantillon soumis à un cycle écouissage-relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_p < V_0.$$

*et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :*

$$V_0 \rightarrow 0.$$



## 2.5.3 Rapport entre les propriétés géométriques

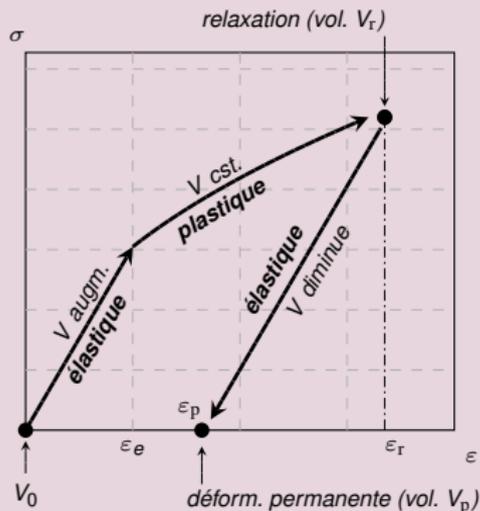
### Inconsistance de la Théorie de Considère

- Dans les faits, la Théorie de Considère est inconsistante. En effet, elle prédit qu'un échantillon soumis à un cycle écrouissage-relaxation diminue de volume (cf. exos) :

$$V_p < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \rightarrow 0.$$



- Il faudrait remplacer les rel. (21)-(23) par des équations qui prédisent qu'un cycle écrouissage-relaxation **conserve** le volume de l'échantillon  $V_p = V_0$ .
- Ces équations sont celles de Hencky. Elles sont plus complexes que celles de Considère.

## 2.5.3 Rapport entre les propriétés géométriques

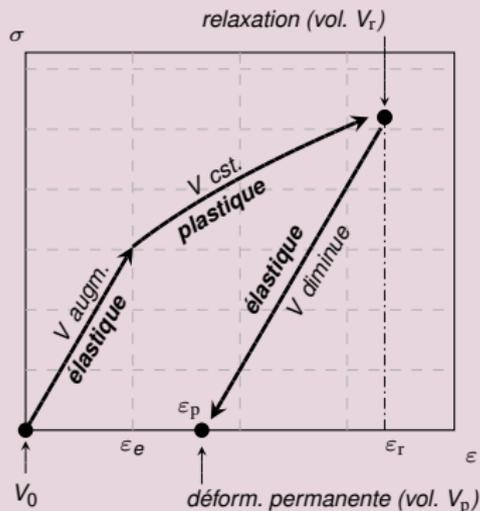
### Inconsistance de la Théorie de Considère

- Dans les faits, la Théorie de Considère est inconsistante. En effet, elle prédit qu'un échantillon soumis à un cycle écrouissage-relaxation diminue de volume (cf. exos) :

$$V_p < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \rightarrow 0.$$



- Il faudrait remplacer les rel. (21)-(23) par des équations qui prédisent qu'un cycle écrouissage-relaxation **conserve** le volume de l'échantillon  $V_p = V_0$ .
- Ces équations sont celles de Hencky. Elles sont plus compliquées que celles de Considère or, pour un matériau standard ( $n \simeq 0$  et  $\nu \simeq \frac{1}{2}$ ), elles prédisent des comportements très voisins. En pratique, on appliquera donc (21)-(23).

## 2.5.3 Rapport entre les propriétés géométriques

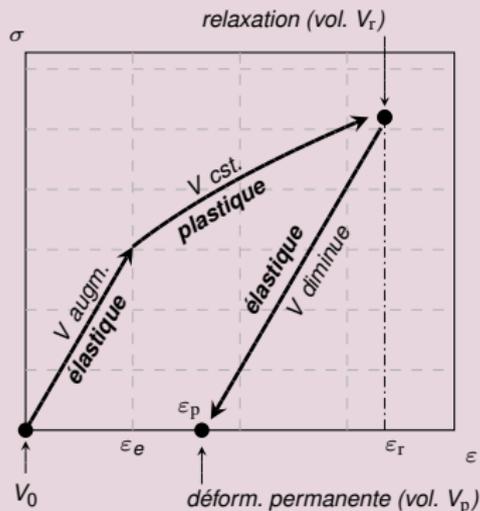
### Inconsistance de la Théorie de Considère

- Dans les faits, la Théorie de Considère est inconsistante. En effet, elle prédit qu'un échantillon soumis à un cycle écrouissage-relaxation diminue de volume (cf. exos) :

$$V_p < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \rightarrow 0.$$



- Il faudrait remplacer les rel. (21)-(23) par des équations qui prédisent qu'un cycle écrouissage-relaxation **conserve** le volume de l'échantillon  $V_p = V_0$ .
- Ces équations sont celles de Hencky. Elles sont plus compliquées que celles de Considère or, pour un matériau standard ( $n \simeq 0$  et  $\nu \simeq \frac{1}{2}$ ), elles prédisent des comportements très voisins. En pratique, on appliquera donc (21)-(23).

## 2.5.3 Rapport entre les propriétés géométriques

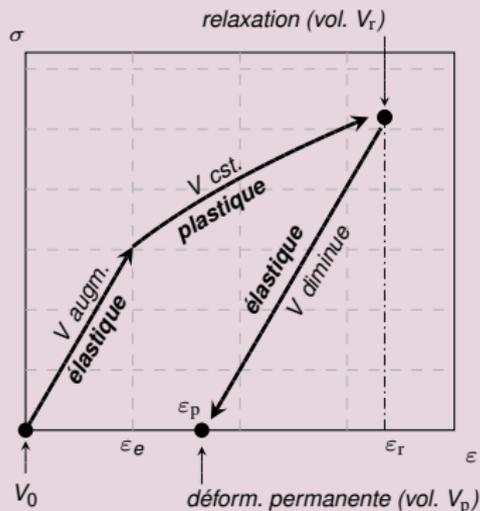
### Inconsistance de la Théorie de Considère

- Dans les faits, la Théorie de Considère est inconsistante. En effet, elle prédit qu'un échantillon soumis à un cycle écrouissage-relaxation diminue de volume (cf. exos) :

$$V_p < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \rightarrow 0.$$



- Il faudrait remplacer les rel. (21)-(23) par des équations qui prédisent qu'un cycle écrouissage-relaxation **conserve** le volume de l'échantillon  $V_p = V_0$ .
- Ces équations sont celles de Hencky. Elles sont plus compliquées que celles de Considère or, pour un matériau standard ( $n \simeq 0$  et  $\nu \simeq \frac{1}{2}$ ), elles prédisent des comportements très voisins. *En pratique, on appliquera donc (21)-(23).*

## 2.5.3 Rapport entre les propriétés géométriques

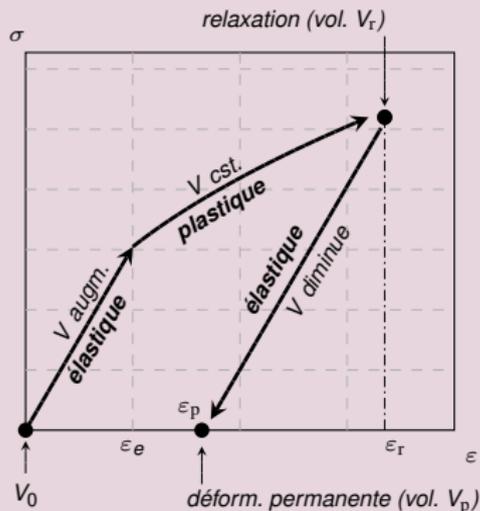
### Inconsistance de la Théorie de Considère

- Dans les faits, la Théorie de Considère est inconsistante. En effet, elle prédit qu'un échantillon soumis à un cycle écrouissage-relaxation diminue de volume (cf. exos) :

$$V_p < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \rightarrow 0.$$



- Il faudrait remplacer les rel. (21)-(23) par des équations qui prédisent qu'un cycle écrouissage-relaxation **conserve** le volume de l'échantillon  $V_p = V_0$ .
- Ces équations sont celles de Hencky. Elles sont plus compliquées que celles de Considère or, pour un matériau standard ( $n \simeq 0$  et  $\nu \simeq \frac{1}{2}$ ), elles prédisent des comportements très voisins. En pratique, on appliquera donc (21)-(23).

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

---

1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau **revenu** (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

---

1. La situation obtenue avec d'autres lois d'érouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  
 $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  
 $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

---

1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  
 $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé **contrainte nominale** :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

▸ Contrainte et taux de déformation nominaux et réels

---

1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

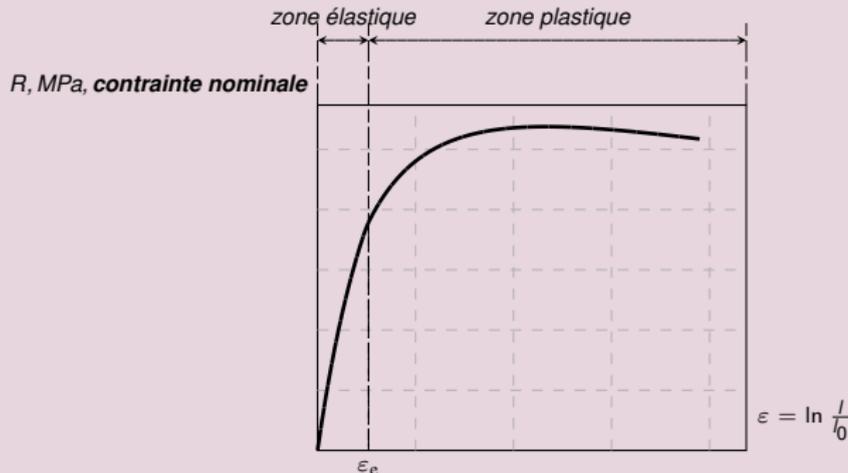
---

1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

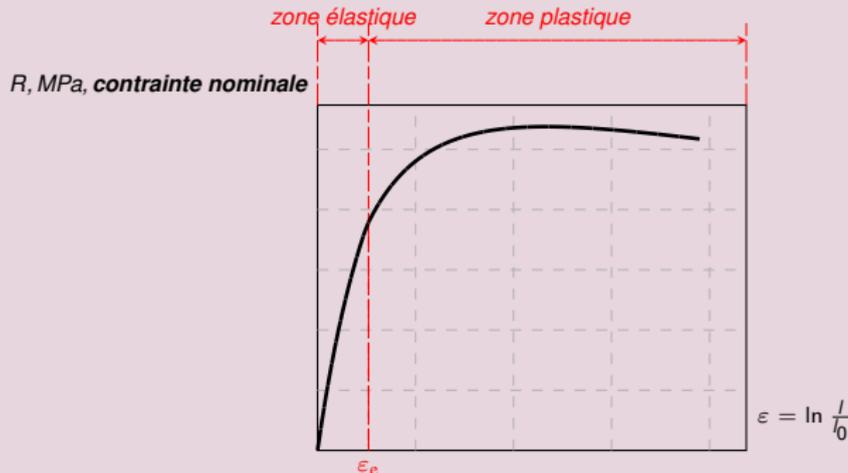


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

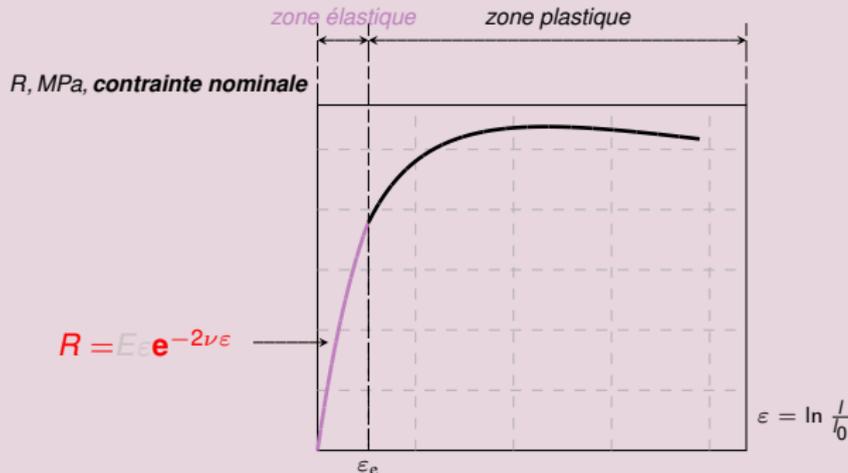


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon} e^{-\varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

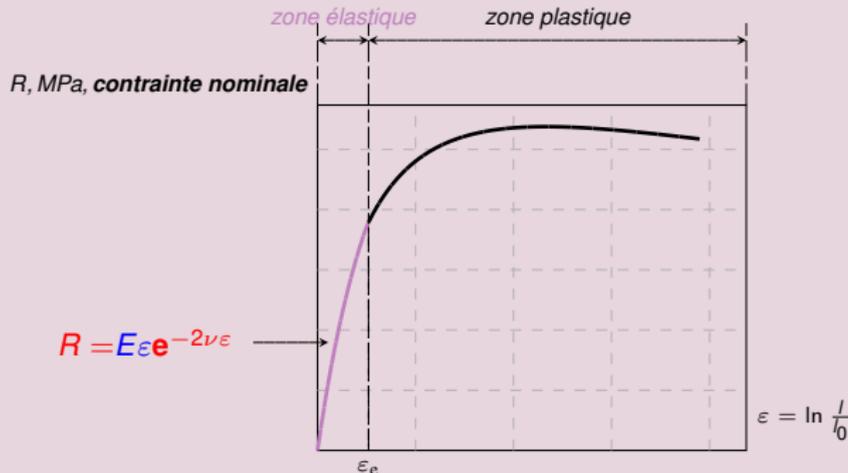


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon} e^{-\varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

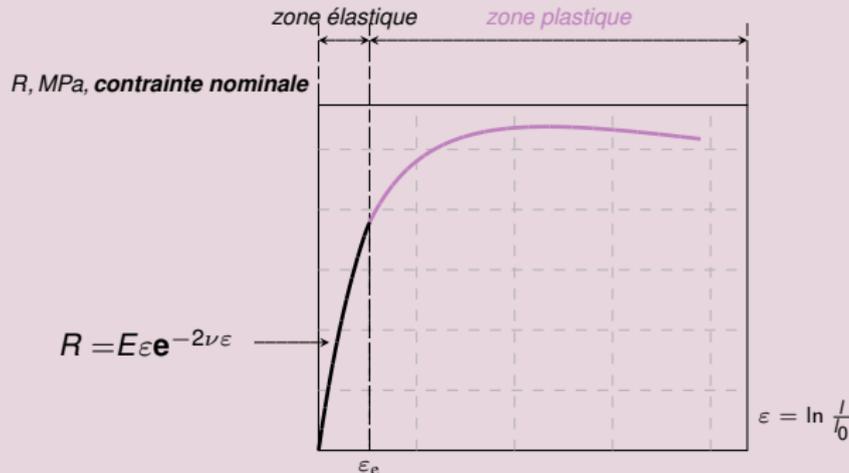


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon} e^{-\varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

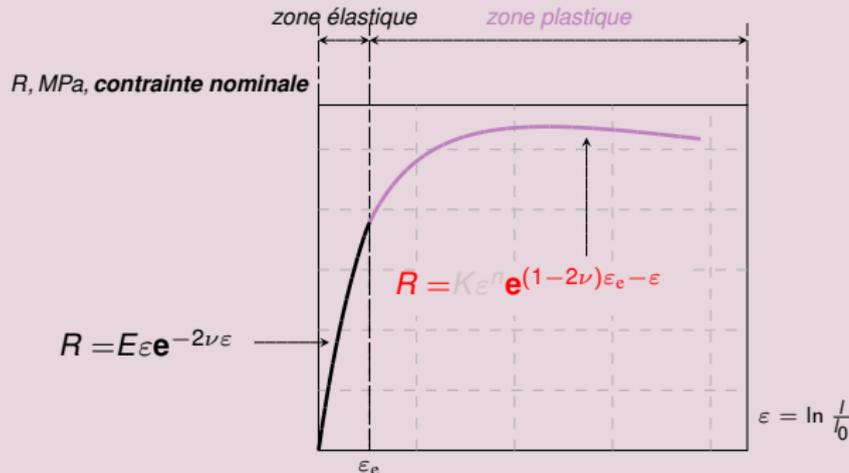


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

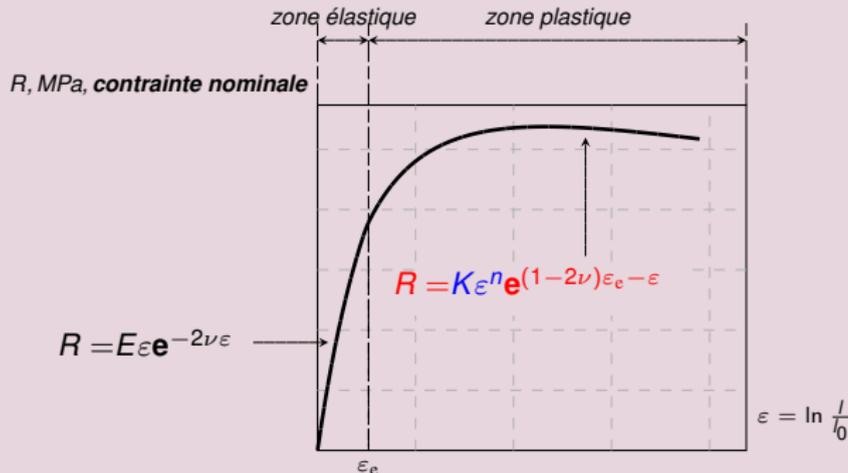


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

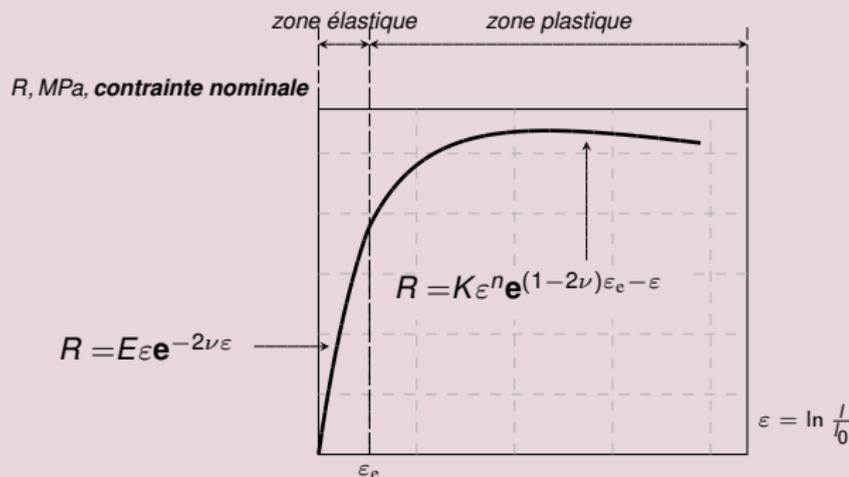


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

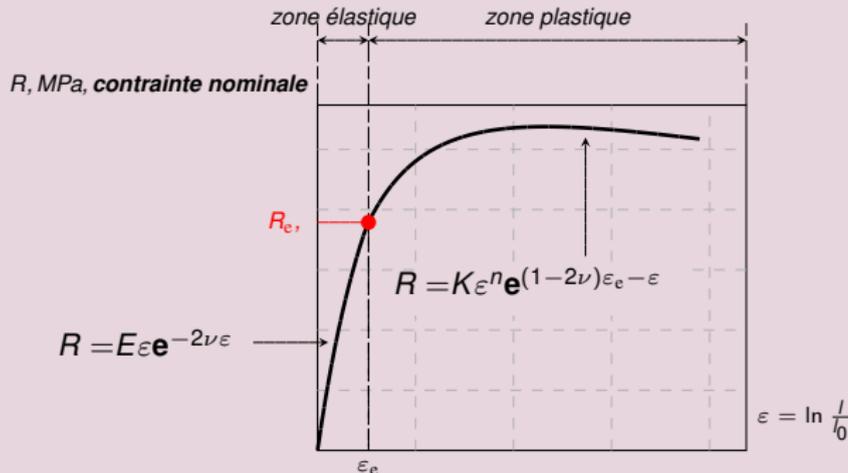


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

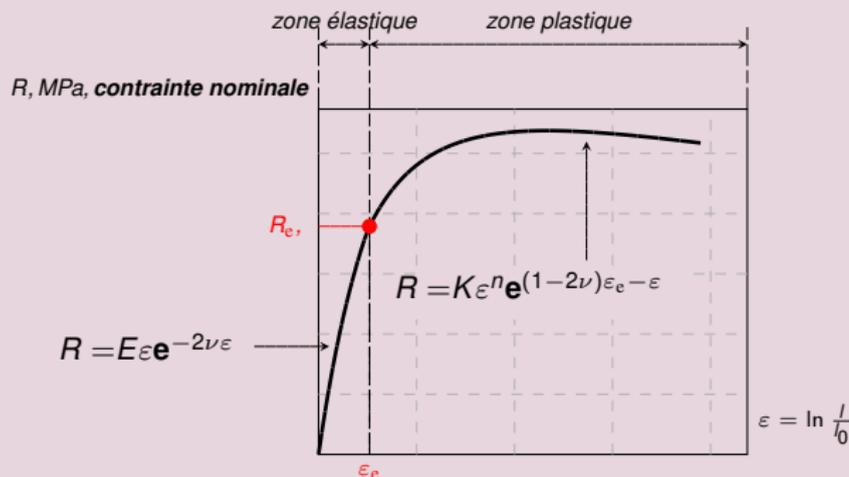


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

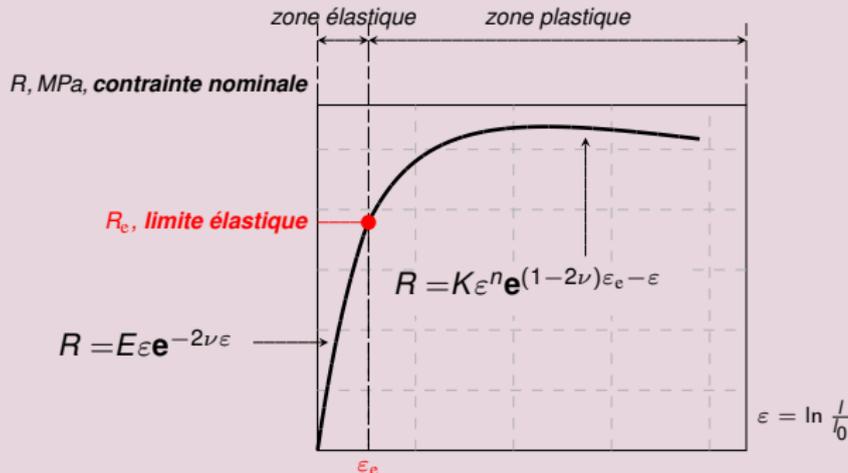


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

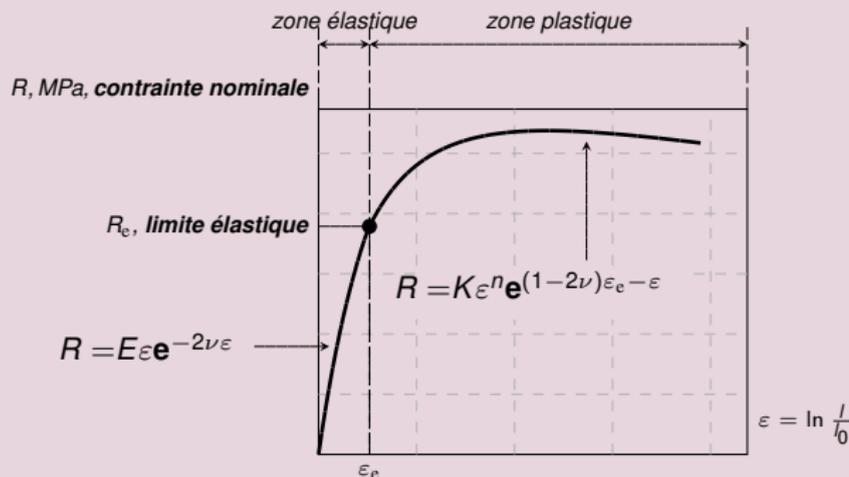


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

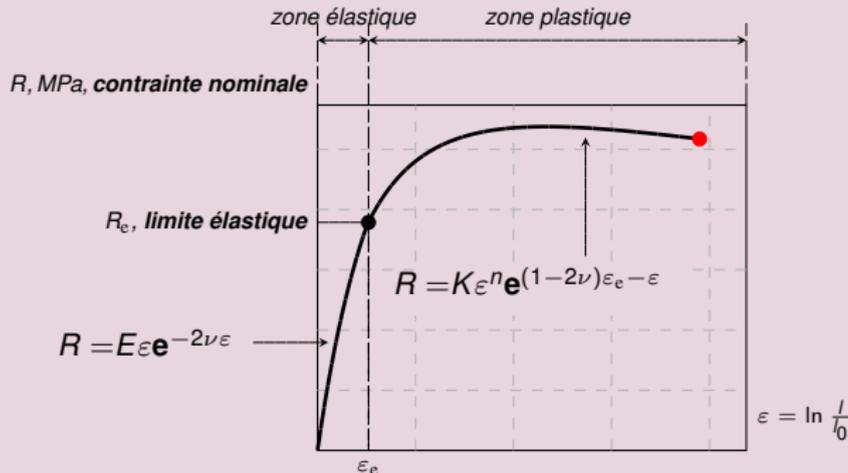


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

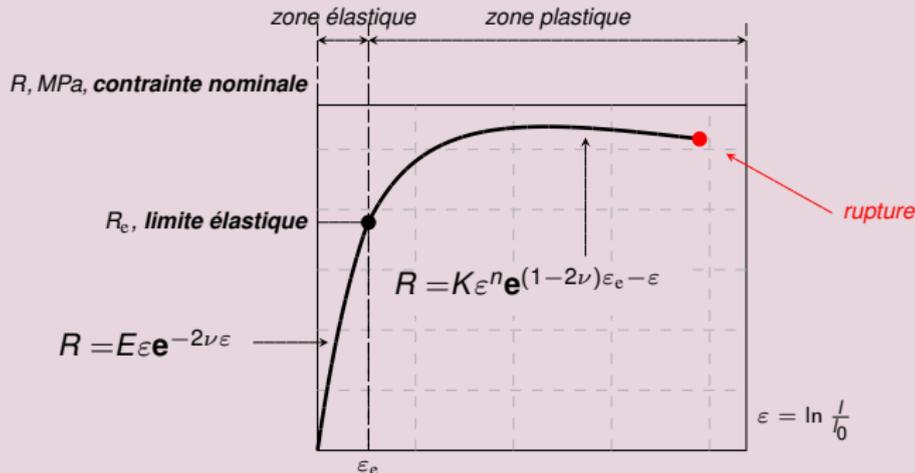


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

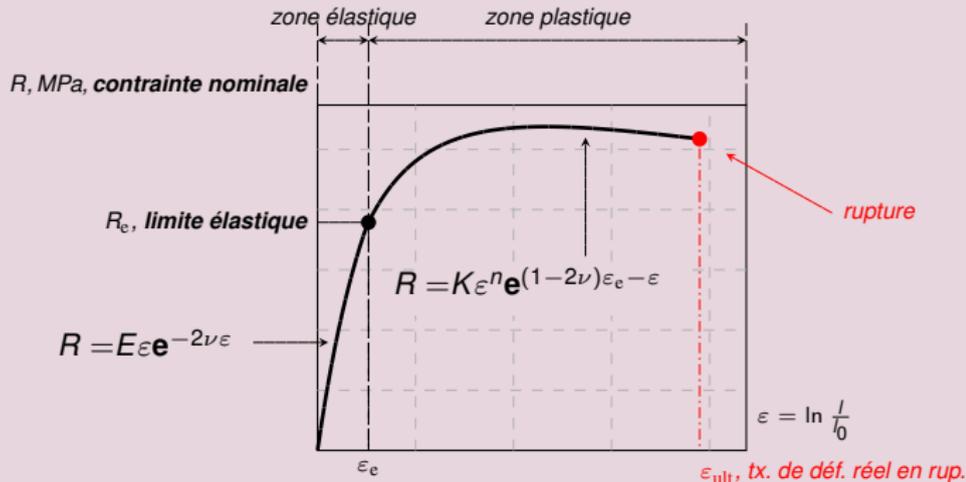


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

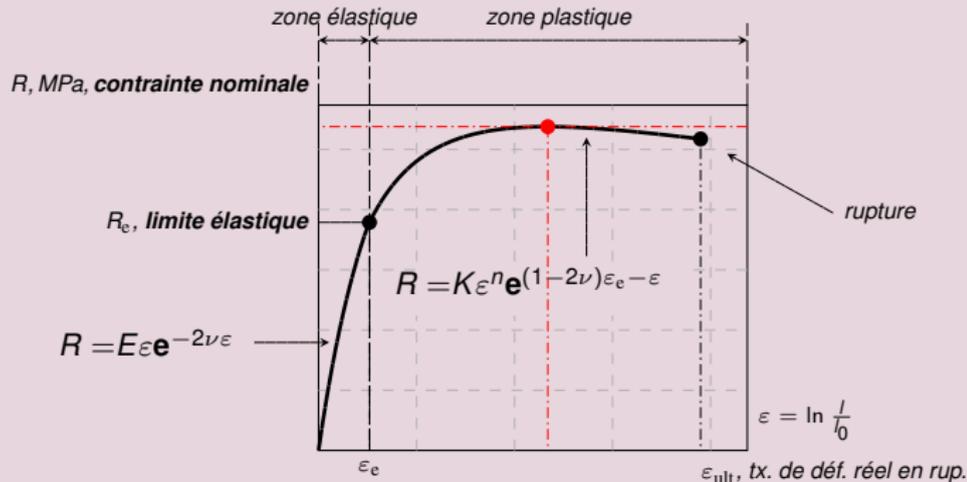


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

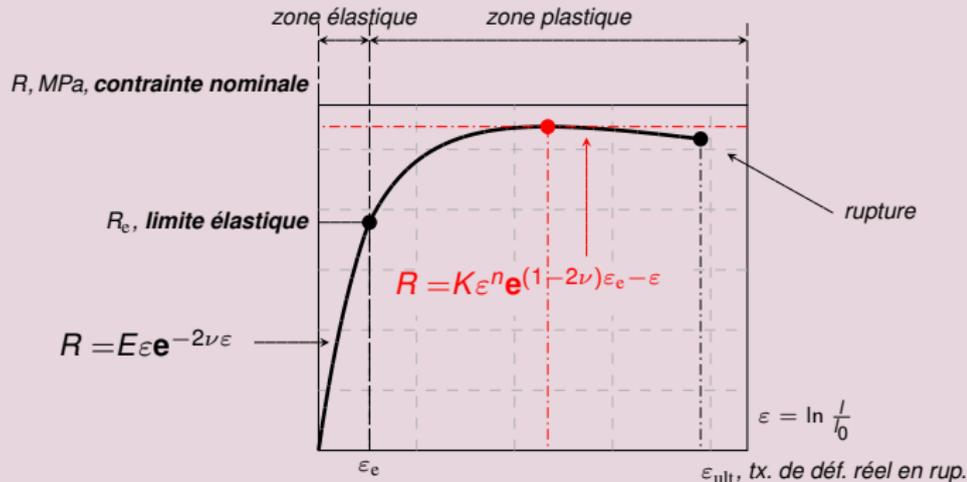


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

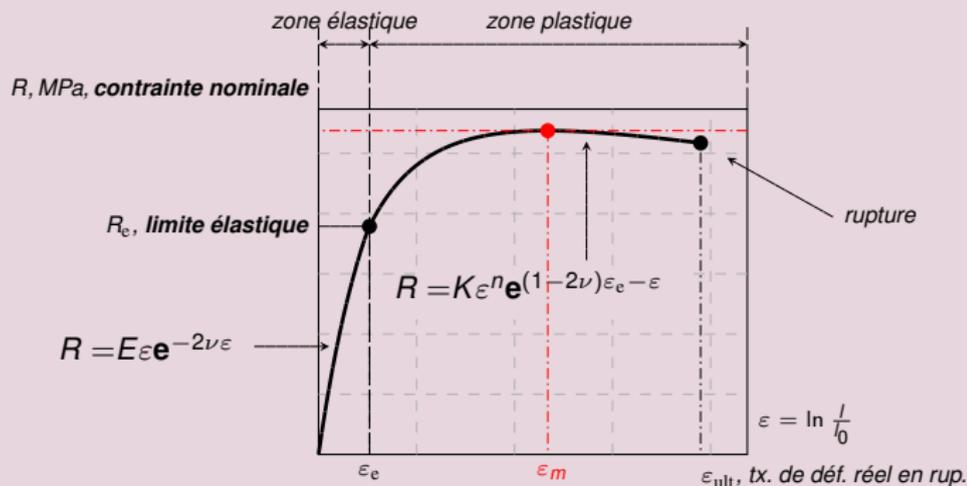


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

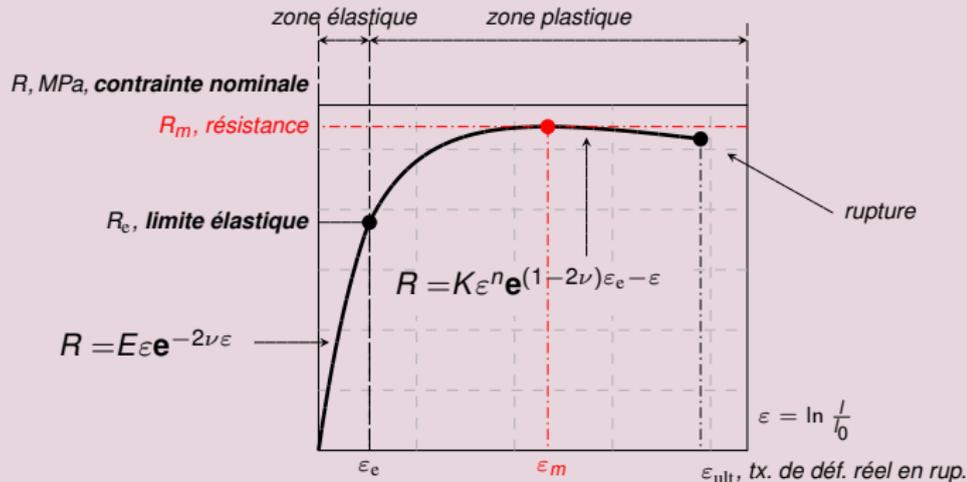


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

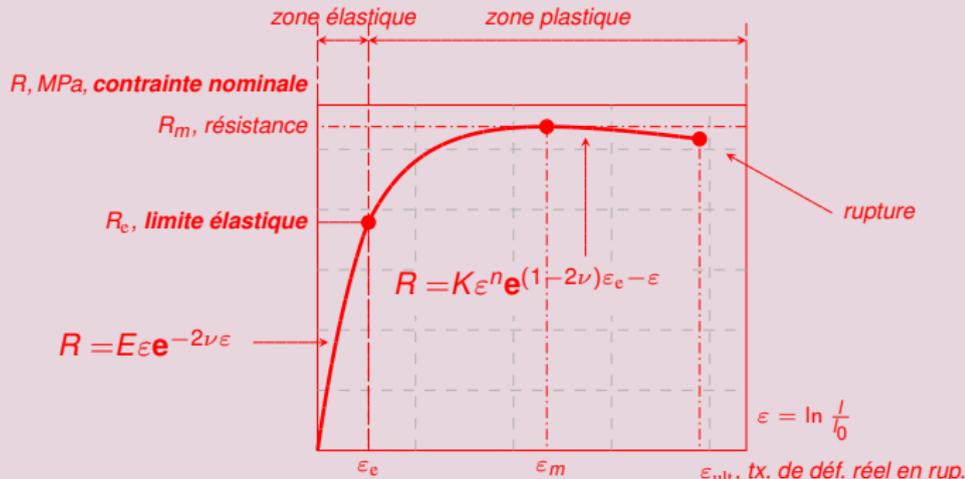


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$



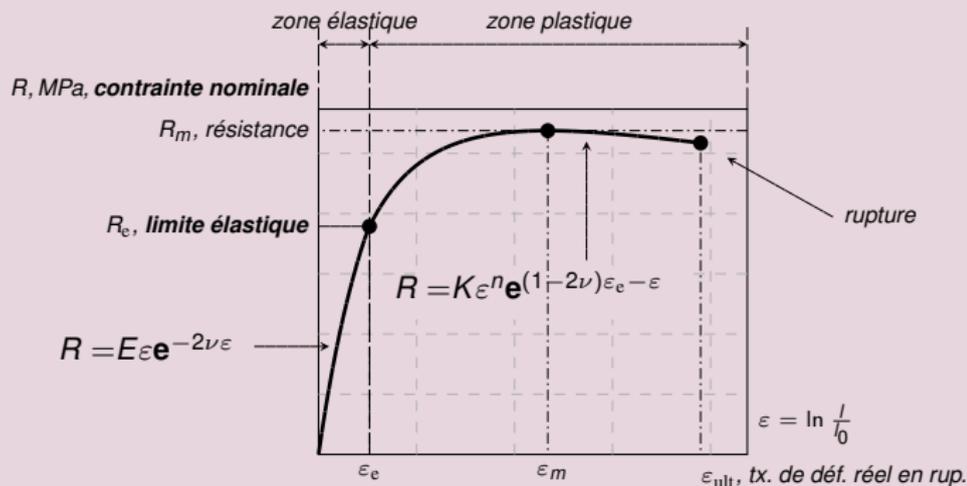
► Courbe et fonction de traction aux tableaux

1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$

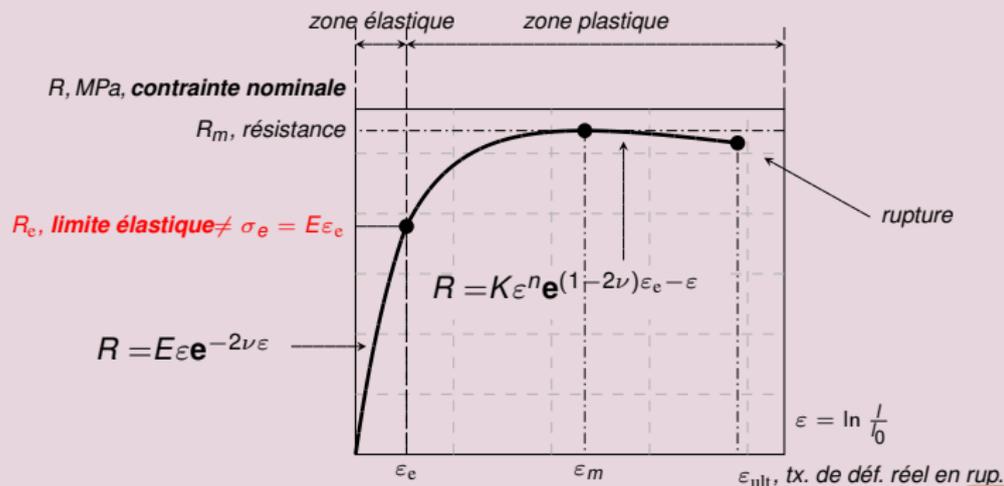


1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$



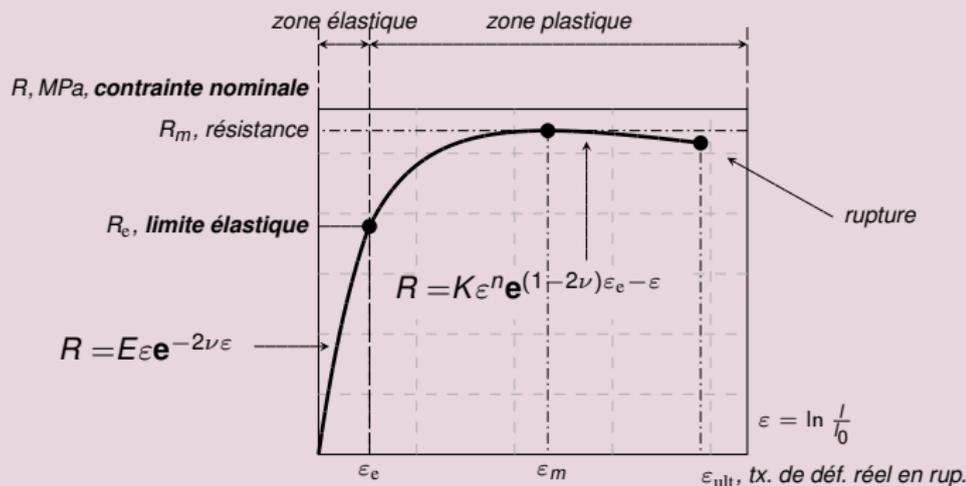
► Tableaux 5cTER

1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.1 Force et courbe de traction

### Contrainte nominale pour un matériau revenu (appr. de Considère)

- Les lois (Hooke, **Ludwik**<sup>1</sup>, Poisson, Considère) donnent  $\sigma$  et  $S$  en fonction de  $\varepsilon$  et  $S_0$  :  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  et  $S = S_0 s(\varepsilon)$  avec  $s(\varepsilon) = e^{-2\nu\varepsilon}$  ou bien  $s(\varepsilon) = e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ .
- La force de traction  $F = \sigma S$  est donc proportionnelle à  $S_0$  :  $F = S_0 [\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$ .
- Le rapport  $R = F/S_0$  est appelé contrainte nominale :  $R = \sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$



1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écroutissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

## 2.6.2 Courbe de traction et résistance

La valeur de la résistance dépend de la localisation de  $n$  et  $\varepsilon_e$

- (1) **(Cas général)** Si  $\varepsilon_e < n \leq \varepsilon_{ult}$ , alors la résistance est atteinte en phase d'érouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau revenu et sous l'hyp. de Considère :

$$\varepsilon_m = n; \quad R_m = K \left( \frac{n}{\varepsilon_e} \right)^n \sigma_0 (1 - 2n) \varepsilon_e$$

- (2) **(Cas matériau fragile)** Si  $n > \varepsilon_{ult}$  alors la résistance est atteinte à la rupture.

- (3) **(Cas matériau dur)** Si  $n < \varepsilon_e$  alors la résistance est atteinte en zone élastique :

## 2.6.2 Courbe de traction et résistance

La valeur de la résistance dépend de la localisation de  $n$  et  $\varepsilon_e$

- (1) **(Cas général)** Si  $\varepsilon_e < n \leq \varepsilon_{ult}$ , alors la résistance est atteinte en phase d'érouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau revenu et sous l'hyp. de Considère :

$$\varepsilon_m = n; \quad R_m = K \left( \frac{n}{e} \right)^n e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}.$$

- (2) **(Cas matériau fragile)** Si  $n > \varepsilon_{ult}$  alors la résistance est atteinte à la rupture.

- (3) **(Cas matériau dur)** Si  $n < \varepsilon_e$  alors la résistance est atteinte en zone élastique :

## 2.6.2 Courbe de traction et résistance

La valeur de la résistance dépend de la localisation de  $n$  et  $\varepsilon_e$

- (1) **(Cas général)** Si  $\varepsilon_e < n \leq \varepsilon_{ult}$ , alors la résistance est atteinte en phase d'érouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau revenu et sous l'hyp. de Considère :

$$\varepsilon_m = n; \quad R_m = K \left( \frac{n}{e} \right)^n e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}.$$

- (2) **(Cas matériau fragile)** Si  $n > \varepsilon_{ult}$  alors la résistance est atteinte à la rupture.

- (3) **(Cas matériau dur)** Si  $n < \varepsilon_e$  alors la résistance est atteinte en zone élastique :

► Résistance aux tableaux

## 2.6.2 Courbe de traction et résistance

La valeur de la résistance dépend de la localisation de  $n$  et  $\varepsilon_e$

- (1) **(Cas général)** Si  $\varepsilon_e < n \leq \varepsilon_{ult}$ , alors la résistance est atteinte en phase d'érouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau revenu et sous l'hyp. de Considère :

$$\varepsilon_m = n; \quad R_m = K \left( \frac{n}{e} \right)^n e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}.$$

- (2) **(Cas matériau fragile)** Si  $n > \varepsilon_{ult}$  alors la résistance est atteinte à la rupture. Si on applique l'hypothèse de Considère et qu'on désigne par  $\sigma_{ult}$  la contrainte de traction ultime réelle, on a

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{ult}; \quad R_m = R(\varepsilon_{ult}) = \sigma_{ult} e^{(1-2\nu)(\varepsilon_{ult}-n)}$$

- (3) **(Cas matériau dur)** Si  $n < \varepsilon_e$  alors la résistance est atteinte en zone élastique :

## 2.6.2 Courbe de traction et résistance

La valeur de la résistance dépend de la localisation de  $n$  et  $\varepsilon_e$

- (1) **(Cas général)** Si  $\varepsilon_e < n \leq \varepsilon_{\text{ult}}$ , alors la résistance est atteinte en phase d'érouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau revenu et sous l'hyp. de Considère :

$$\varepsilon_m = n; \quad R_m = K \left( \frac{n}{e} \right)^n e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}.$$

- (2) **(Cas matériau fragile)** Si  $n > \varepsilon_{\text{ult}}$  alors la résistance est atteinte à la **rupture**. Si on applique l'hypothèse de Considère et qu'on désigne par  $\sigma_{\text{ult}}$  la contrainte de traction ultime réelle, on a

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{\text{ult}}; \quad R_m = R(\varepsilon_{\text{ult}}) = \sigma_{\text{ult}} e^{(1-2\nu)(\varepsilon_e - \varepsilon_{\text{ult}})}$$

- (3) **(Cas matériau dur)** Si  $n < \varepsilon_e$  alors la résistance est atteinte en zone élastique :

► Matériau fragile

## 2.6.2 Courbe de traction et résistance

La valeur de la résistance dépend de la localisation de  $n$  et  $\varepsilon_e$

- (1) **(Cas général)** Si  $\varepsilon_e < n \leq \varepsilon_{\text{ult}}$ , alors la résistance est atteinte en phase d'érouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau revenu et sous l'hyp. de Considère :

$$\varepsilon_m = n; \quad R_m = K \left( \frac{n}{e} \right)^n e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}.$$

- (2) **(Cas matériau fragile)** Si  $n > \varepsilon_{\text{ult}}$  alors la résistance est atteinte à la **rupture**. Si on applique l'hypothèse de Considère et qu'on désigne par  $\sigma_{\text{ult}}$  la contrainte de traction ultime réelle, on a

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{\text{ult}}; \quad R_m = R(\varepsilon_{\text{ult}}) = \sigma_{\text{ult}} e^{(1-2\nu)(\varepsilon_e - \varepsilon_{\text{ult}})}$$

- (3) **(Cas matériau dur)** Si  $n < \varepsilon_e$  alors la résistance est atteinte en zone élastique :

$$\text{si } \varepsilon_e < \frac{1}{2\nu} : \quad \varepsilon_m = \varepsilon_e; \quad R_m = R_e$$

$$\text{si } \varepsilon_e \geq \frac{1}{2\nu} : \quad \varepsilon_m = \frac{1}{2\nu}; \quad R_m = \frac{E\varepsilon_e}{2\nu}$$

## 2.6.2 Courbe de traction et résistance

La valeur de la résistance dépend de la localisation de  $n$  et  $\varepsilon_e$

- (1) **(Cas général)** Si  $\varepsilon_e < n \leq \varepsilon_{\text{ult}}$ , alors la résistance est atteinte en phase d'érouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau revenu et sous l'hyp. de Considère :

$$\varepsilon_m = n; \quad R_m = K \left( \frac{n}{e} \right)^n e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}.$$

- (2) **(Cas matériau fragile)** Si  $n > \varepsilon_{\text{ult}}$  alors la résistance est atteinte à la **rupture**. Si on applique l'hypothèse de Considère et qu'on désigne par  $\sigma_{\text{ult}}$  la contrainte de traction ultime réelle, on a

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{\text{ult}}; \quad R_m = R(\varepsilon_{\text{ult}}) = \sigma_{\text{ult}} e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon_{\text{ult}}}$$

- (3) **(Cas matériau dur)** Si  $n < \varepsilon_e$  alors la résistance est atteinte en **zone élastique** :

$$\text{si } \varepsilon_e < \frac{1}{2\nu} : \quad \varepsilon_m = \varepsilon_e; \quad R_m = R_e,$$

$$\text{si } \varepsilon_e \geq \frac{1}{2\nu} : \quad \varepsilon_m = \frac{1}{2\nu}; \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

► Matériau dur

## 2.6.2 Courbe de traction et résistance

La valeur de la résistance dépend de la localisation de  $n$  et  $\varepsilon_e$

- (1) **(Cas général)** Si  $\varepsilon_e < n \leq \varepsilon_{ult}$ , alors la résistance est atteinte en phase d'érouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau revenu et sous l'hyp. de Considère :

$$\varepsilon_m = n; \quad R_m = K \left( \frac{n}{e} \right)^n e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}.$$

- (2) **(Cas matériau fragile)** Si  $n > \varepsilon_{ult}$  alors la résistance est atteinte à la **rupture**. Si on applique l'hypothèse de Considère et qu'on désigne par  $\sigma_{ult}$  la contrainte de traction ultime réelle, on a

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{ult}; \quad R_m = R(\varepsilon_{ult}) = \sigma_{ult} e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon_{ult}}$$

- (3) **(Cas matériau dur)** Si  $n < \varepsilon_e$  alors la résistance est atteinte en **zone élastique** :

$$\text{si } \varepsilon_e < \frac{1}{2\nu} : \quad \varepsilon_m = \varepsilon_e; \quad R_m = R_e,$$

$$\text{si } \varepsilon_e \geq \frac{1}{2\nu} : \quad \varepsilon_m = \frac{1}{2\nu}; \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

## 2.6.2 Courbe de traction et résistance

La valeur de la résistance dépend de la localisation de  $n$  et  $\varepsilon_e$

- (1) **(Cas général)** Si  $\varepsilon_e < n \leq \varepsilon_{ult}$ , alors la résistance est atteinte en phase d'érouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau revenu et sous l'hyp. de Considère :

$$\varepsilon_m = n; \quad R_m = K \left( \frac{n}{e} \right)^n e^{(1-2\nu)\varepsilon_e}.$$

- (2) **(Cas matériau fragile)** Si  $n > \varepsilon_{ult}$  alors la résistance est atteinte à la **rupture**. Si on applique l'hypothèse de Considère et qu'on désigne par  $\sigma_{ult}$  la contrainte de traction ultime réelle, on a

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{ult}; \quad R_m = R(\varepsilon_{ult}) = \sigma_{ult} e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon_{ult}}$$

- (3) **(Cas matériau dur)** Si  $n < \varepsilon_e$  alors la résistance est atteinte en **zone élastique** :

$$\text{si } \varepsilon_e < \frac{1}{2\nu} : \quad \varepsilon_m = \varepsilon_e; \quad R_m = R_e,$$

$$\text{si } \varepsilon_e \geq \frac{1}{2\nu} : \quad \varepsilon_m = \frac{1}{2\nu}; \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

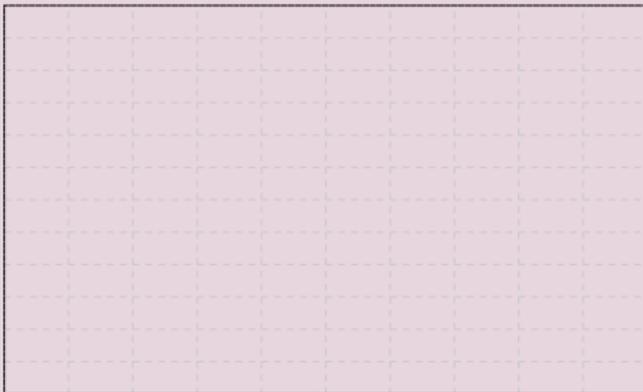
## 2.6.3 Résistance et contrainte de traction ultime

### Résistance et contrainte de traction ultime

- La résistance  $R_m$  est la **force maximale** qu'un échantillon de traction de section initiale unité peut supporter. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction**. Il ne faut pas confondre  $R_m$  avec la contrainte de traction ultime  $\sigma_{ult}$  (cf. trspt. 2.4.3) qui correspond à la **contrainte de traction réelle** qu'on mesure au moment de la rupture. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction réelle**. A cause de la diminution des dimensions latérales (Poisson), on a toujours que

$$\sigma_{ult} > R_m.$$

$\sigma, R, Pa$



$\epsilon, -$

**Fig.** courbes de traction, matériau ductile

## 2.6.3 Résistance et contrainte de traction ultime

### Résistance et contrainte de traction ultime

- La résistance  $R_m$  est la **force maximale** qu'un échantillon de traction de section initiale unité peut supporter. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction**. Il ne faut pas confondre  $R_m$  avec la contrainte de traction ultime  $\sigma_{ult}$  (cf. trspt. 2.4.3) qui correspond à la **contrainte de traction réelle** qu'on mesure au moment de la rupture. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction réelle**. A cause de la diminution des dimensions latérales (Poisson), on a toujours que

$$\sigma_{ult} > R_m.$$

$\sigma, R, Pa$

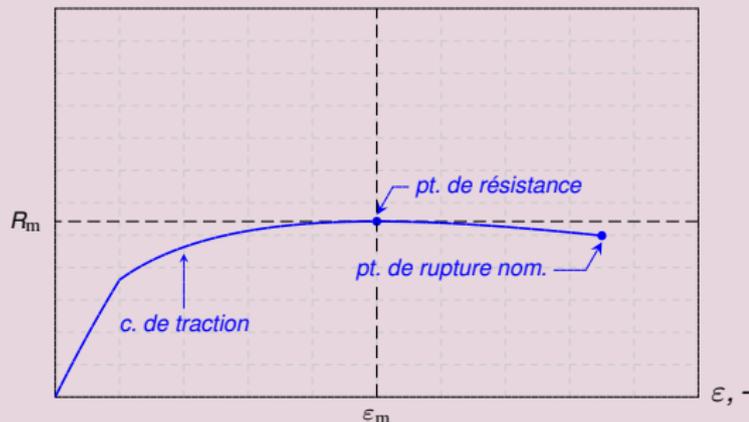


Fig. courbes de traction, matériau ductile

## 2.6.3 Résistance et contrainte de traction ultime

### Résistance et contrainte de traction ultime

- La résistance  $R_m$  est la **force maximale** qu'un échantillon de traction de section initiale unité peut supporter. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction**. Il ne faut pas confondre  $R_m$  avec la contrainte de traction ultime  $\sigma_{ult}$  (cf. trspt. 2.4.3) qui correspond à la **contrainte de traction réelle** qu'on mesure au moment de la rupture. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction réelle**. A cause de la diminution des dimensions latérales (Poisson), on a toujours que

$$\sigma_{ult} > R_m.$$

$\sigma, R, Pa$

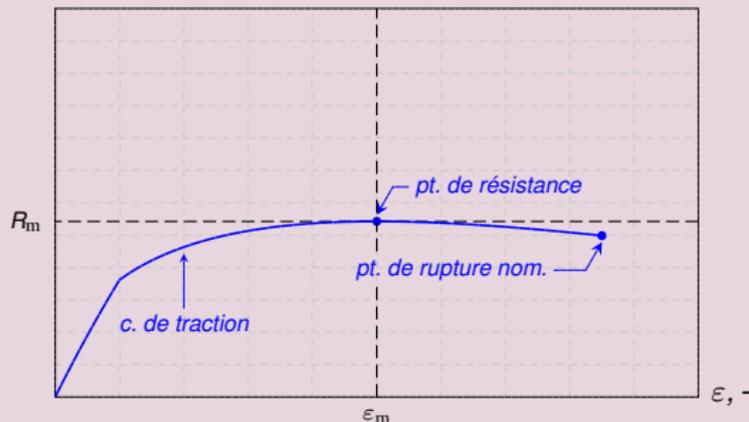


Fig. courbes de traction, matériau ductile

## 2.6.3 Résistance et contrainte de traction ultime

### Résistance et contrainte de traction ultime

- La résistance  $R_m$  est la **force maximale** qu'un échantillon de traction de section initiale unité peut supporter. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction**. Il ne faut pas confondre  $R_m$  avec la contrainte de traction ultime  $\sigma_{ult}$  (cf. trspt. 2.4.3) qui correspond à la **contrainte de traction réelle** qu'on mesure au moment de la rupture. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction réelle**. A cause de la diminution des dimensions latérales (Poisson), on a toujours que

$$\sigma_{ult} > R_m.$$

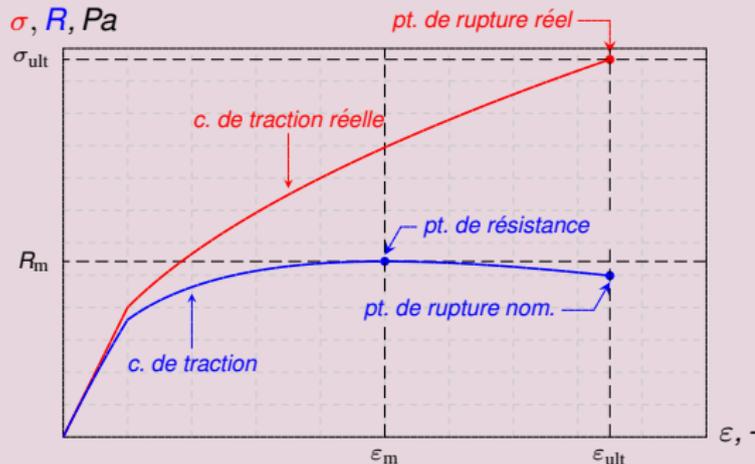


Fig. courbes de traction, matériau ductile

## 2.6.3 Résistance et contrainte de traction ultime

### Résistance et contrainte de traction ultime

- La résistance  $R_m$  est la **force maximale** qu'un échantillon de traction de section initiale unité peut supporter. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction**. Il ne faut pas confondre  $R_m$  avec la contrainte de traction ultime  $\sigma_{ult}$  (cf. trspt. 2.4.3) qui correspond à la **contrainte de traction réelle** qu'on mesure au moment de la rupture. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction réelle**. A cause de la diminution des dimensions latérales (Poisson), on a toujours que

$$\sigma_{ult} > R_m.$$

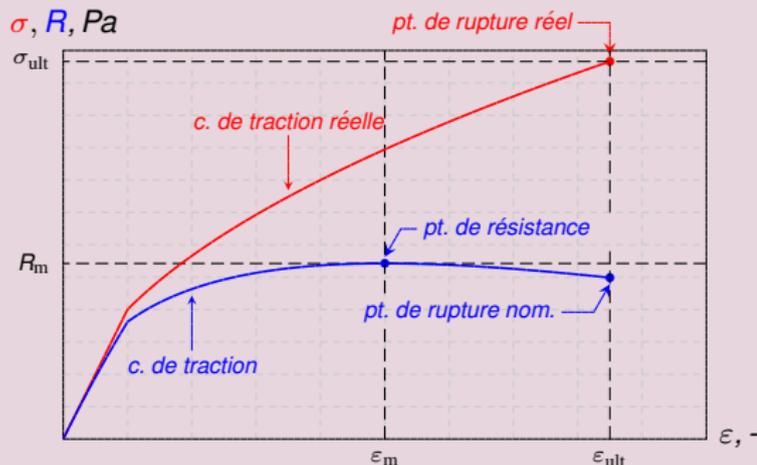


Fig. courbes de traction, matériau ductile

## 2.6.3 Résistance et contrainte de traction ultime

### Résistance et contrainte de traction ultime

- La résistance  $R_m$  est la **force maximale** qu'un échantillon de traction de section initiale unité peut supporter. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction**. Il ne faut pas confondre  $R_m$  avec la contrainte de traction ultime  $\sigma_{ult}$  (cf. trspt. 2.4.3) qui correspond à la **contrainte de traction réelle** qu'on mesure au moment de la rupture. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction réelle**. A cause de la diminution des dimensions latérales (Poisson), on a toujours que

$$\sigma_{ult} > R_m.$$

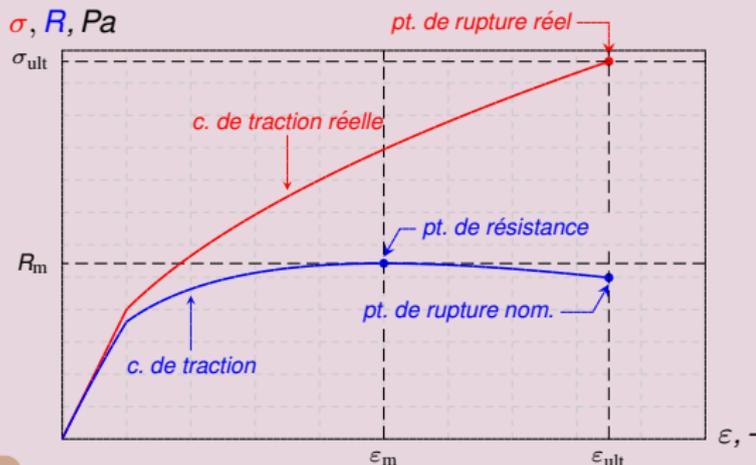


Fig. courbes de traction, matériau ductile

## 2.6.3 Résistance et contrainte de traction ultime

### Résistance et contrainte de traction ultime

- La résistance  $R_m$  est la **force maximale** qu'un échantillon de traction de section initiale unité peut supporter. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction**. Il ne faut pas confondre  $R_m$  avec la contrainte de traction ultime  $\sigma_{ult}$  (cf. trspt. 2.4.3) qui correspond à la **contrainte de traction réelle** qu'on mesure au moment de la rupture. Cette quantité se lit sur la **courbe de traction réelle**. A cause de la diminution des dimensions latérales (Poisson), on a toujours que

$$\sigma_{ult} > R_m.$$

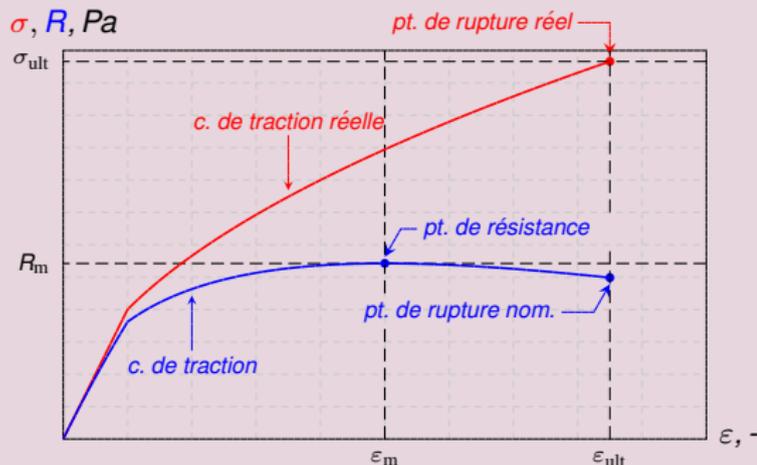


Fig. courbes de traction, matériau ductile

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- Le module d'écroissage est **lié à la résistance**. Pour un matériau revenu, on a

$$K = R_m \left( \frac{e}{n} \right)^n e^{-(1-2\nu)\varepsilon_e}$$

- Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale

» Tableaux 5cQAR

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- *Le module d'écroissage est lié à la résistance. Pour un matériau revenu, on a*

$$K = R_m \left( \frac{e}{n} \right)^n e^{-(1-2\nu)\varepsilon_e}$$

- *Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale*

►► Module d'écroissage aux tableaux

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- Le module d'écroissage est lié à la résistance. Pour un matériau revenu, on a

$$K = R_m \left( \frac{e}{n} \right)^n e^{-(1-2\nu)\varepsilon_e}$$

- Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale

$$\sigma = \begin{cases} E_0 e^{-2\nu\varepsilon_e}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left( \frac{\varepsilon e^{1-2\nu}}{n} \right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- *Le module d'écroissage est lié à la résistance. Pour un matériau revenu, on a*

$$K = R_m \left( \frac{e}{n} \right)^n e^{-(1-2\nu)\varepsilon_e}$$

- *Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = \begin{cases} E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

► Tableaux 5cQIN

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- *Le module d'écroissage est lié à la résistance. Pour un matériau revenu, on a*

$$K = R_m \left( \frac{\mathbf{e}}{n} \right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_e}$$

- *Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- *Le module d'écroissage est lié à la résistance. Pour un matériau revenu, on a*

$$K = R_m \left( \frac{e}{n} \right)^n e^{-(1-2\nu)\varepsilon_e}$$

- *Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = \begin{cases} E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

► Fonction de traction aux tableaux

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- *Le module d'écroissage est lié à la résistance. Pour un matériau revenu, on a*

$$K = R_m \left( \frac{\epsilon_e}{n} \right)^n e^{-(1-2\nu)\epsilon_e}$$

- *Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = \begin{cases} E\epsilon e^{-2\nu\epsilon}, & \epsilon \leq \epsilon_e \\ R_m \left( \frac{\epsilon}{n} e^{1-\frac{\epsilon}{n}} \right)^n, & \epsilon \geq \epsilon_e \end{cases}$$

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- *Le module d'écroissage est lié à la résistance. Pour un matériau revenu, on a*

$$K = R_m \left( \frac{e}{n} \right)^n e^{-(1-2\nu)\varepsilon_e}$$

- *Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = \begin{cases} E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

► Tableaux 5d

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- *Le module d'écroissage est lié à la résistance. Pour un matériau revenu, on a*

$$K = R_m \left( \frac{\epsilon_e}{n} \right)^n e^{-(1-2\nu)\epsilon_e}$$

- *Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = \begin{cases} E\epsilon e^{-2\nu\epsilon}, & \epsilon \leq \epsilon_e \\ R_m \left( \frac{\epsilon}{n} e^{1-\frac{\epsilon}{n}} \right)^n, & \epsilon \geq \epsilon_e \end{cases}$$

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- Le module d'écroissage est lié à la résistance. Pour un *matériau revenu*, on a

$$K = R_m \left( \frac{e}{n} \right)^n e^{-(1-2\nu)\varepsilon_e}$$

- Pour un *matériau revenu*, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale

$$R = \begin{cases} E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- *Le module d'écroissage est lié à la résistance. Pour un matériau revenu, on a*

$$K = R_m \left( \frac{\epsilon_e}{n} \right)^n e^{-(1-2\nu)\epsilon_e}$$

- *Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = \begin{cases} E\epsilon e^{-2\nu\epsilon}, & \epsilon \leq \epsilon_e \\ R_m \left( \frac{\epsilon}{n} e^{1-\frac{\epsilon}{n}} \right)^n, & \epsilon \geq \epsilon_e \end{cases}$$

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- *Le module d'érouissage est lié à la résistance. Pour un matériau revenu, on a*

$$K = R_m \left( \frac{\mathbf{e}}{n} \right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_e}$$

- *Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

### Utilisation de la fonction de traction

- *La fonction de traction permet de calculer la **force de traction**  $F$  nécessaire à atteindre un **taux de déformation**  $\varepsilon$  connu.*
- *Pour calculer le **taux de déformation**  $\varepsilon$  qu'on atteint lorsque la **force de traction**  $F$  est imposée, il faut inverser la fonction de traction.*

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- *Le module d'écroissage est lié à la résistance. Pour un matériau revenu, on a*

$$K = R_m \left( \frac{e}{n} \right)^n e^{-(1-2\nu)\varepsilon_e}$$

- *Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = \begin{cases} E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

### Utilisation de la fonction de traction

- *La fonction de traction permet de calculer la **force de traction**  $F$  nécessaire à atteindre un **taux de déformation**  $\varepsilon$  connu.*
- *Pour calculer le **taux de déformation**  $\varepsilon$  qu'on atteint lorsque la **force de traction**  $F$  est imposée, il faut inverser la fonction de traction.*

## 2.6.4 Fonction de traction

### Fonction de traction (avec l'approximation de Considère)

- *Le module d'écroissage est lié à la résistance. Pour un matériau revenu, on a*

$$K = R_m \left( \frac{e}{n} \right)^n e^{-(1-2\nu)\varepsilon_e}$$

- *Pour un matériau revenu, on obtient ainsi une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = \begin{cases} E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

### Utilisation de la fonction de traction

- *La fonction de traction permet de calculer la **force de traction**  $F$  nécessaire à atteindre un **taux de déformation**  $\varepsilon$  connu.*
- *Pour calculer le **taux de déformation**  $\varepsilon$  qu'on atteint lorsque la **force de traction**  $F$  est imposée, il faut inverser la fonction de traction.*

Exo 3, Série 2 et Exo 1, Série 3 : manipulation de la contrainte et de la fonction de traction réelles

## 2.7.1 Inversion de la fonction de traction (cas général)

Trois cas se présentent :

(1) **Cas élastique** : Si  $F/S_0 \leq R_e$ , l'équation à résoudre est

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) **Cas plastique** : Si  $R_e < F/S_0 < R_m$ , l'équation à résoudre pour un matériau revenu et sous l'hypothèse de Considère, est

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n.$$

(3) **Cas de rupture** : Si  $F/S_0 > R_m$ , la déformation peut être menée jusqu'à la rupture :

$$\varepsilon = \varepsilon_{ult}$$

## 2.7.1 Inversion de la fonction de traction (cas général)

Trois cas se présentent :

(1) **Cas élastique** : Si  $F/S_0 \leq R_e$ , l'équation à résoudre est

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) **Cas plastique** : Si  $R_e < F/S_0 < R_m$ , l'équation à résoudre pour un matériau revenu et sous l'hypothèse de Considère, est

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n.$$

(3) **Cas de rupture** : Si  $F/S_0 > R_m$ , la déformation peut être menée jusqu'à la rupture :

$$\varepsilon = \varepsilon_{ult}$$

## 2.7.1 Inversion de la fonction de traction (cas général)

Trois cas se présentent :

- (1) **Cas élastique** : Si  $F/S_0 \leq R_e$ , l'équation à résoudre est

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}.$$

- (2) **Cas plastique** : Si  $R_e < F/S_0 < R_m$ , l'équation à résoudre pour un matériau revenu et sous l'hypothèse de Considère, est

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n.$$

- (3) **Cas de rupture** : Si  $F/S_0 > R_m$ , la déformation peut être menée jusqu'à la rupture :

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ult}}$$

## 2.7.1 Inversion de la fonction de traction (cas général)

Trois cas se présentent :

(1) **Cas élastique** : Si  $F/S_0 \leq R_e$ , l'équation à résoudre est

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) **Cas plastique** : Si  $R_e < F/S_0 < R_m$ , l'équation à résoudre pour un matériau revenu et sous l'hypothèse de Considère, est

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n.$$

(3) **Cas de rupture** : Si  $F/S_0 > R_m$ , la déformation peut être menée jusqu'à la rupture :

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ult}}$$

► Inversion de la fonction de traction

## 2.7.1 Inversion de la fonction de traction (cas général)

Trois cas se présentent :

- (1) **Cas élastique** : Si  $F/S_0 \leq R_e$ , l'équation à résoudre est

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}.$$

- (2) **Cas plastique** : Si  $R_e < F/S_0 < R_m$ , l'équation à résoudre pour un matériau revenu et sous l'hypothèse de Considère, est

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n.$$

- (3) **Cas de rupture** : Si  $F/S_0 > R_m$ , la déformation peut être menée jusqu'à la rupture :

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ult}}$$

## 2.7.1 Inversion de la fonction de traction (cas général)

Trois cas se présentent :

(1) **Cas élastique** : Si  $F/S_0 \leq R_e$ , l'équation à résoudre est

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) **Cas plastique** : Si  $R_e < F/S_0 < R_m$ , l'équation à résoudre pour un matériau revenu et sous l'hypothèse de Considère, est

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n.$$

(3) **Cas de rupture** : Si  $F/S_0 > R_m$ , la déformation peut être menée jusqu'à la rupture :

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ult}}$$

## 2.7.1 Inversion de la fonction de traction (cas général)

Trois cas se présentent :

(1) **Cas élastique** : Si  $F/S_0 \leq R_e$ , l'équation à résoudre est

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) **Cas plastique** : Si  $R_e < F/S_0 < R_m$ , l'équation à résoudre pour un matériau revenu et sous l'hypothèse de Considère, est

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n.$$

(3) **Cas de rupture** : Si  $F/S_0 > R_m$ , la déformation peut être menée jusqu'à la rupture :

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ult}}$$

## 2.7.1 Inversion de la fonction de traction (cas général)

Trois cas se présentent :

(1) **Cas élastique** : Si  $F/S_0 \leq R_e$ , l'équation à résoudre est

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) **Cas plastique** : Si  $R_e < F/S_0 < R_m$ , l'équation à résoudre pour un matériau revenu et sous l'hypothèse de Considère, est

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n.$$

(3) **Cas de rupture** : Si  $F/S_0 > R_m$ , la déformation peut être menée jusqu'à la rupture :

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ult}}$$

► Equation de la déformation maximale aux tabl.

## 2.7.1 Inversion de la fonction de traction (cas général)

Trois cas se présentent :

(1) **Cas élastique** : Si  $F/S_0 \leq R_e$ , l'équation à résoudre est

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) **Cas plastique** : Si  $R_e < F/S_0 < R_m$ , l'équation à résoudre pour un matériau revenu et sous l'hypothèse de Considère, est

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n.$$

(3) **Cas de rupture** : Si  $F/S_0 > R_m$ , la déformation peut être menée jusqu'à la rupture :

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ult}}$$

## 2.7.2 Inversion de la fonc. de traction, (cas plastique)

### Observation

- Même sous l'hypothèse de Considère, l'équation à résoudre est **transcendante**. dans le cas d'un matériau revenu, cette équation est :

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

▶ Algorithme

## 2.7.2 Inversion de la fonc. de traction, (cas plastique)

### Observation

- Même sous l'hypothèse de Considère, l'équation à résoudre est **transcendante**. dans le cas d'un matériau revenu, cette équation est :

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

### Méthode de résolution pour trouver $\varepsilon < n$

- On pose  $\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$ .
- A partir de la condition initiale  $x_0 = \alpha$ , on effectue l'itération de pt. fixe
- On appelle  $\bar{x}$  sa limite et on trouve le taux de déformation réel

## 2.7.2 Inversion de la fonc. de traction, (cas plastique)

### Observation

- Même sous l'hypothèse de Considère, l'équation à résoudre est **transcendante**. dans le cas d'un matériau revenu, cette équation est :

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

### Méthode de résolution pour trouver $\varepsilon < n$

- On pose  $\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$ .
- A partir de la condition initiale  $x_0 = \alpha$ , on effectue l'itération de pt. fixe
- On appelle  $\bar{x}$  sa limite et on trouve le taux de déformation réel

## 2.7.2 Inversion de la fonc. de traction, (cas plastique)

### Observation

- Même sous l'hypothèse de Considère, l'équation à résoudre est **transcendante**. dans le cas d'un matériau revenu, cette équation est :

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

### Méthode de résolution pour trouver $\varepsilon < n$

- On pose  $\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$ .
- A partir de la condition initiale  $x_0 = \alpha$ , on effectue l'itération de pt. fixe

$$x_{m+1} = \alpha e^{x_m}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

- On appelle  $\bar{x}$  sa limite et on trouve le taux de déformation réel

$$\varepsilon = \bar{x}$$

## 2.7.2 Inversion de la fonc. de traction, (cas plastique)

### Observation

- Même sous l'hypothèse de Considère, l'équation à résoudre est **transcendante**. dans le cas d'un matériau revenu, cette équation est :

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

### Méthode de résolution pour trouver $\varepsilon < n$

- On pose  $\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$ .
- A partir de la condition initiale  $x_0 = \alpha$ , on effectue l'itération de pt. fixe

$$x_{m+1} = \alpha e^{x_m}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

- On appelle  $\bar{x}$  sa limite et on trouve le taux de déformation réel

$$\varepsilon = n\bar{x}$$

## 2.7.2 Inversion de la fonc. de traction, (cas plastique)

### Observation

- Même sous l'hypothèse de Considère, l'équation à résoudre est **transcendante**. dans le cas d'un matériau revenu, cette équation est :

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

### Méthode de résolution pour trouver $\varepsilon < n$

- On pose  $\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$ .
- A partir de la condition initiale  $x_0 = \alpha$ , on effectue l'itération de pt. fixe

$$x_{m+1} = \alpha e^{x_m}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

- On appelle  $\bar{x}$  sa limite et on trouve le taux de déformation réel

$$\varepsilon = n\bar{x}$$

## 2.7.2 Inversion de la fonc. de traction, (cas plastique)

### Observation

- Même sous l'hypothèse de Considère, l'équation à résoudre est **transcendante**. dans le cas d'un matériau revenu, cette équation est :

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

### Méthode de résolution pour trouver $\varepsilon < n$

- On pose  $\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$ .
- A partir de la condition initiale  $x_0 = \alpha$ , on effectue l'itération de pt. fixe

$$x_{m+1} = \alpha e^{x_m}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

- On appelle  $\bar{x}$  sa limite et on trouve le taux de déformation réel ( $\varepsilon < n \equiv \varepsilon_m$ )

$$\varepsilon = n\bar{x}$$

## 2.7.2 Inversion de la fonc. de traction, (cas plastique)

### Observation

- Même sous l'hypothèse de Considère, l'équation à résoudre est **transcendante**. dans le cas d'un matériau revenu, cette équation est :

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

### Méthode de résolution pour trouver $\varepsilon < n$

- On pose  $\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$ .
- A partir de la condition initiale  $x_0 = \alpha$ , on effectue l'itération de pt. fixe

$$x_{m+1} = \alpha e^{x_m}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

- On appelle  $\bar{x}$  sa limite et on trouve le taux de déformation réel ( $\varepsilon < n \equiv \varepsilon_m$ )

$$\varepsilon = n\bar{x}$$

▶ Exemple

## 2.7.2 Inversion de la fonc. de traction, (cas plastique)

### Observation

- Même sous l'hypothèse de Considère, l'équation à résoudre est **transcendante**. dans le cas d'un matériau revenu, cette équation est :

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

### Méthode de résolution pour trouver $\varepsilon < n$

- On pose  $\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$ .
- A partir de la condition initiale  $x_0 = \alpha$ , on effectue l'itération de pt. fixe

$$x_{m+1} = \alpha e^{x_m}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

- On appelle  $\bar{x}$  sa limite et on trouve le taux de déformation réel ( $\varepsilon < n \equiv \varepsilon_m$ )

$$\varepsilon = n\bar{x}$$

## 2.7.2 Inversion de la fonc. de traction, (cas plastique)

### Observation

- Même sous l'hypothèse de Considère, l'équation à résoudre est **transcendante**. dans le cas d'un matériau revenu, cette équation est :

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left( \frac{\varepsilon}{n} e^{1 - \frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

### Méthode de résolution pour trouver $\varepsilon < n$

- On pose  $\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$ .
- A partir de la condition initiale  $x_0 = \alpha$ , on effectue l'itération de pt. fixe

$$x_{m+1} = \alpha e^{x_m}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

- On appelle  $\bar{x}$  sa limite et on trouve le taux de déformation réel ( $\varepsilon < n \equiv \varepsilon_m$ )

$$\varepsilon = n\bar{x}$$

Exo 2, Série 3 : inversion de la fonction de traction

8. Energie de déformation

9. L'expérience de dureté

10. L'expérience de compression

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est *incompressible* alors  $V = V_0$  et

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$$

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est *incompressible* alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$$

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$$

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

$$\text{où } \eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$$

- Pour un matériau général,  $V_0 \eta$  est
- Pour un matériau général,  $V_0 \eta$  est une **sur-estimation** du travail  $A$ .

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

$$\text{où } \eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \quad (\text{énergie spécifique de déformation})$$

- Pour un matériau général,  $V_0\eta$  est
- Pour un matériau général,  $V_0\eta$  est une **sur-estimation** du travail  $A$ .

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

où  $\eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$  (énergie spécifique de déformation)

- Pour un matériau général,  $V_0\eta$  est
- Pour un matériau général, est une sur-estimation du travail  $A$ .

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

où  $\eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$  **(énergie spécifique de déformation)**

- Pour un matériau général,  $V_0 \eta$  est
- Pour un matériau général, est une **sur-estimation** du travail  $A$ .

► Energie spécifique de déformation

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

$$\text{où } \eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \quad (\text{énergie spécifique de déformation})$$

- Pour un matériau général,  $V_0 \eta$  est
- Pour un matériau général,  $V_0 \eta$  est une sur-estimation du travail  $A$ .

► L'unité de  $\eta$  est celle de  $\sigma$ , est-ce compatible pour une énergie spécifique ? (Tableaux 7f)

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

$$\text{où } \eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \quad (\text{énergie spécifique de déformation})$$

- Pour un matériau général,  $V_0 \eta$  est
- Pour un matériau général, est une sur-estimation du travail  $A$ .

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

$$\text{où } \eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \quad (\text{énergie spécifique de déformation})$$

- Pour un matériau général,  $V_0\eta$  est
- Pour un matériau général,  $V_0\eta$  est une **sur-estimation** du travail  $A$ .

►► Même si le matériau est compressible le produit  $V_0\eta$  a un sens, lequel ? (Tableaux 7d)

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

$$\text{où } \eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \quad (\text{énergie spécifique de déformation})$$

- Pour un matériau général,  $V_0\eta$  est **une sous-estimation du travail A**.
- Pour un matériau général,  $V_0\eta$  est **une sur-estimation du travail A**.

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

$$\text{où } \eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \quad (\text{énergie spécifique de déformation})$$

- Pour un matériau général,  $V_0\eta$  est une **sous-estimation** du travail  $A$ .
- Pour un matériau général,  $V\eta$  est une **sur-estimation** du travail  $A$ .

► Il est aussi possible d'obtenir une sur-estimation du travail  $A$  (Tableaux 7e)

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

$$\text{où } \eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \quad (\text{énergie spécifique de déformation})$$

- Pour un matériau général,  $V_0\eta$  est une **sous-estimation** du travail  $A$ .
- Pour un matériau général,  $V_f\eta$  est **une sur-estimation** du travail  $A$ .

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

$$\text{où } \eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \quad (\text{énergie spécifique de déformation})$$

- Pour un matériau général,  $V_0\eta$  est une **sous-estimation** du travail  $A$ .
- Pour un matériau général,  $V_f\eta$  est une **sur-estimation** du travail  $A$ .

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

$$\text{où } \eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \quad (\text{énergie spécifique de déformation})$$

- Pour un matériau général,  $V_0\eta$  est une **sous-estimation** du travail  $A$ .
- Pour un matériau général,  $V_f\eta$  est une **sur-estimation** du travail  $A$ .

## 2.8.1 Energie spécifique de déformation

### Travail et énergie spécifique

- Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est

$$dA = S\sigma dl \implies dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel  $\varepsilon_f$  vaut :

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- Si le matériau est **incompressible** alors  $V = V_0$  et

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = V_0 \eta$$

$$\text{où } \eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \quad (\text{énergie spécifique de déformation})$$

- Pour un matériau général,  $V_0\eta$  est une **sous-estimation** du travail  $A$ .
- Pour un matériau général,  $V_f\eta$  est une **sur-estimation** du travail  $A$ .

Exo 1, Série 4 : énergie nécessaire pour étirer des agrafes

## 2.8.2 Ténacité

### Définition de la ténacité

La **ténacité**  $T$  est l'énergie spécifique de déformation jusqu'en rupture :

$$T = \int_0^{\varepsilon_{\text{ult}}} \sigma d\varepsilon$$

## 2.8.2 Ténacité

### Définition de la ténacité

La **ténacité**  $T$  est l'énergie spécifique de déformation jusqu'en rupture :

$$T = \int_0^{\varepsilon_{\text{ult}}} \sigma d\varepsilon$$

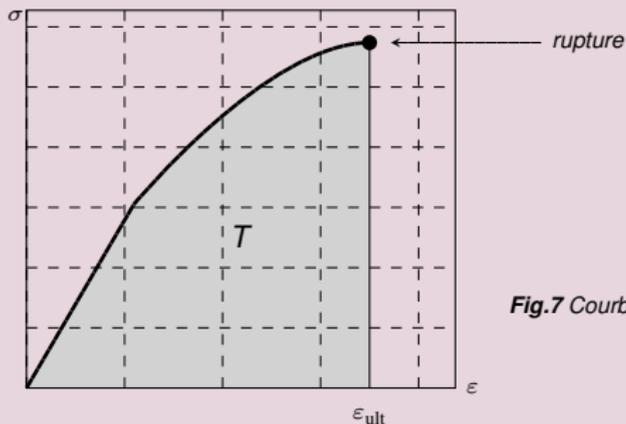


Fig.7 Courbe de traction réelle

## 2.8.2 Ténacité

### Définition de la ténacité

La **ténacité**  $T$  est l'énergie spécifique de déformation jusqu'en rupture :

$$T = \int_0^{\varepsilon_{\text{ult}}} \sigma d\varepsilon$$

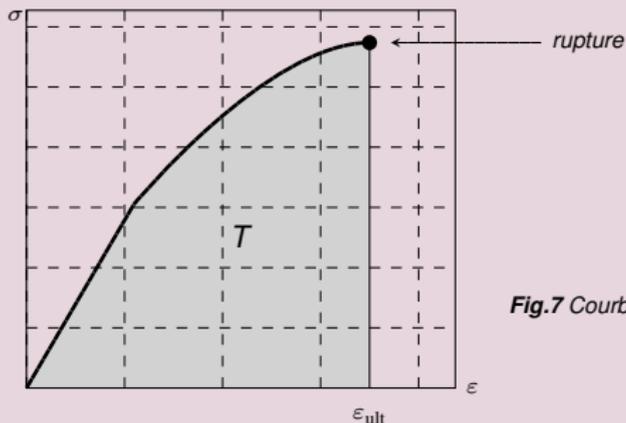


Fig.7 Courbe de traction réelle

► Il ne faut surtout pas confondre résistance et ténacité !

## 2.8.2 Ténacité

### Définition de la ténacité

La **ténacité**  $T$  est l'énergie spécifique de déformation jusqu'en rupture :

$$T = \int_0^{\varepsilon_{\text{ult}}} \sigma d\varepsilon$$

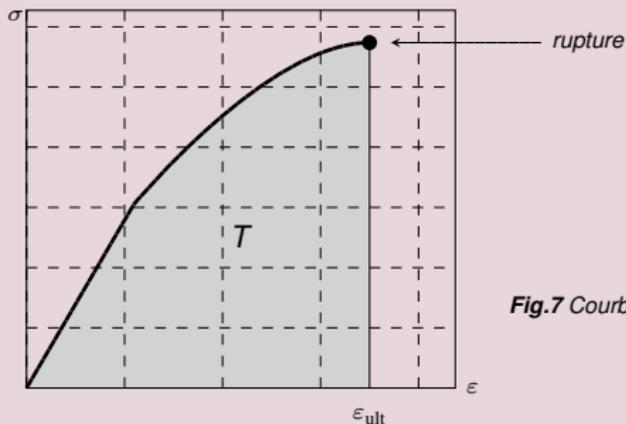


Fig.7 Courbe de traction réelle

## 2.8.2 Ténacité

### Définition de la ténacité

La **ténacité**  $T$  est l'énergie spécifique de déformation jusqu'en rupture :

$$T = \int_0^{\varepsilon_{\text{ult}}} \sigma d\varepsilon$$

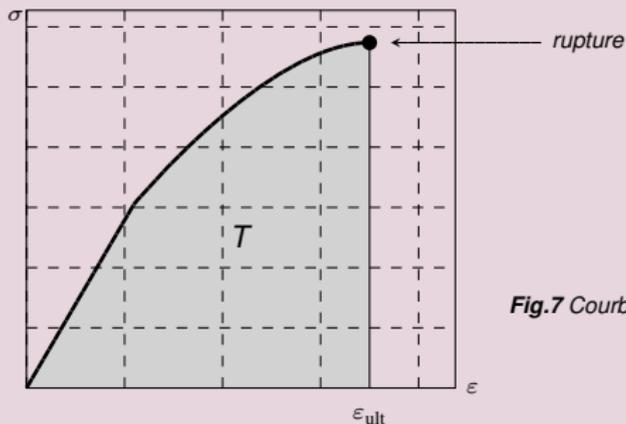


Fig.7 Courbe de traction réelle

Quelle est l'unité de la ténacité ?

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*

*la pièce à mesurer*

$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.* ► fin
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*

la pièce à mesurer

$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*

*la pièce à mesurer*

$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*

*la pièce à mesurer*

$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*

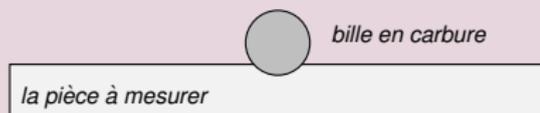
*la pièce à mesurer*

$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*

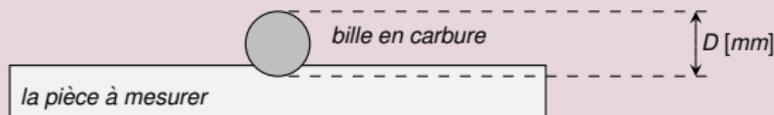


$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*

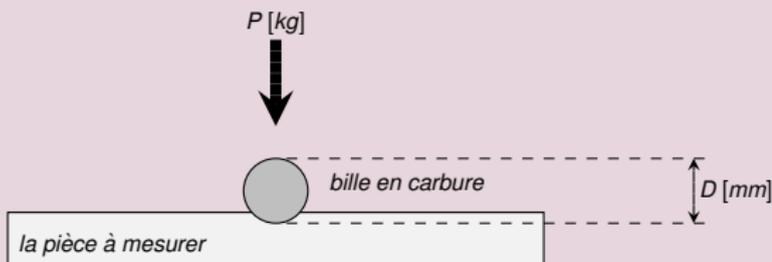


$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.
- Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.
- La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).

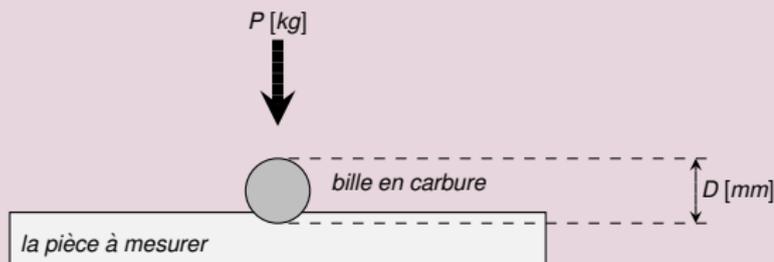


$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.
- Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.
- La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).

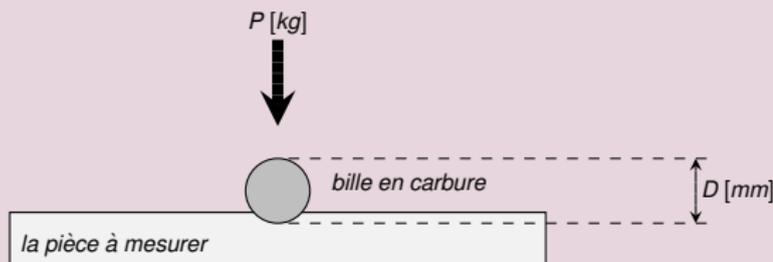


$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}} = \frac{P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.
- Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.
- La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).

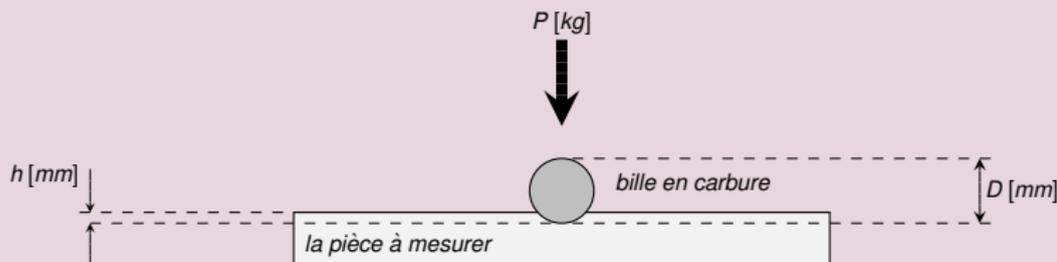


$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}} = \frac{P}{\pi Dh} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.
- Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.
- La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).

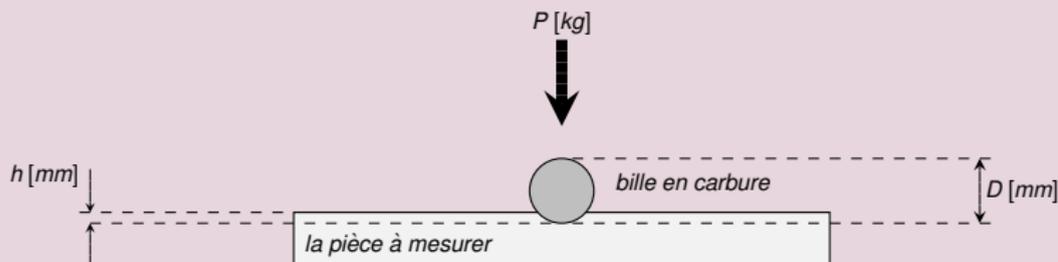


$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}} = \frac{P}{\pi Dh} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.
- Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.
- La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).

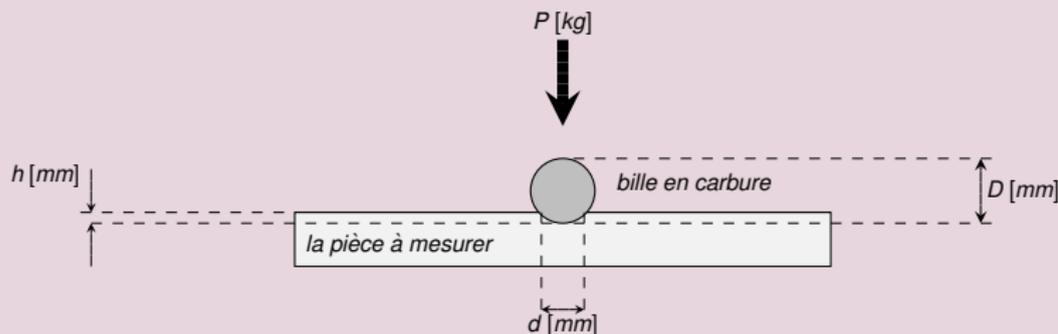


$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2]} = \frac{P}{\pi Dh} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.
- Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.
- La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).

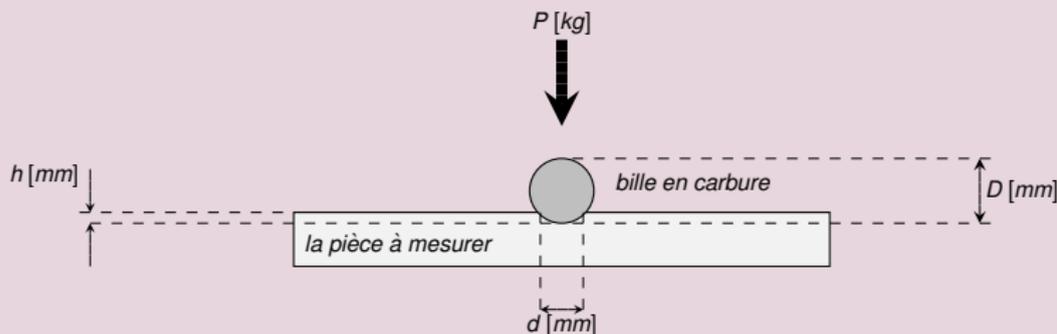


$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}} = \frac{P}{\pi Dh} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.
- Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.
- La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).

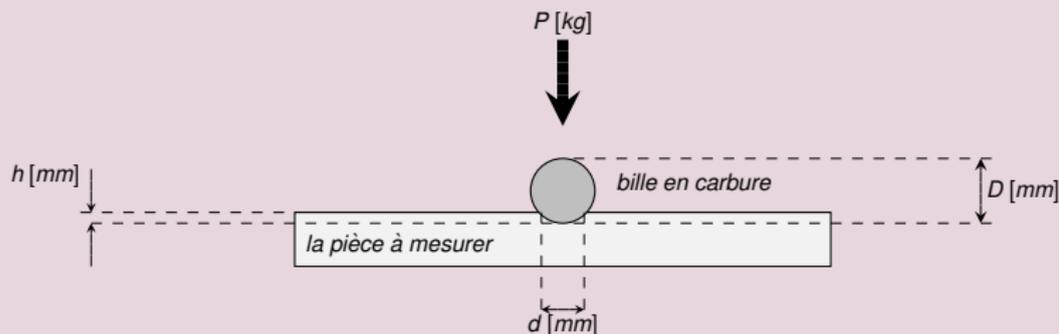


$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}} = \frac{P}{\pi Dh} \implies \text{Tableau 10} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.
- Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.
- La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).



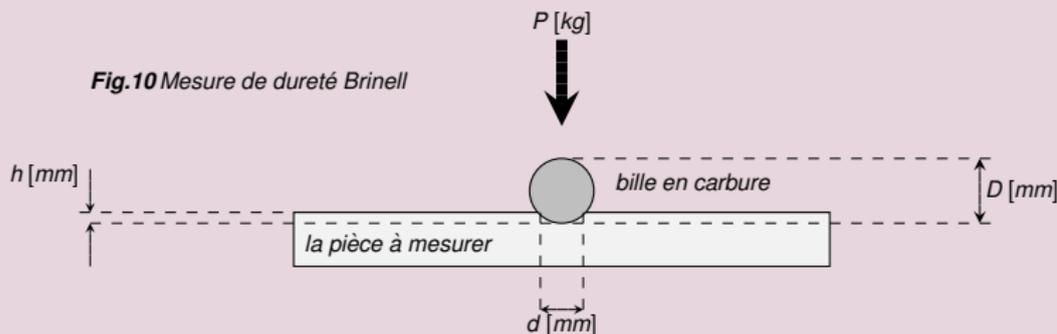
$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2]} = \frac{P}{\pi Dh} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.
- Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.
- La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).

Fig.10 Mesure de dureté Brinell



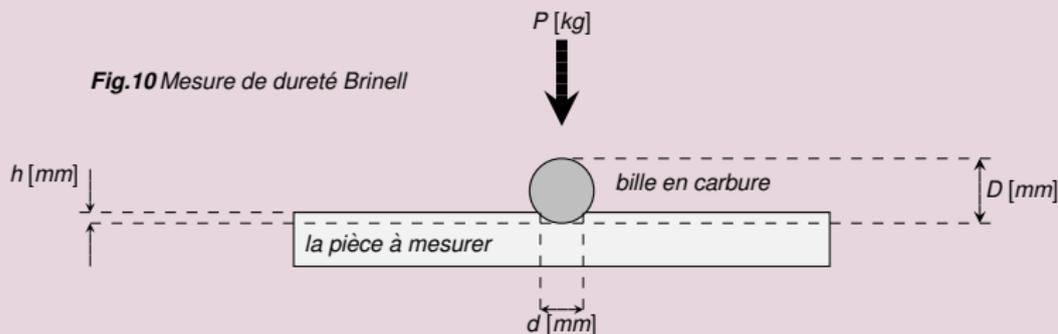
$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2]} = \frac{P}{\pi Dh} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

## 2.9.1 L'expérience de dureté

### Définition

- La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.
- Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.
- La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).

Fig.10 Mesure de dureté Brinell



$$HB = \frac{\text{charge en [kg]}}{\text{surface de l'empreinte en [mm}^2\text{]}} = \frac{P}{\pi Dh} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

## 2.9.2 Dureté et Limite élastique.

### Observation empirique

- *Il existe une relation approximative entre la dureté et la limite élastique.*
- *Lorsque l'on donne HB en unité de  $[kg/mm^2]$ , on peut approcher  $R_e$  en unité de  $[MPa]$  grâce aux formules :*
  - $R_e \simeq 3.5HB$ , pour des matériaux écrouis,
  - $R_e \simeq 2.0HB$ , pour des matériaux recuits.

## 2.9.2 Dureté et Limite élastique.

### Observation empirique

- *Il existe une relation approximative entre la dureté et la limite élastique.*
- *Lorsque l'on donne HB en unité de  $[kg/mm^2]$ , on peut approcher  $R_e$  en unité de  $[MPa]$  grâce aux formules :*
  - $R_e \simeq 3.5HB$ , pour des matériaux écrouis,
  - $R_e \simeq 2.0HB$ , pour des matériaux recuits.



**J.A. Brinell (1849-1925)**

## 2.9.2 Dureté et Limite élastique.

### Observation empirique

- *Il existe une relation approximative entre la dureté et la limite élastique.*
- *Lorsque l'on donne HB en unité de  $[kg/mm^2]$ , on peut approcher  $R_e$  en unité de  $[MPa]$  grâce aux formules :*
  - $R_e \simeq 3.5HB$ , pour des matériaux écrouis,
  - $R_e \simeq 2.0HB$ , pour des matériaux recuits.



**J.A. Brinell (1849-1925)**



**Basil Zaharoff (1849-1936)**  
former CEO of Vickers Ltd

## 2.9.2 Dureté et Limite élastique.

### Observation empirique

- *Il existe une relation approximative entre la dureté et la limite élastique.*
- *Lorsque l'on donne HB en unité de  $[kg/mm^2]$ , on peut approcher  $R_e$  en unité de  $[MPa]$  grâce aux formules :*
  - $R_e \simeq 3.5HB$ , pour des matériaux écrouis,
  - $R_e \simeq 2.0HB$ , pour des matériaux recuits.



**J.A. Brinell (1849-1925)**



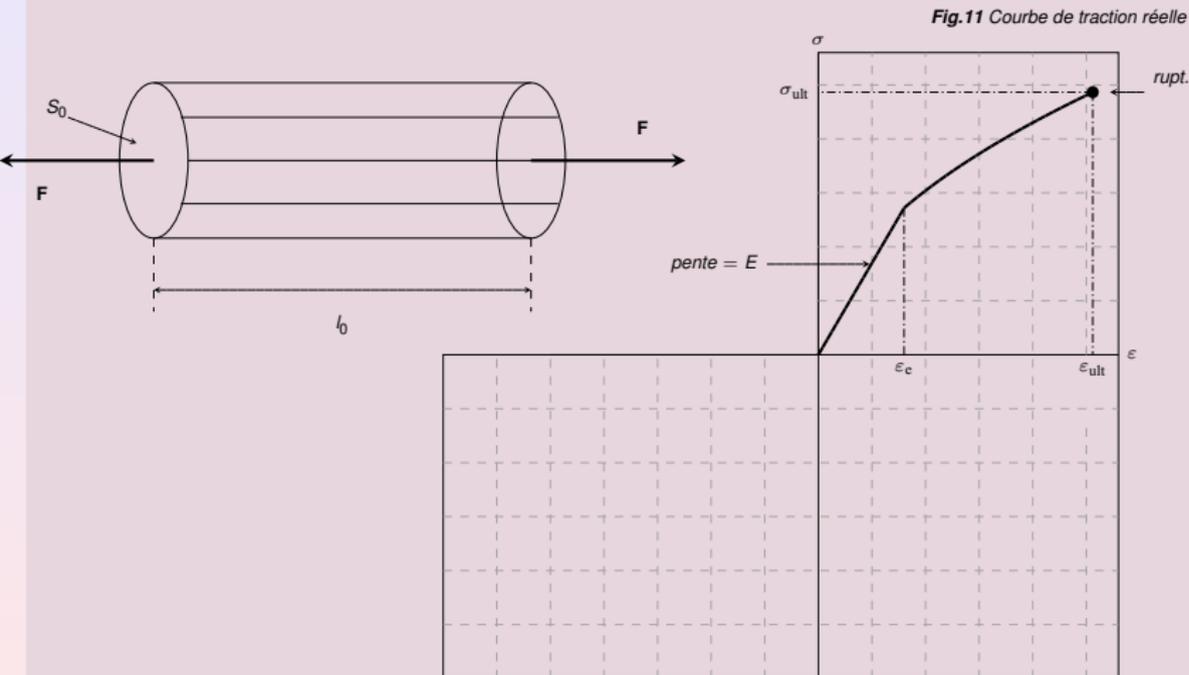
**M. Bazaroff**  
**Ds "L'oreille cassée"**



**Basil Zaharoff (1849-1936)**  
**former CEO of Vickers Ltd**

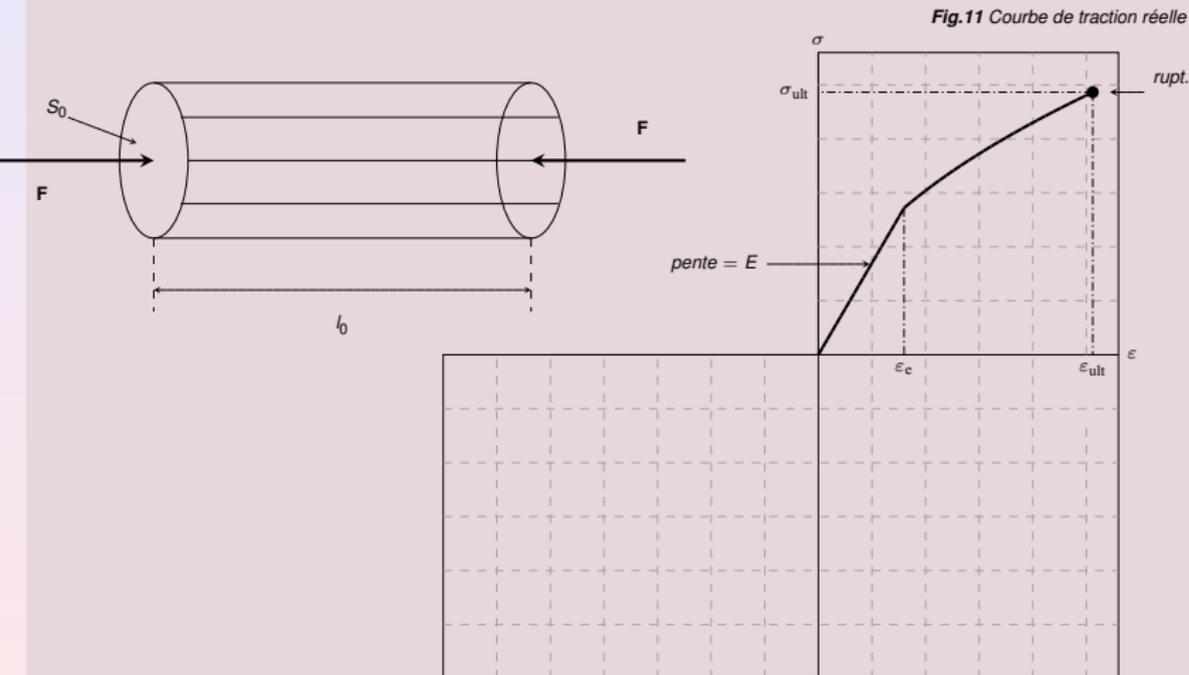
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$

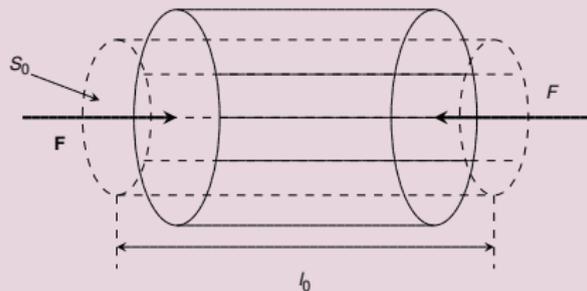
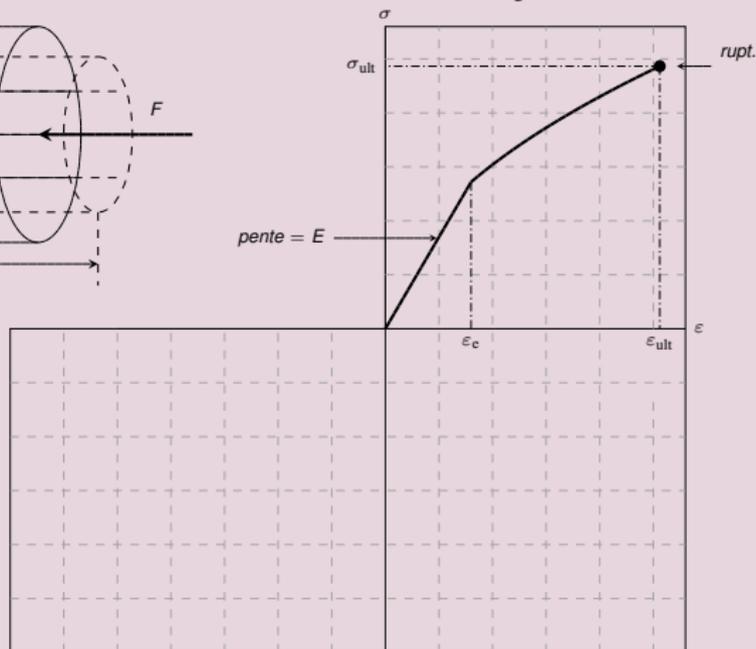
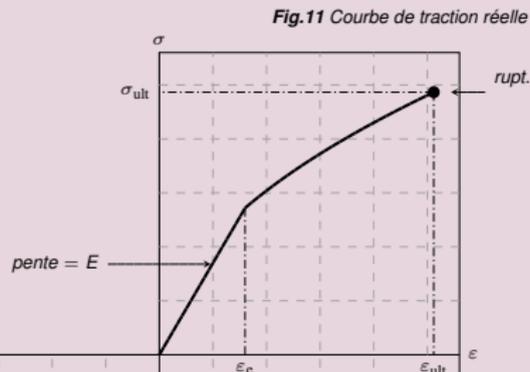
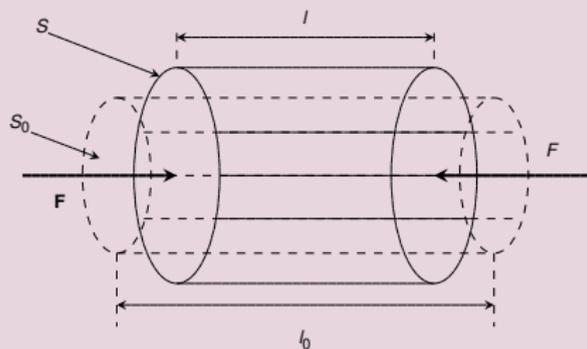


Fig.11 Courbe de traction réelle



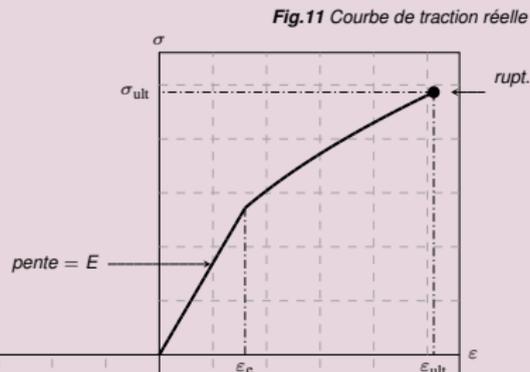
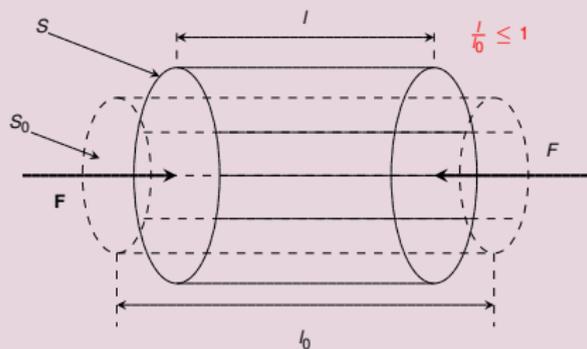
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



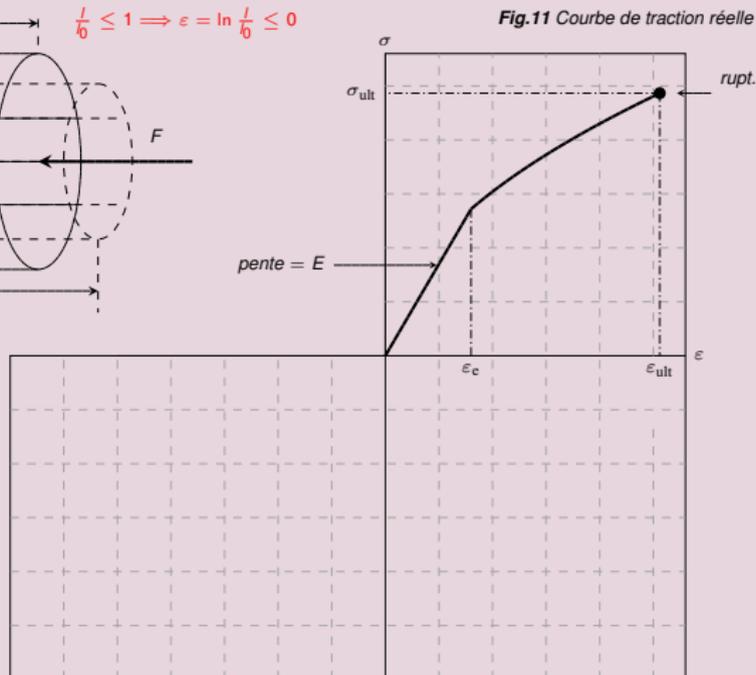
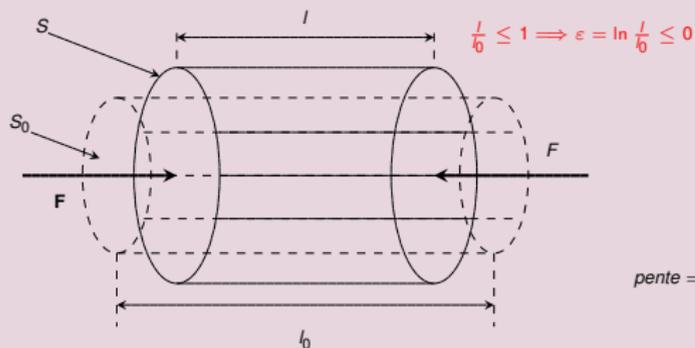
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



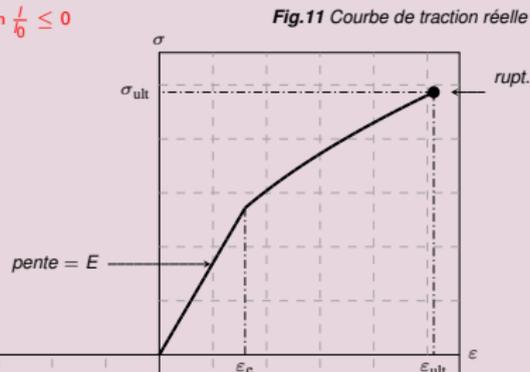
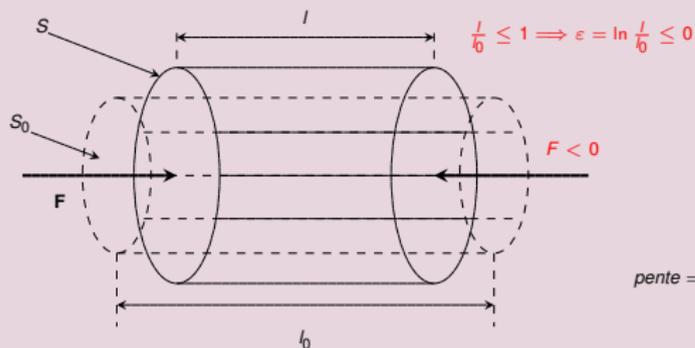
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



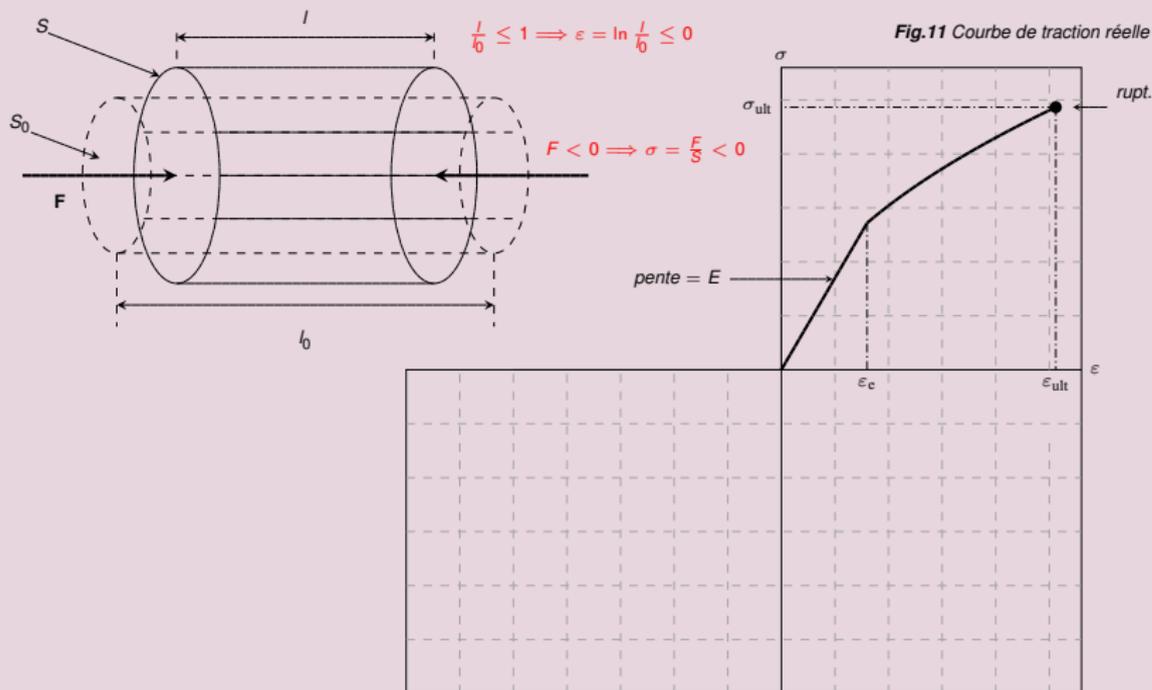
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



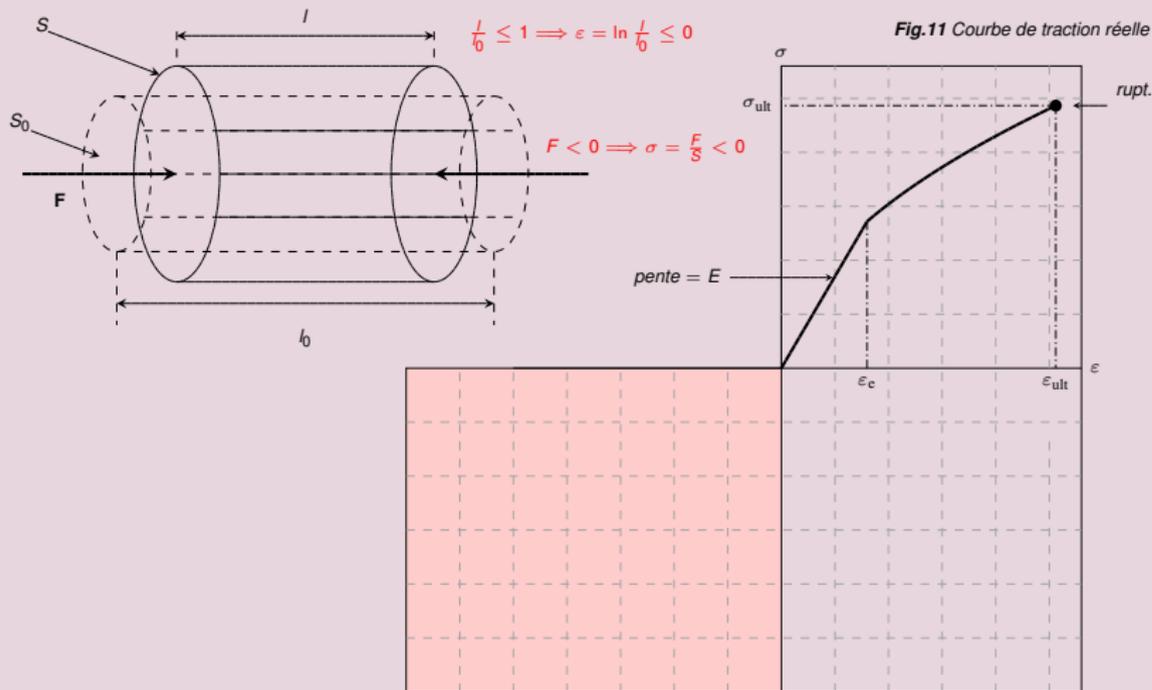
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



## 2.10.1 L'expérience de compression

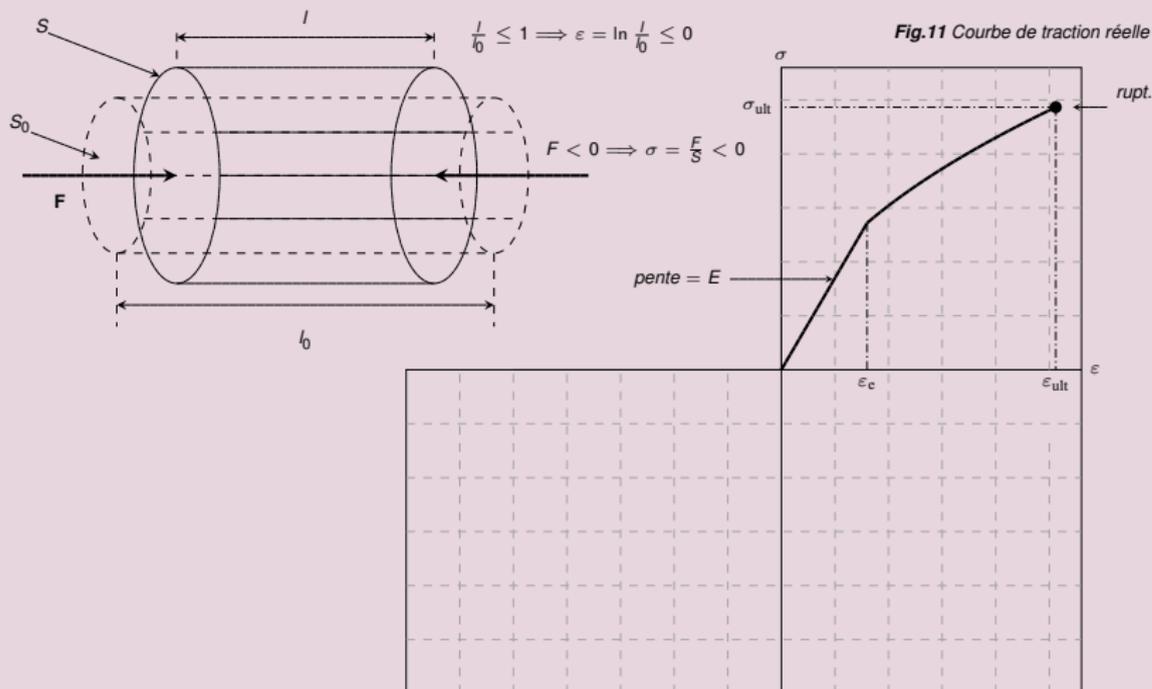
Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



► Concevoir l'éch. ( $l_0, S_0$ ) pour rester sous le seuil de flambage (= multiplicité de l'état de déf.)

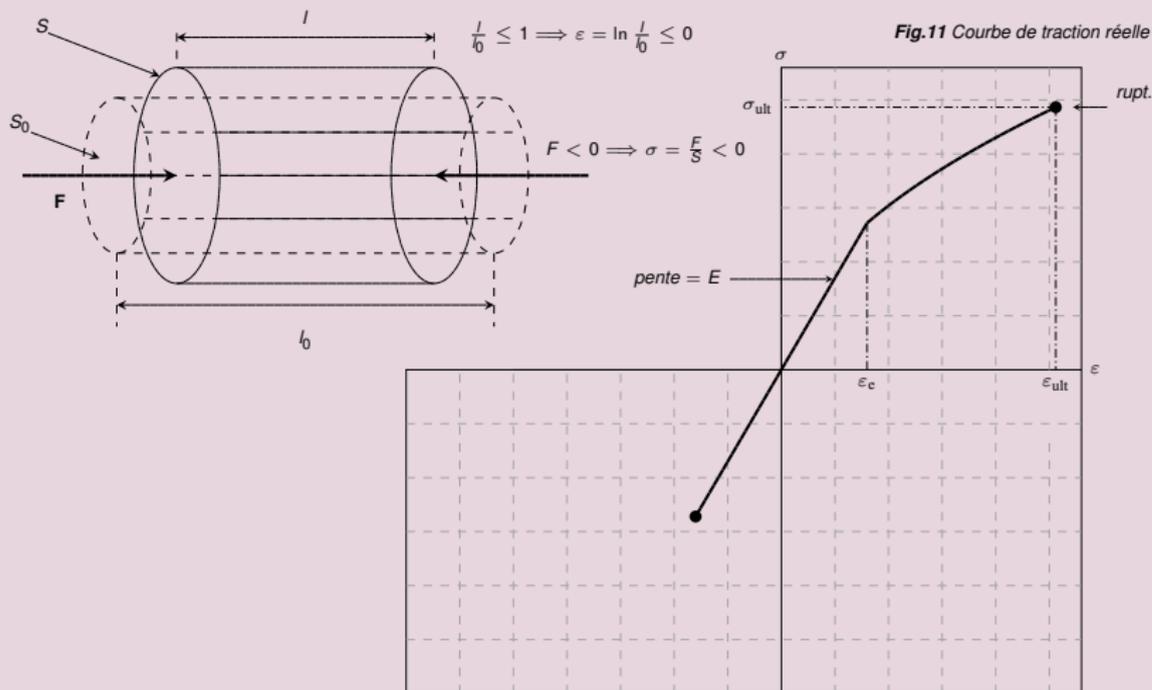
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



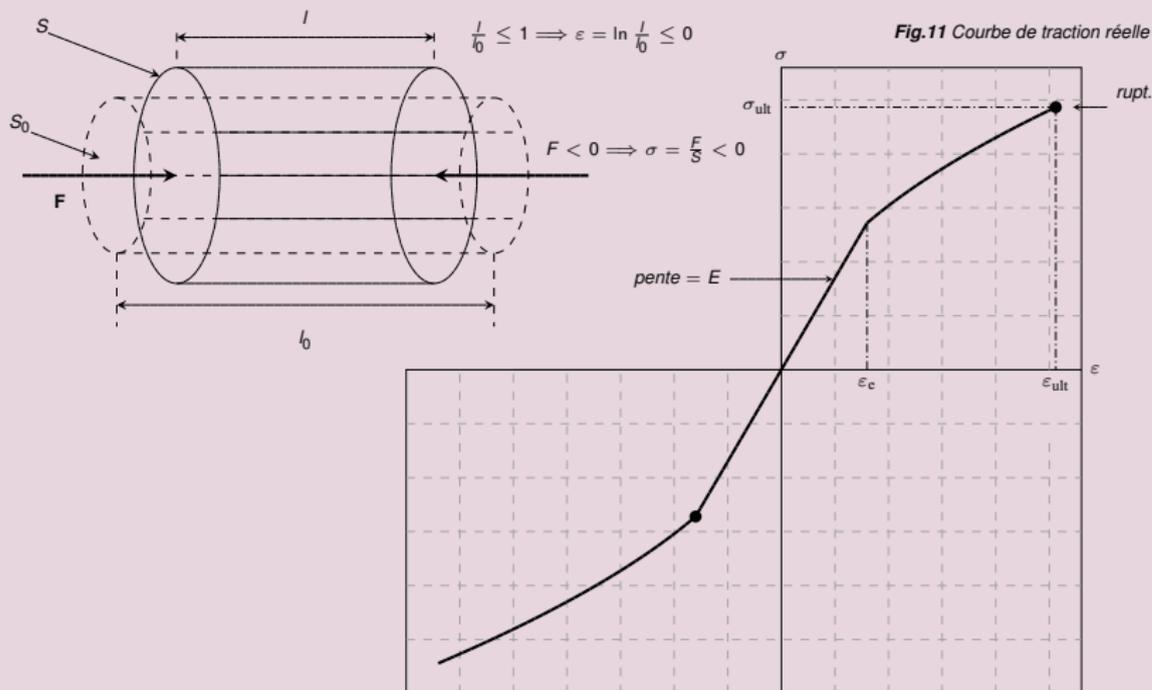
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



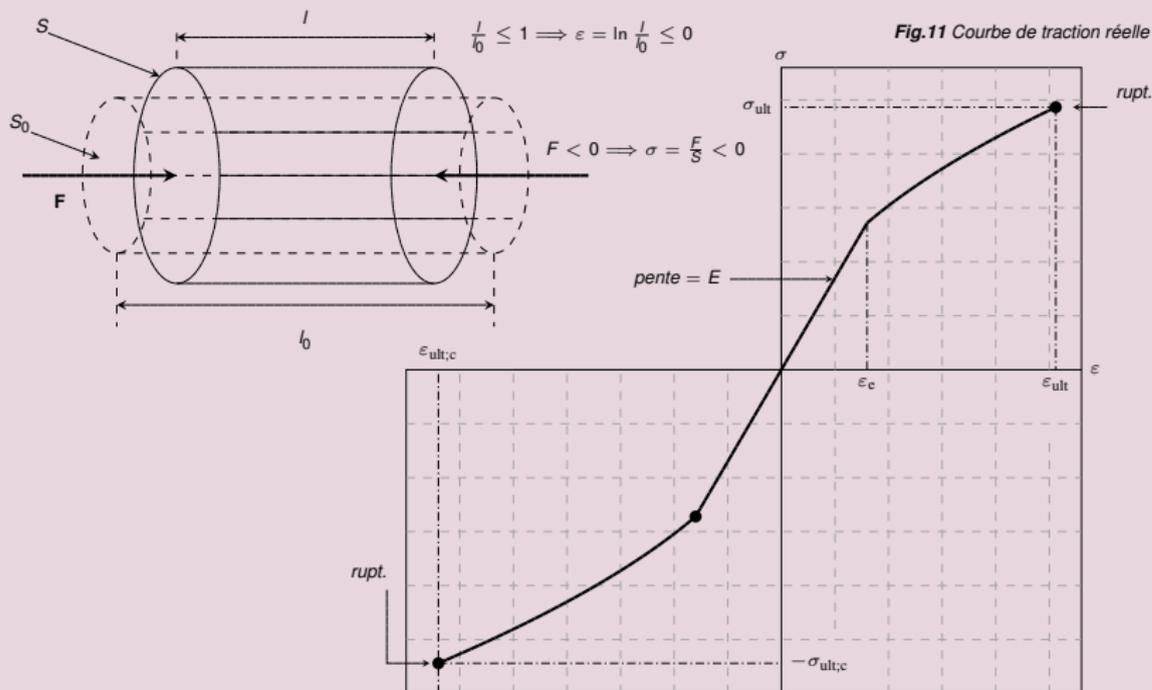
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



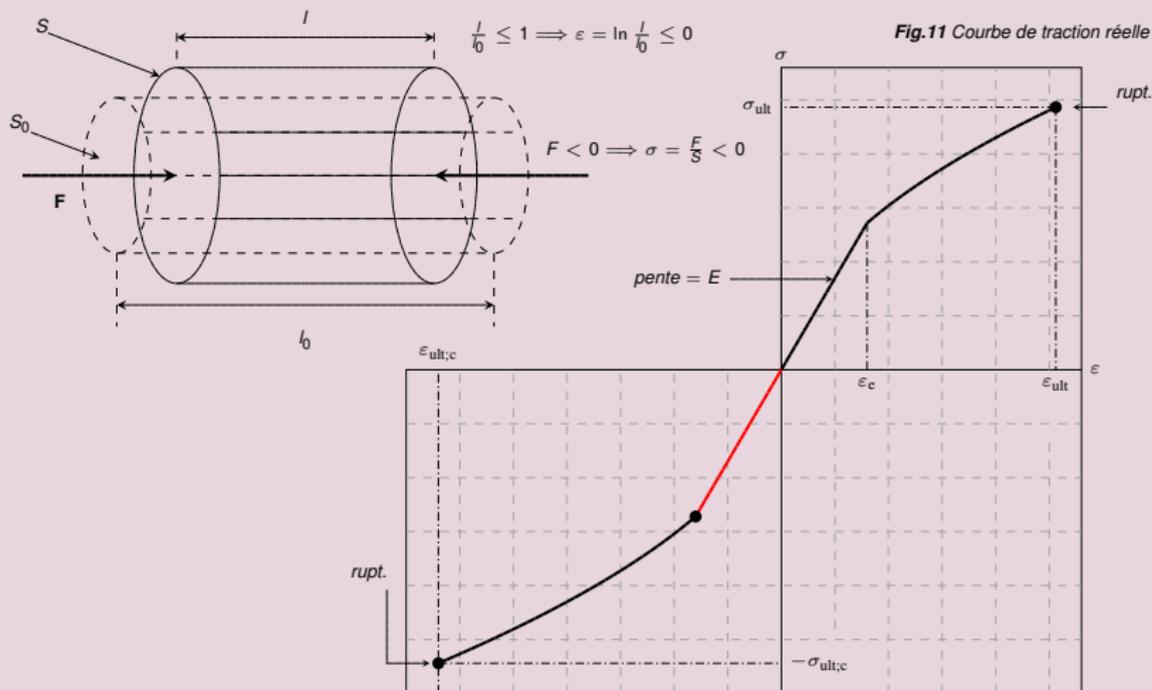
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



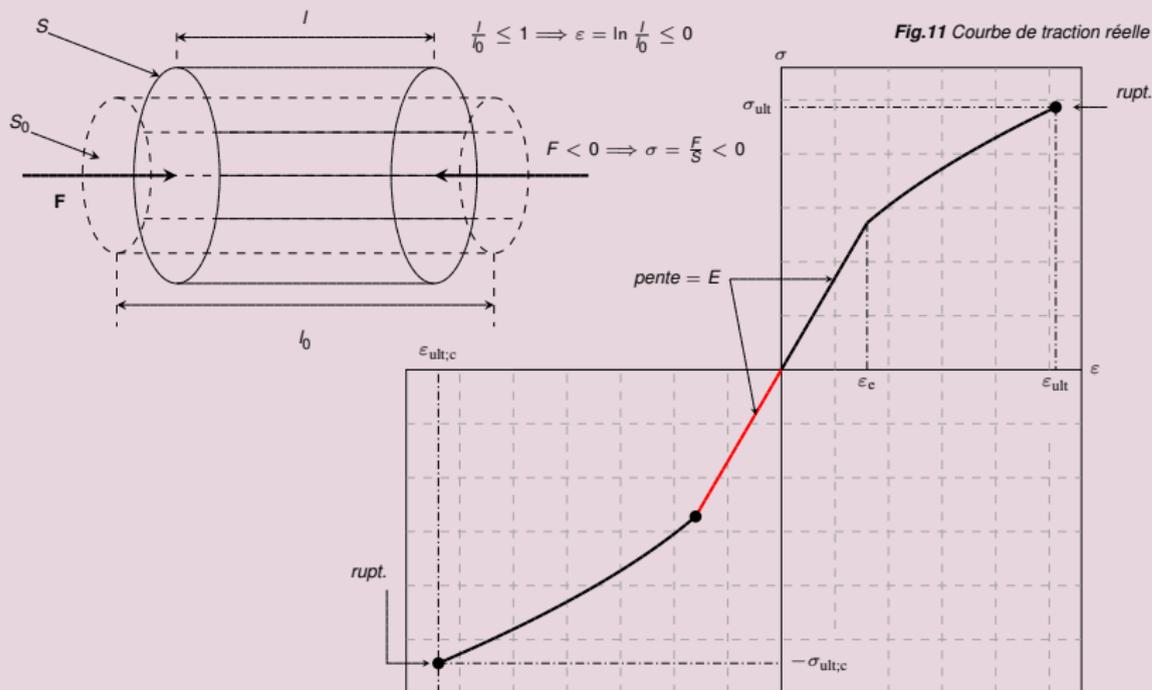
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



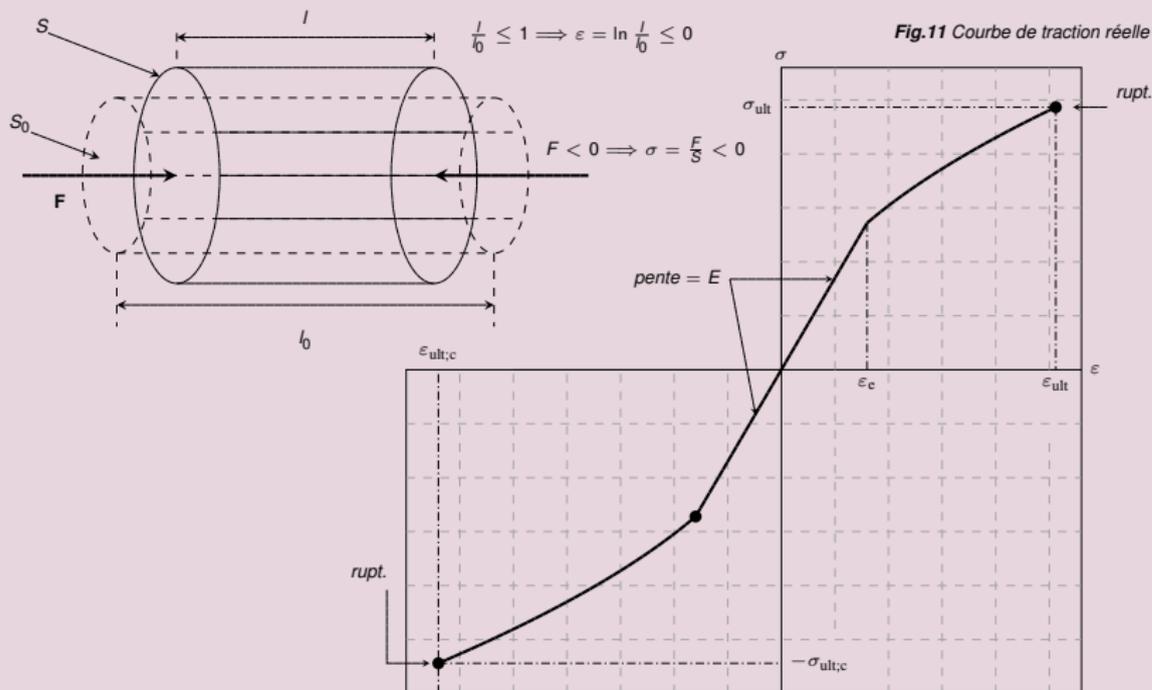
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



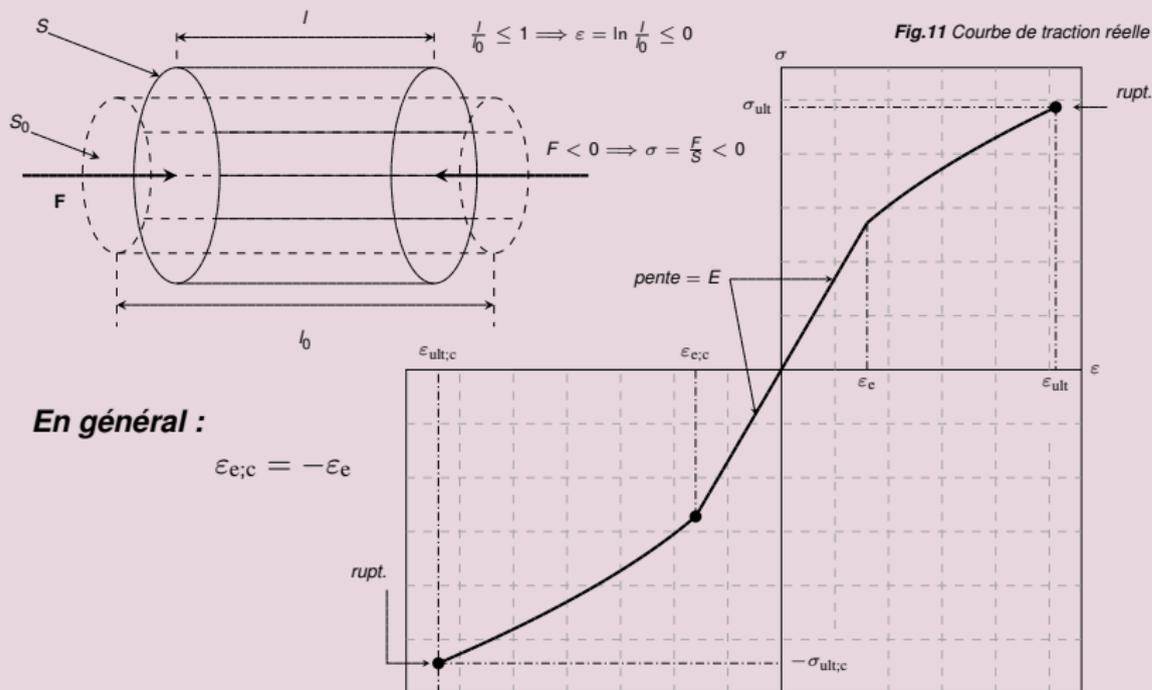
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



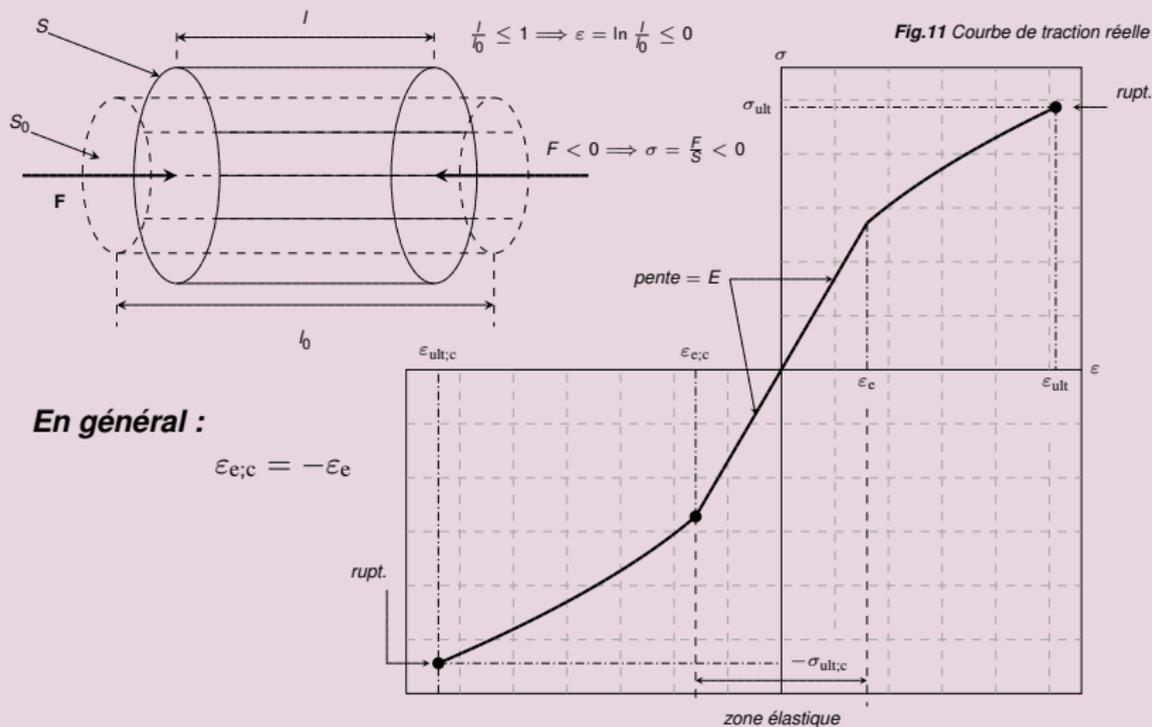
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



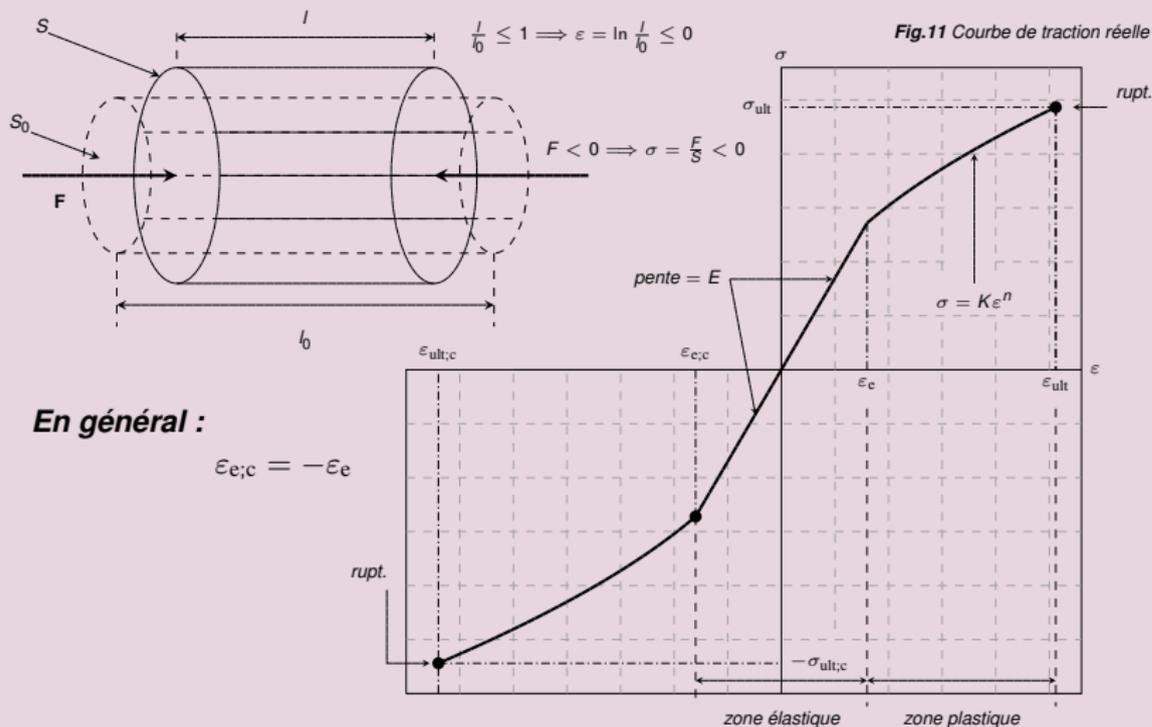
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



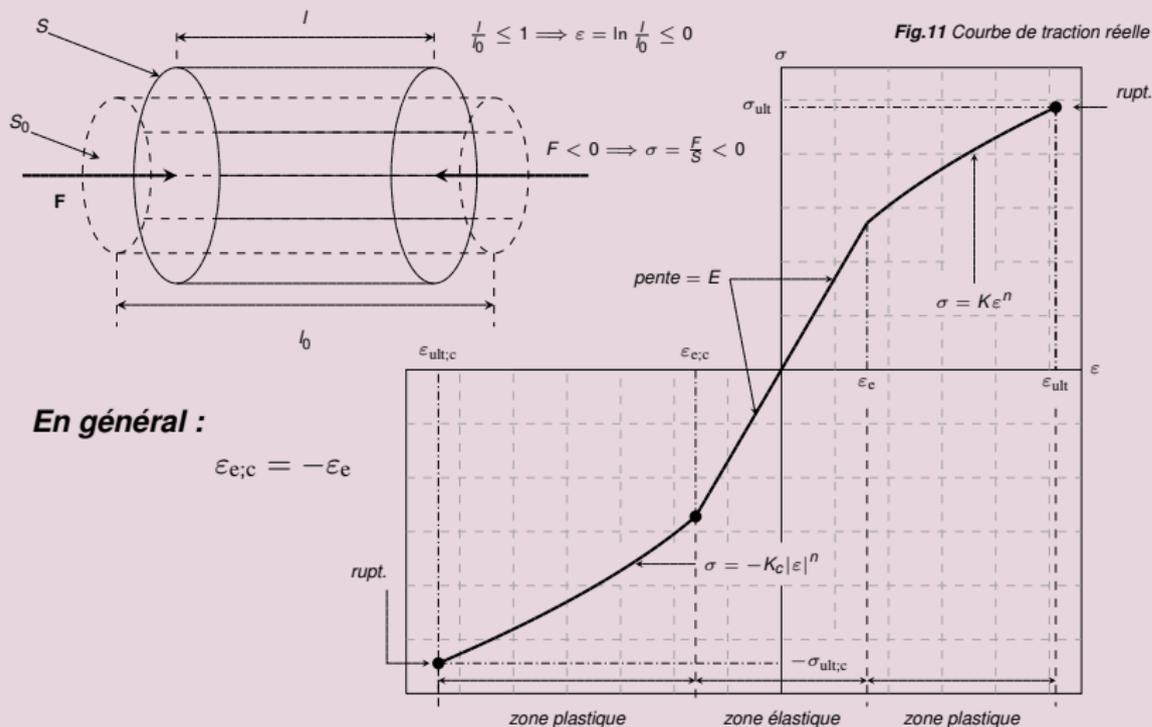
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



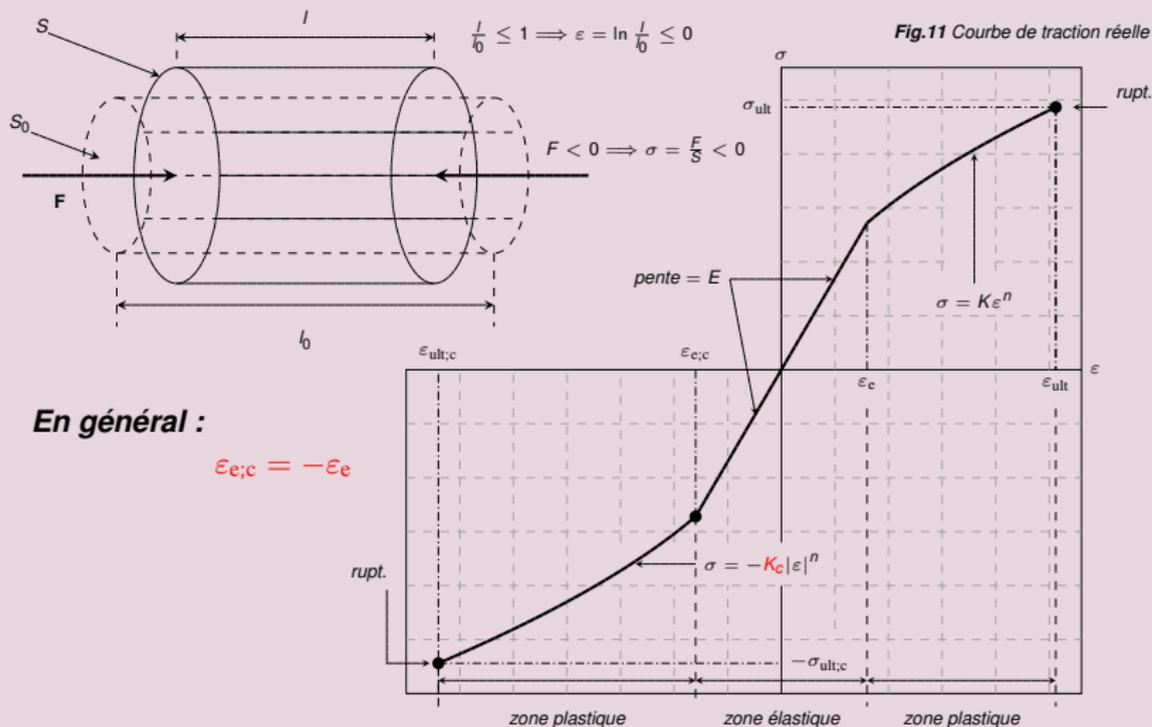
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$

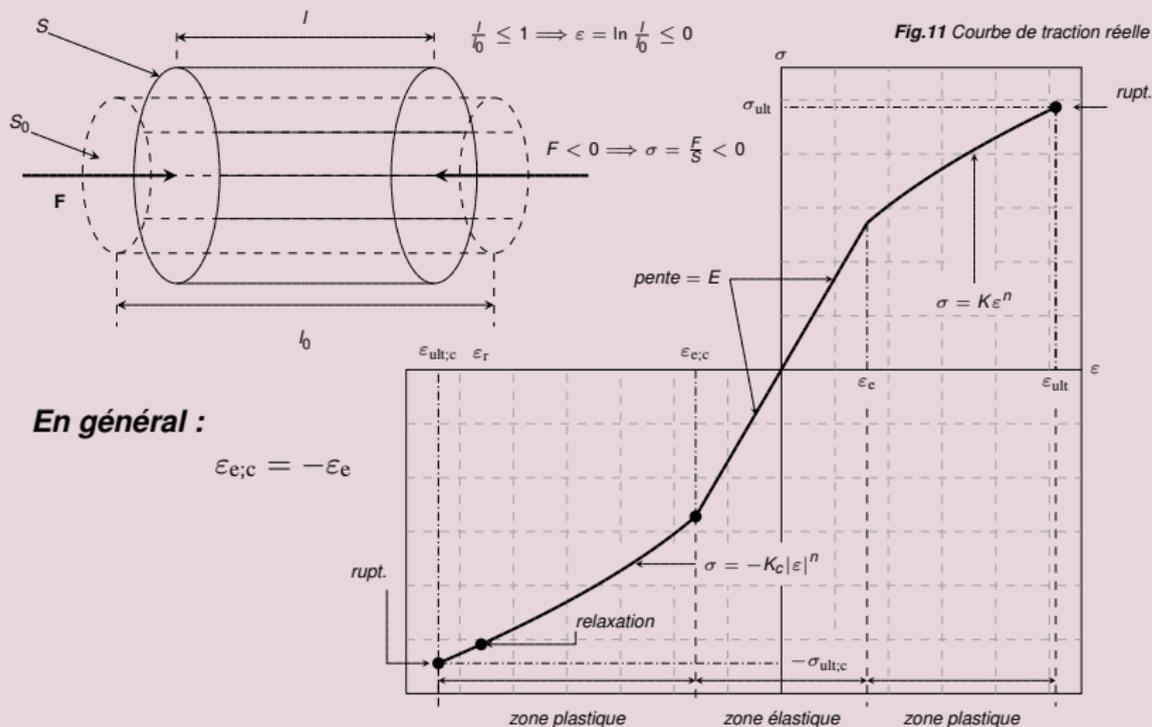


En général :

$$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e$$

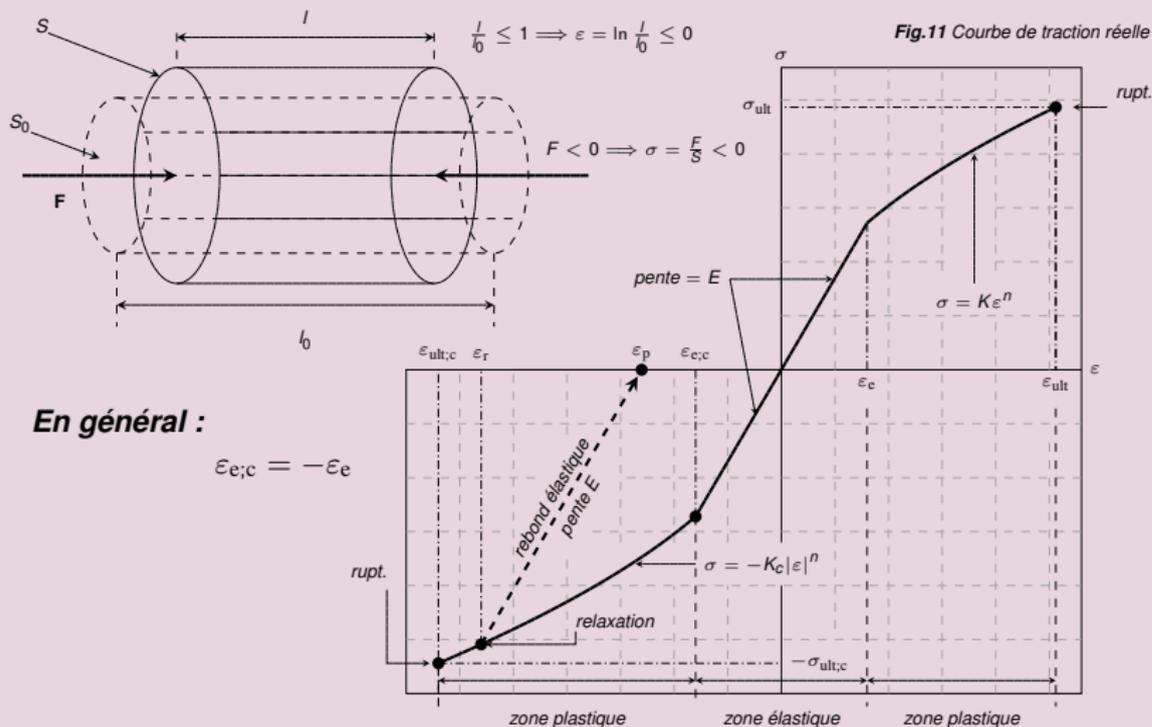
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



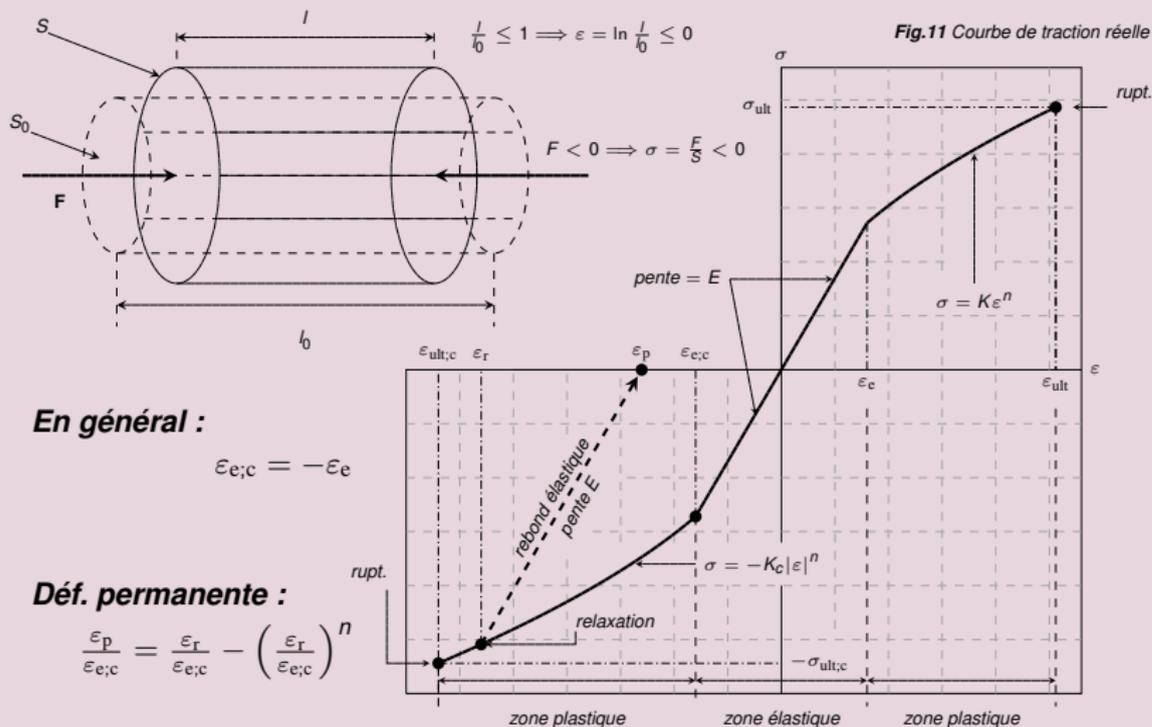
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



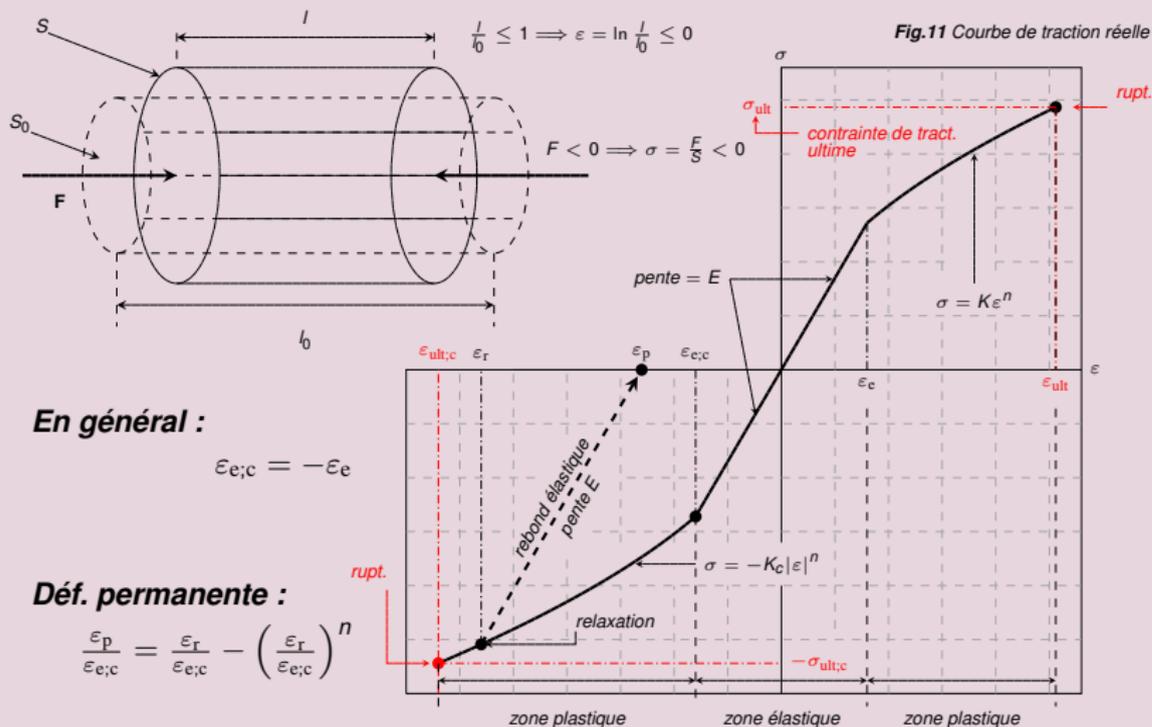
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



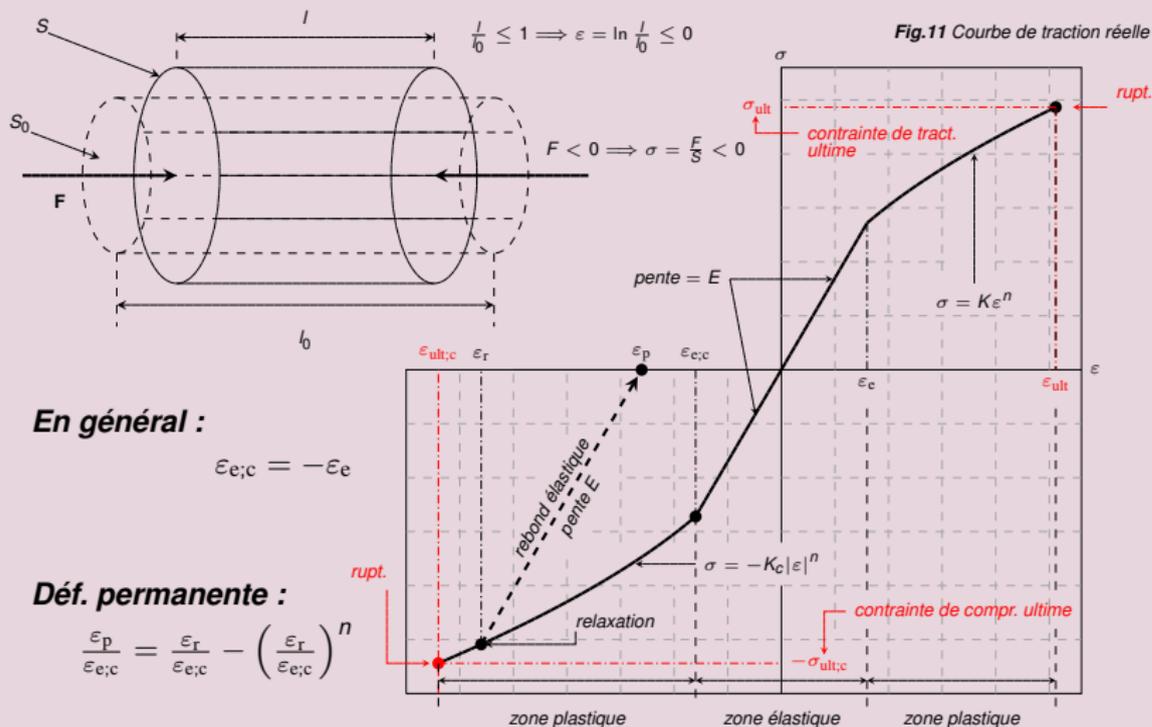
## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



## 2.10.1 L'expérience de compression

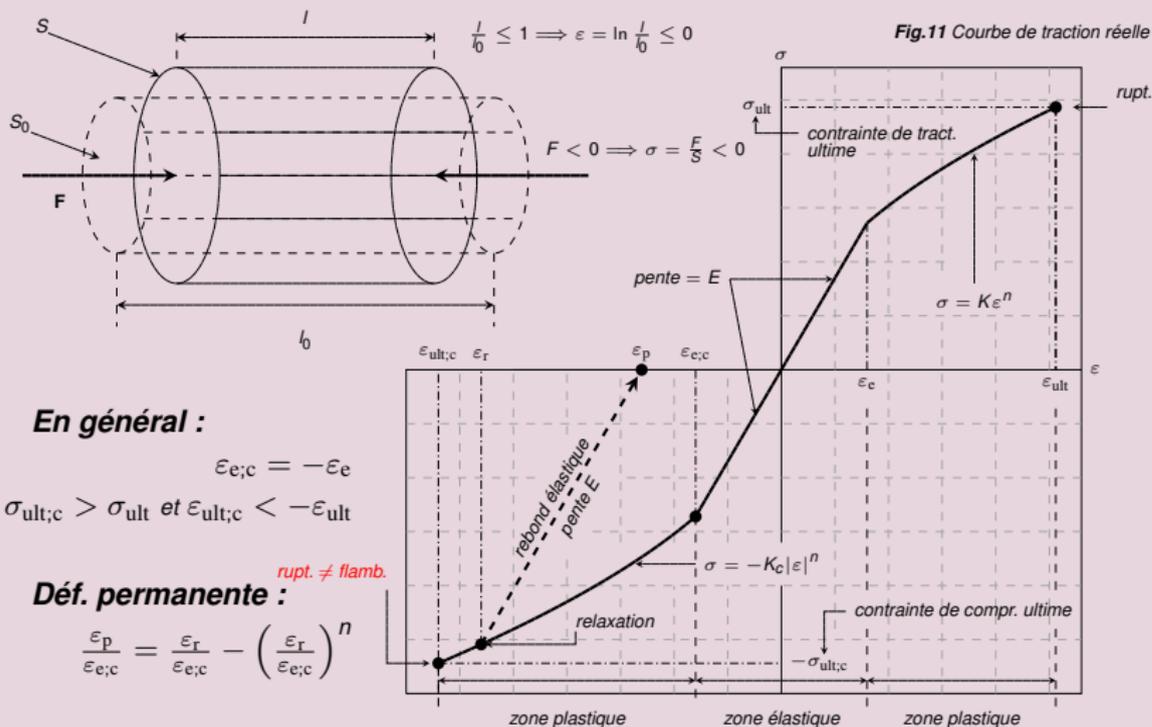
Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$





## 2.10.1 L'expérience de compression

Elle permet de compléter la courbe de traction pour les déf.  $< 0$



## 2.10.2 L'expérience de compression (suite)

### Loi de Poisson et de Considère en compression

- Les lois de Poisson et de Considère se maintiennent avec la même valeur du coefficient de Poisson  $\nu$  que pour la traction.

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{e;c}$ ( <b>élasticité</b> )	$\varepsilon > \varepsilon_{e;c}$ ( <b>plasticité</b> )
$\frac{r}{r_0}$	$e^{-\nu\varepsilon}$	$e^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{e;c} - \frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$e^{-2\nu\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c} - \varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}}$

- Il faut noter que les taux de déformations  $\varepsilon$  et  $\varepsilon_{e;c}$  sont **négatifs**.
- Les formules ci-dessus prévoient donc des **augmentations** de rayon et de section
- L'hypothèse de Considère est toujours inconsistante puisqu'elle prédit une augmentation plastique du volume après rebond. Cependant, pour la plupart des matériaux, elle donne lieu à de bonnes sur-estimations de la réalité (formule de Hencky).

## 2.10.2 L'expérience de compression (suite)

### Loi de Poisson et de Considère en compression

- Les lois de Poisson et de Considère se maintiennent avec la même valeur du coefficient de Poisson  $\nu$  que pour la traction.

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{e;c}$ ( <b>élasticité</b> )	$\varepsilon > \varepsilon_{e;c}$ ( <b>plasticité</b> )
$\frac{r}{r_0}$	$e^{-\nu\varepsilon}$	$e^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{e;c} - \frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$e^{-2\nu\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c} - \varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}}$

- Il faut noter que les taux de déformations  $\varepsilon$  et  $\varepsilon_{e;c}$  sont **négatifs**.
- Les formules ci-dessus prévoient donc des **augmentations** de rayon et de section (mais des **diminutions** de volume (car  $\nu \leq \frac{1}{2}$ )).
- L'hypothèse de Considère est toujours inconsistante puisqu'elle prédit une augmentation plastique du volume après rebond. Cependant, pour la plupart des matériaux, elle donne lieu à de bonnes sur-estimations de la réalité (formule de Hencky).

## 2.10.2 L'expérience de compression (suite)

### Loi de Poisson et de Considère en compression

- Les lois de Poisson et de Considère se maintiennent avec la même valeur du coefficient de Poisson  $\nu$  que pour la traction.

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{e;c}$ ( <b>élasticité</b> )	$\varepsilon > \varepsilon_{e;c}$ ( <b>plasticité</b> )
$\frac{r}{r_0}$	$e^{-\nu\varepsilon}$	$e^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{e;c} - \frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$e^{-2\nu\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c} - \varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}}$

- Il faut noter que les taux de déformations  $\varepsilon$  et  $\varepsilon_{e;c}$  sont **négatifs**.
- Les formules ci-dessus prévoient donc des **augmentations** de rayon et de section mais des **diminutions** de volume (car  $\nu \leq \frac{1}{2}$ ).
- L'hypothèse de Considère est toujours inconsistante puisqu'elle prédit une augmentation plastique du volume après rebond. Cependant, pour la plupart des matériaux, elle donne lieu à de bonnes sur-estimations de la réalité (formule de Hencky).

## 2.10.2 L'expérience de compression (suite)

### Loi de Poisson et de Considère en compression

- Les lois de Poisson et de Considère se maintiennent avec la même valeur du coefficient de Poisson  $\nu$  que pour la traction.

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{e;c}$ ( <b>élasticité</b> )	$\varepsilon > \varepsilon_{e;c}$ ( <b>plasticité</b> )
$\frac{r}{r_0}$	$e^{-\nu\varepsilon}$	$e^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{e;c} - \frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$e^{-2\nu\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c} - \varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}}$

- Il faut noter que les taux de déformations  $\varepsilon$  et  $\varepsilon_{e;c}$  sont **négatifs**.
- Les formules ci-dessus prévoient donc des **augmentations** de rayon et de section mais des **diminutions** de volume (car  $\nu \leq \frac{1}{2}$ ).
- L'hypothèse de Considère est toujours inconsistante puisqu'elle prédit une augmentation plastique du volume après rebond. Cependant, pour la plupart des matériaux, elle donne lieu à de bonnes sur-estimations de la réalité (formule de Hencky).

## 2.10.2 L'expérience de compression (suite)

### Loi de Poisson et de Considère en compression

- Les lois de Poisson et de Considère se maintiennent avec la même valeur du coefficient de Poisson  $\nu$  que pour la traction.

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{e;c}$ ( <b>élasticité</b> )	$\varepsilon > \varepsilon_{e;c}$ ( <b>plasticité</b> )
$\frac{r}{r_0}$	$e^{-\nu\varepsilon}$	$e^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{e;c} - \frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$e^{-2\nu\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c} - \varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}}$

- Il faut noter que les taux de déformations  $\varepsilon$  et  $\varepsilon_{e;c}$  sont **négatifs**.
- Les formules ci-dessus prévoient donc des **augmentations** de rayon et de section mais des **diminutions** de volume (car  $\nu \leq \frac{1}{2}$ ).
- L'hypothèse de Considère est toujours inconsistante puisqu'elle prédit une augmentation plastique du volume après rebond. Cependant, pour la plupart des matériaux, elle donne lieu à de bonnes sur-estimations de la réalité (formule de Hencky).

## 2.10.2 L'expérience de compression (suite)

### Loi de Poisson et de Considère en compression

- Les lois de Poisson et de Considère se maintiennent avec la même valeur du coefficient de Poisson  $\nu$  que pour la traction.

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{e;c}$ ( <b>élasticité</b> )	$\varepsilon > \varepsilon_{e;c}$ ( <b>plasticité</b> )
$\frac{r}{r_0}$	$e^{-\nu\varepsilon}$	$e^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{e;c} - \frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$e^{-2\nu\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c} - \varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}}$

- Il faut noter que les taux de déformations  $\varepsilon$  et  $\varepsilon_{e;c}$  sont **négatifs**.
- Les formules ci-dessus prévoient donc des **augmentations** de rayon et de section mais des **diminutions** de volume (car  $\nu \leq \frac{1}{2}$ ).
- L'hypothèse de Considère est toujours inconsistante puisqu'elle prédit une augmentation plastique du volume après rebond. Cependant, pour la plupart des matériaux, elle donne lieu à de bonnes **sur-estimations** de la réalité (formule de Hencky).

## 2.10.2 L'expérience de compression (suite)

### Loi de Poisson et de Considère en compression

- Les lois de Poisson et de Considère se maintiennent avec la même valeur du coefficient de Poisson  $\nu$  que pour la traction.

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{e;c}$ ( <b>élasticité</b> )	$\varepsilon > \varepsilon_{e;c}$ ( <b>plasticité</b> )
$\frac{r}{r_0}$	$e^{-\nu\varepsilon}$	$e^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{e;c} - \frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$e^{-2\nu\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c} - \varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}}$

- Il faut noter que les taux de déformations  $\varepsilon$  et  $\varepsilon_{e;c}$  sont **négatifs**.
- Les formules ci-dessus prévoient donc des **augmentations** de rayon et de section mais des **diminutions** de volume (car  $\nu \leq \frac{1}{2}$ ).
- L'hypothèse de Considère est toujours inconsistante puisqu'elle prédit une augmentation plastique du volume après rebond. Cependant, pour la plupart des matériaux, elle donne lieu à de bonnes sur-estimations de la réalité (formule de Hencky).

## 2.10.2 L'expérience de compression (suite)

### Loi de Poisson et de Considère en compression

- Les lois de Poisson et de Considère se maintiennent avec la même valeur du coefficient de Poisson  $\nu$  que pour la traction.

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{e;c}$ ( <b>élasticité</b> )	$\varepsilon > \varepsilon_{e;c}$ ( <b>plasticité</b> )
$\frac{r}{r_0}$	$e^{-\nu\varepsilon}$	$e^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{e;c} - \frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$e^{-2\nu\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c} - \varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$e^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}}$

- Il faut noter que les taux de déformations  $\varepsilon$  et  $\varepsilon_{e;c}$  sont **négatifs**.
- Les formules ci-dessus prévoient donc des **augmentations** de rayon et de section mais des **diminutions** de volume (car  $\nu \leq \frac{1}{2}$ ).
- L'hypothèse de Considère est toujours inconsistante puisqu'elle prédit une augmentation plastique du volume après rebond. Cependant, pour la plupart des matériaux, elle donne lieu à de bonnes sur-estimations de la réalité (formule de Hencky).

Exo 2, Série 4 : écoulement, ténacité et dureté

# ***ANNEXES, TABLES ET BIBLIOGRAPHIE***

# Terminologie anglaise

## Glossaire des concepts importants en anglais

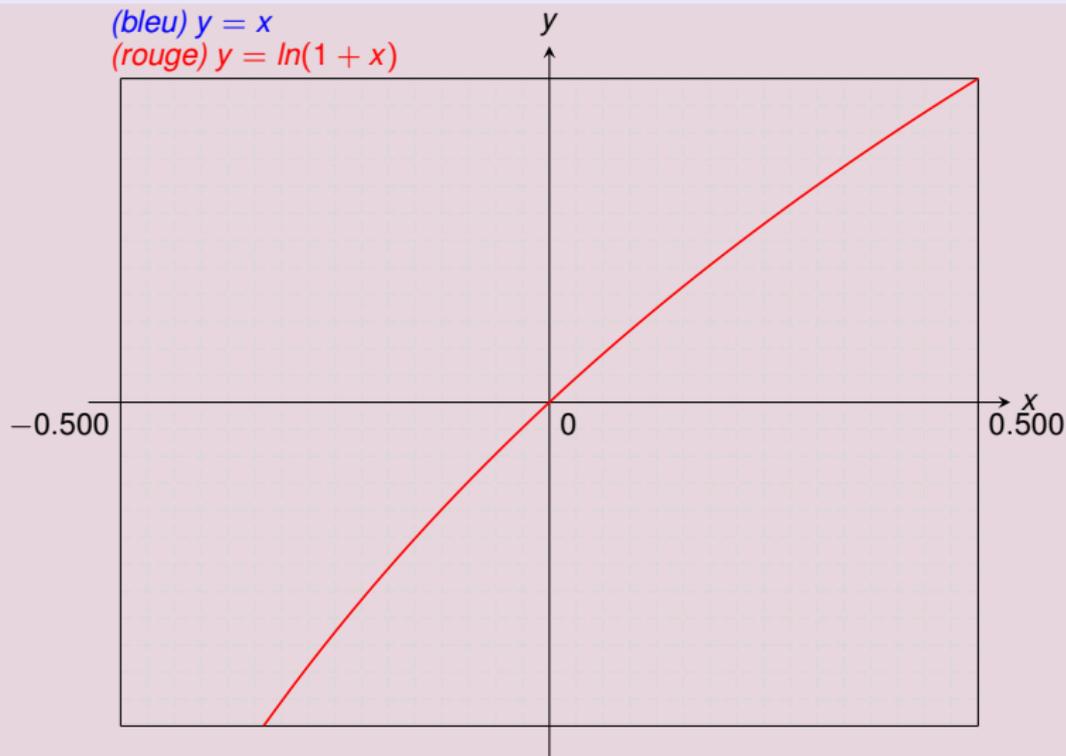
<i><b>Français</b></i>	<i><b>Anglais</b></i>
<i>Taux de déformation :.....</i>	<i>Real strain</i>
<i>Taux de déformation nominal : .</i>	<i>Engineering strain</i>
<i>Contrainte (réel, nominale) :....</i>	<i>(Real, engineering) stress</i>
<i>Essai de traction :.....</i>	<i>Tensile test</i>
<i>Courbe de traction :.....</i>	<i>Tensile curve</i>
<i>Essai de compression :.....</i>	<i>Compressive test</i>
<i>Essai de cisaillement :.....</i>	<i>Shear test</i>
<i>Limite élastique :.....</i>	<i>Yield (tensile) strength</i>
<i>Résistance :.....</i>	<i>Ultimate (tensile) strength</i>
<i>Dureté :.....</i>	<i>Hardness</i>
<i>Ténacité :.....</i>	<i>Tenacity</i>
<i>Module d'élasticité :.....</i>	<i>Elasticity modulus</i>
<i>Module de cisaillement :.....</i>	<i>Shear modulus</i>
<i>Coefficient de Poisson :.....</i>	<i>Poisson ratio</i>
<i>Ecrouissage :.....</i>	<i>(Work or strain) hardening</i>
<i>Dislocation :.....</i>	<i>Dislocation</i>

# Terminologie anglaise

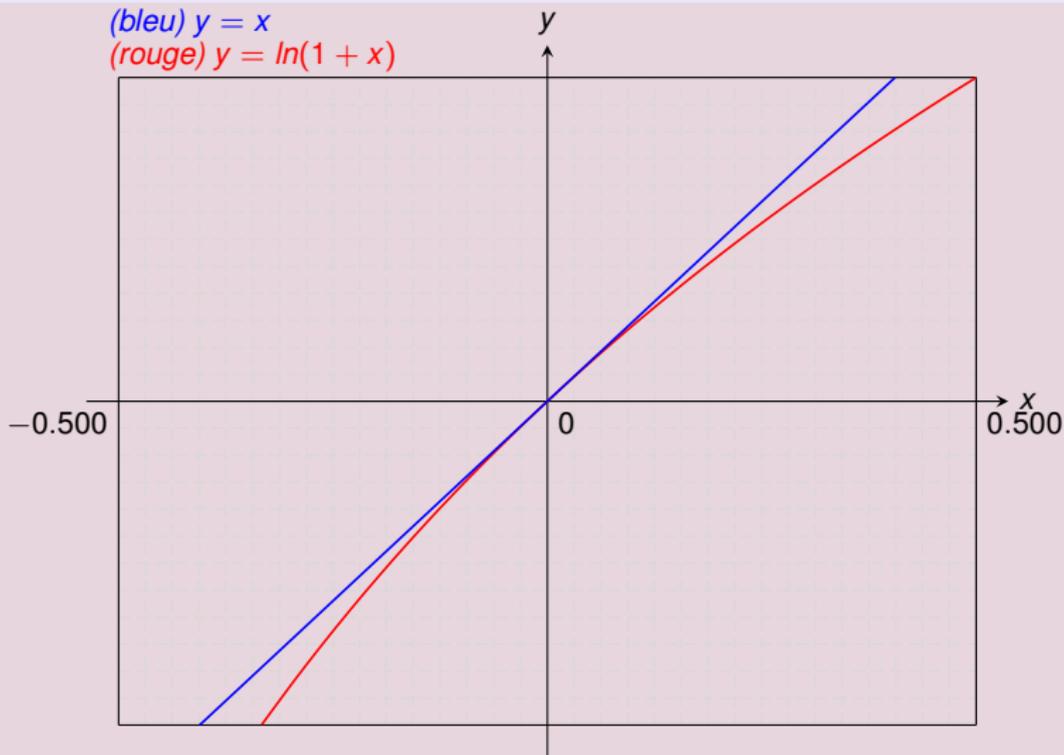
## Glossaire des concepts importants en anglais

<i><b>Français</b></i>	<i><b>Anglais</b></i>
<i>Taux de déformation :.....</i>	<i>Real strain</i>
<i>Taux de déformation nominal : .</i>	<i>Engineering strain</i>
<i>Contrainte (réel, nominale) :....</i>	<i>(Real, engineering) stress</i>
<i>Essai de traction :.....</i>	<i>Tensile test</i>
<i>Courbe de traction :.....</i>	<i>Tensile curve</i>
<i>Essai de compression :.....</i>	<i>Compressive test</i>
<i>Essai de cisaillement :.....</i>	<i>Shear test</i>
<i>Limite élastique :.....</i>	<i>Yield (tensile) strength</i>
<i>Résistance :.....</i>	<i>Ultimate (tensile) strength</i>
<i>Dureté :.....</i>	<i>Hardness</i>
<i>Ténacité :.....</i>	<i>Tenacity</i>
<i>Module d'élasticité :.....</i>	<i>Elasticity modulus</i>
<i>Module de cisaillement :.....</i>	<i>Shear modulus</i>
<i>Coefficient de Poisson :.....</i>	<i>Poisson ratio</i>
<i>Ecrouissage :.....</i>	<i>(Work or strain) hardening</i>
<i>Dislocation :.....</i>	<i>Dislocation</i>

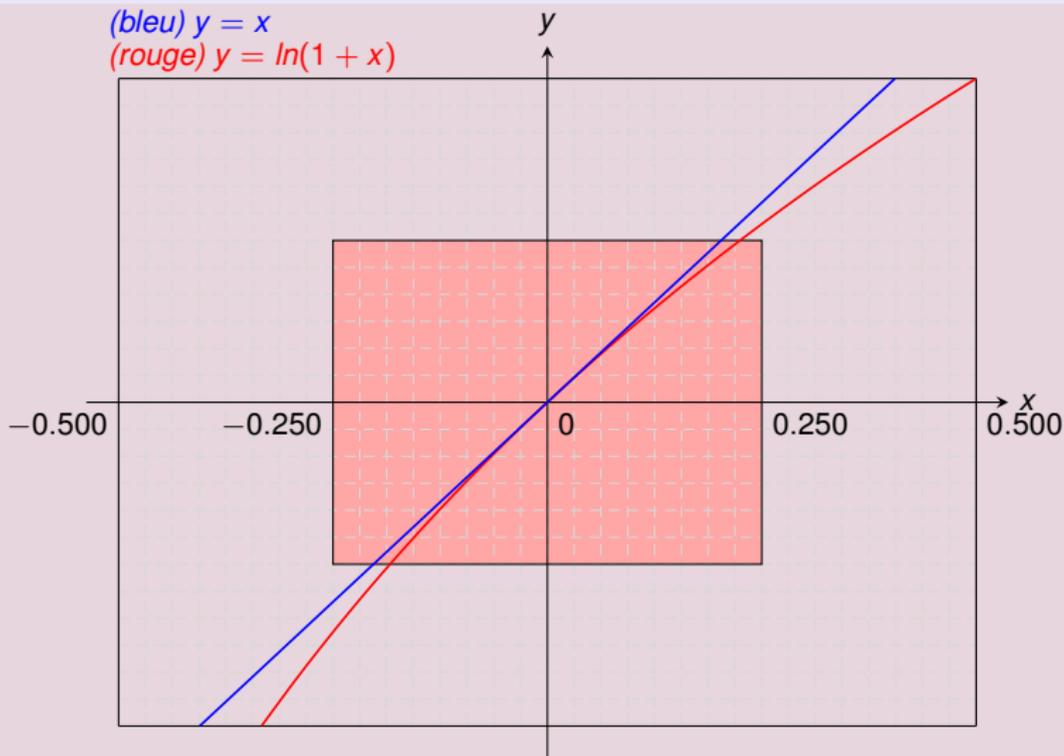
# Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



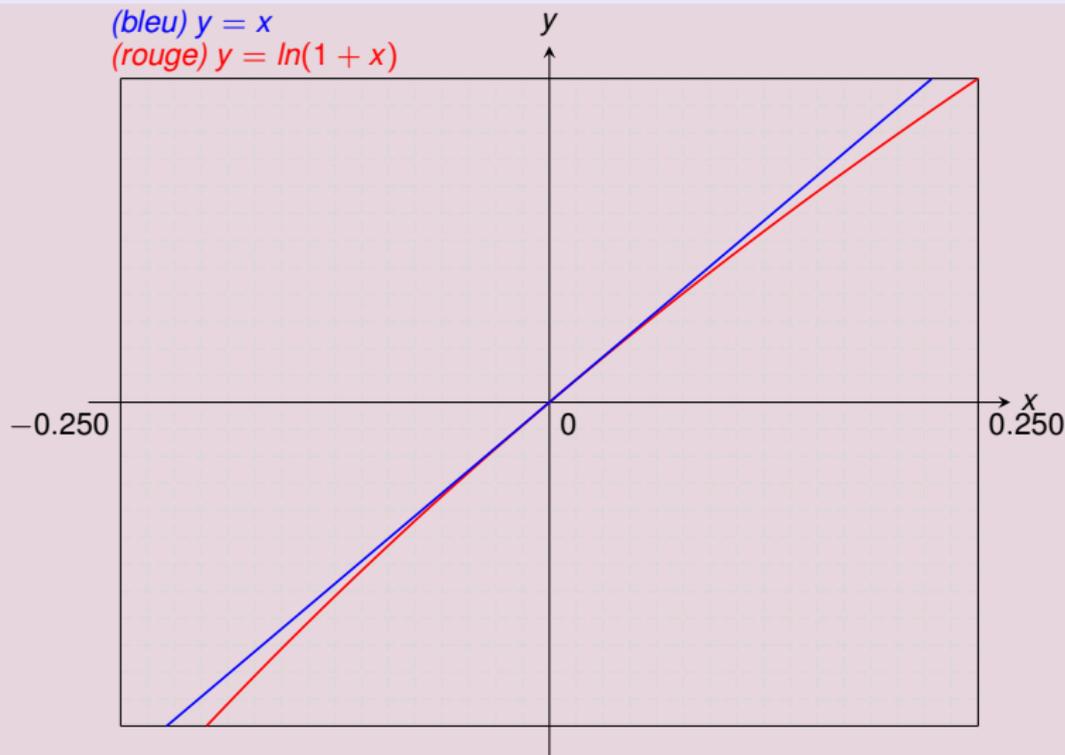
# Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



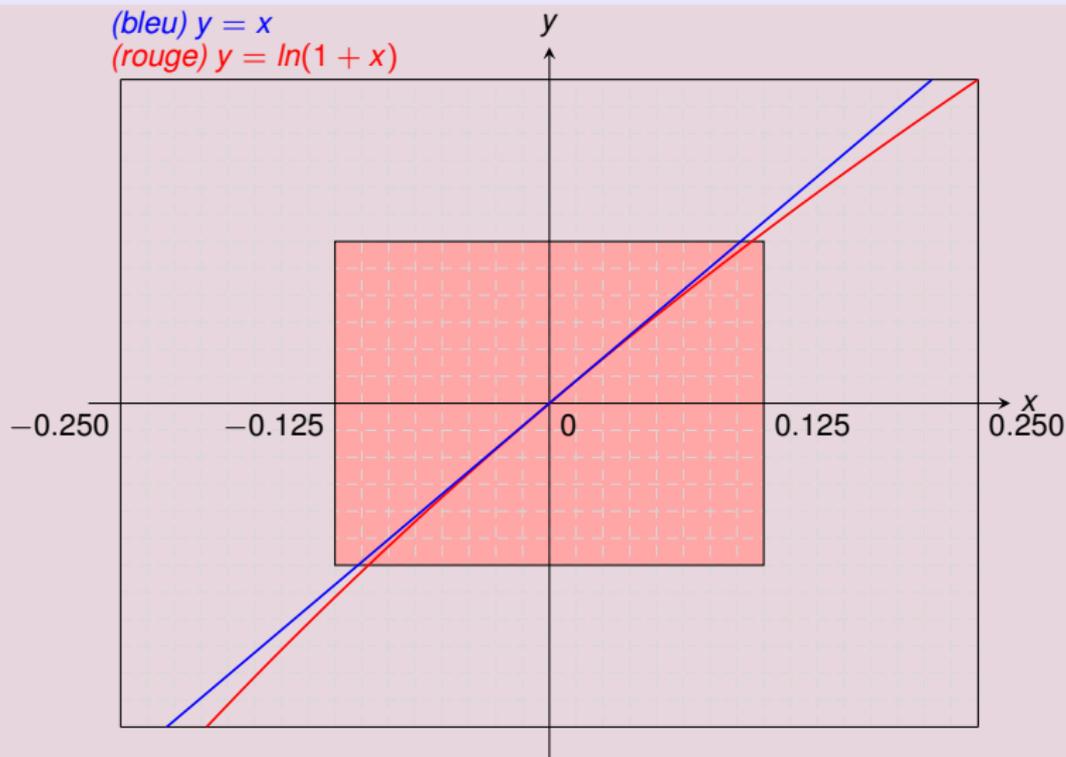
# Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



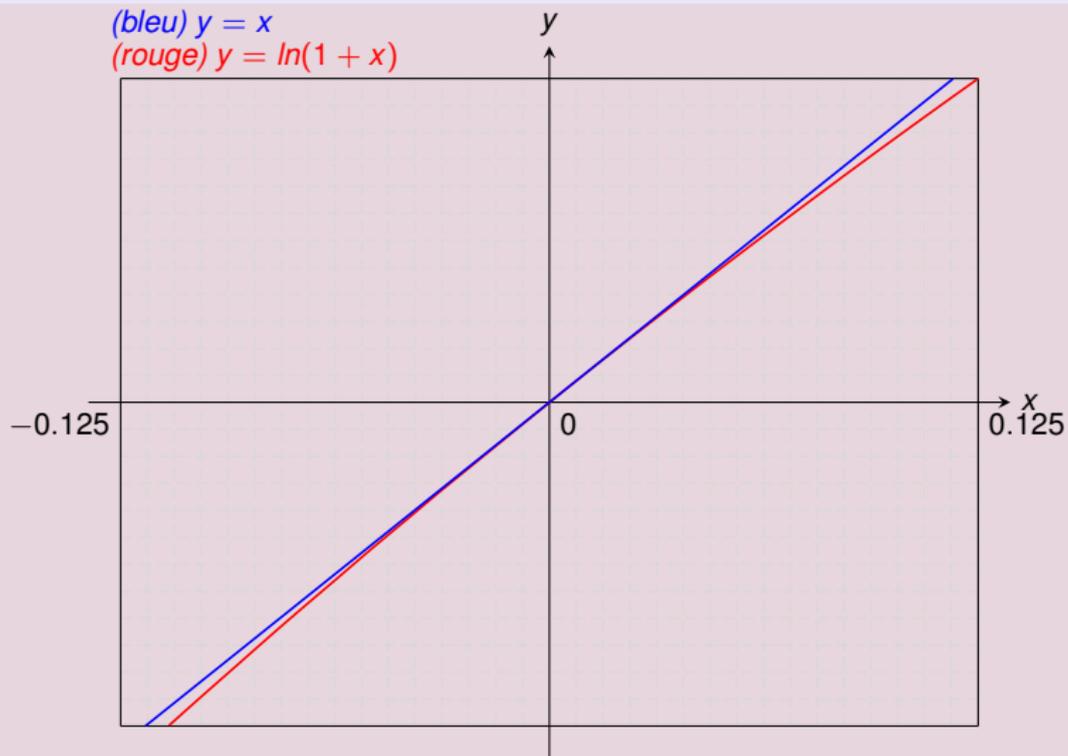
# Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



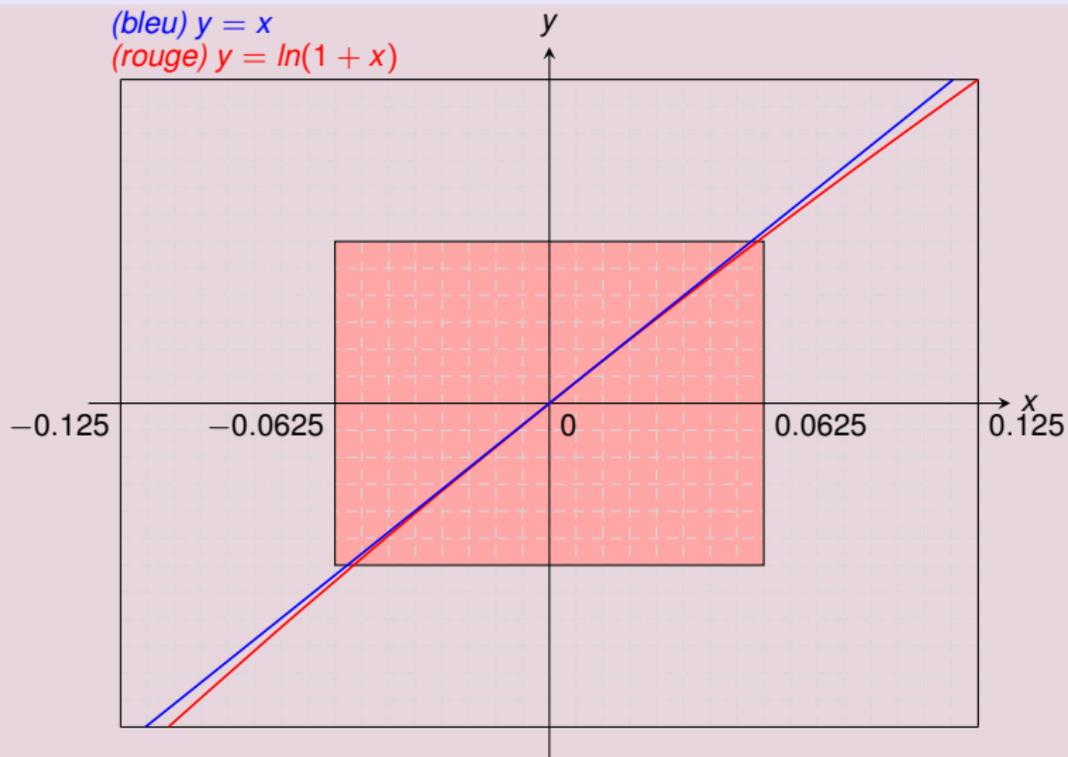
# Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



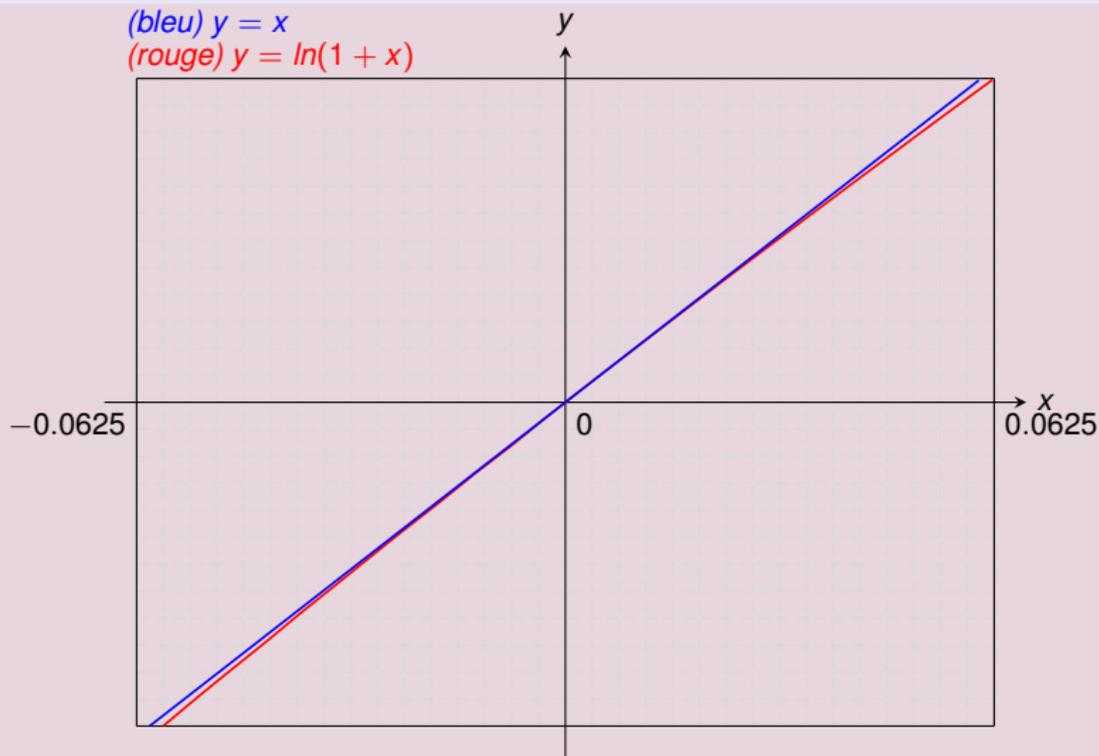
# Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



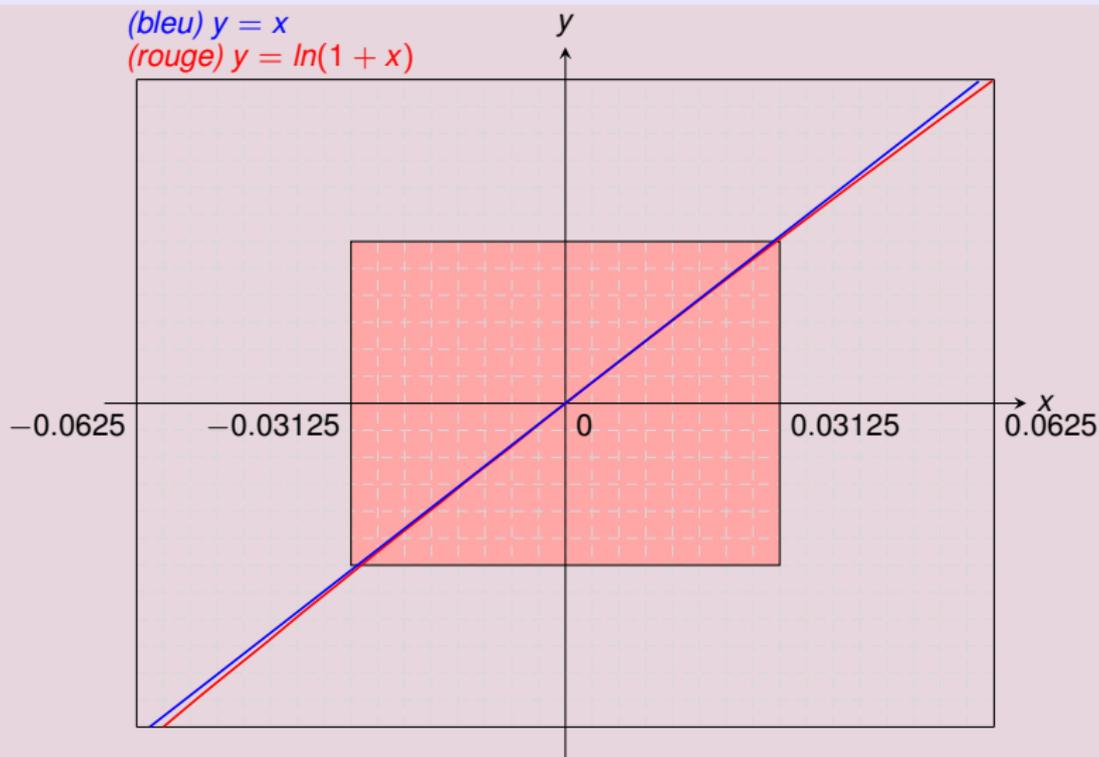
# Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



# Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



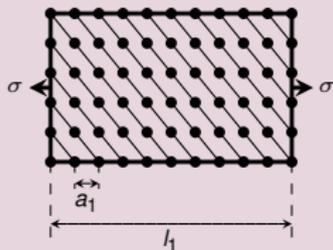
# Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$





# Mobilisation des dislocations

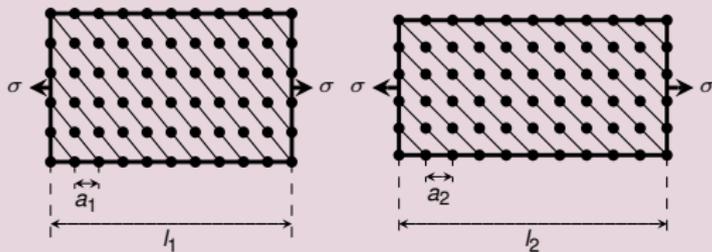
Elasticité ( $\sigma < \sigma_e$ ) : modification des paramètres de maille



Plasticité ( $\sigma > \sigma_e$ ) : création et mouvement de dislocations

# Mobilisation des dislocations

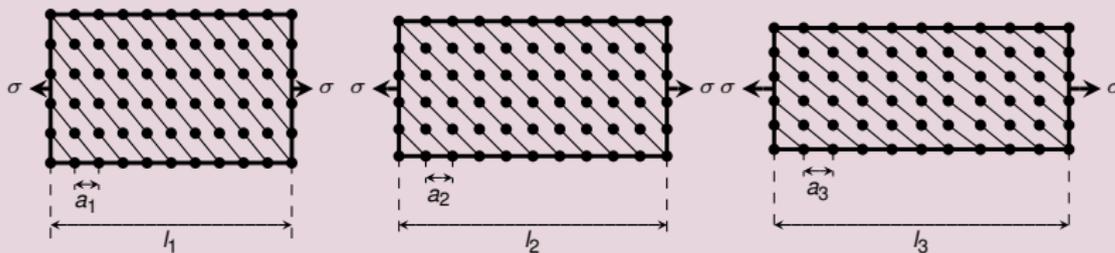
Elasticité ( $\sigma < \sigma_e$ ) : modification des paramètres de maille



Plasticité ( $\sigma > \sigma_e$ ) : création et mouvement de dislocations

# Mobilisation des dislocations

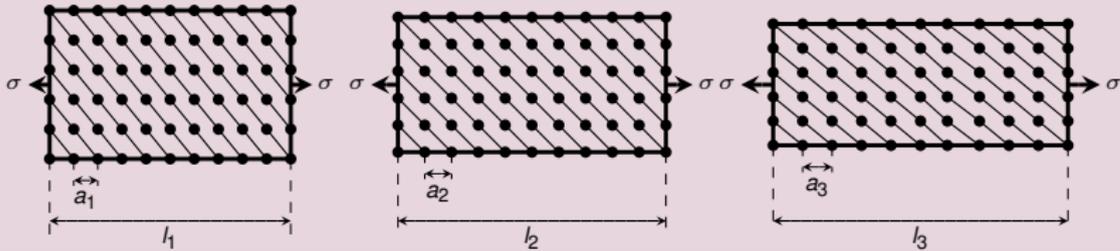
Elasticité ( $\sigma < \sigma_e$ ) : modification des paramètres de maille



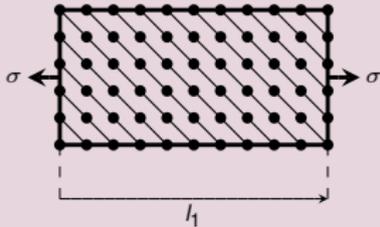
Plasticité ( $\sigma > \sigma_e$ ) : création et mouvement de dislocations

# Mobilisation des dislocations

Elasticité ( $\sigma < \sigma_e$ ) : modification des paramètres de maille

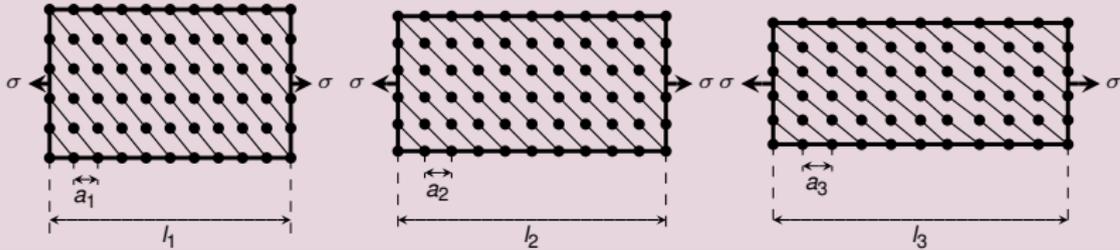


Plasticité ( $\sigma > \sigma_e$ ) : création et mouvement de dislocations

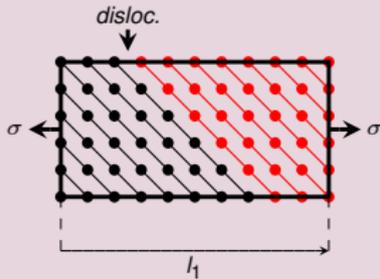


# Mobilisation des dislocations

Elasticité ( $\sigma < \sigma_e$ ) : modification des paramètres de maille

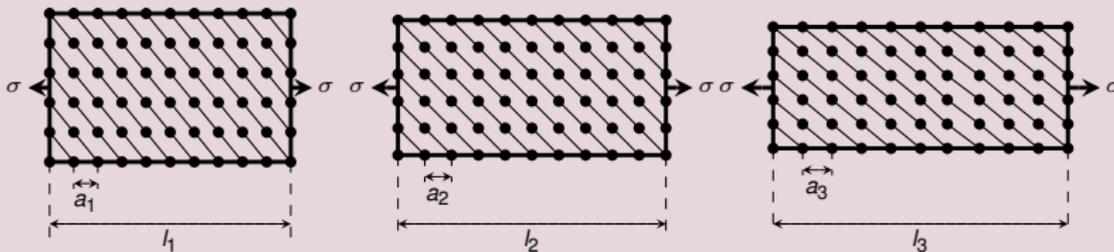


Plasticité ( $\sigma > \sigma_e$ ) : création et mouvement de dislocations

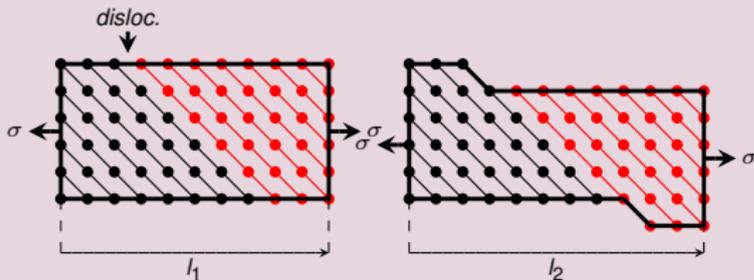


# Mobilisation des dislocations

Elasticité ( $\sigma < \sigma_e$ ) : modification des paramètres de maille

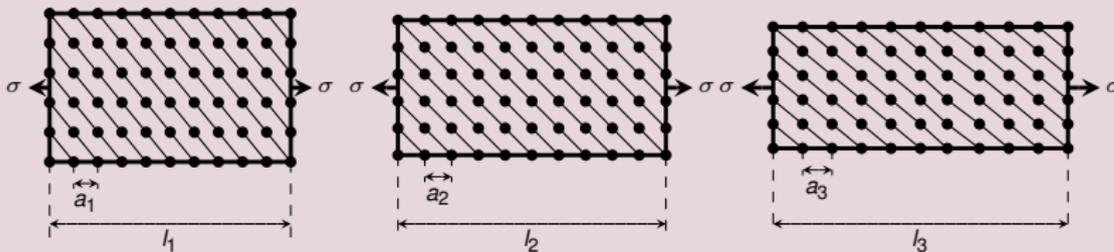


Plasticité ( $\sigma > \sigma_e$ ) : création et mouvement de dislocations

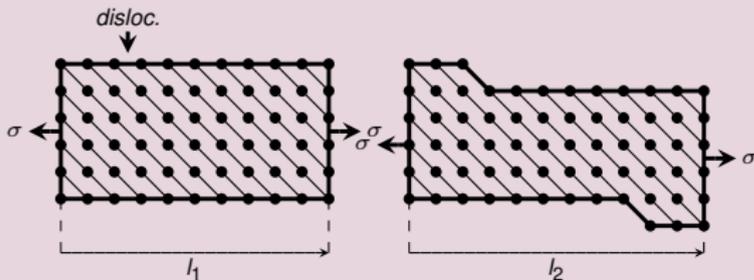


# Mobilisation des dislocations

Elasticité ( $\sigma < \sigma_e$ ) : modification des paramètres de maille

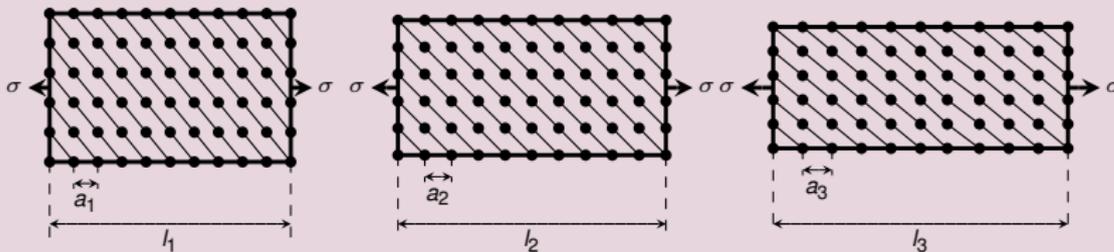


Plasticité ( $\sigma > \sigma_e$ ) : création et mouvement de dislocations

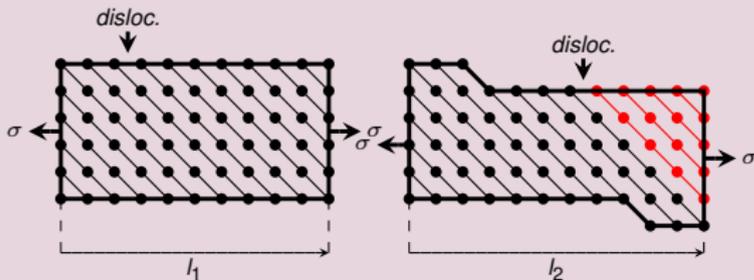


# Mobilisation des dislocations

Elasticité ( $\sigma < \sigma_e$ ) : modification des paramètres de maille

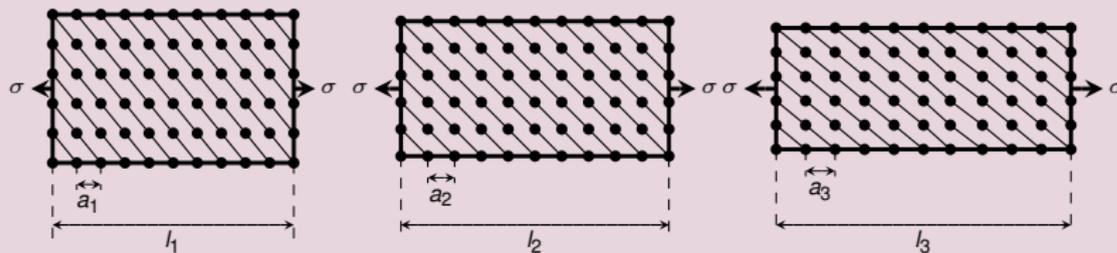


Plasticité ( $\sigma > \sigma_e$ ) : création et mouvement de dislocations

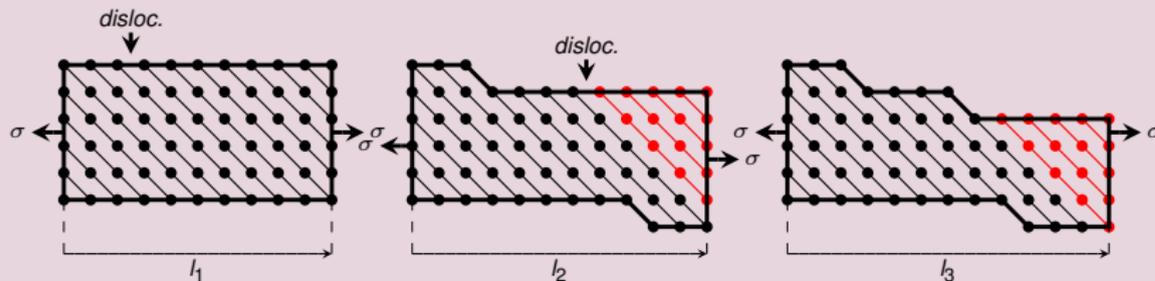


# Mobilisation des dislocations

Elasticité ( $\sigma < \sigma_e$ ) : modification des paramètres de maille

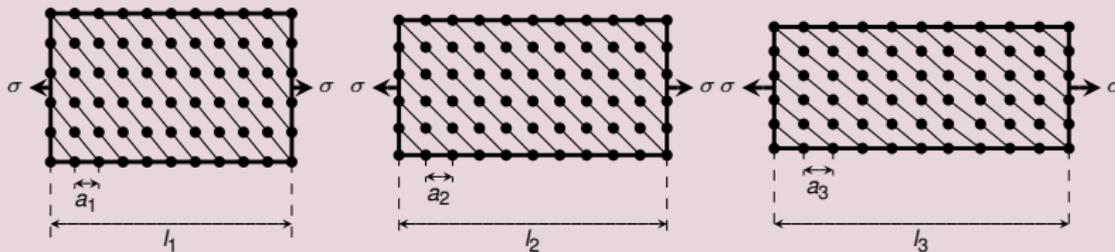


Plasticité ( $\sigma > \sigma_e$ ) : création et mouvement de dislocations

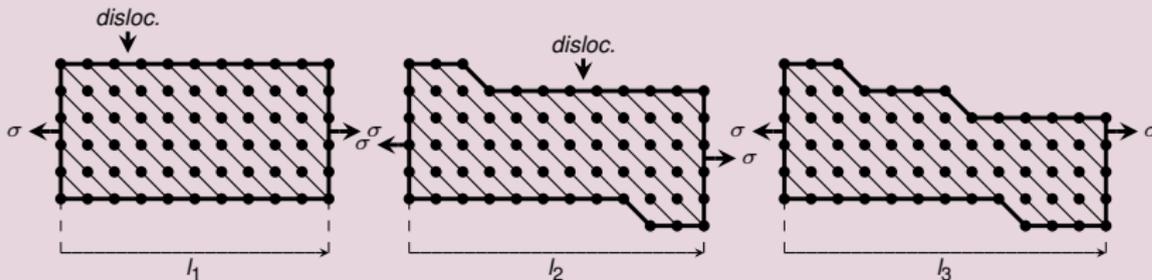


# Mobilisation des dislocations

Elasticité ( $\sigma < \sigma_e$ ) : modification des paramètres de maille



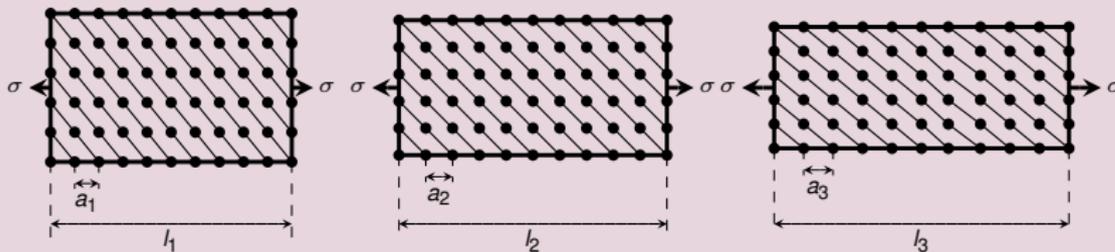
Plasticité ( $\sigma > \sigma_e$ ) : création et mouvement de dislocations



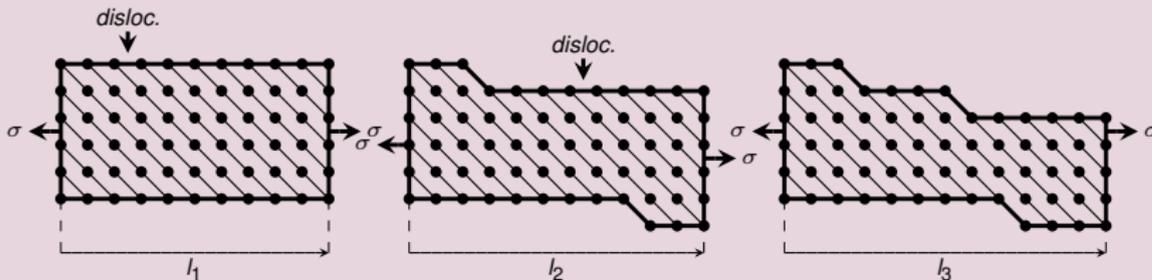


# Mobilisation des dislocations

Elasticité ( $\sigma < \sigma_e$ ) : modification des paramètres de maille



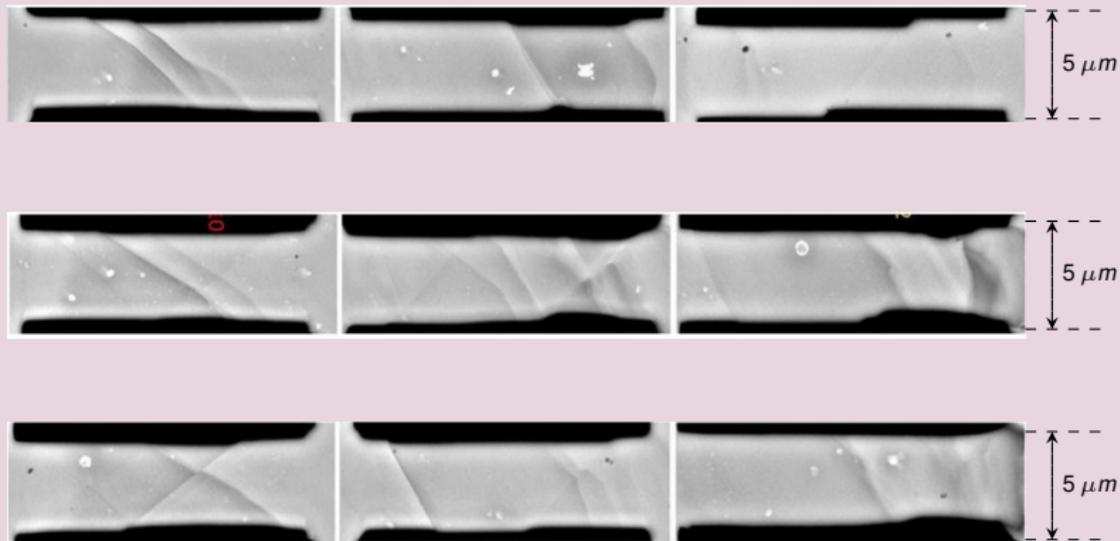
Plasticité ( $\sigma > \sigma_e$ ) : création et mouvement de dislocations





# Déformation plastique

## Observation TEM de micro-spécimens de traction



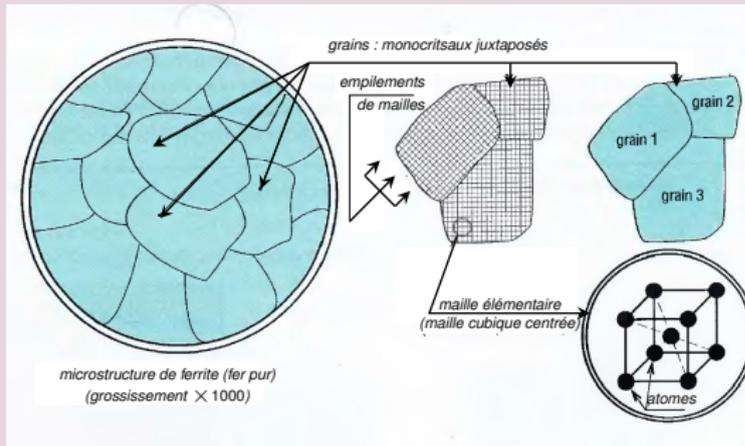
source : Hu, Zuji et al., Microstructure Formation and Micropillar Compression of Al-TiC Nanocomposite Manufactured by Solidification Nanoprocessing, Metallurgical and Materials Transactions A, 08.2019



# Microstructures et grains

## Grains, monocristaux et mailles

- Les métaux sont formés de monocristaux ou **grains** placés côte à côte et de forme polygonale plus ou moins régulière.
- A l'intérieur d'un grain, les atomes sont disposés de façons périodiques. La structure répétée périodiquement est appelée **maille** (e.g. maille cubique centré, maille cubique face centrée).

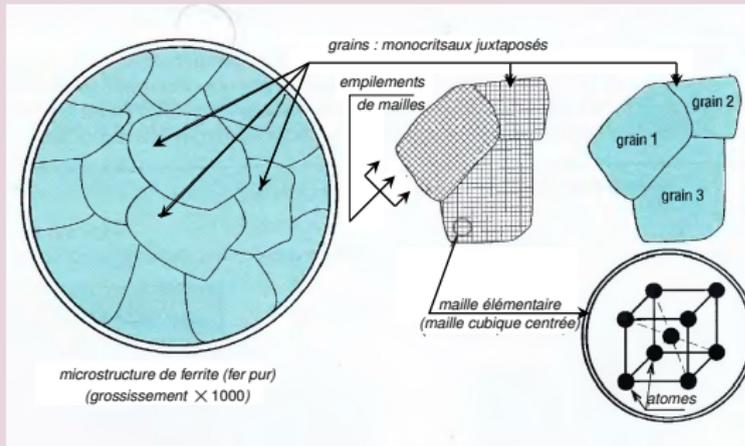


- Les traitements thermiques sont susceptibles de modifier la microstructure (i.e la taille et la morphologie des grains).

# Microstructures et grains

## Grains, monocristaux et mailles

- Les métaux sont formés de monocristaux ou **grains** placés côte à côte et de forme polygonale plus ou moins régulière.
- A l'intérieur d'un grain, les atomes sont disposés de façons périodiques. La structure répétée périodiquement est appelée **maille** (e.g. maille cubique centré, maille cubique face centrée).

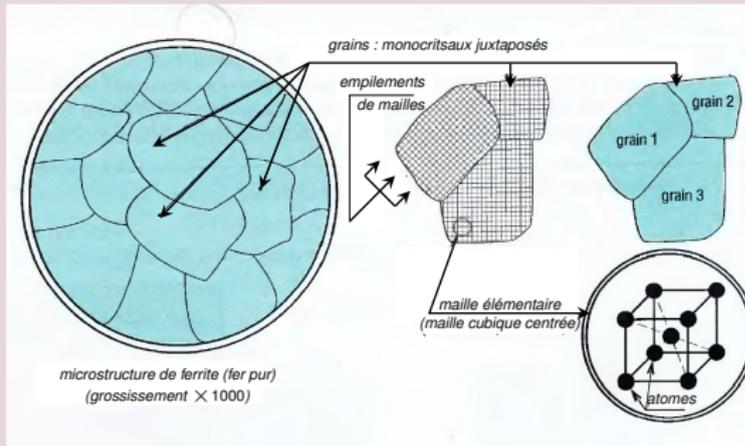


- Les traitements thermiques sont susceptibles de modifier la microstructure (i.e la taille et la morphologie des grains).

# Microstructures et grains

## Grains, monocristaux et mailles

- Les métaux sont formés de monocristaux ou **grains** placés côte à côte et de forme polygonale plus ou moins régulière.
- A l'intérieur d'un grain, les atomes sont disposés de façons périodiques. La structure répétée périodiquement est appelée **maille** (e.g. maille cubique centré, maille cubique face centrée).

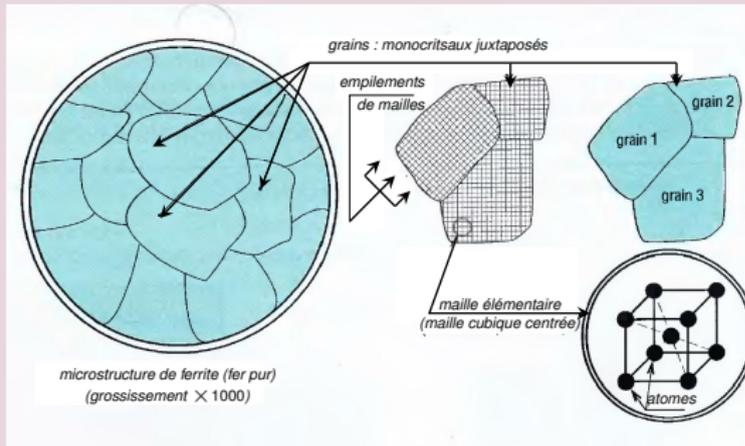


- Les traitements thermiques sont susceptibles de modifier la microstructure (i.e la taille et la morphologie des grains).

# Microstructures et grains

## Grains, monocristaux et mailles

- Les métaux sont formés de monocristaux ou **grains** placés côte à côte et de forme polygonale plus ou moins régulière.
- A l'intérieur d'un grain, les atomes sont disposés de façons périodiques. La structure répétée périodiquement est appelée **maille** (e.g. maille cubique centré, maille cubique face centrée).

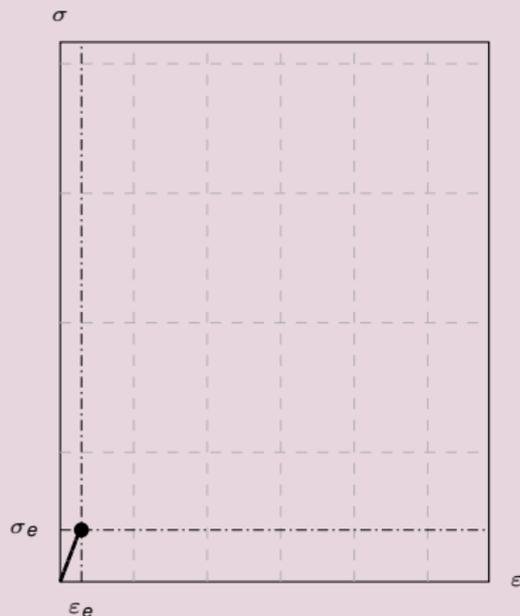


- Les traitements thermiques sont susceptibles de modifier la microstructure (i.e la taille et la morphologie des grains).

◀ retour

# Courbe de traction réelles pour diff. val. de $n$

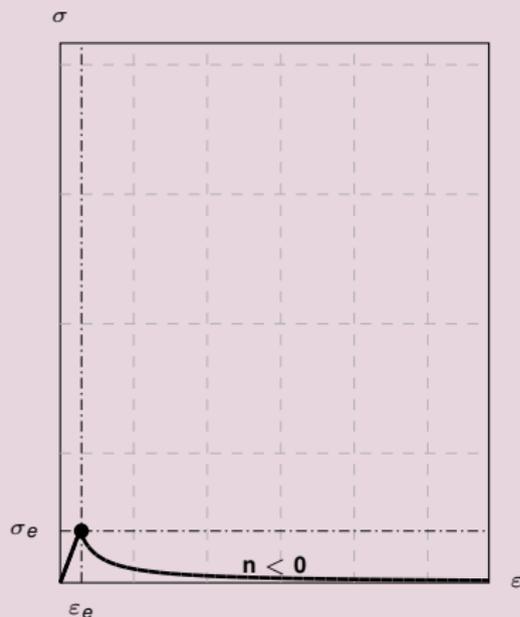
## Exemples de courbes de traction réelles



**Fig.** Courbe de traction réelle

# Courbe de traction réelles pour diff. val. de $n$

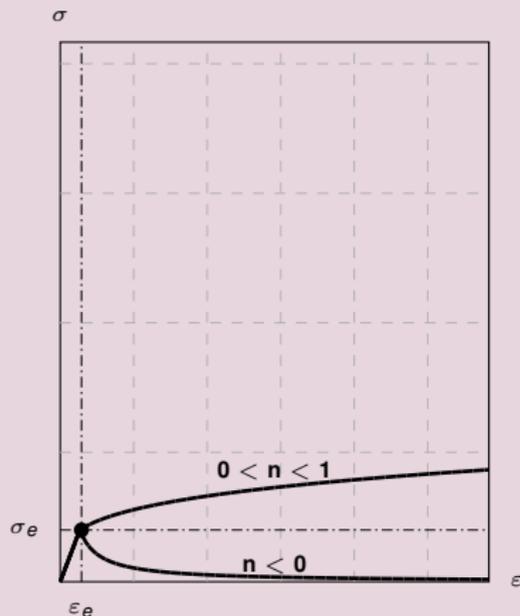
## Exemples de courbes de traction réelles



**Fig.** Courbe de traction réelle

# Courbe de traction réelles pour diff. val. de $n$

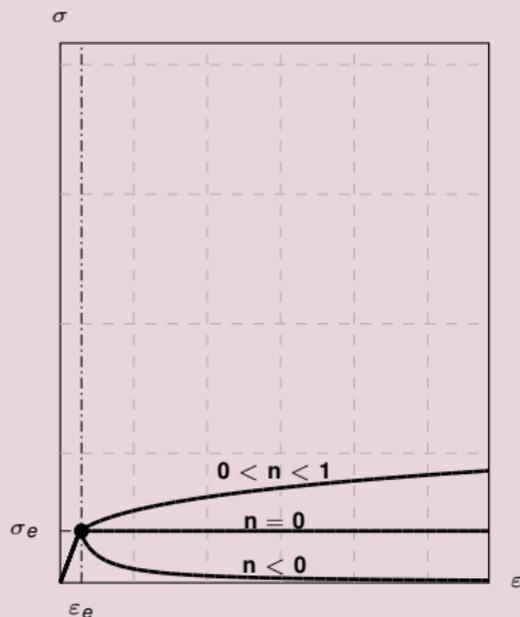
## Exemples de courbes de traction réelles



*Fig. Courbe de traction réelle*

# Courbe de traction réelles pour diff. val. de $n$

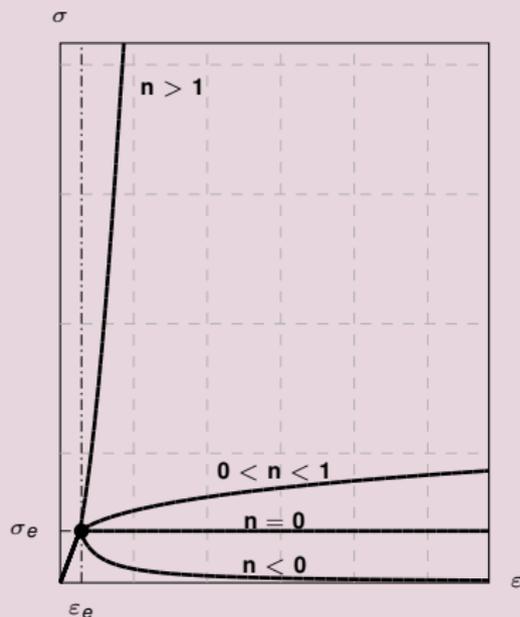
## Exemples de courbes de traction réelles



*Fig. Courbe de traction réelle*

# Courbe de traction réelles pour diff. val. de $n$

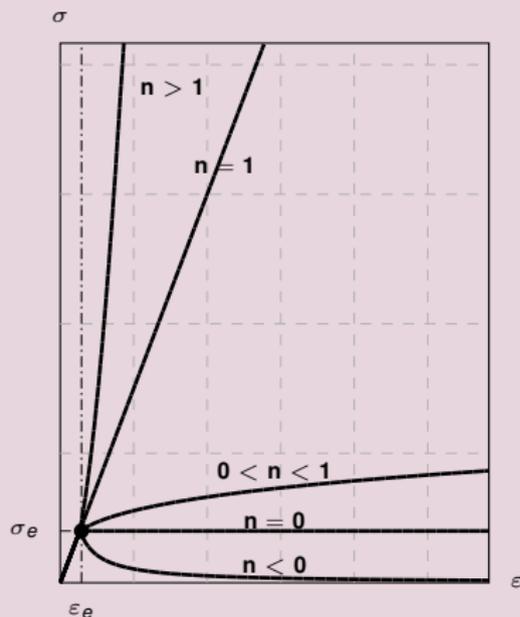
## Exemples de courbes de traction réelles



*Fig. Courbe de traction réelle*

# Courbe de traction réelles pour diff. val. de $n$

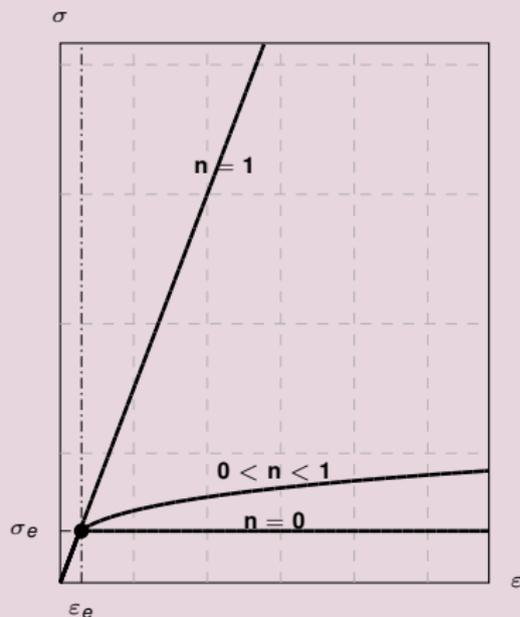
## Exemples de courbes de traction réelles



**Fig.** Courbe de traction réelle

# Courbe de traction réelles pour diff. val. de $n$

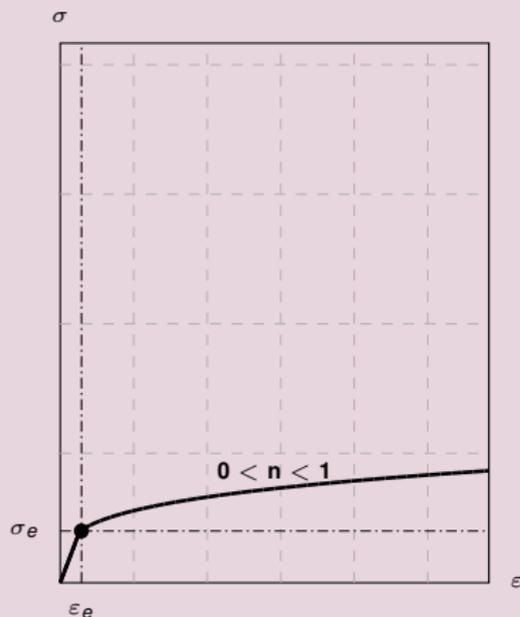
## Exemples de courbes de traction réelles



**Fig.** Courbe de traction réelle

# Courbe de traction réelles pour diff. val. de $n$

## Exemples de courbes de traction réelles



**Fig.** Courbe de traction réelle



# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<i>taux de déformation</i>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<i>contrainte</i>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<i>taux de déformation</i>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<i>contrainte</i>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<i>taux de déformation</i>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<i>contrainte</i>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\epsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- Le taux de **déformation nominal** a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du **taux réel**. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :

- linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\epsilon$  ou  $e \ll E\epsilon$  sont si  $e \ll 5\%$  (cf. axes), alors les notions élastiques s'appliquent, l'incrément de taux ne dépendant que de la contrainte
- La **contrainte nominale** est par contre une grandeur fondamentale et très utile.
- Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**.
- Notons que  $R \leq \sigma$

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\epsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- Le taux de **déformation nominal** a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du **taux réel**. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le **taux réel**. On bénéficie de ses avantages :
  - linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\epsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),
  - étude des rebonds élastiques simplifiée,
  - incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...
- La **contrainte nominale** est par contre une grandeur fondamentale et très utile.
- Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**.
- Notons que  $R \leq \sigma$

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *Le taux de déformation nominal a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :*
  - (i) **linéarité** de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),
  - (ii) étude des rebonds élastiques simplifiée,
  - (iii) *incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...*
- *La contrainte nominale est par contre une grandeur fondamentale et très utile.*
- *Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi complémentaires.*
- *Notons que  $R \leq \sigma$*

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *Le taux de déformation nominal a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :*
  - (i) *linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),*
  - (ii) *étude des rebonds élastiques simplifiée,*
  - (iii) *incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...*
- *La contrainte nominale est par contre une grandeur fondamentale et très utile.*
- *Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi complémentaires.*
- *Notons que  $R \leq \sigma$*

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *Le taux de déformation nominal a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :*
  - (i) *linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),*
  - (ii) *étude des rebonds élastiques simplifiée,*
  - (iii) *incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...*
- *La contrainte nominale est par contre une grandeur fondamentale et très utile.*
- *Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi complémentaires.*
- *Notons que  $R \leq \sigma$*

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *Le taux de déformation nominal a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :*
  - (i) *linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),*
  - (ii) *étude des rebonds élastiques simplifiée,*
  - (iii) *incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...*
- *La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile.*
- *Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**.*
- *Notons que  $R \leq \sigma$*

Passons sur cette remarque un peu philosophique !

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *Le taux de déformation nominal a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :*
  - linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),*
  - étude des rebonds élastiques simplifiée,*
  - incrément de taux ne dépendant que de la **config. courante** ...*
- *La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile. Elle représente la force développée par la machine de traction normalisée par la surface initiale de l'échantillon.*
- *Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**.*
- *Notons que  $R \leq \sigma$*

Passons sur cette remarque un peu philosophique !

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- Le *taux de déformation nominal* a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :
  - (i) linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),
  - (ii) étude des rebonds élastiques simplifiée,
  - (iii) incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...
- La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile. Elle représente la **force** développée par la machine de traction **normalisée par la surface initiale** de l'échantillon. C'est une image de la charge appliquée.
- Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**.
- Notons que  $R \leq \sigma$

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- Le *taux de déformation nominal* a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :
  - (i) linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),
  - (ii) étude des rebonds élastiques simplifiée,
  - (iii) incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...
- La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile. Elle représente la **force** développée par la machine de traction **normalisée par la surface initiale** de l'échantillon. *C'est une image de la charge appliquée.*
- Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**.
- Notons que  $R \leq \sigma$

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- Le **taux de déformation nominal** a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :
  - (i) linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),
  - (ii) étude des rebonds élastiques simplifiée,
  - (iii) incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...
- La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile. Elle représente la **force** développée par la machine de traction **normalisée par la surface initiale** de l'échantillon. C'est une image de la **charge** appliquée.
- Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**. La contrainte nominale est représentative de l'usage de l'essai, car on peut le mesurer à l'intérieur de l'échantillon.
- Notons que  $R \leq \sigma$

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- Le **taux de déformation nominal** a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :
  - (i) linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),
  - (ii) étude des rebonds élastiques simplifiée,
  - (iii) incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...
- La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile. Elle représente la **force** développée par la machine de traction **normalisée par la surface initiale** de l'échantillon. C'est une image de la **charge** appliquée.
- Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**. La contrainte de traction réelle représente la contrainte de traction **physique** telle qu'on peut la mesurer à l'intérieur de l'échantillon.
- Notons que  $R \leq \sigma$

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- Le **taux de déformation nominal** a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :
  - (i) linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),
  - (ii) étude des rebonds élastiques simplifiée,
  - (iii) incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...
- La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile. Elle représente la **force** développée par la machine de traction **normalisée par la surface initiale** de l'échantillon. C'est une image de la **charge** appliquée.
- Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**. La contrainte de **traction réelle** représente la **contrainte de traction physique** telle qu'on peut la mesurer à l'intérieur de l'échantillon.
- Notons que  $R \leq \sigma$

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- Le **taux de déformation nominal** a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :
  - (i) linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),
  - (ii) étude des rebonds élastiques simplifiée,
  - (iii) incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...
- La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile. Elle représente la **force** développée par la machine de traction **normalisée par la surface initiale** de l'échantillon. C'est une image de la **charge** appliquée.
- Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**. La contrainte de traction réelle représente la contrainte de traction **physique** telle qu'on peut la mesurer à l'intérieur de l'échantillon.
- Notons que  $R \leq \sigma$

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- Le **taux de déformation nominal** a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :
  - (i) linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),
  - (ii) étude des rebonds élastiques simplifiée,
  - (iii) incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...
- La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile. Elle représente la **force** développée par la machine de traction **normalisée par la surface initiale** de l'échantillon. C'est une image de la **charge** appliquée.
- Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**. La contrainte de traction réelle représente la contrainte de traction **physique** telle qu'on peut la mesurer à l'intérieur de l'échantillon.
- Notons que  $R \leq \sigma$  à cause de la décroissance de la section de l'échantillon.

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- Le **taux de déformation nominal** a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :
  - (i) linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),
  - (ii) étude des rebonds élastiques simplifiée,
  - (iii) incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...
- La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile. Elle représente la **force** développée par la machine de traction **normalisée par la surface initiale** de l'échantillon. C'est une image de la **charge** appliquée.
- Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**. La contrainte de traction réelle représente la contrainte de traction **physique** telle qu'on peut la mesurer à l'intérieur de l'échantillon.
- Notons que  $R \leq \sigma$  à cause de la décroissance de la section de l'échantillon.

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- Le **taux de déformation nominal** a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :
  - (i) linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),
  - (ii) étude des rebonds élastiques simplifiée,
  - (iii) incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...
- La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile. Elle représente la **force** développée par la machine de traction **normalisée par la surface initiale** de l'échantillon. C'est une image de la **charge** appliquée.
- Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**. La contrainte de traction réelle représente la contrainte de traction **physique** telle qu'on peut la mesurer à l'intérieur de l'échantillon.
- Notons que  $R \leq \sigma$  à cause de la décroissance de la section de l'échantillon.

# Valeurs nominales et valeurs réelles

	<i>réel</i>	<i>nominal</i>
<b>taux de déformation</b>	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
<b>contrainte</b>	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- Le **taux de déformation nominal** a un avantage calculatoire, mais il n'est usité que dans le contexte des petites déformations car, dans ce cas, il est peu différent du taux réel. Pour étudier les procédés de formage, il est important d'utiliser le taux réel. On bénéficie de ses avantages :
  - (i) linéarité de la loi de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$  or  $\sigma \approx Ee$  seul. si  $e \ll 5\%$  (cf. exos)),
  - (ii) étude des rebonds élastiques simplifiée,
  - (iii) incrément de taux ne dépendant que de la config. courante ...
- La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile. Elle représente la **force** développée par la machine de traction **normalisée par la surface initiale** de l'échantillon. C'est une image de la **charge** appliquée.
- Les informations données par  $\sigma$  et  $R$  sont ainsi **complémentaires**. La contrainte de traction réelle représente la contrainte de traction **physique** telle qu'on peut la mesurer à l'intérieur de l'échantillon.
- Notons que  $R \leq \sigma$  à cause de la décroissance de la section de l'échantillon.

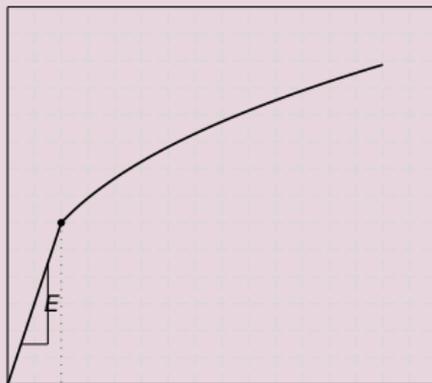


# Rebond élastique en taux réel ou nominal

*avec le taux réel*

*avec le taux nominal*

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



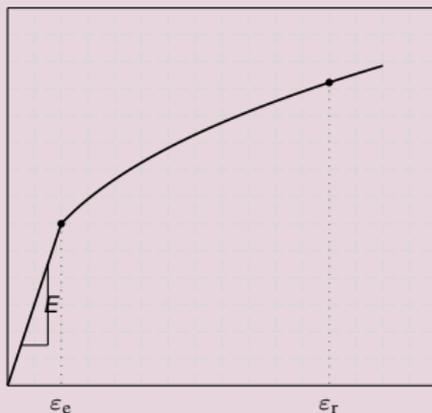
$\epsilon$  : tx de déf. réel

# Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

avec le taux nominal

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



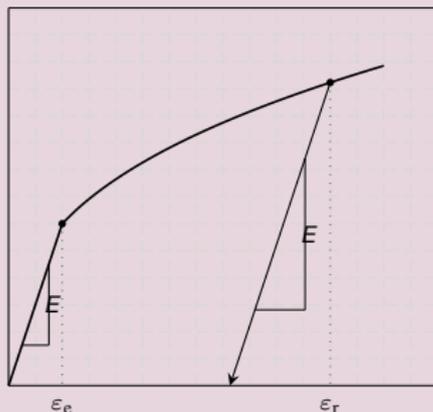
$\epsilon$  : tx de déf. réel

# Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

avec le taux nominal

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



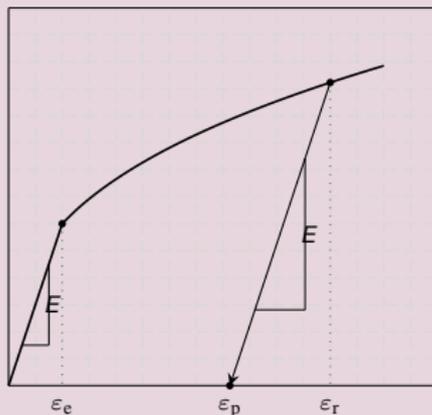
$\epsilon$  : tx de déf. réel

# Rebond élastique en taux réel ou nominal

*avec le taux réel*

*avec le taux nominal*

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



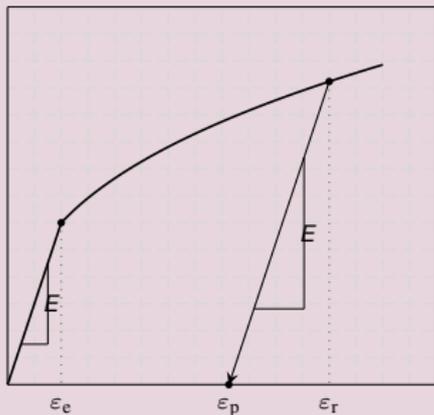
$\epsilon$  : tx de déf. réel

# Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

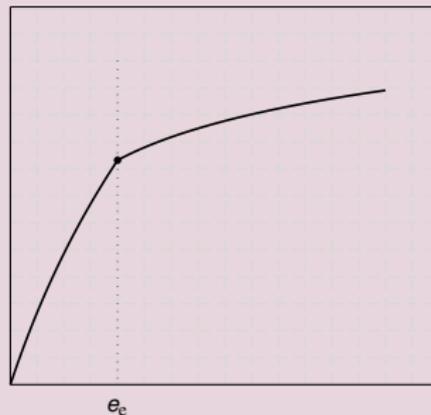
avec le taux nominal

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



$\epsilon$  : tx de déf. réel

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



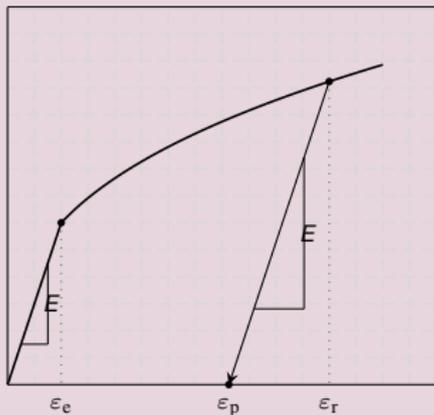
$e$  : tx de déf. nominal

# Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

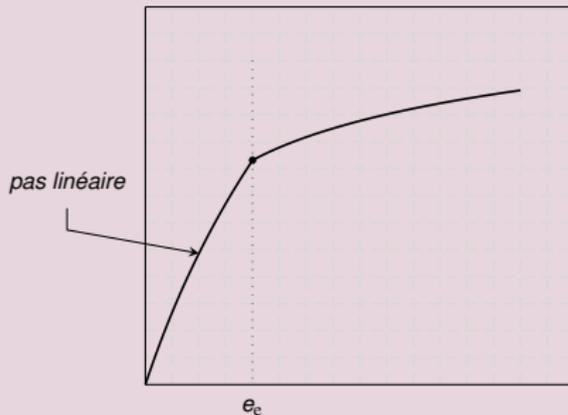
avec le taux nominal

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



$\epsilon$  : tx de déf. réel

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



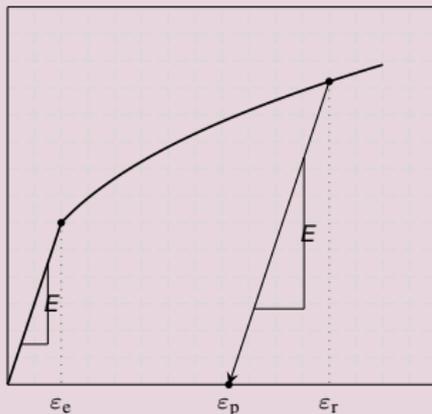
$e$  : tx de déf. nominal

# Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

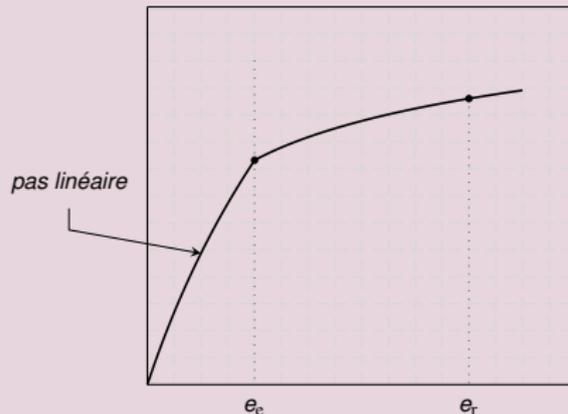
avec le taux nominal

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



$\epsilon$  : tx de déf. réel

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



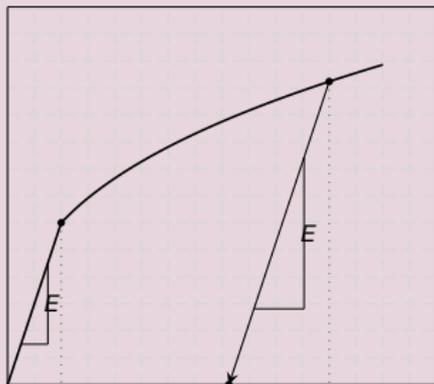
$e$  : tx de déf. nominal

# Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

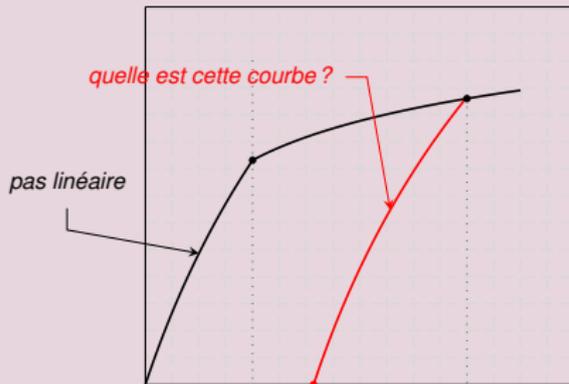
avec le taux nominal

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



$\epsilon$  : tx de déf. réel

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



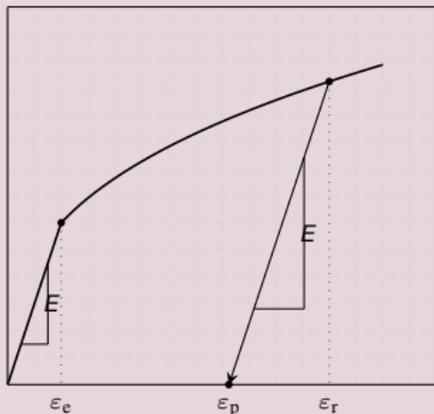
$e$  : tx de déf. nominal

# Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

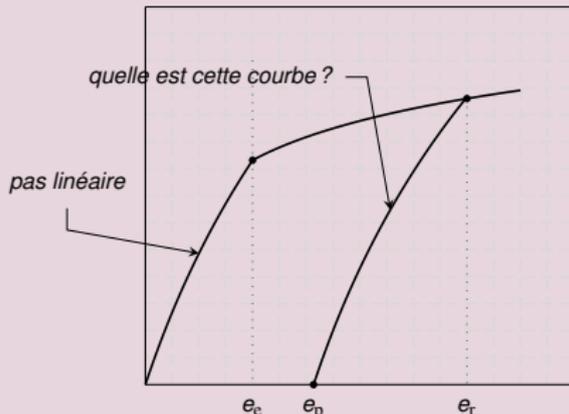
avec le taux nominal

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



$\epsilon$  : tx de déf. réel

$\sigma$  : contrainte réelle, MPa



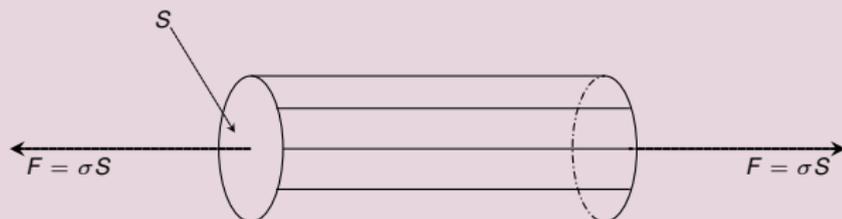
$e$  : tx de déf. nominal

◀ retour

# Etat de contrainte local

## Réponse de l'échantillon aux efforts externes

- *La contrainte de traction  $\sigma$  ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte  $\sigma$  se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.*

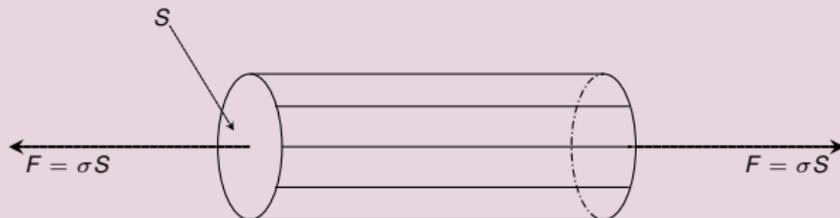


- *En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un état de contrainte homogène :*

# Etat de contrainte local

## Réponse de l'échantillon aux efforts externes

- La contrainte de traction  $\sigma$  ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte  $\sigma$  se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.

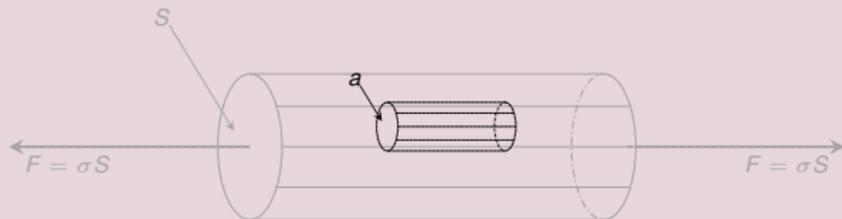


- En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un état de contrainte homogène :

# Etat de contrainte local

## Réponse de l'échantillon aux efforts externes

- *La contrainte de traction  $\sigma$  ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte  $\sigma$  se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.*

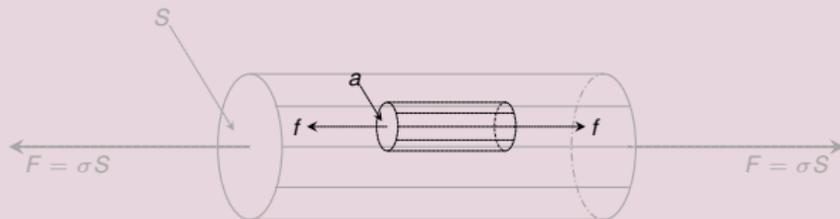


- *En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un état de contrainte homogène :*

# Etat de contrainte local

## Réponse de l'échantillon aux efforts externes

- *La contrainte de traction  $\sigma$  ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte  $\sigma$  se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.*

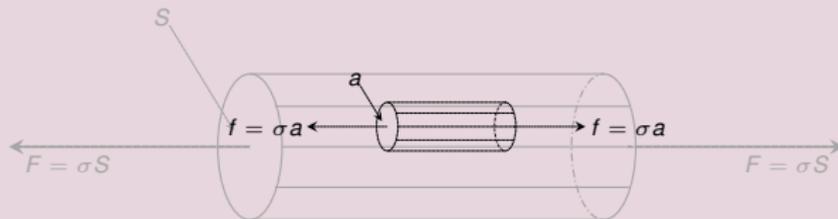


- *En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un état de contrainte homogène :*

# Etat de contrainte local

## Réponse de l'échantillon aux efforts externes

- La contrainte de traction  $\sigma$  ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte  $\sigma$  se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.

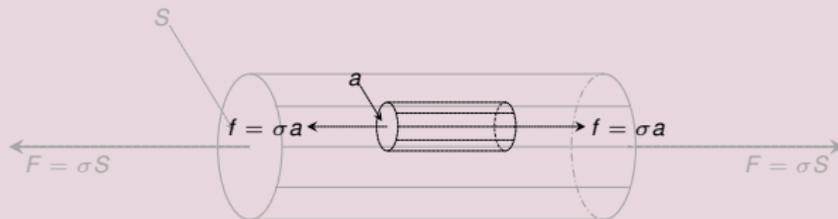


- En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un **état de contrainte homogène** : une traction uniaxiale dont l'amplitude est égale à la contrainte réelle  $\sigma$ .

# Etat de contrainte local

## Réponse de l'échantillon aux efforts externes

- La contrainte de traction  $\sigma$  ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte  $\sigma$  se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.

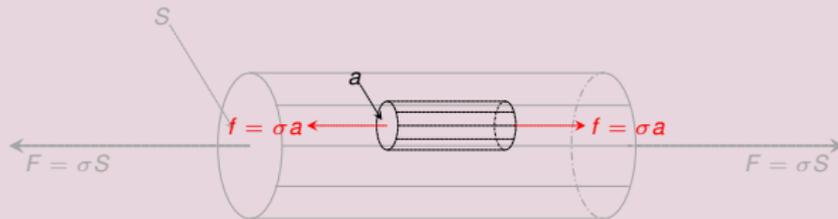


- En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un **état de contrainte homogène** : une traction uniaxiale dont l'amplitude est égale à la contrainte réelle  $\sigma$ . On peut donc mesurer  $\sigma$  à l'aide d'une jauge de contraintes.

# Etat de contrainte local

## Réponse de l'échantillon aux efforts externes

- La contrainte de traction  $\sigma$  ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte  $\sigma$  se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.

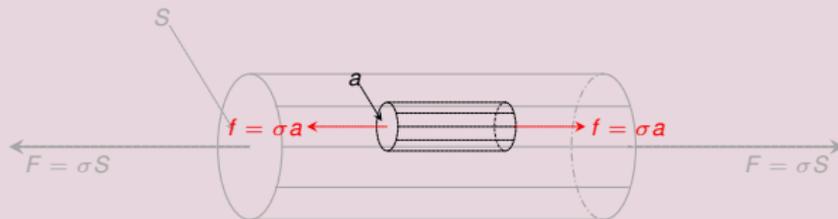


- En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un **état de contrainte homogène** : une traction uniaxiale dont l'amplitude est égale à la **contrainte réelle**  $\sigma$ . On peut donc mesurer  $\sigma$  à l'aide d'une **jauge de contraintes**.

# Etat de contrainte local

## Réponse de l'échantillon aux efforts externes

- La contrainte de traction  $\sigma$  ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte  $\sigma$  se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.

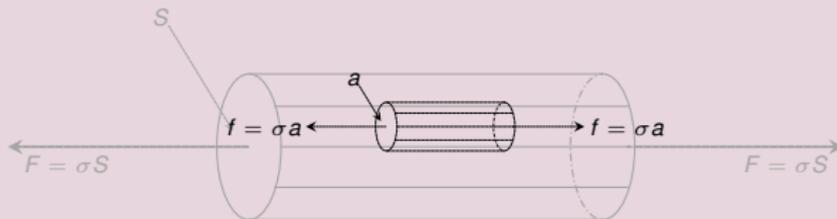


- En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un **état de contrainte homogène** : une traction uniaxiale dont l'amplitude est égale à la **contrainte réelle**  $\sigma$ . On peut donc mesurer  $\sigma$  à l'aide d'une **jauge de contraintes**.

# Etat de contrainte local

## Réponse de l'échantillon aux efforts externes

- La contrainte de traction  $\sigma$  ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte  $\sigma$  se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.

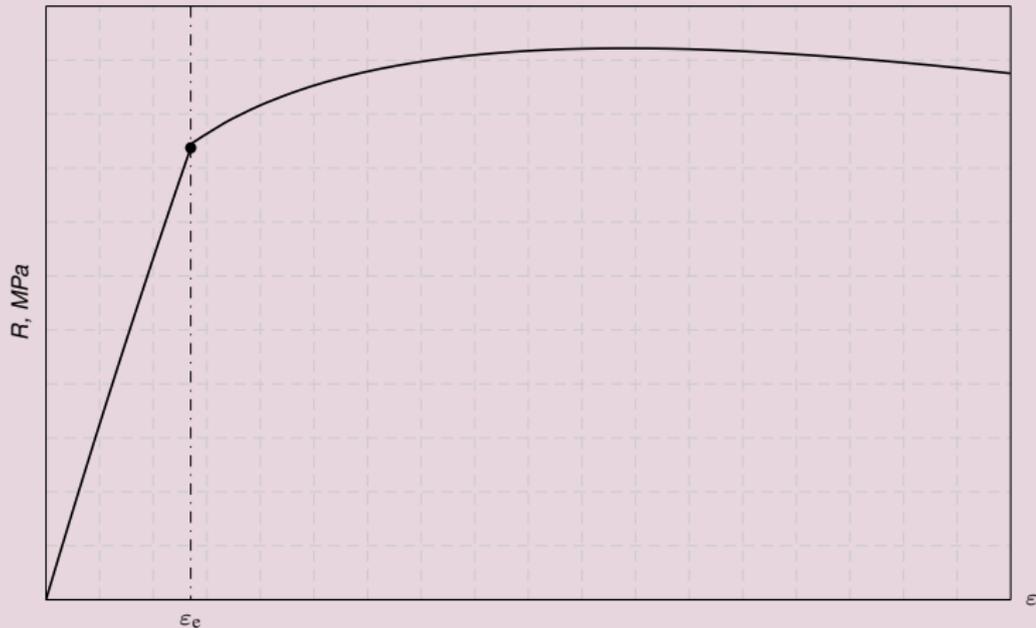


- En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un **état de contrainte homogène** : une traction uniaxiale dont l'amplitude est égale à la contrainte réelle  $\sigma$ . On peut donc mesurer  $\sigma$  à l'aide d'une **jauge de contraintes**.

◀ retour

# Courbe de traction pour un matériau fragile

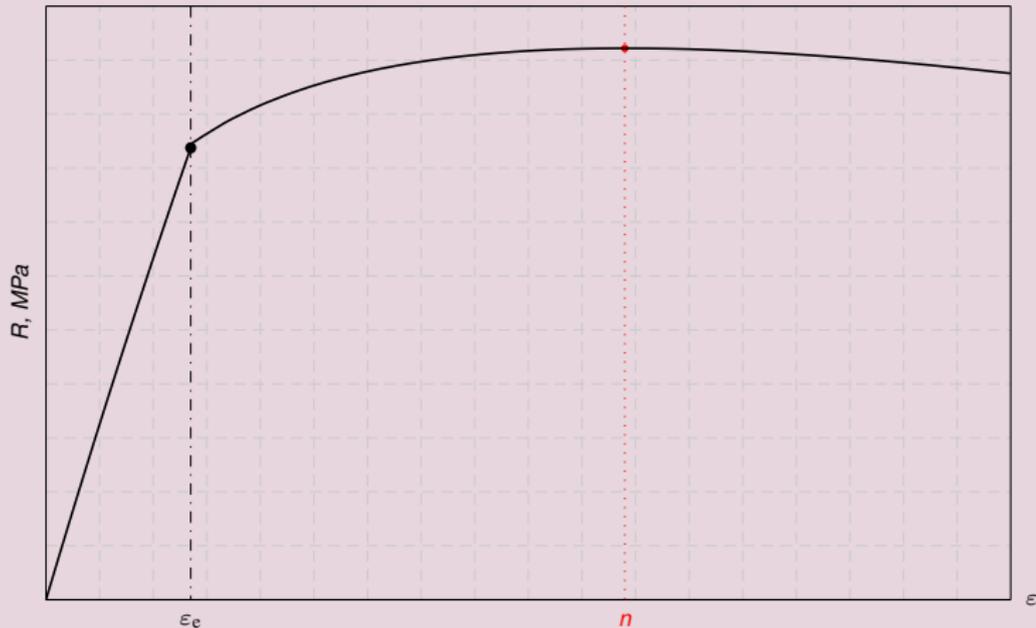
- Si  $\epsilon_{ult} < n$ ,



# Courbe de traction pour un matériau fragile

- Si  $\epsilon_{ult} < n$ , la contrainte nominale maximale est réalisée à la rupture :

$$\epsilon_m = \epsilon_{ult} \text{ et } R_m = R_{ult}.$$



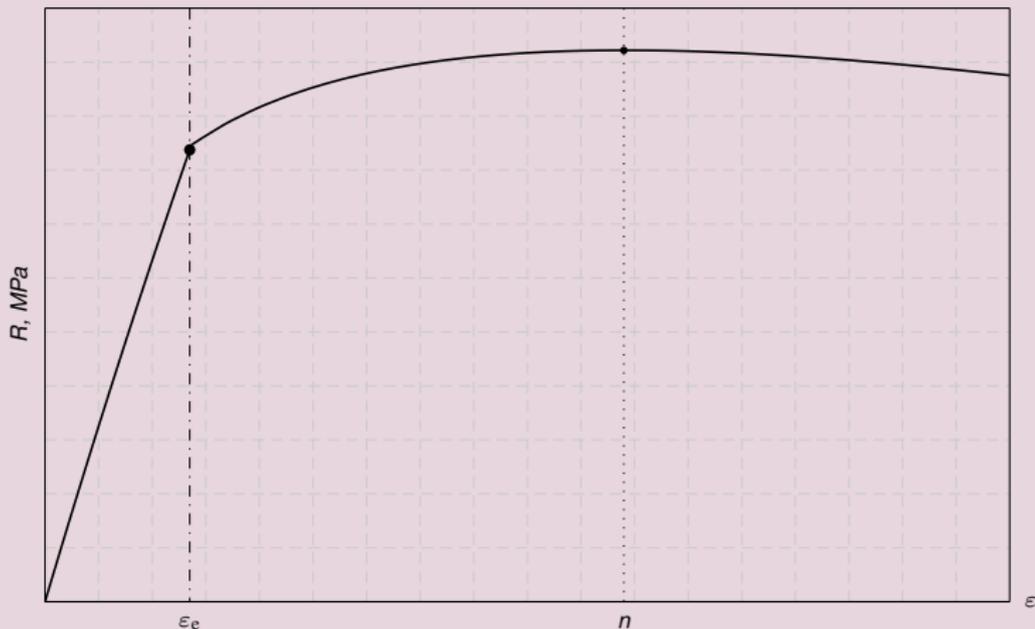
Observez que  $n$  est l'endroit où la contrainte nominale maximale se réalise



# Courbe de traction pour un matériau fragile

- Si  $\epsilon_{ult} < n$ , la contrainte nominale maximale est réalisée à la rupture :

$$\epsilon_m = \epsilon_{ult} \text{ et } R_m = R_{ult}.$$



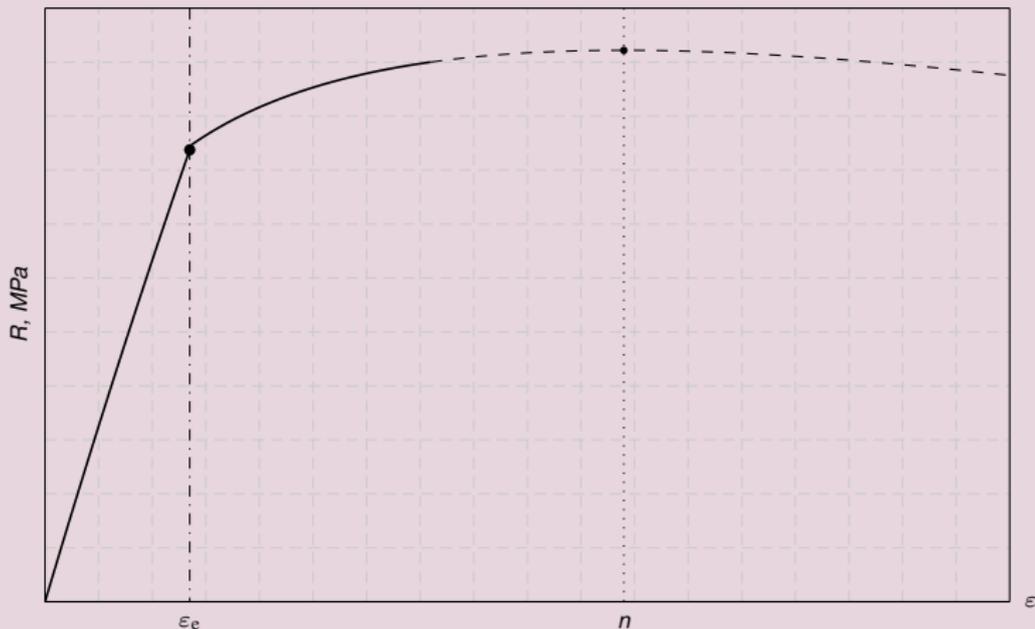
Mais comme le matériau est fragile, l'échantillon casse avant d'atteindre ce taux de déformation !



# Courbe de traction pour un matériau fragile

- Si  $\epsilon_{ult} < n$ , la contrainte nominale maximale est réalisée à la rupture :

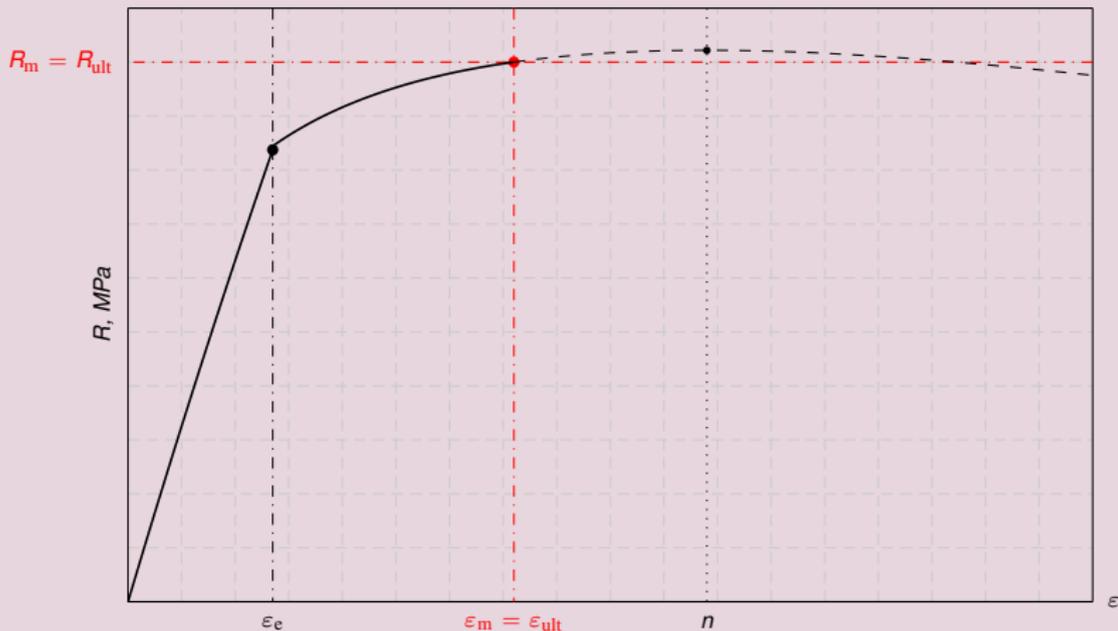
$$\epsilon_m = \epsilon_{ult} \quad \text{et} \quad R_m = R_{ult}.$$



# Courbe de traction pour un matériau fragile

- Si  $\epsilon_{ult} < n$ , la contrainte nominale maximale est réalisée à la rupture :

$$\epsilon_m = \epsilon_{ult} \text{ et } R_m = R_{ult}.$$

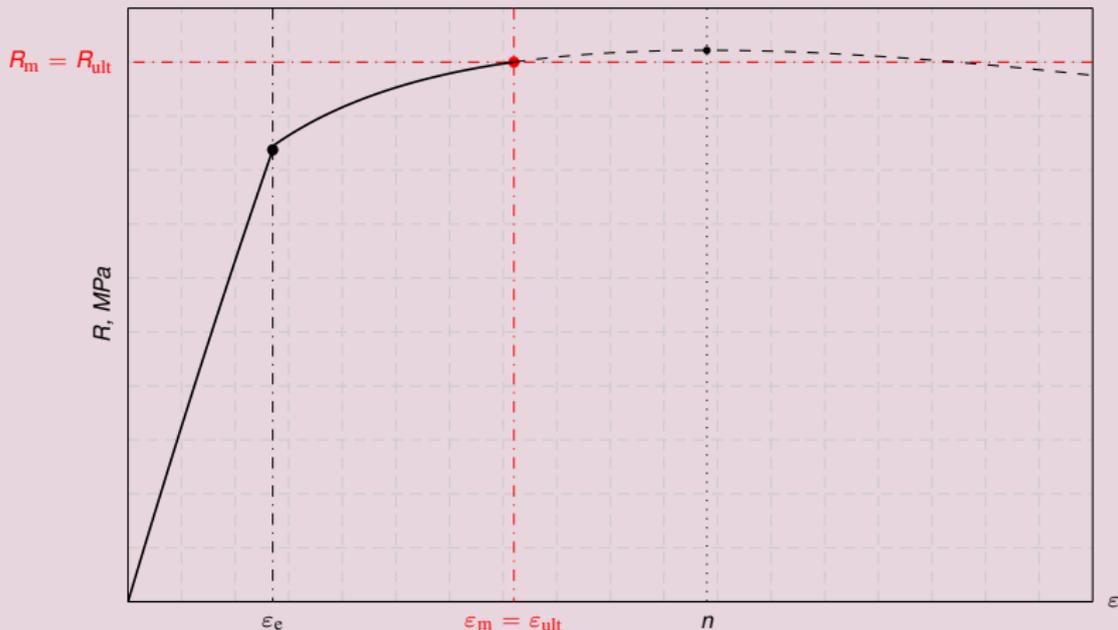


On observe que la contrainte réelle maximale est réalisée lorsque  $\epsilon = \epsilon_{ult}$  et vaut  $R_{ult}$

# Courbe de traction pour un matériau fragile

- Si  $\epsilon_{ult} < n$ , la contrainte nominale maximale est réalisée à la *rupture* :

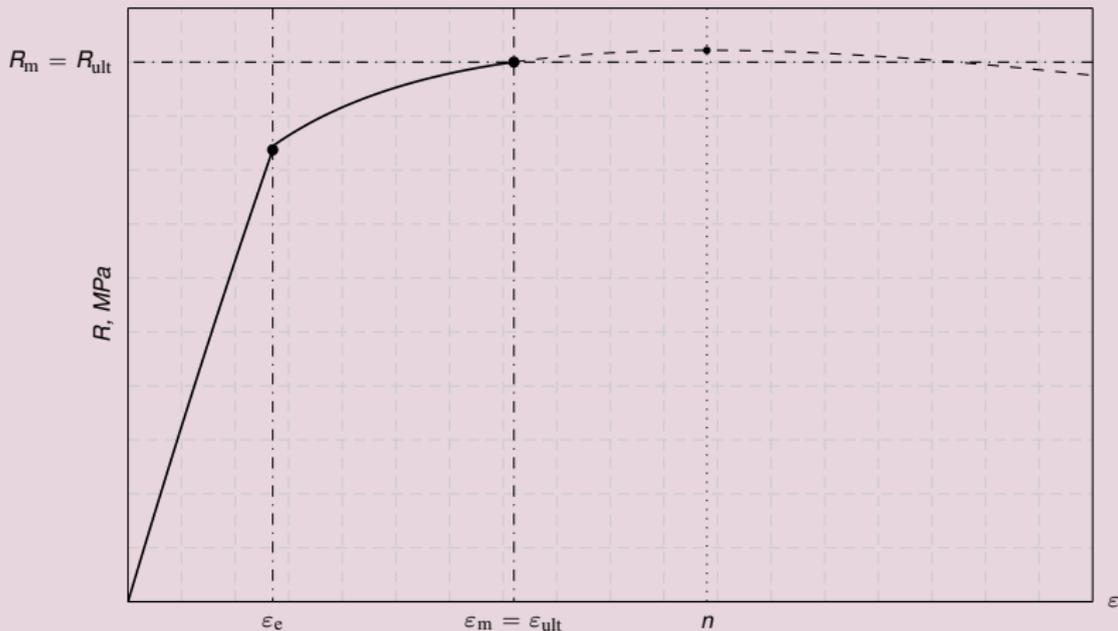
$$\epsilon_m = \epsilon_{ult} \text{ et } R_m = R_{ult}.$$



# Courbe de traction pour un matériau fragile

- Si  $\varepsilon_{ult} < n$ , la contrainte nominale maximale est réalisée à la *rupture* :

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{ult} \text{ et } R_m = R_{ult}.$$

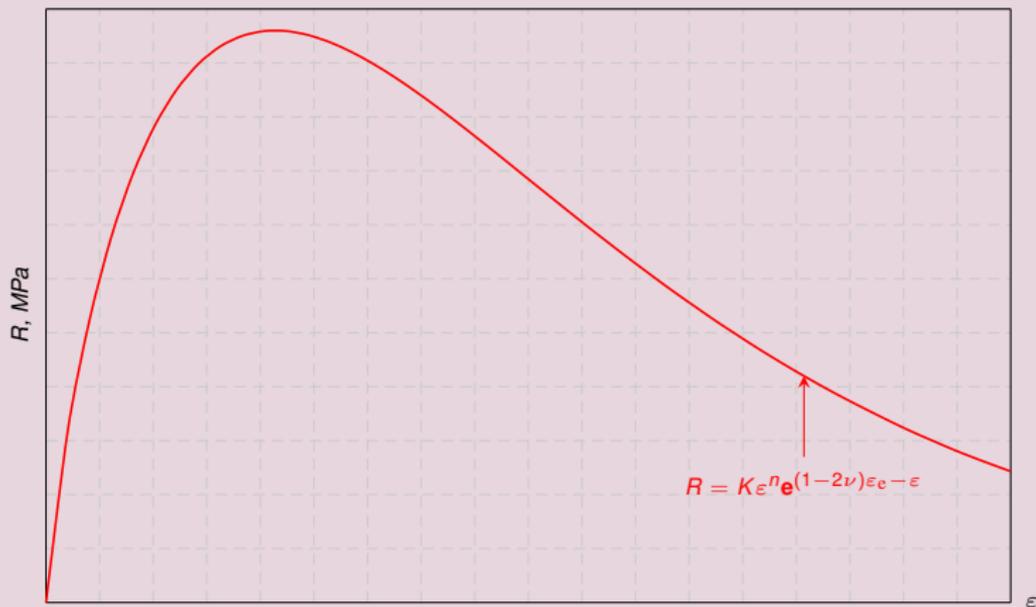


◀ retour

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

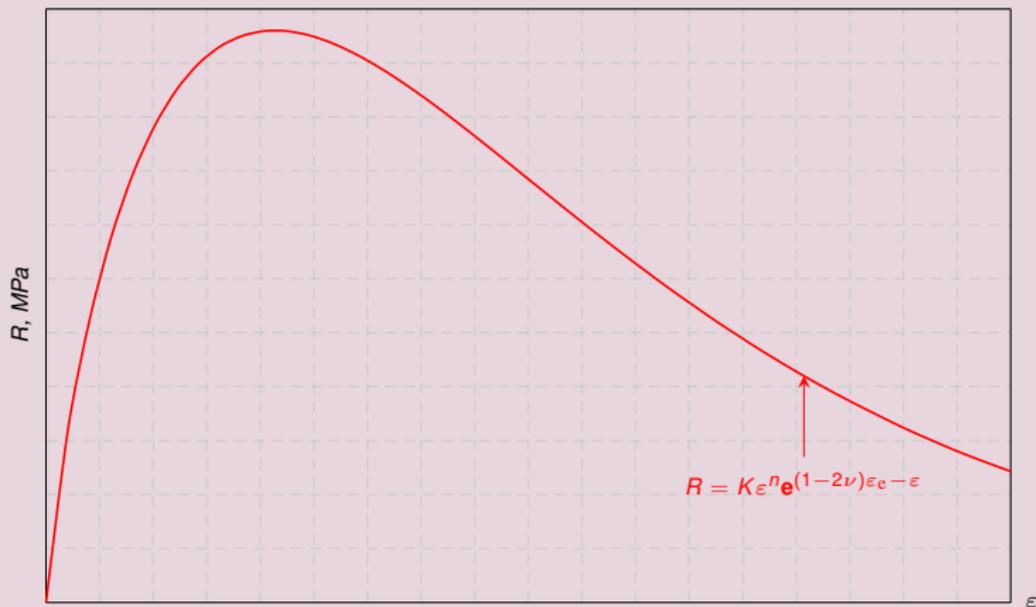


Voici le graphe de la fonction  $\epsilon \rightarrow K\epsilon^n e^{(1-2\nu)\epsilon_e - \epsilon}$ , qui représente  $R$  en zone plastique

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

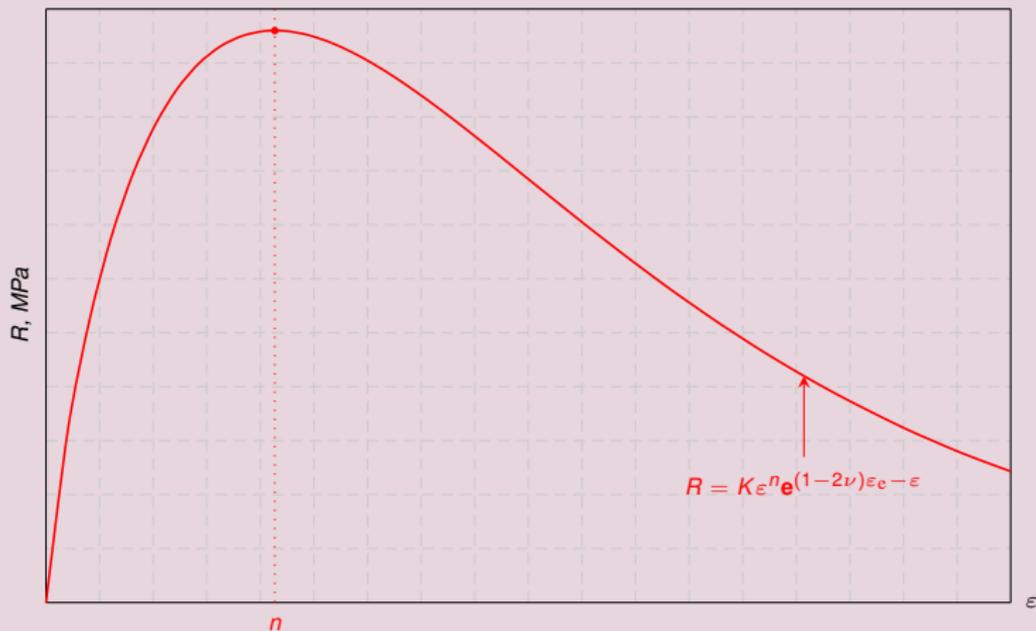


Le nombre  $n$  est un abscisse particulier, lequel ?

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

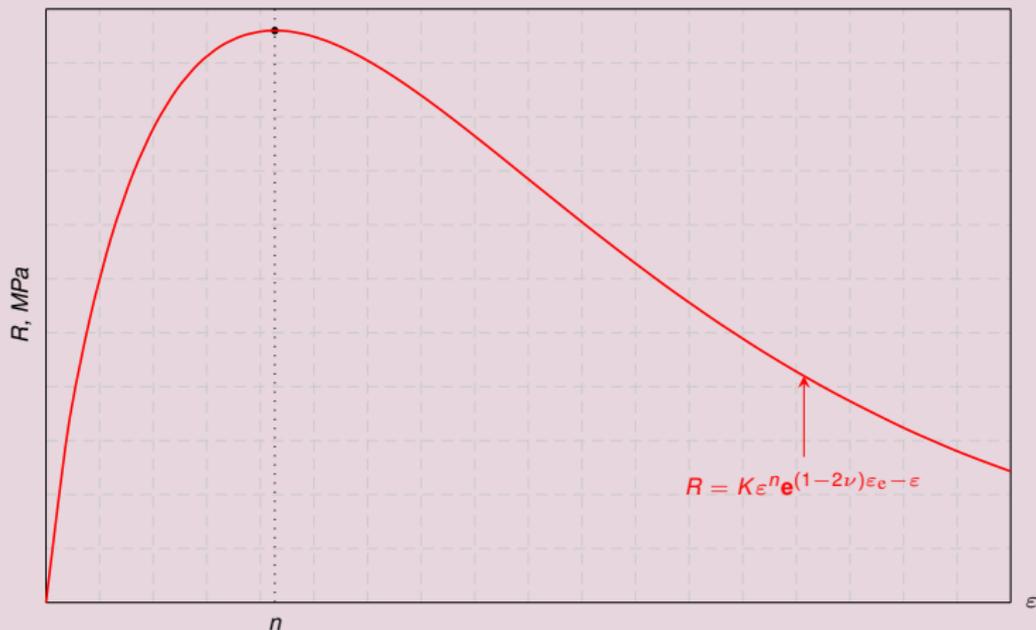


On sait que  $n$  est l'abscisse en lequel la fonction  $\epsilon \rightarrow K\epsilon^n e^{(1-2\nu)\epsilon_e - \epsilon}$  réalise son maximum

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

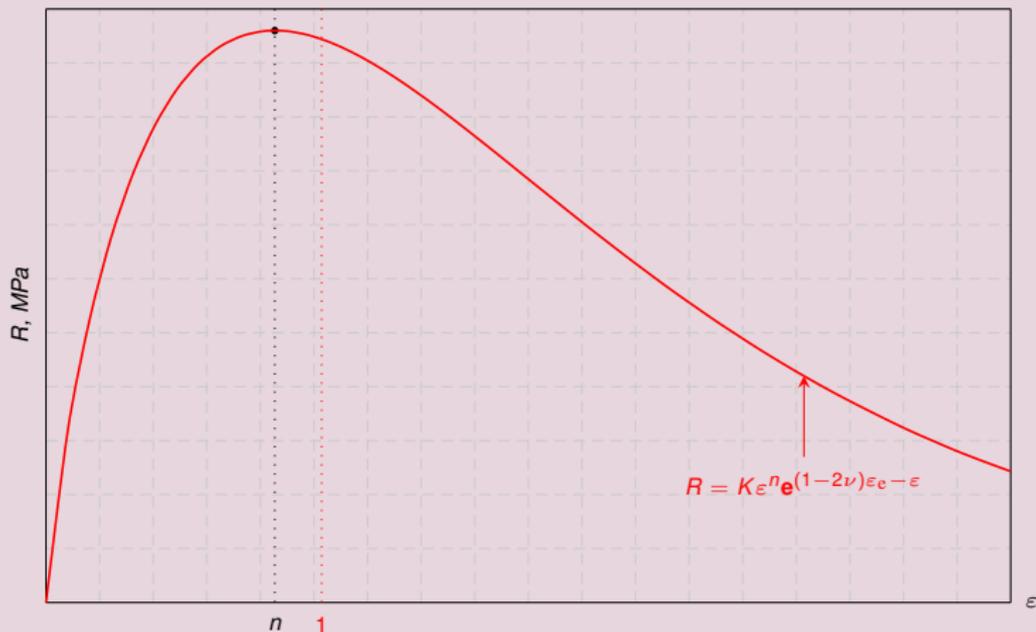
$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$



# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

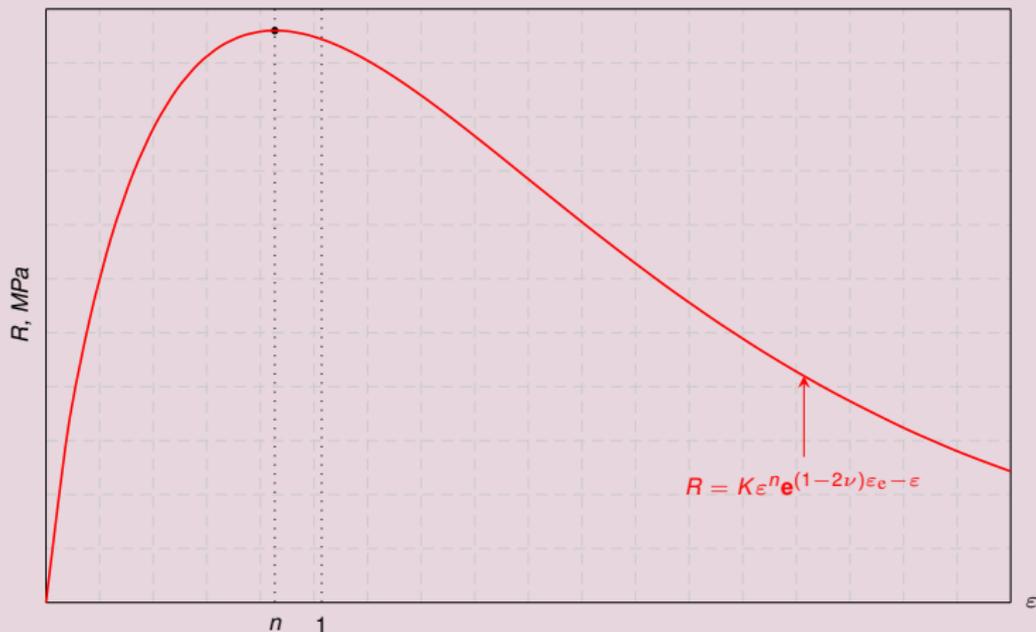


Puisque  $n < 1$ ,  $1$  se trouve à la droite de  $n$

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$



# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

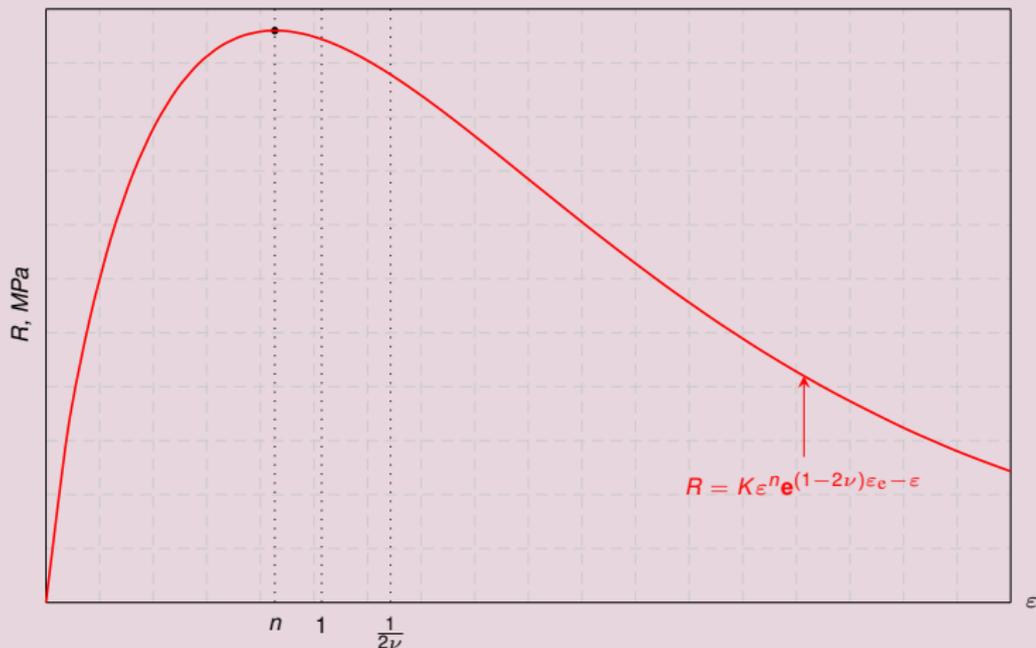


Comme  $\nu < \frac{1}{2}$ , on a que  $\frac{1}{2\nu} \geq 1$  se trouve à la droite de 1

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

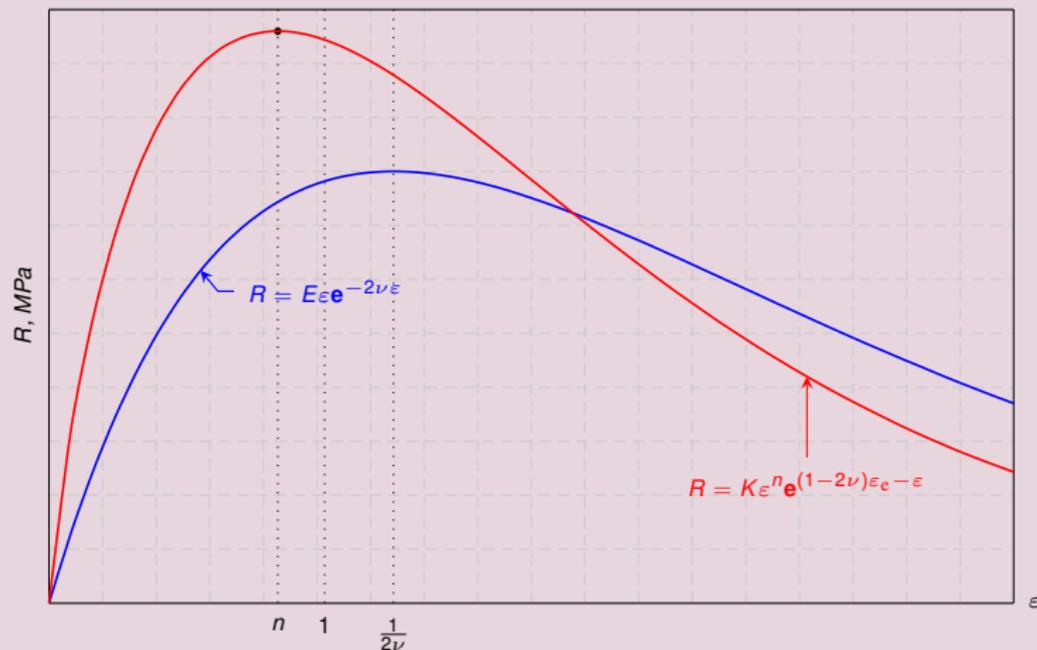


Dessignons en bleu le graphe de la fonction  $\epsilon \rightarrow E\epsilon e^{-2\nu\epsilon}$ , qui représente  $R$  en zone élastique

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

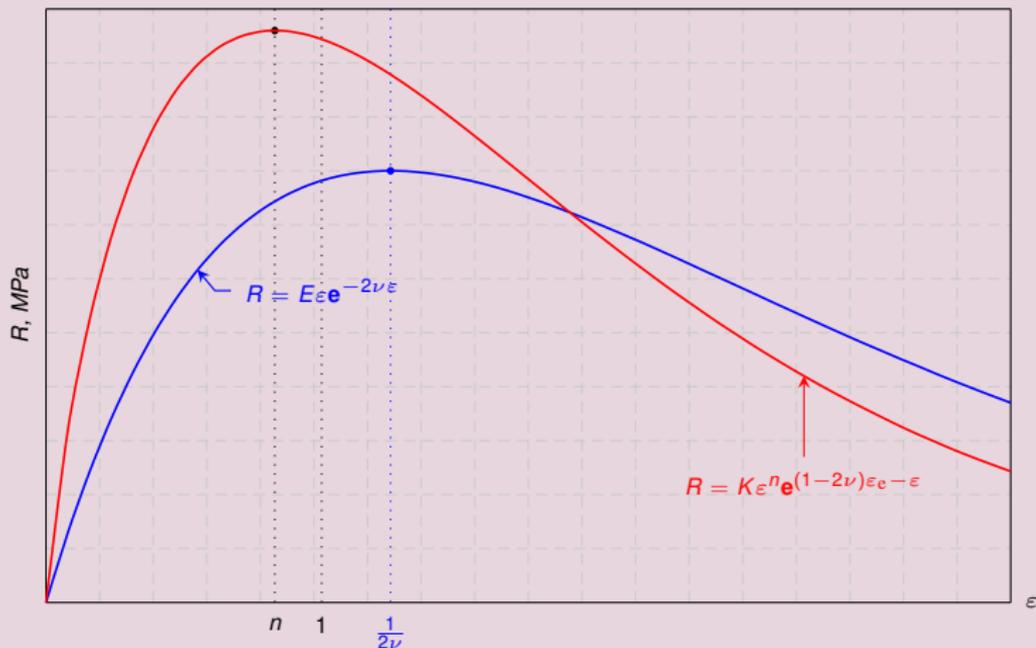
$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}$$



# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

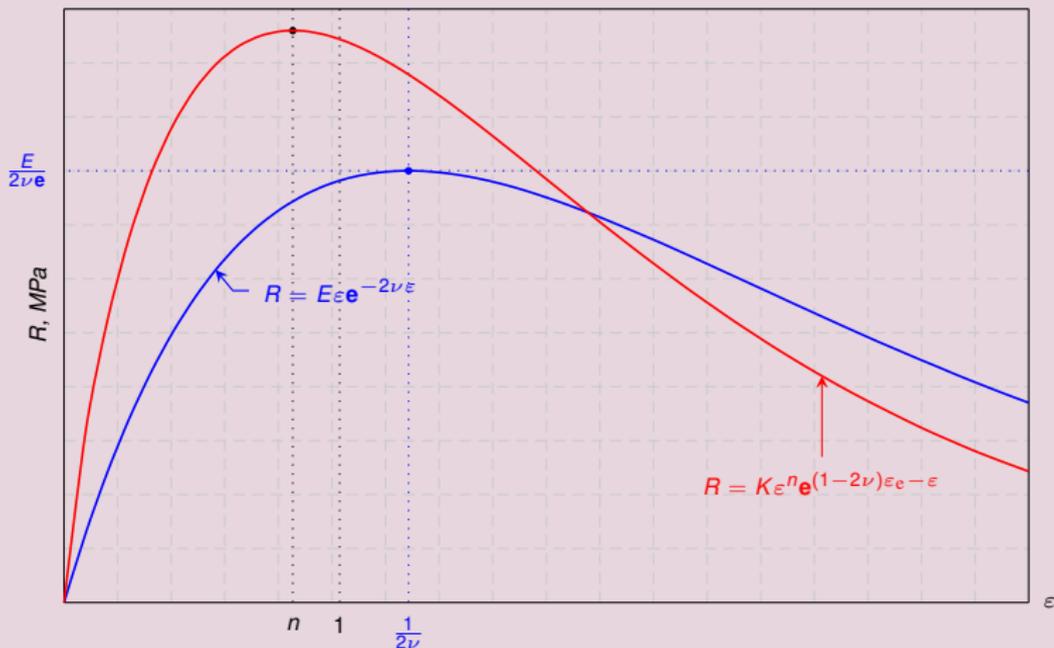


On peut vérifier que cette fonction  $\epsilon \rightarrow E\epsilon e^{-2\nu\epsilon}$  réalise son maximum en  $\epsilon = \frac{1}{2\nu}$  !

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

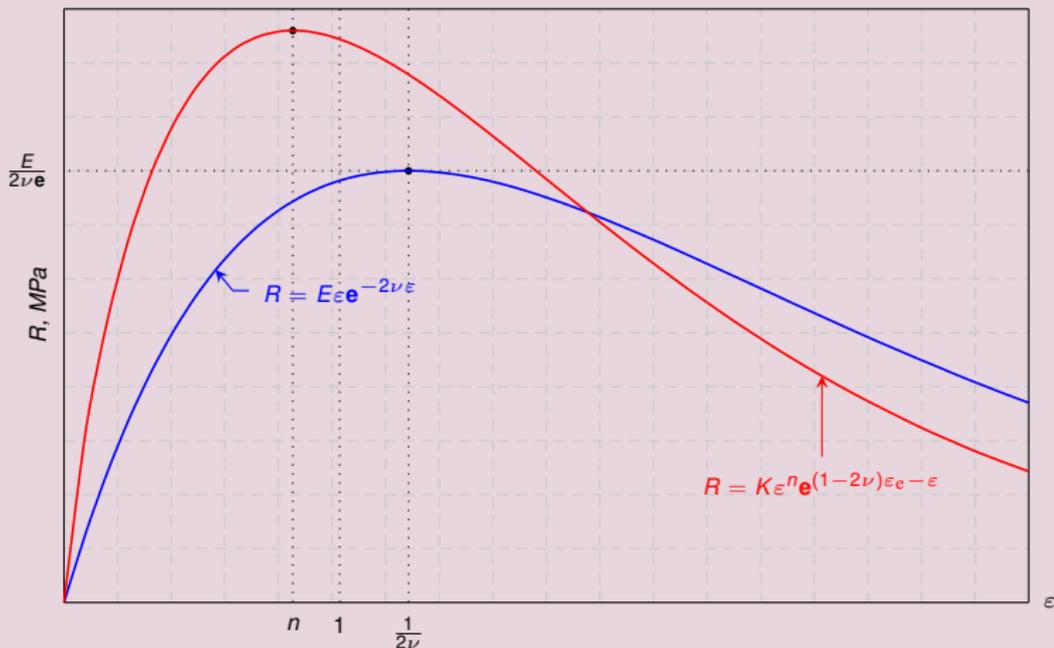


Et que ce maximum vaut  $\frac{E}{2\nu e}$  !

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

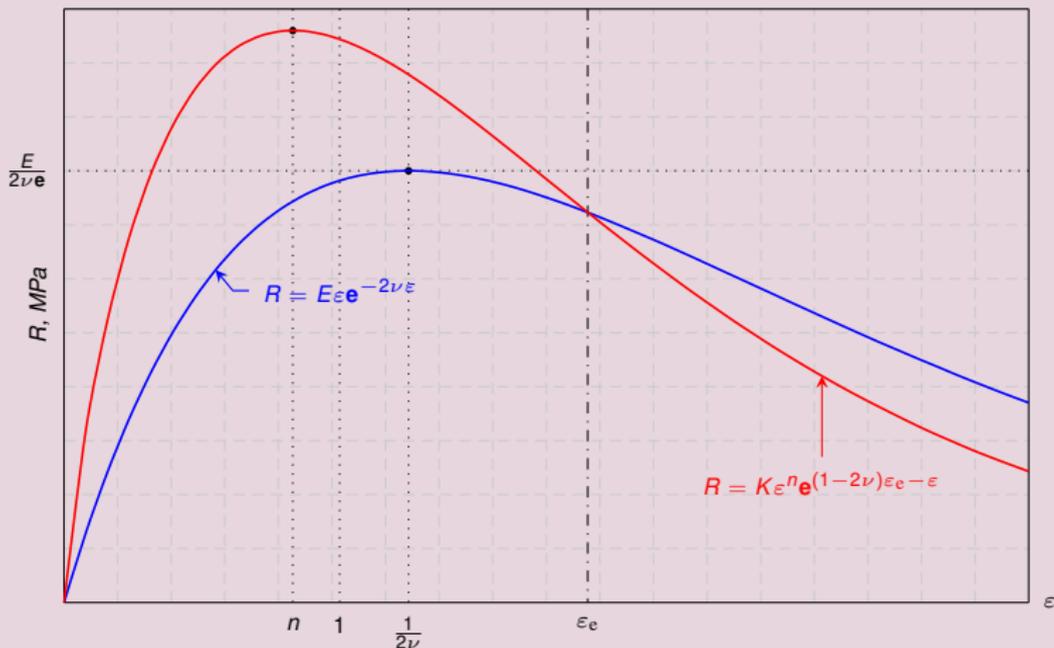


Plaçons maintenant  $\epsilon_e$  sur l'axe horizontal

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

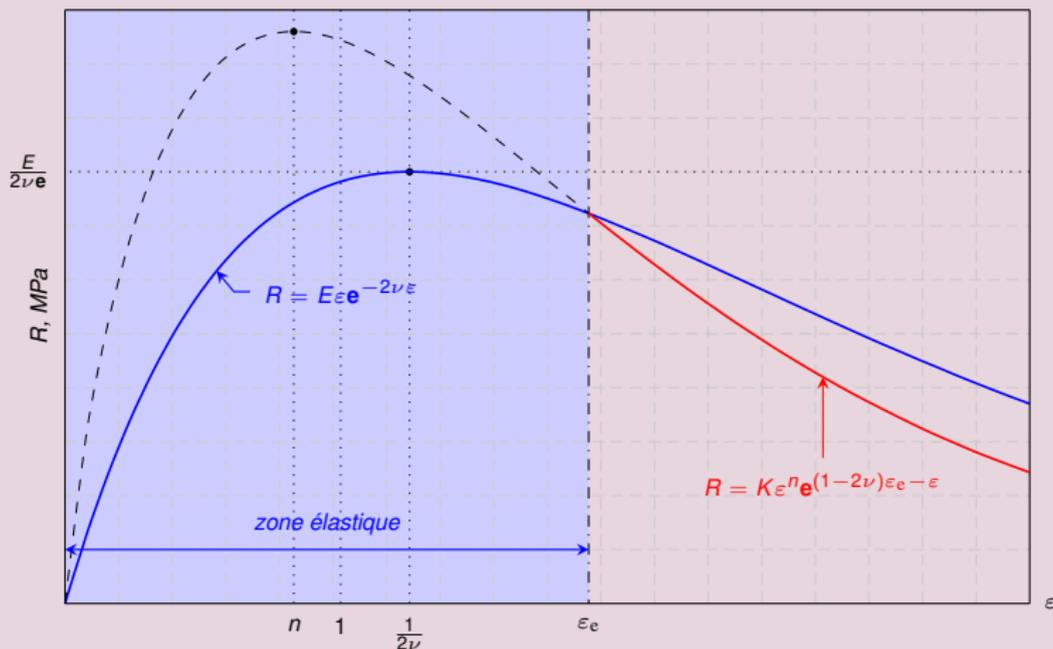


Comme on fait l'hypothèse du matériau très dur, le taux de déf. en limite élastique est à droite de  $\frac{1}{2\nu}$

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}$$

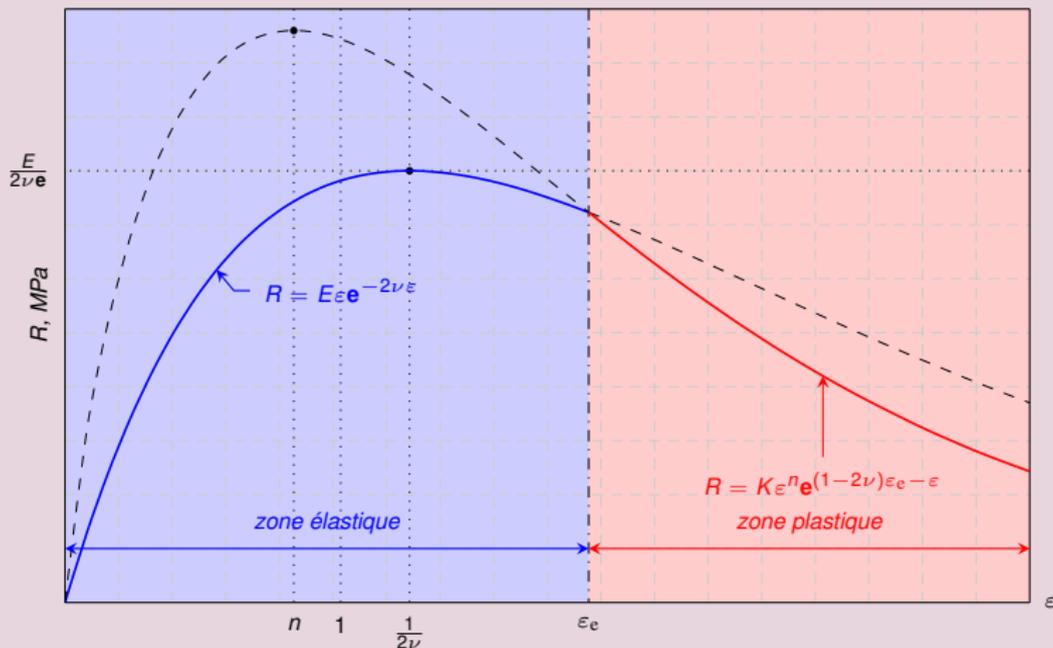


En deçà de  $\epsilon_e$  on est en élasticité et  $R$  est donné par la fonction bleue

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}$$

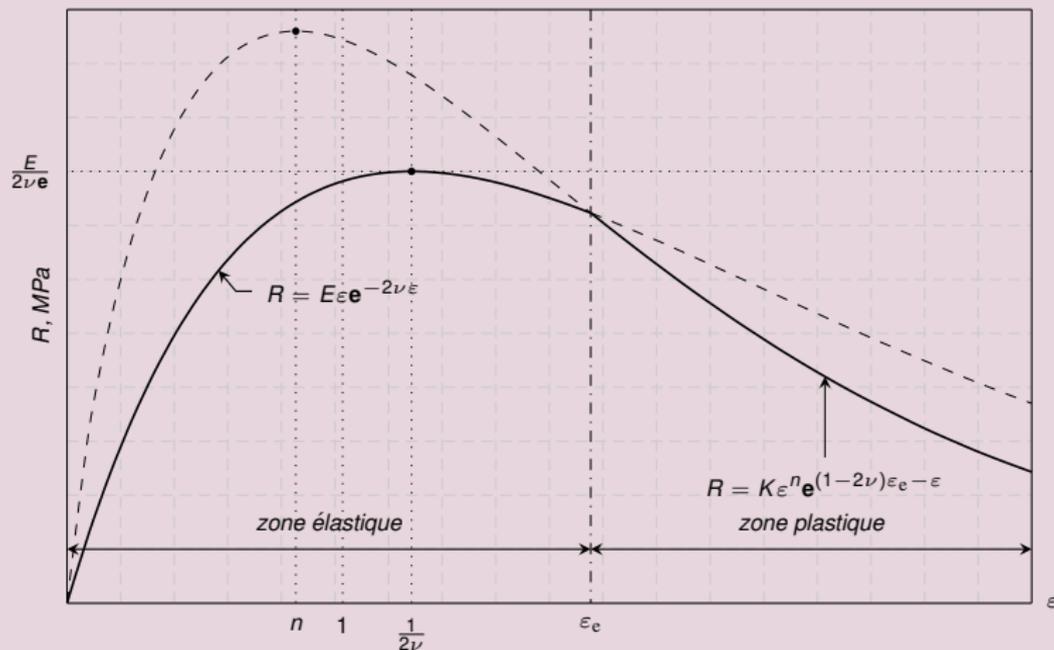


Au delà de  $\epsilon_e$  on est en plasticité et  $R$  est donné par la fonction rouge

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

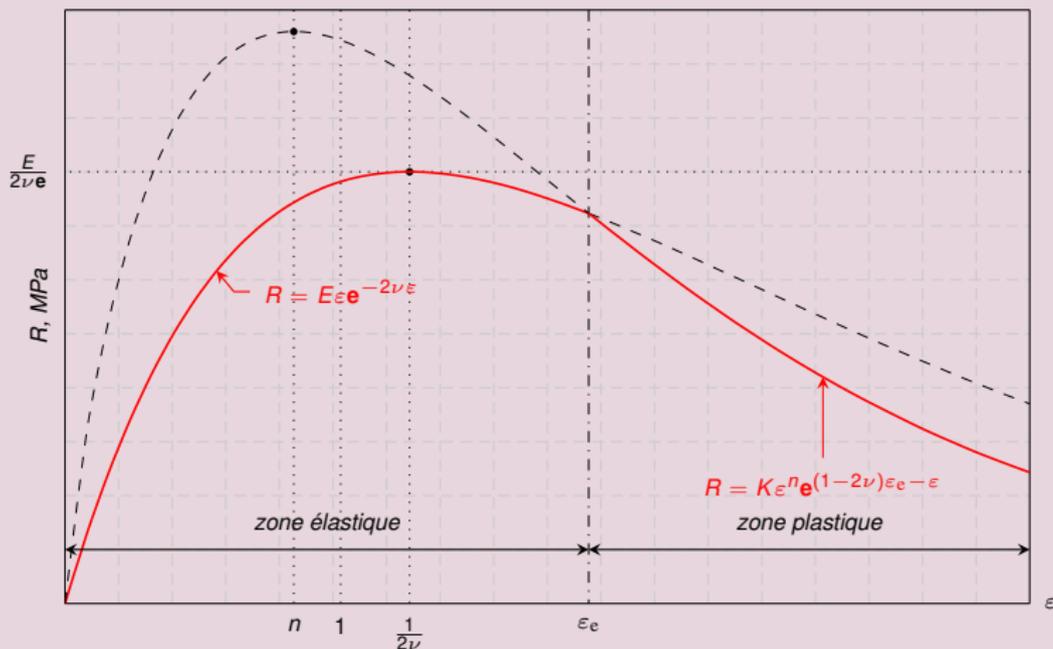
$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}$$



# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

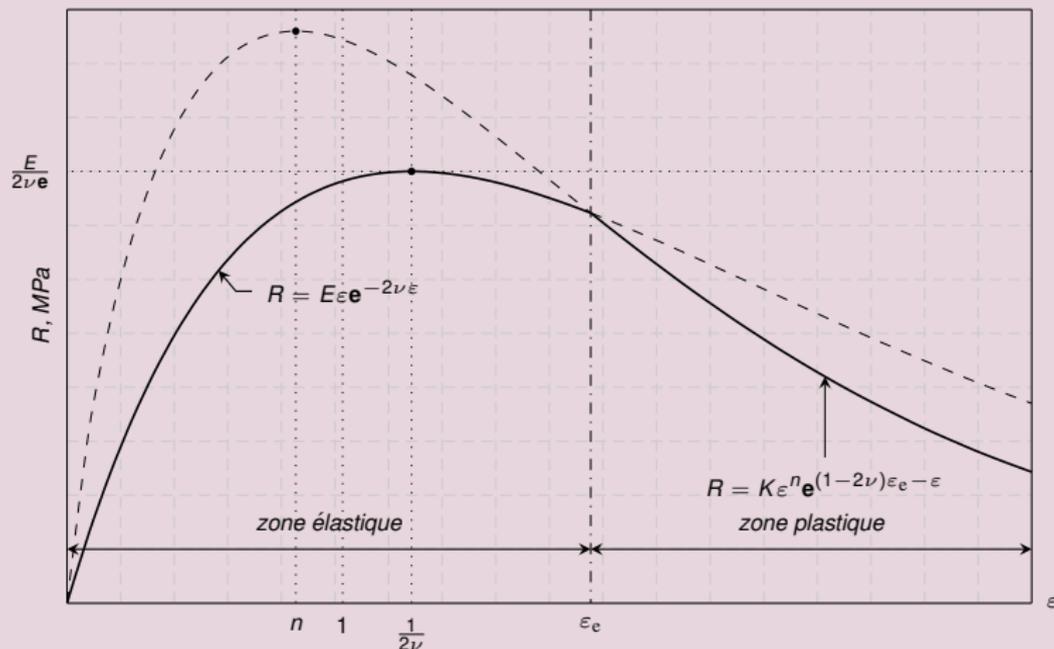


La courbe de traction de notre matériau est donc la courbe présentée ici en rouge !

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

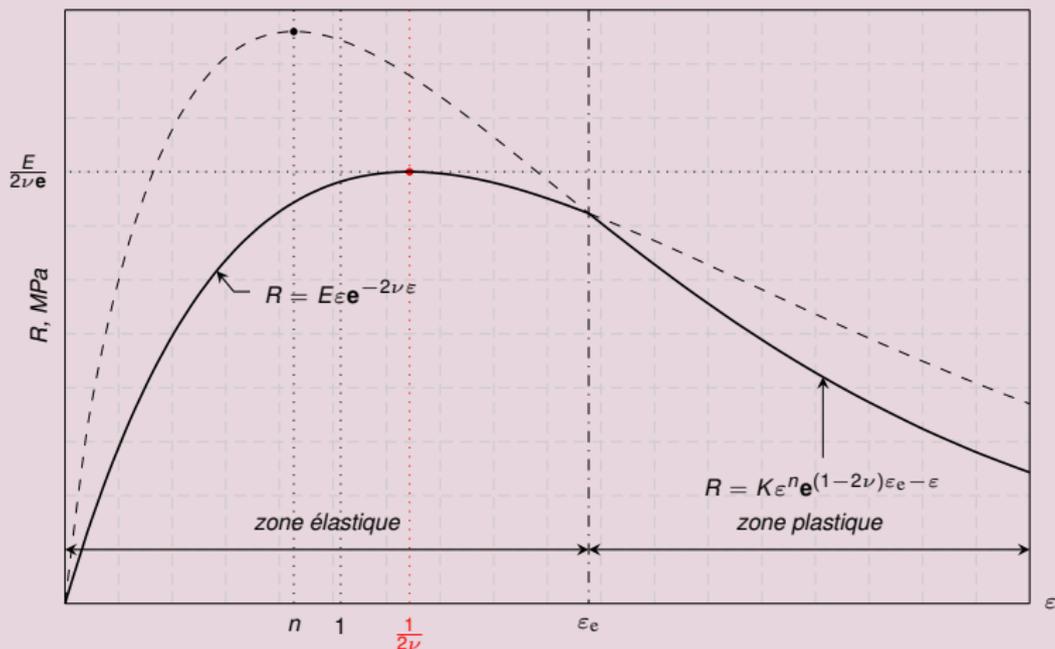
$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}$$



# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

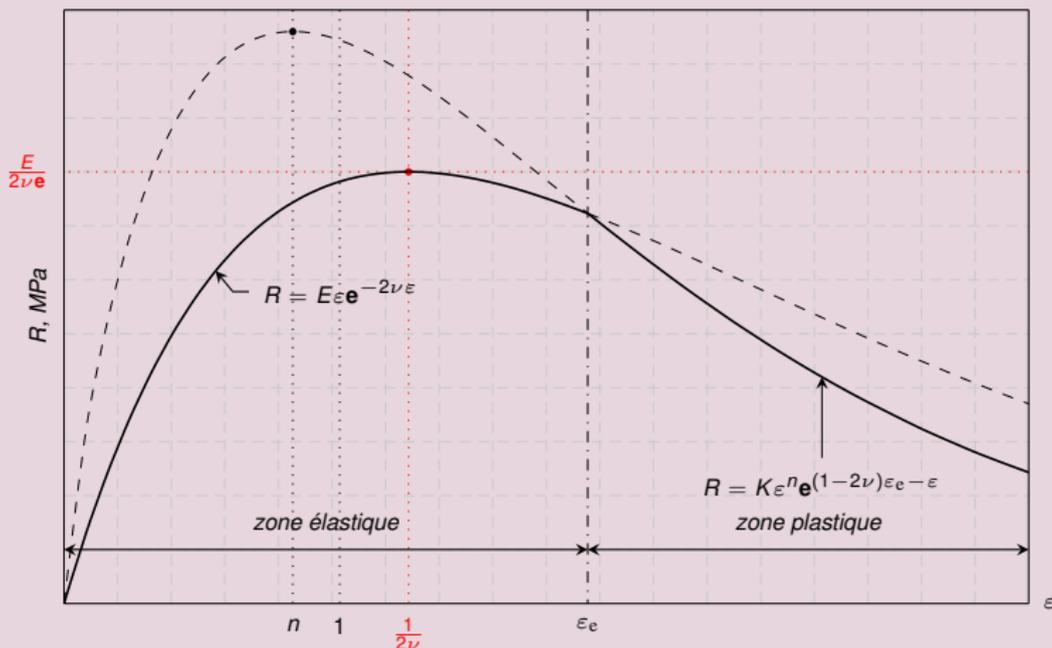


Son maximum se localise au dessus de  $\frac{1}{2\nu}$  et correspond à la valeur de  $R_m$

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

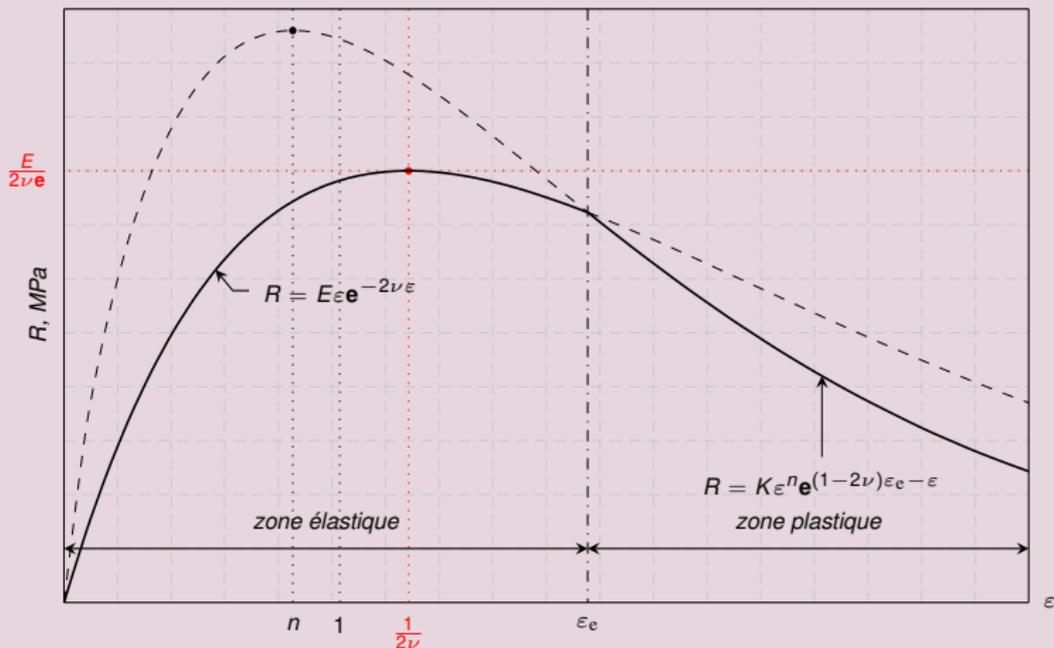


Son maximum se localise au dessus de  $\frac{1}{2\nu}$  et correspond à la valeur que  $\frac{E}{2\nu e}$  !

# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

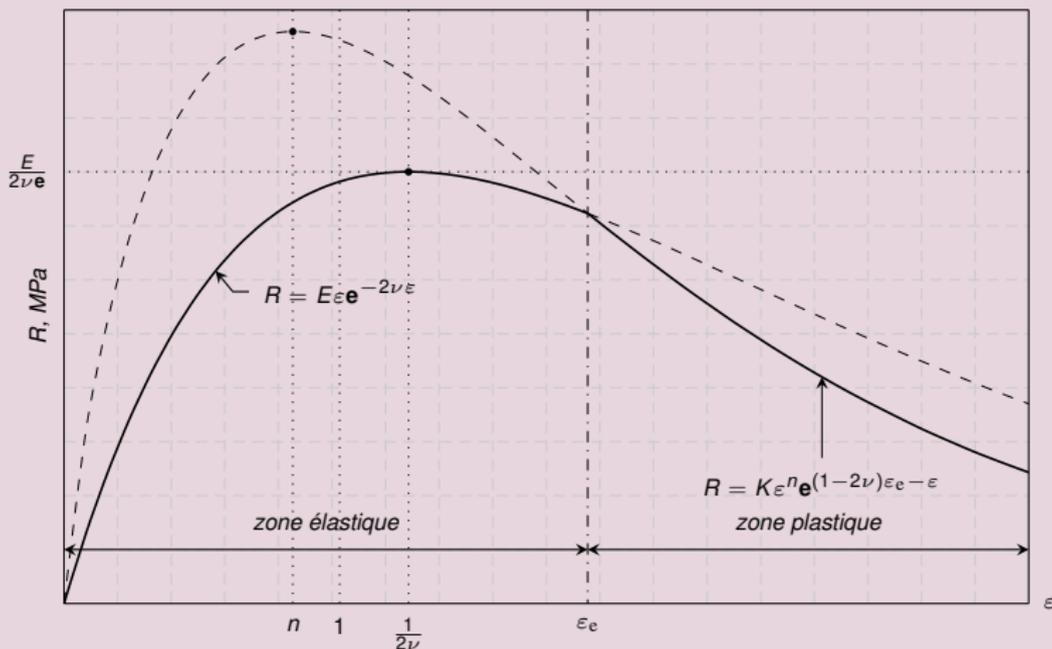
$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$



# Courbe de traction pour un mat. dur

- Si  $\epsilon_e > \frac{1}{2\nu}$ , la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

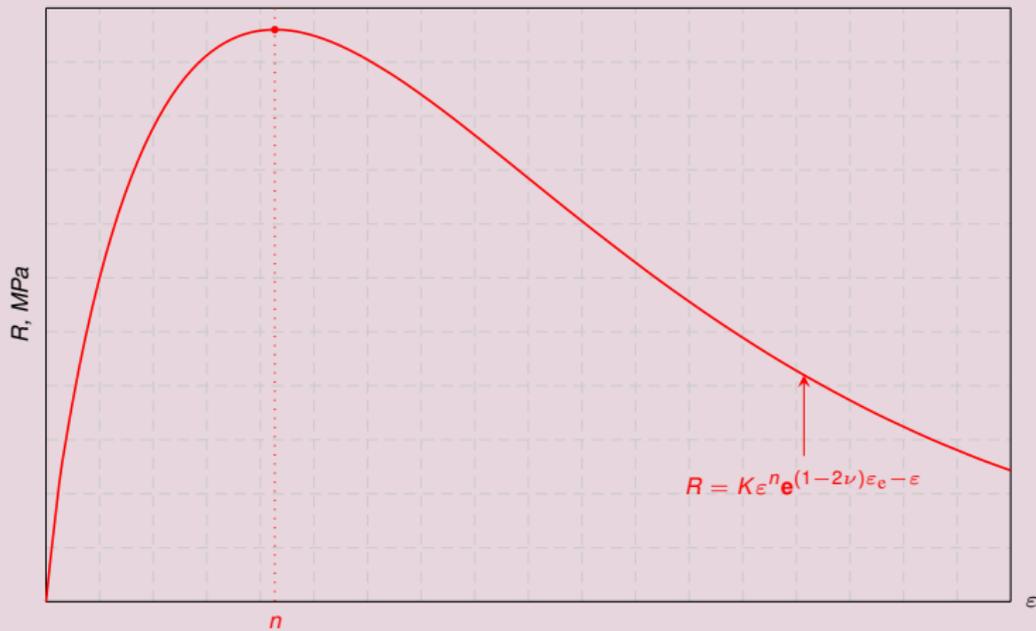


La situation va changer si  $\epsilon_e$  passe en dessous de  $\frac{1}{2\nu}$  mais reste  $> n$ .

# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$

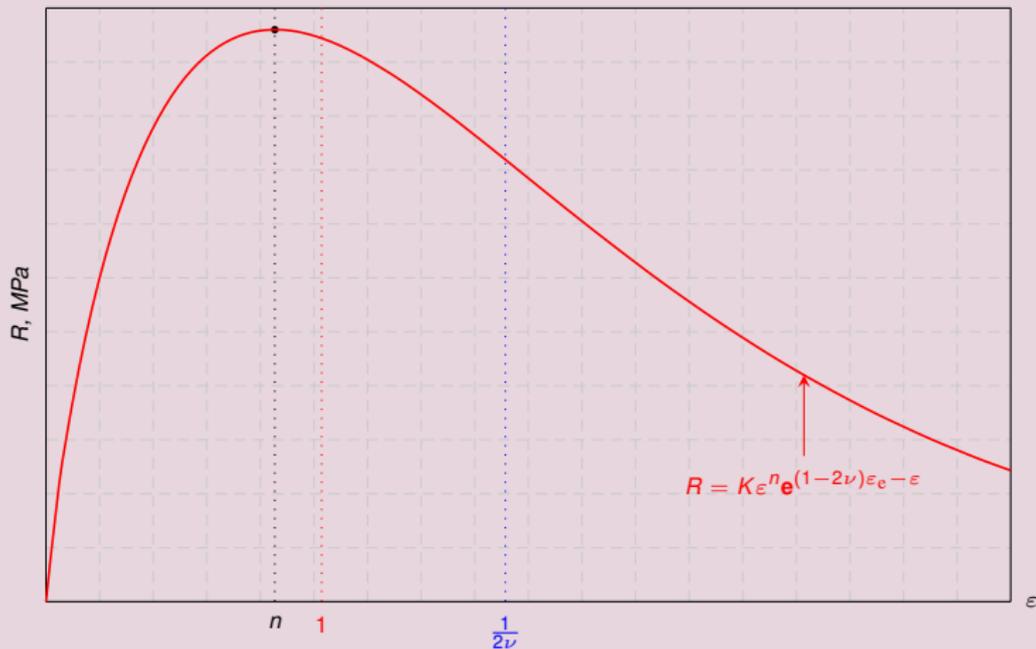


Revoici le graphe de la fonction  $\varepsilon \rightarrow K\varepsilon^n e^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ , qui représente  $R$  en zone plastique avec  $n$  en abscisse

# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$

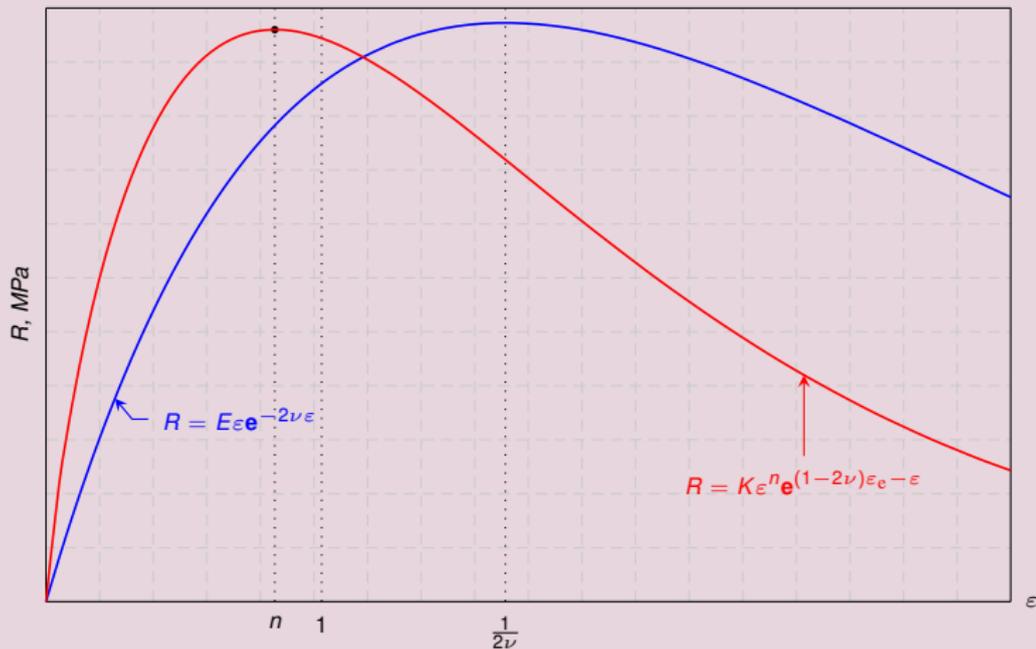


Comme tout à l'heure plaçons 1 et  $\frac{1}{2\nu}$  en tenant compte que  $\frac{1}{2\nu} > 1 > n$ .

# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$

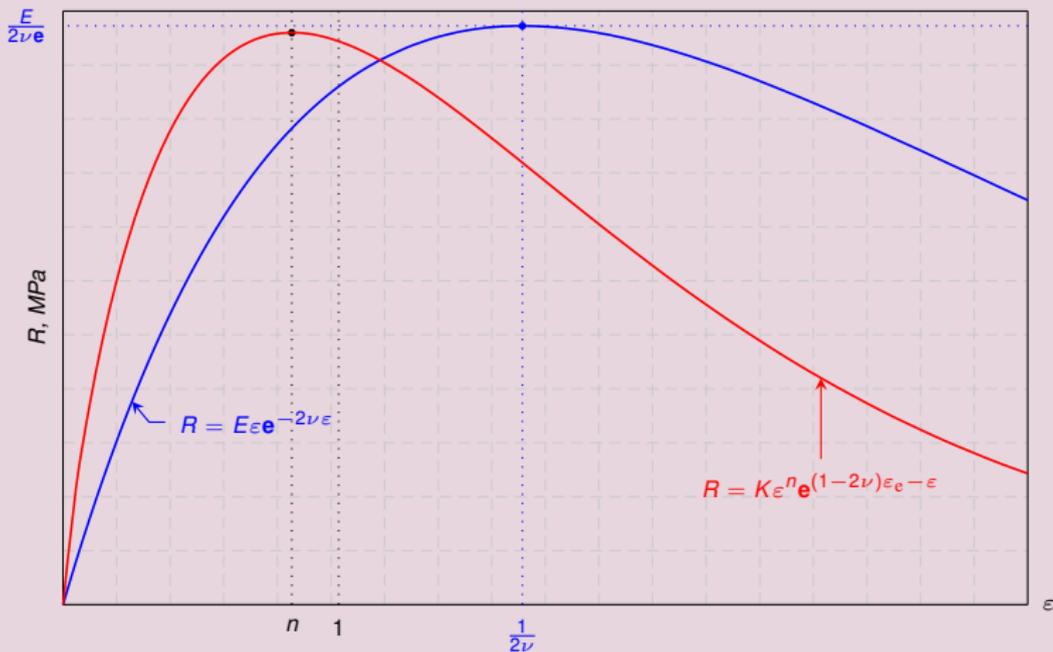


Puis plaçons le graphe de la fonction  $\varepsilon \rightarrow E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}$ , qui représente  $R$  en zone élastique

# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \text{ et } R_m = R_e.$$

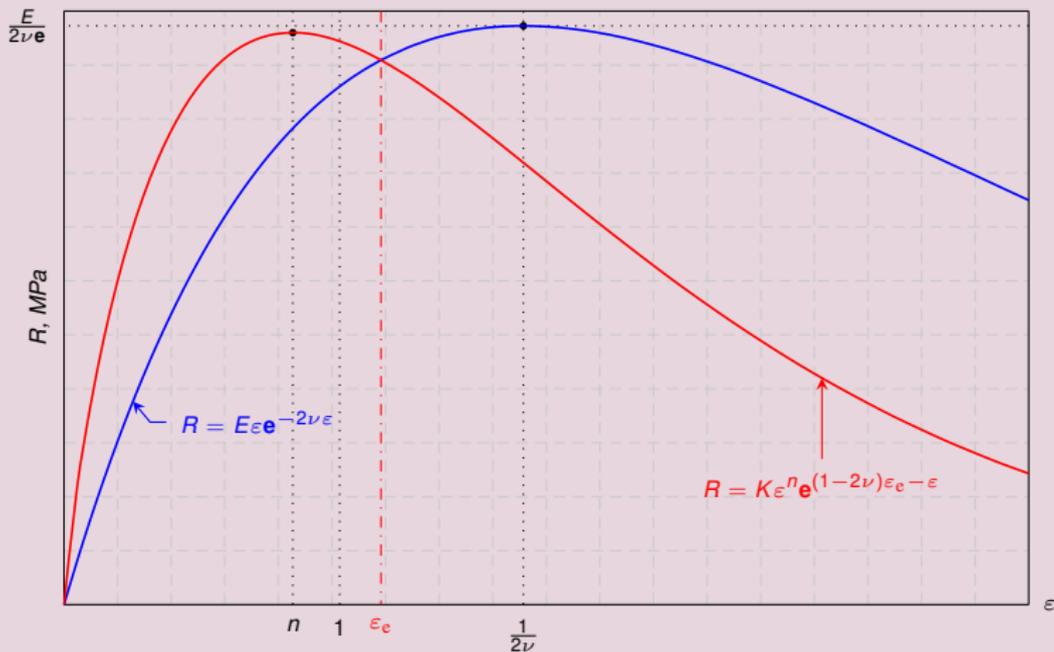


Rappelons que cette fonction  $\varepsilon \rightarrow E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}$  réalise son maximum  $\frac{E}{2\nu e}$  en  $\varepsilon = \frac{1}{2\nu}$  !

# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \text{ et } R_m = R_e.$$

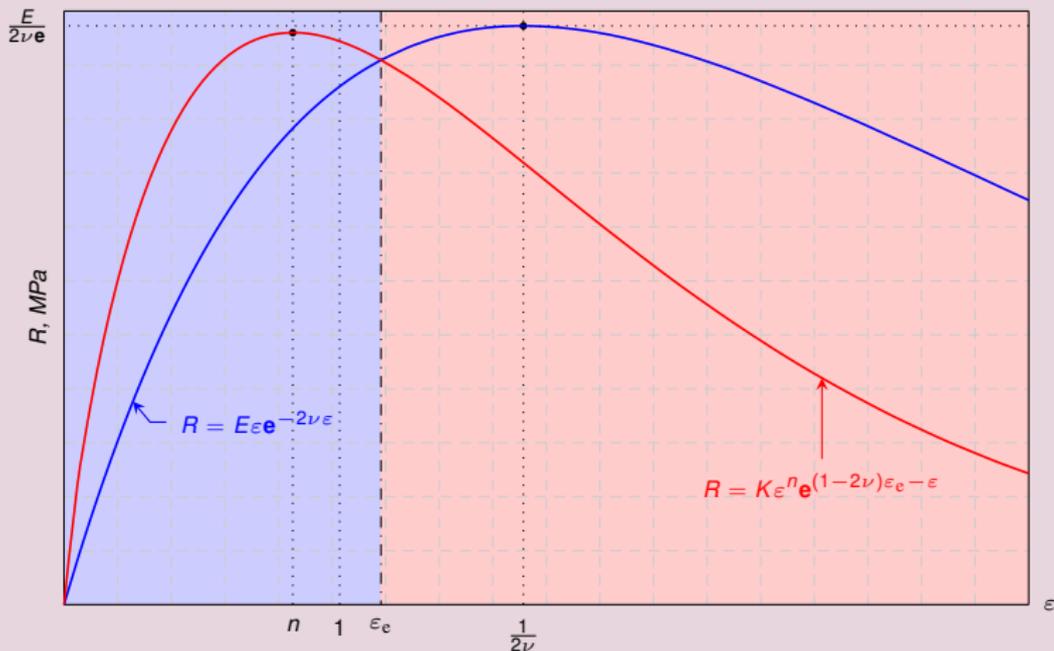


Plaçons maintenant  $\varepsilon_e$  sur l'axe horizontal

# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$

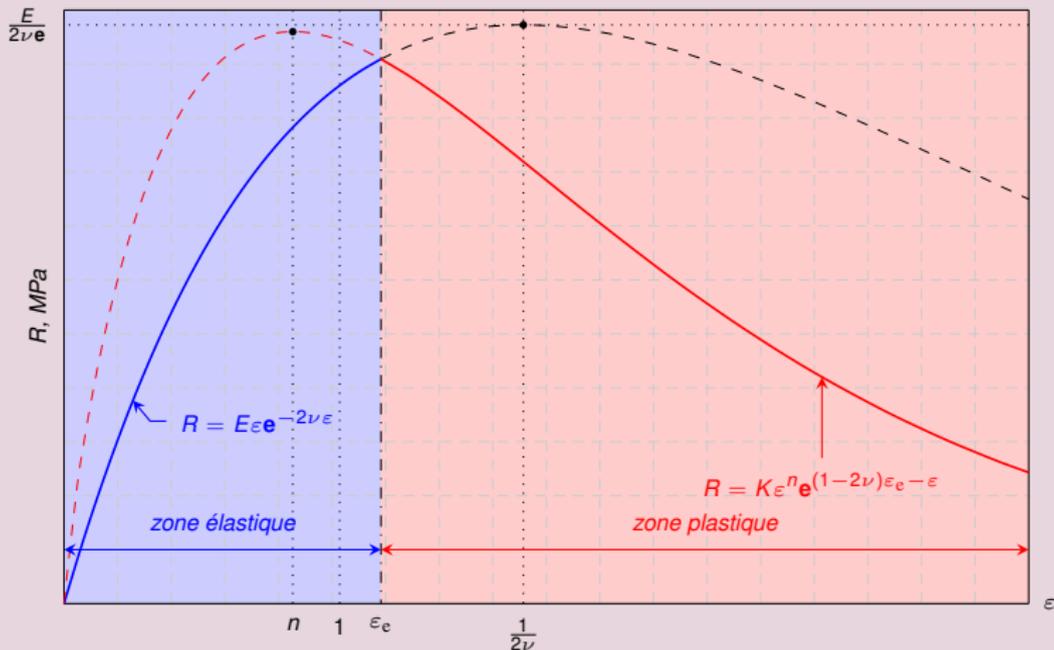


Construisons alors la fonction de traction en tenant compte des régimes élastiques et plastiques

# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$

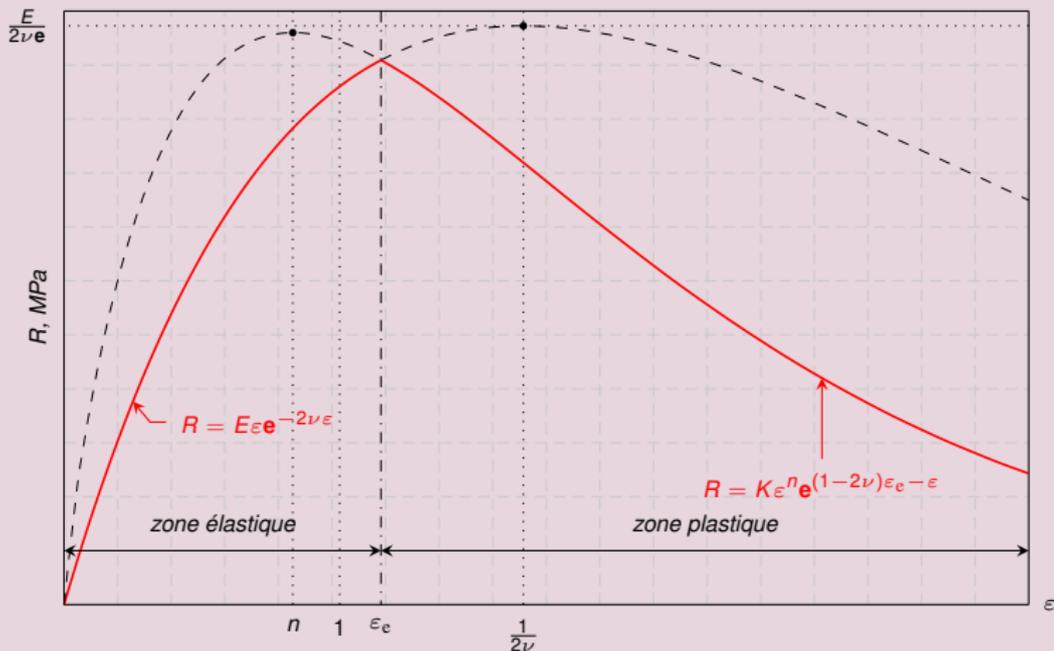


Construisons alors la fonction de traction en tenant compte des régimes élastiques et plastiques

# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \text{ et } R_m = R_e.$$

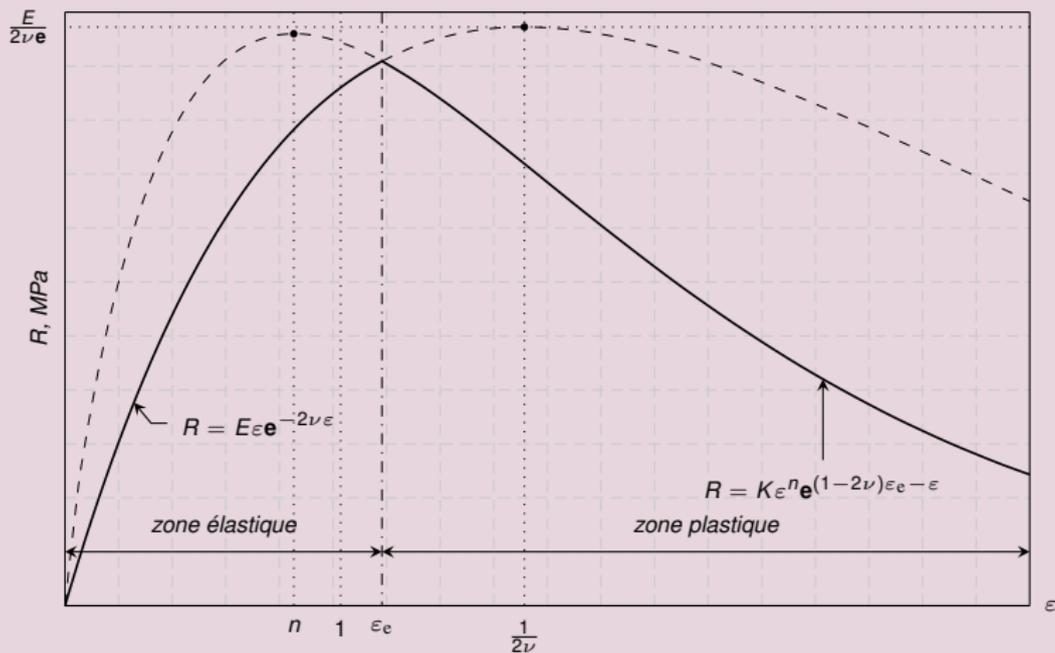


La courbe de traction de notre matériau est donc la courbe présentée ici en rouge !

# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

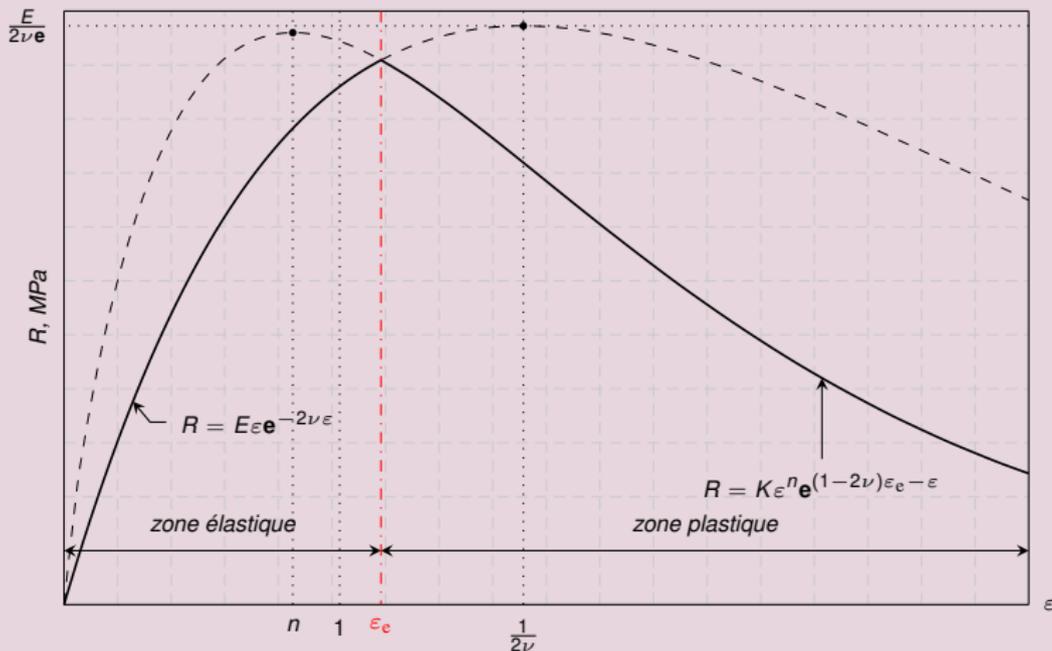
$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$



# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$

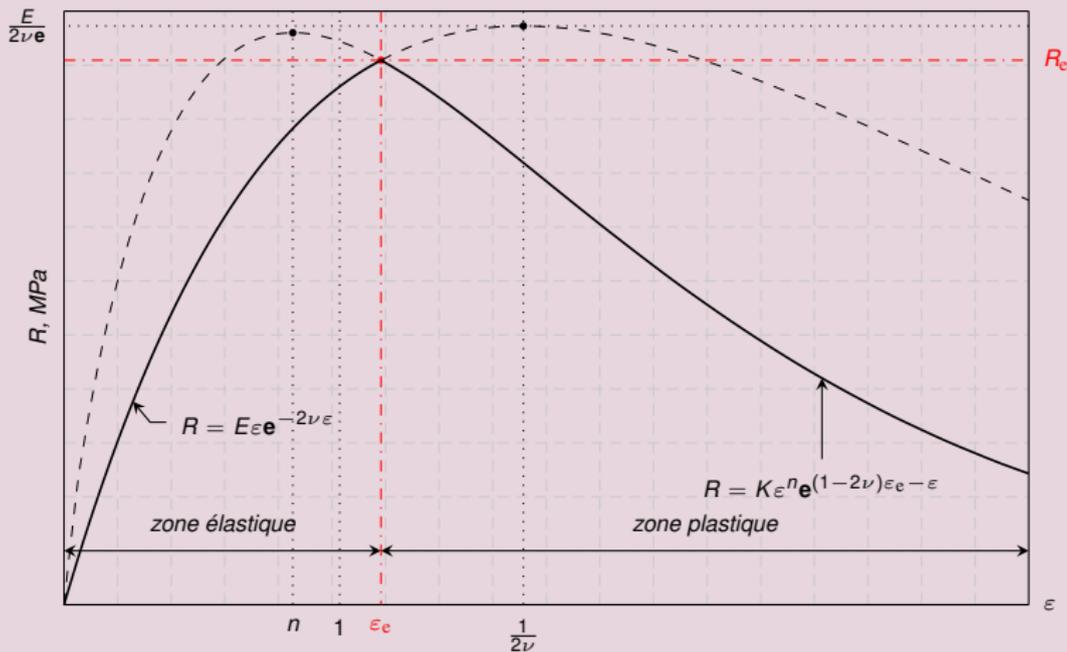


On observe que son maximum se localise au dessus de  $\varepsilon_e$  et correspond à la limite plastique  $R_m$ .

# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

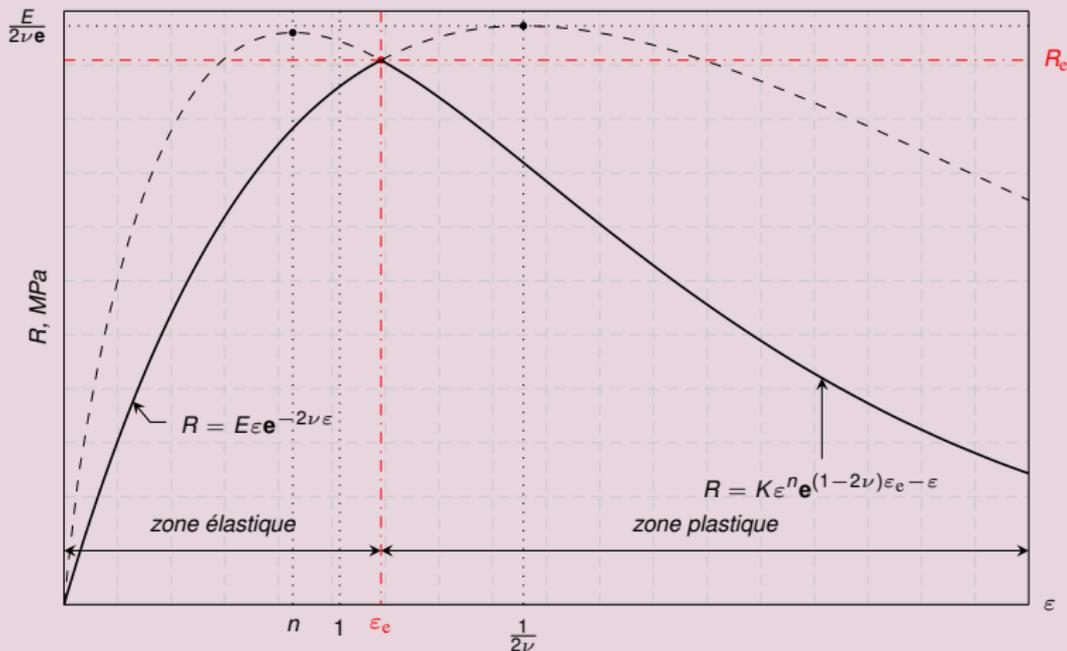
$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$



# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

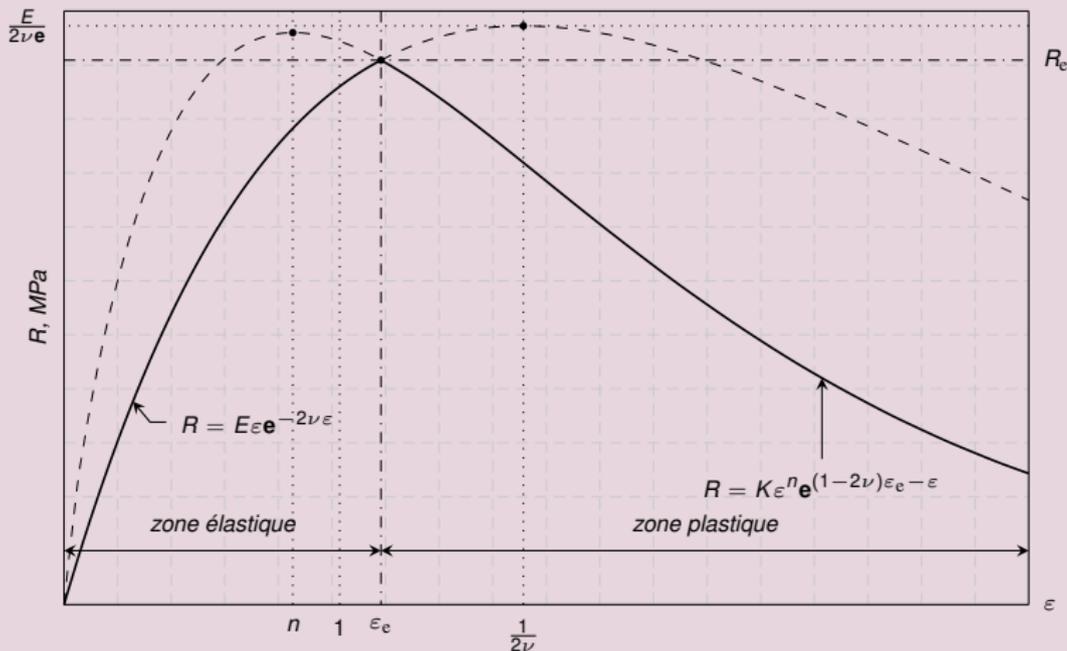
$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$



# Courbe de traction pour un mat. dur (suite)

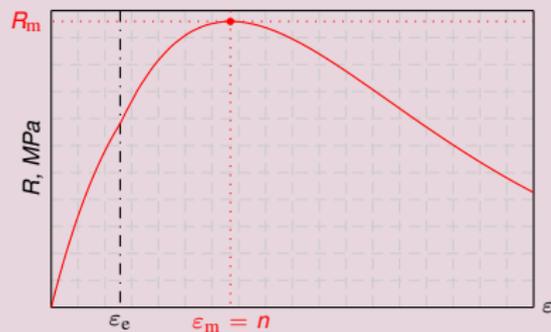
- Lorsque  $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$  mais  $\varepsilon_e > n$ , la résistance est atteinte en limite élastique :

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$



On peut résumer les différents types de courbe de traction possibles dans le contexte Ludwik-Considère

# Courbes de traction typiques (Ludwik-Considère)



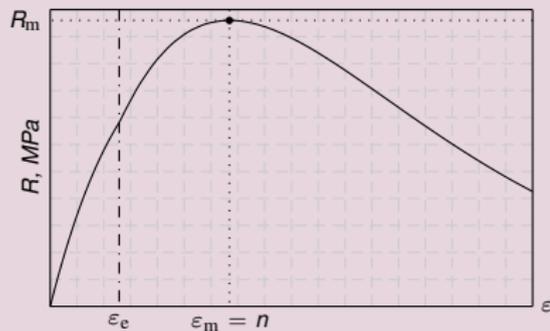
cas général (matériau formable)

matériau fragile

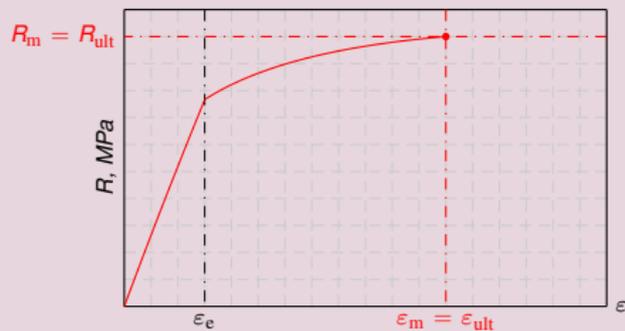
matériau (extra-)dur

matériau dur

# Courbes de traction typiques (Ludwik-Considère)



*cas général (matériau formable)*

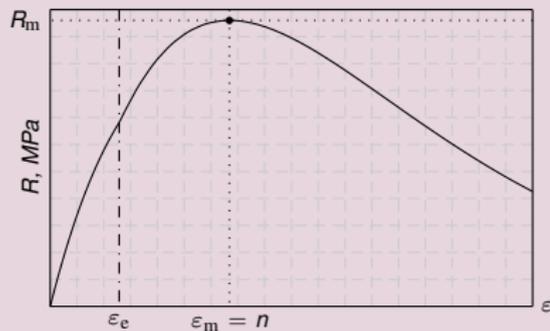


*matériau fragile*

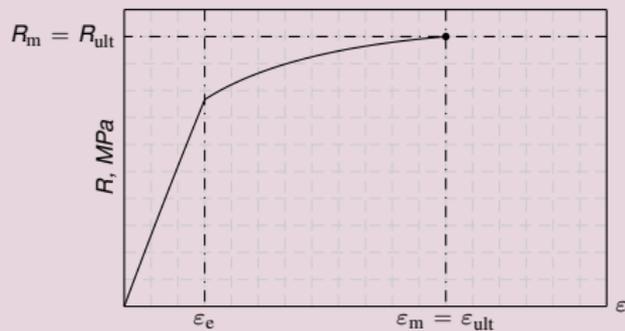
*matériau (extra-)dur*

*matériau dur*

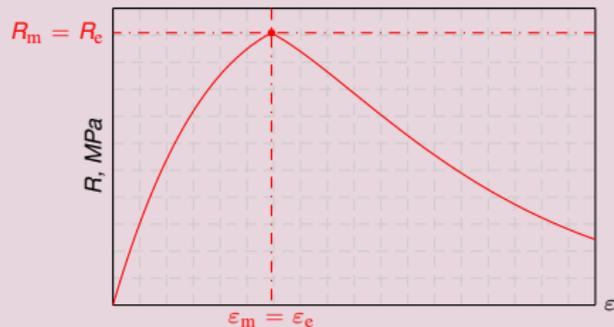
# Courbes de traction typiques (Ludwik-Considère)



*cas général (matériau formable)*



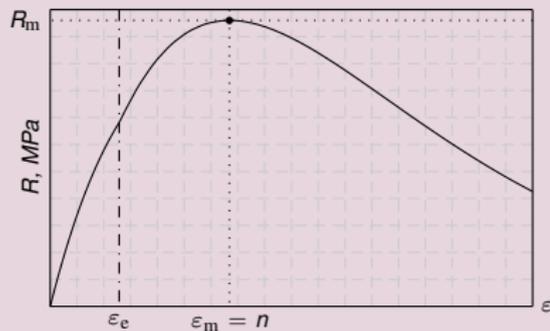
*matériau fragile*



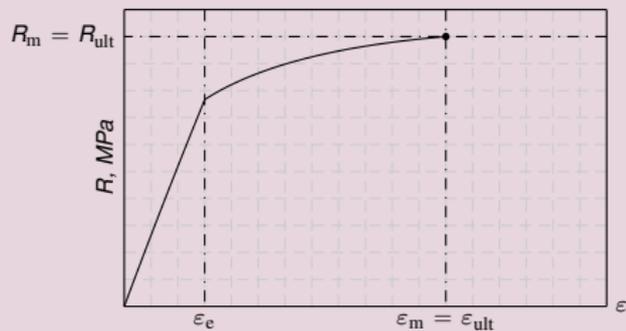
*matériau (extra-)dur*

*matériau dur*

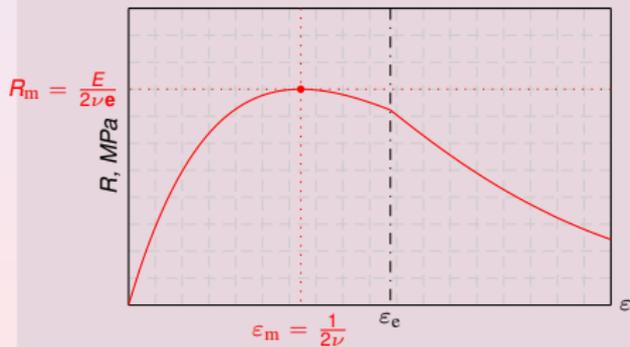
# Courbes de traction typiques (Ludwik-Considère)



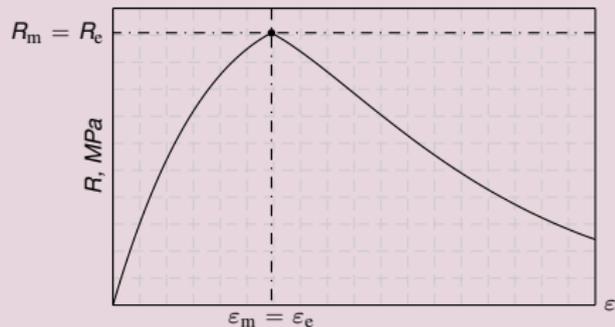
*cas général (matériau formable)*



*matériau fragile*

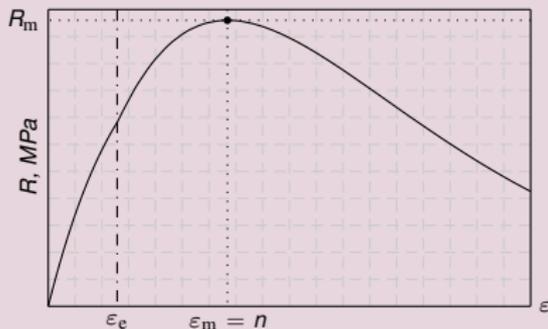


*matériau (extra-)dur*

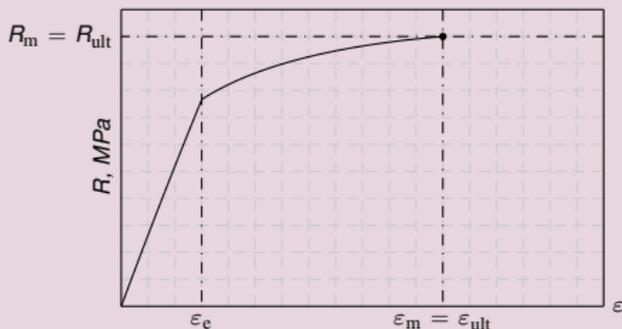


*matériau dur*

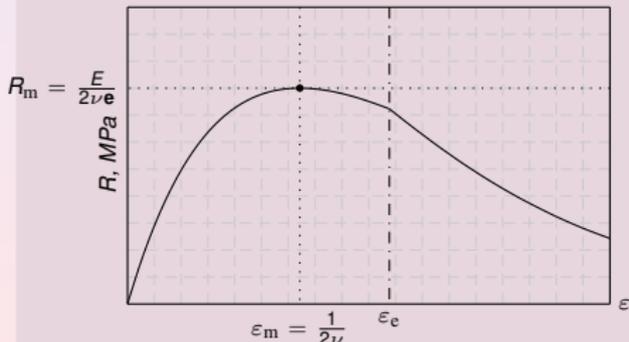
# Courbes de traction typiques (Ludwik-Considère)



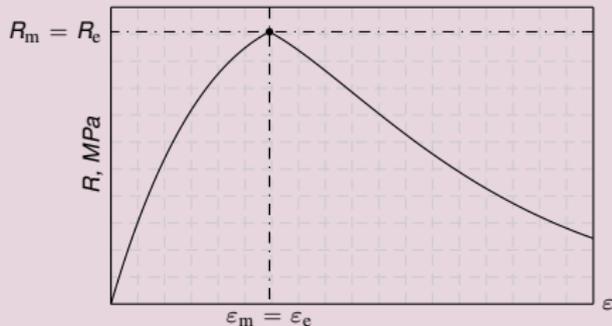
cas général (matériau formable)



matériau fragile



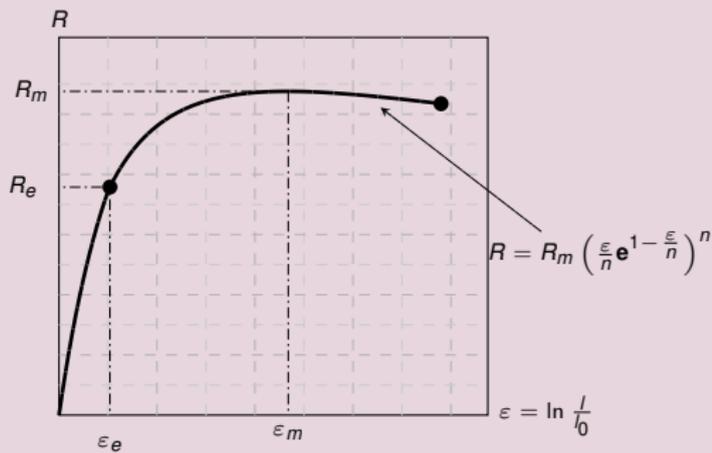
matériau (extra-)dur



matériau dur

# Inversion de la fonction de traction

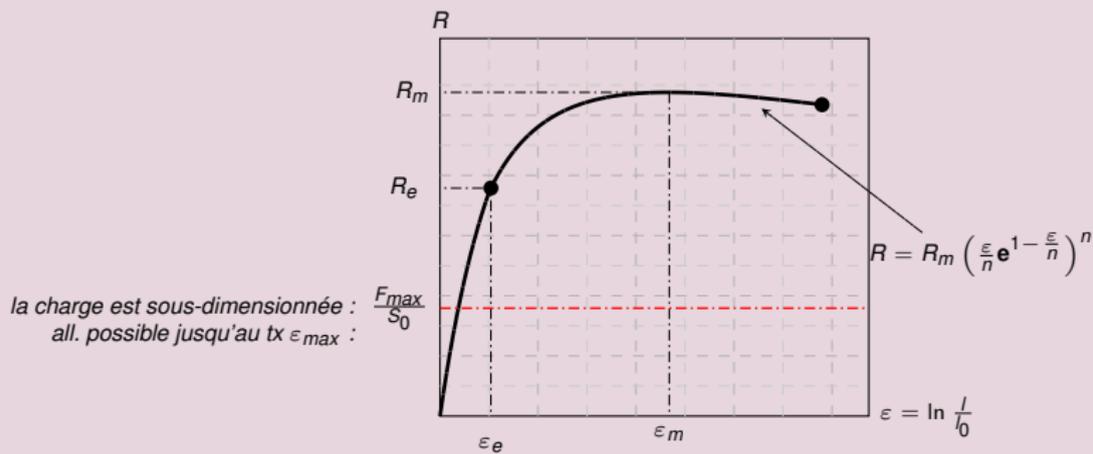
Illustration des trois situations possibles (sous l'hypo. de Considère)



• Le taux de déf. atteignable  $\epsilon_{max}$  avec une charge adaptée  $F_{max}$  satisfait :

# Inversion de la fonction de traction

## Illustration des trois situations possibles (sous l'hypo. de Considère)

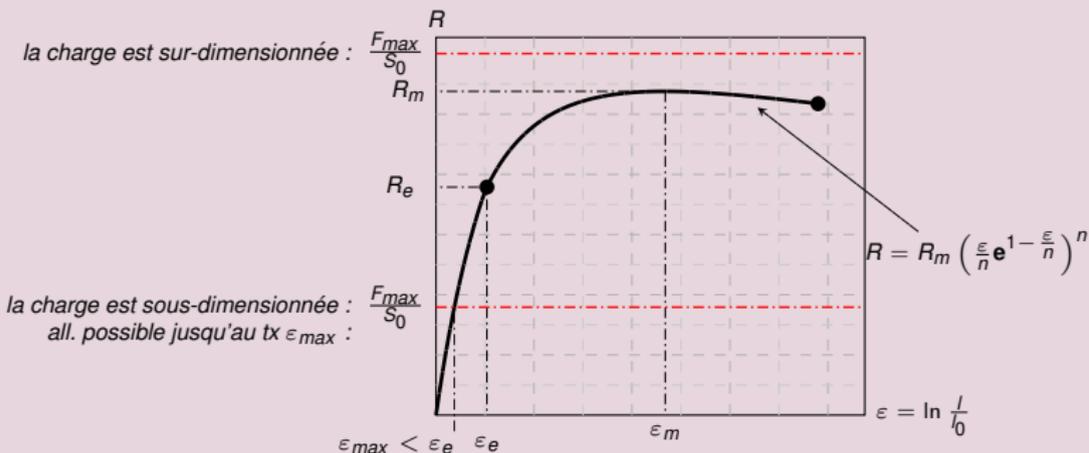


• Le taux de déf. atteignable  $\epsilon_{max}$  avec une charge adaptée  $F_{max}$  satisfait :



# Inversion de la fonction de traction

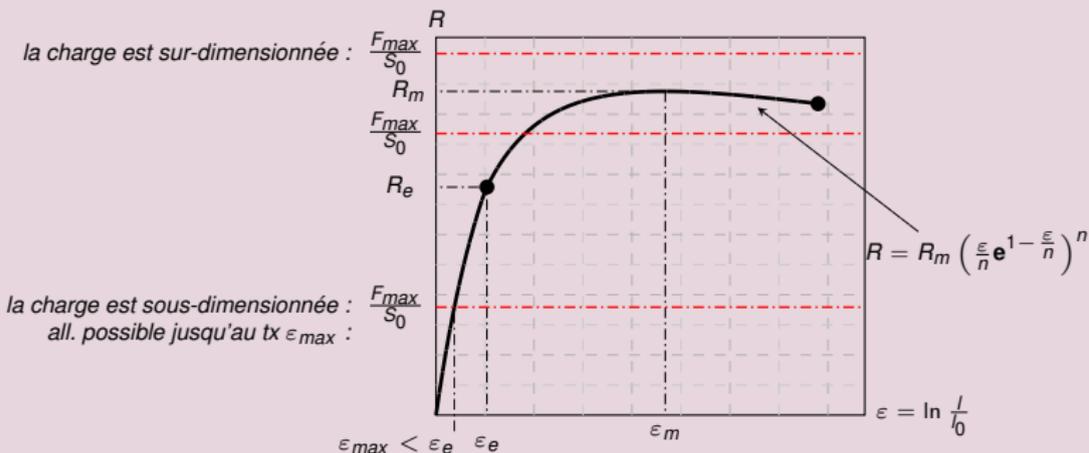
## Illustration des trois situations possibles (sous l'hypo. de Considère)



• Le taux de déf. atteignable  $\epsilon_{max}$  avec une charge adaptée  $F_{max}$  satisfait :

# Inversion de la fonction de traction

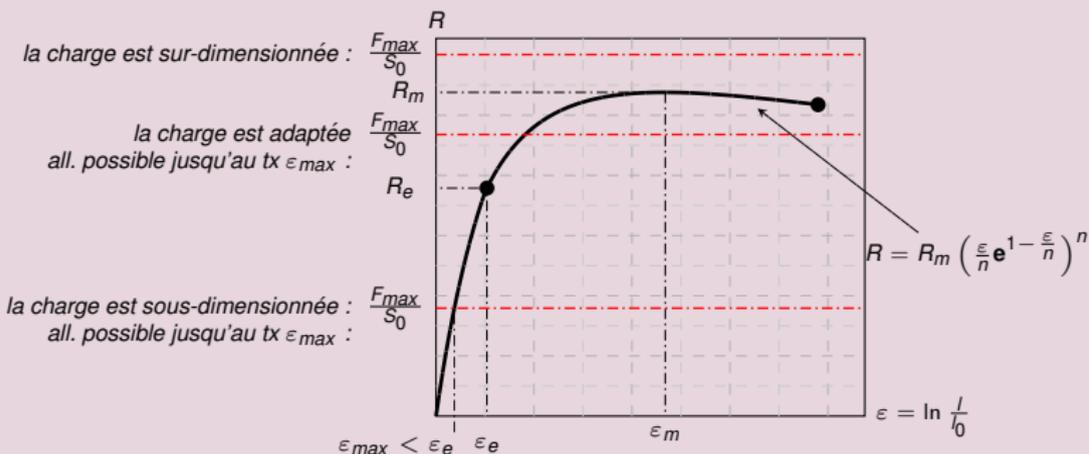
## Illustration des trois situations possibles (sous l'hypo. de Considère)



• Le taux de déf. atteignable  $\epsilon_{max}$  avec une charge adaptée  $F_{max}$  satisfait :

# Inversion de la fonction de traction

## Illustration des trois situations possibles (sous l'hypo. de Considère)

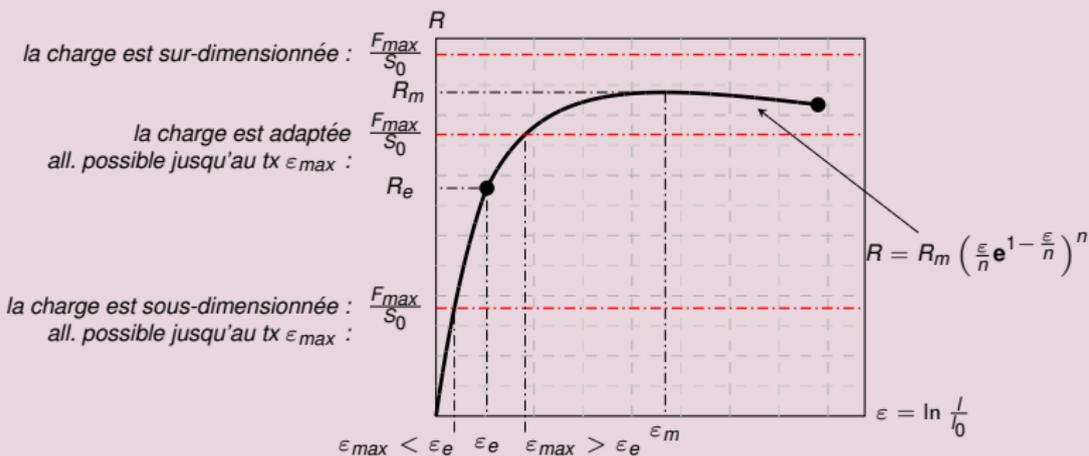


- Le taux de déf. atteignable  $\epsilon_{max}$  avec une charge adaptée  $F_{max}$  satisfait :

$$\frac{F_{max}}{S_0} = R_m \left( \frac{\epsilon_{max}}{n} e^{1 - \frac{\epsilon_{max}}{n}} \right)^n$$

# Inversion de la fonction de traction

## Illustration des trois situations possibles (sous l'hypo. de Considère)

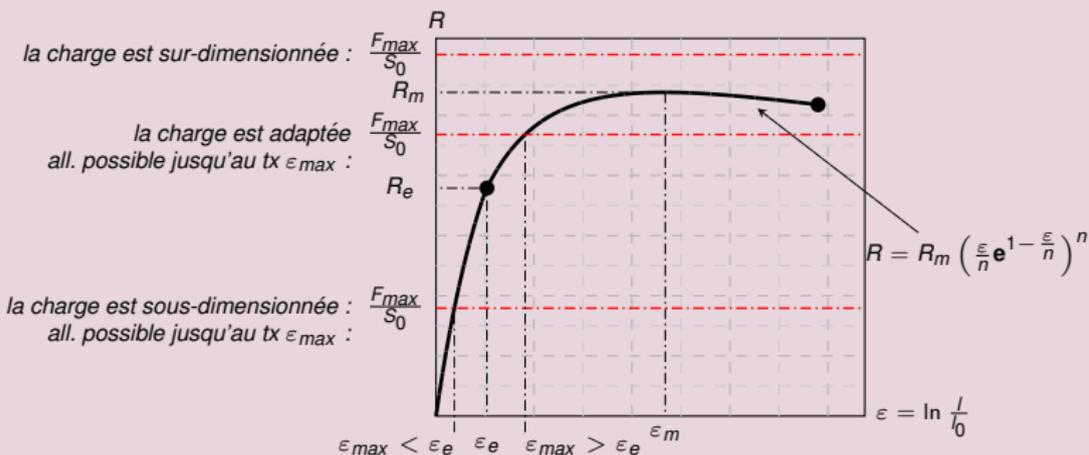


- Le taux de déf. atteignable  $\epsilon_{max}$  avec une charge adaptée  $F_{max}$  satisfait :

$$\frac{F_{max}}{S_0} = R_m \left( \frac{\epsilon_{max}}{n} e^{1 - \frac{\epsilon_{max}}{n}} \right)^n$$

# Inversion de la fonction de traction

## Illustration des trois situations possibles (sous l'hypo. de Considère)

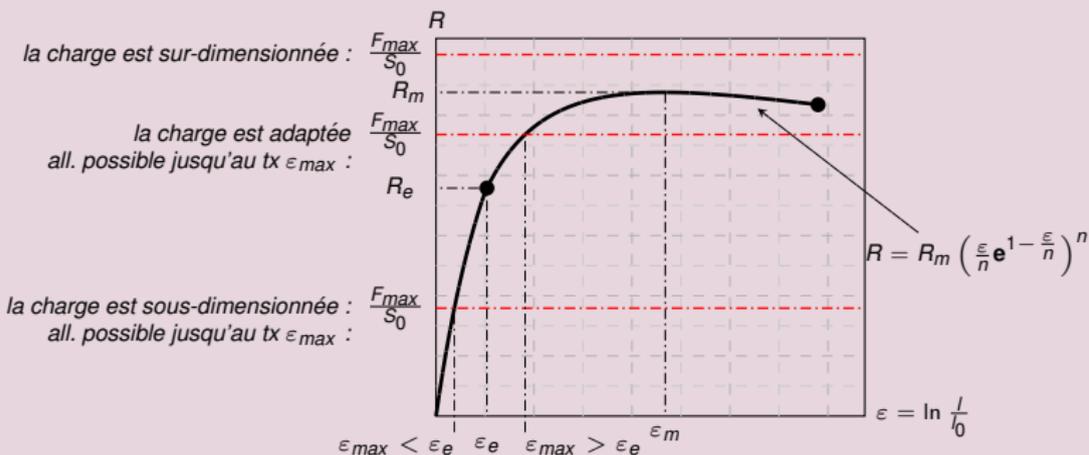


- Le taux de déf. atteignable  $\epsilon_{max}$  avec une charge adaptée  $F_{max}$  satisfait :

$$\frac{F_{max}}{S_0} = R_m \left( \frac{\epsilon_{max}}{n} e^{1 - \frac{\epsilon_{max}}{n}} \right)^n . \quad (\text{Equation de la déformation maximale})$$

# Inversion de la fonction de traction

## Illustration des trois situations possibles (sous l'hypo. de Considère)

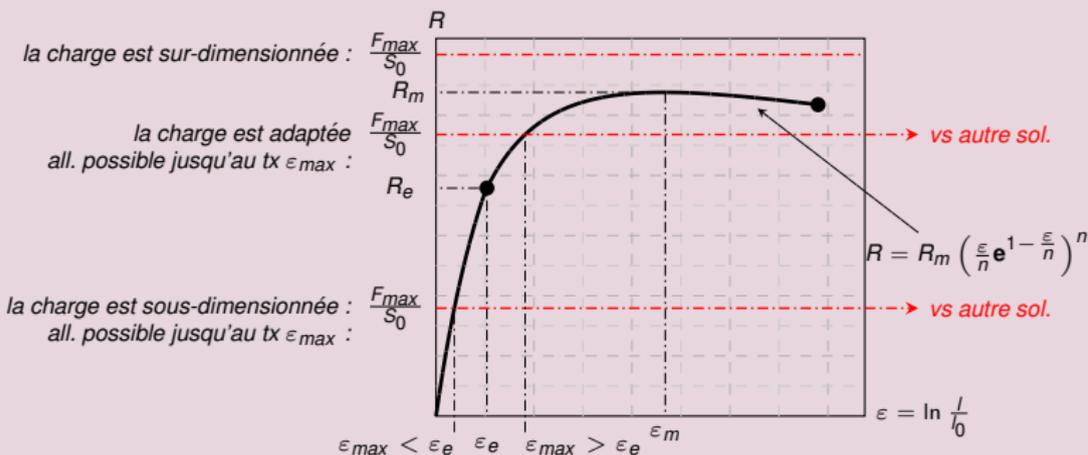


- Le taux de déf. atteignable  $\epsilon_{max}$  avec une charge adaptée  $F_{max}$  satisfait :

$$\frac{F_{max}}{S_0} = R_m \left( \frac{\epsilon_{max}}{n} e^{1 - \frac{\epsilon_{max}}{n}} \right)^n . \quad \text{(Equation de la déformation maximale)}$$

# Inversion de la fonction de traction

## Illustration des trois situations possibles (sous l'hypo. de Considère)



- Le taux de déf. atteignable  $\epsilon_{max}$  avec une charge adaptée  $F_{max}$  satisfait :

$$\frac{F_{max}}{S_0} = R_m \left( \frac{\epsilon_{max}}{n} e^{1 - \frac{\epsilon_{max}}{n}} \right)^n . \quad \text{(Equation de la déformation maximale)}$$



# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

STO	*	exp	RCL											
-----	---	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

STO	*	exp	RCL											
-----	---	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

STO	*	exp	RCL										
-----	---	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} n \sqrt{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO	*	exp	RCL											
-----	---	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} n \sqrt{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 7 3 3 0 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 7 3 3 0 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 7 3 3 0 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 1. 0 4 8 4 6 8 2

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO	*	exp	RCL	1.	0	4	8	4	6	8	2
-----	---	-----	-----	----	---	---	---	---	---	---	---

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 6 2 4 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 6 2 4 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 6 2 4 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} n \sqrt{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 3 8 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 3 8 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} n \sqrt{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 3 8 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 0

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 0

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 0

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 2

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 2

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 2

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} n \sqrt{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} n \sqrt{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} n \sqrt{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} n \sqrt{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 3

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 3 →  $\bar{x}$

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} n \sqrt{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 3  $\longrightarrow \bar{x}$

$$\downarrow \varepsilon = n\bar{x}$$

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} n \sqrt{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO	*	exp	RCL	0.	0	4	9	7	4	4	3
-----	---	-----	-----	----	---	---	---	---	---	---	---

 $\longrightarrow \bar{x}$

$$\downarrow \varepsilon = n\bar{x}$$

$$\varepsilon = 0.0099488$$

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} n \sqrt{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 3 →  $\bar{x}$

$$\downarrow \varepsilon = n\bar{x}$$

$$\varepsilon = 0.0099488$$

# Calcul des taux de déformation, cas plastique

## Problème

- On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.
  - Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section  $S_0 = 150.0 \text{ mm}^2$  soumise à une force de traction de  $F = 90 \text{ kN}$ .

<i>limite élastique</i>	<i>résistance</i>	<i>coeff. Poisson</i>	<i>coeff. écr.</i>
$R_e = 450 \text{ MPa}$	$R_m = 904.2 \text{ MPa}$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

**Tab. 1** Données relatives au matériau

$$\frac{F}{S_0} = 600.0 \text{ MPa} \geq R_e \text{ (cas plastique)}$$

$$\alpha = \frac{1}{e} n \sqrt{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO \* exp RCL 0. 0 4 9 7 4 4 3 →  $\bar{x}$

$$\downarrow \varepsilon = n\bar{x}$$

$$\varepsilon = 0.0099488$$

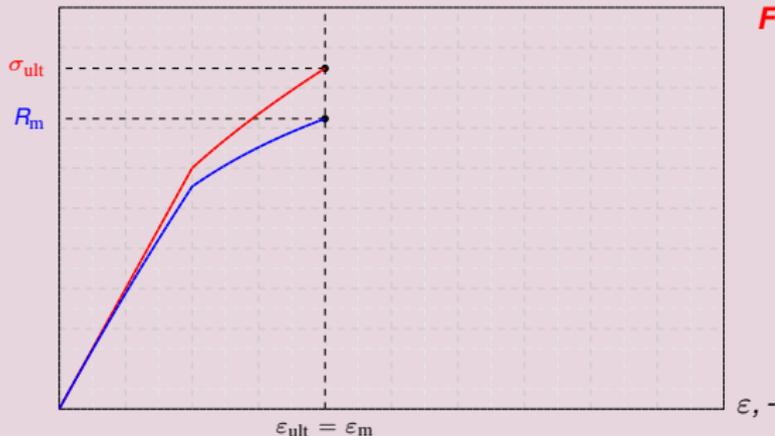
← retour

# Résistance et contrainte ultime

## Cas du matériau fragile

- Dans le cas d'un matériau fragile, la différence entre la résistance et la contrainte de traction ultime est moindre. On a généralement que  $R_m \simeq \sigma_{ult}$ .

$\sigma, R, Pa$



**Fig. courbes de traction, matériau fragile**

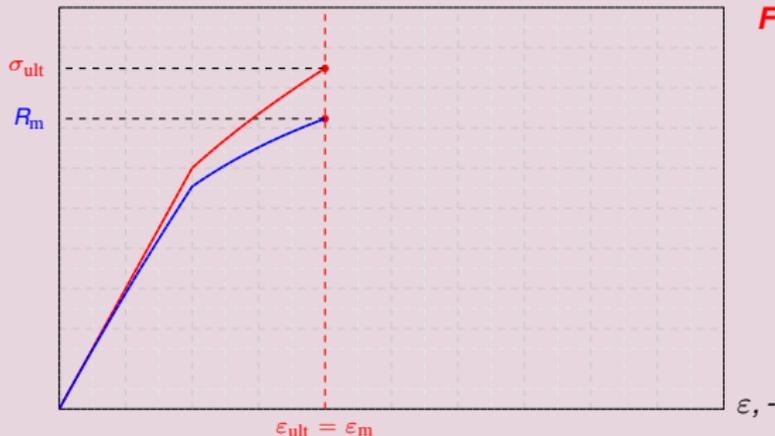
- N.B. Pour évaluer la tenue des matériaux sous charge externes, la valeur à utiliser pour la résistance ultime à la traction (UTS) est  $R_m$ .

# Résistance et contrainte ultime

## Cas du matériau fragile

- Dans le cas d'un matériau fragile, la différence entre la résistance et la contrainte de traction ultime est moindre. On a généralement que  $R_m \simeq \sigma_{ult}$ .

$\sigma, R, Pa$



**Fig. courbes de traction, matériau fragile**

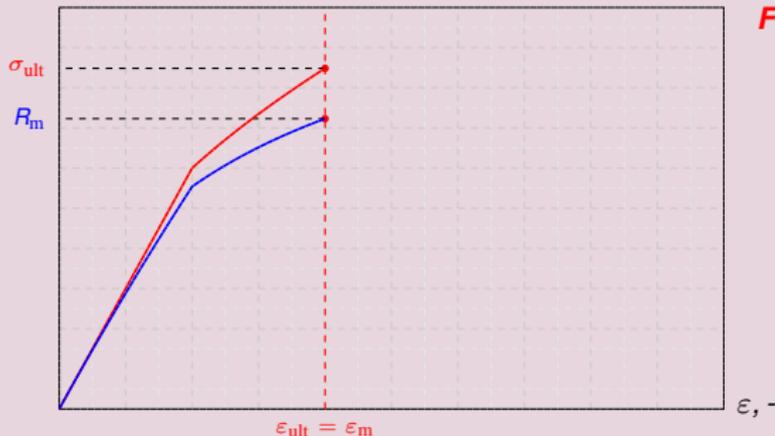
- **N.B.** Pour évaluer la tenue des matériaux sous charge externes, la valeur à utiliser pour la résistance ultime à la traction (UTS) est  $R_m$ ,

# Résistance et contrainte ultime

## Cas du matériau fragile

- Dans le cas d'un matériau fragile, la différence entre la résistance et la contrainte de traction ultime est moindre. On a généralement que  $R_m \simeq \sigma_{ult}$ .

$\sigma, R, Pa$



**Fig. courbes de traction, matériau fragile**

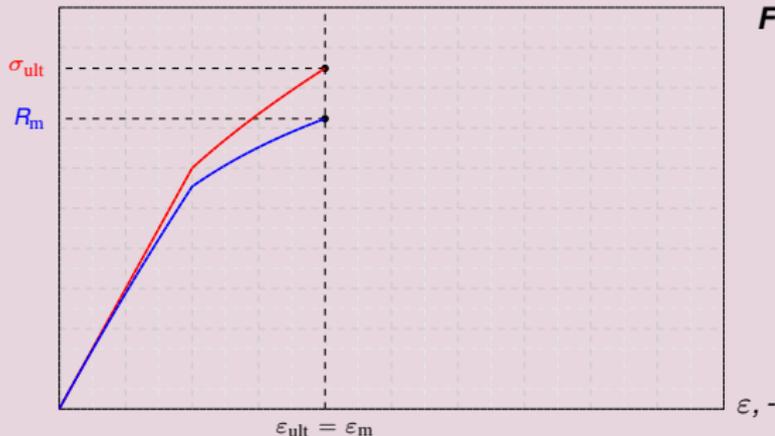
- **N.B.** Pour évaluer la tenue des matériaux sous charge externes, la valeur à utiliser pour la résistance ultime à la traction (UTS) est  $R_m$ , car le calcul des forces se fait (généralement) par rapport à la géométrie initiale non déformée.

# Résistance et contrainte ultime

## Cas du matériau fragile

- Dans le cas d'un matériau fragile, la différence entre la résistance et la contrainte de traction ultime est moindre. On a généralement que  $R_m \simeq \sigma_{ult}$ .

$\sigma, R, Pa$



**Fig.** courbes de traction, matériau fragile

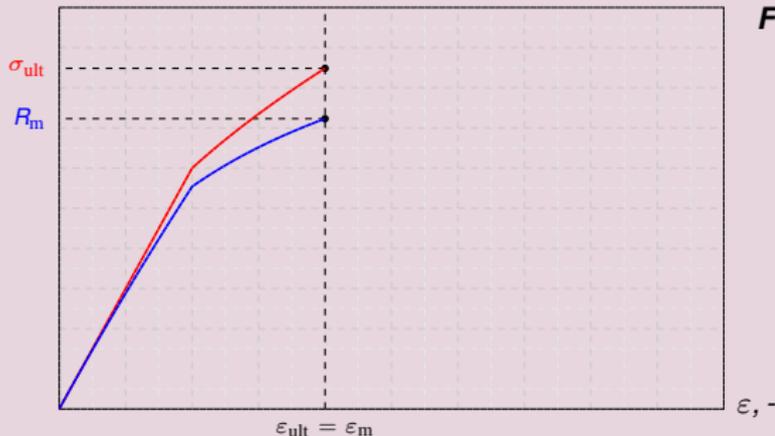
- **N.B.** Pour évaluer la tenue des matériaux sous charge externes, la valeur à utiliser pour la **résistance ultime à la traction (UTS)** est  $R_m$ , car le calcul des forces se fait (généralement) par rapport à la **géométrie initiale non déformée**.

# Résistance et contrainte ultime

## Cas du matériau fragile

- Dans le cas d'un matériau fragile, la différence entre la résistance et la contrainte de traction ultime est moindre. On a généralement que  $R_m \simeq \sigma_{ult}$ .

$\sigma, R, Pa$



**Fig.** courbes de traction, matériau fragile

- **N.B.** Pour évaluer la tenue des matériaux sous charge externes, la valeur à utiliser pour la **résistance ultime à la traction (UTS)** est  $R_m$ , car le calcul des forces se fait (généralement) par rapport à la **géométrie initiale non déformée**.

# Résistance et contrainte ultime

## Cas du matériau fragile

- Dans le cas d'un matériau fragile, la différence entre la résistance et la contrainte de traction ultime est moindre. On a généralement que  $R_m \simeq \sigma_{ult}$ .

$\sigma, R, Pa$

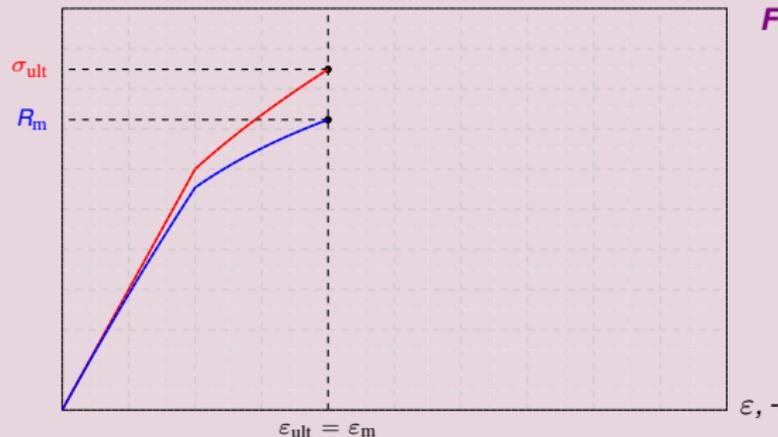


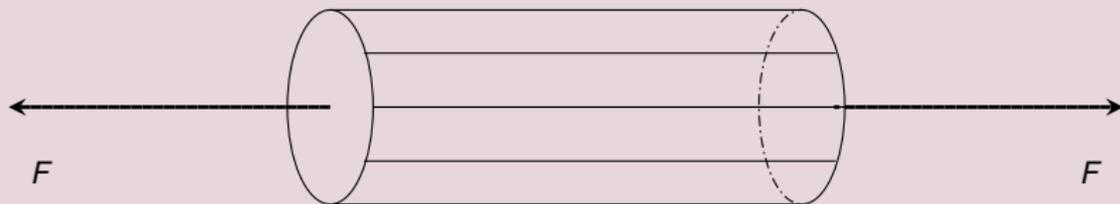
Fig. courbes de traction, matériau fragile

- **N.B.** Pour évaluer la tenue des matériaux sous charge externes, la valeur à utiliser pour la **résistance ultime à la traction (UTS)** est  $R_m$ , car le calcul des forces se fait (généralement) par rapport à la **géométrie initiale non déformée**.

retour

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



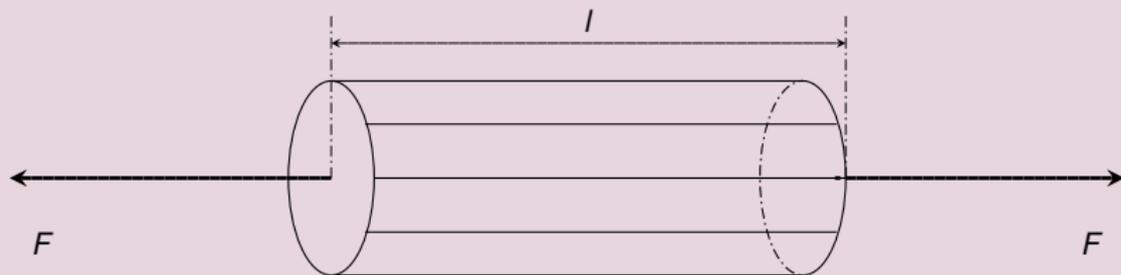
- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2}$$

- *Comme  $SI =$*

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



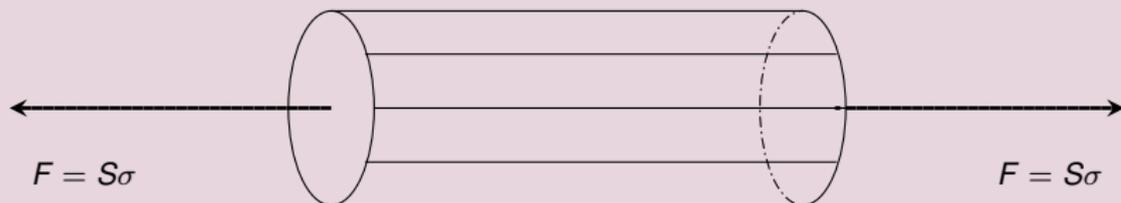
- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2}$$

- *Comme  $SI =$*

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



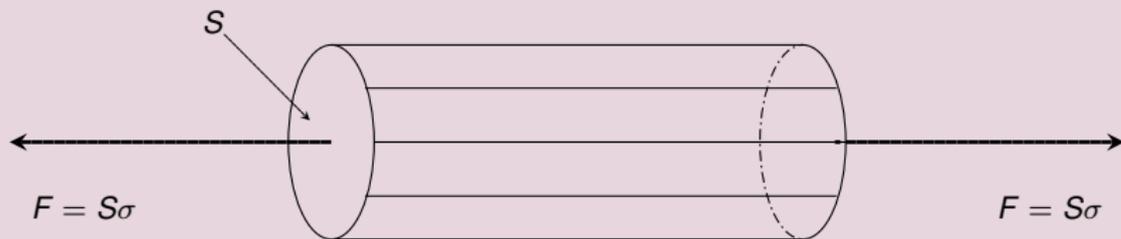
- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2}$$

- *Comme  $SI =$*

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



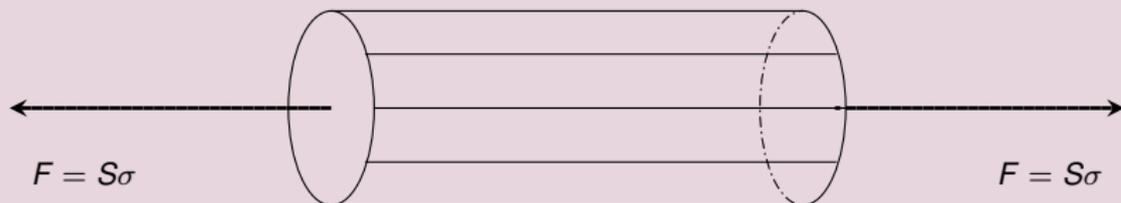
- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2}$$

- *Comme  $SI =$*

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



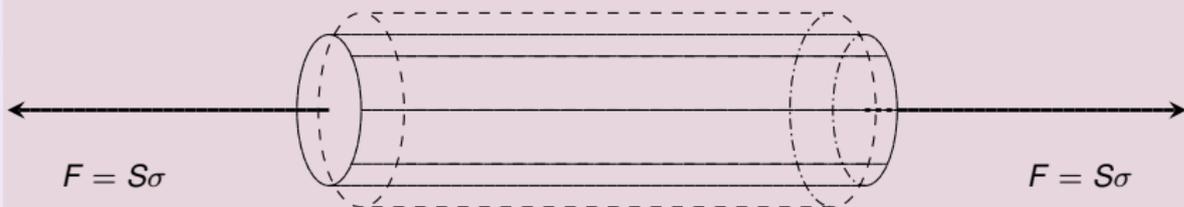
- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2}$$

- *Comme  $SI =$*

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = F dl$$

- *Comme  $SI =$*

# Episode de traction (allongement $d l$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = F dl$$

- *Comme  $SI =$*

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl$$

- *Comme  $SI =$*

# Episode de traction (allongement $d l$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



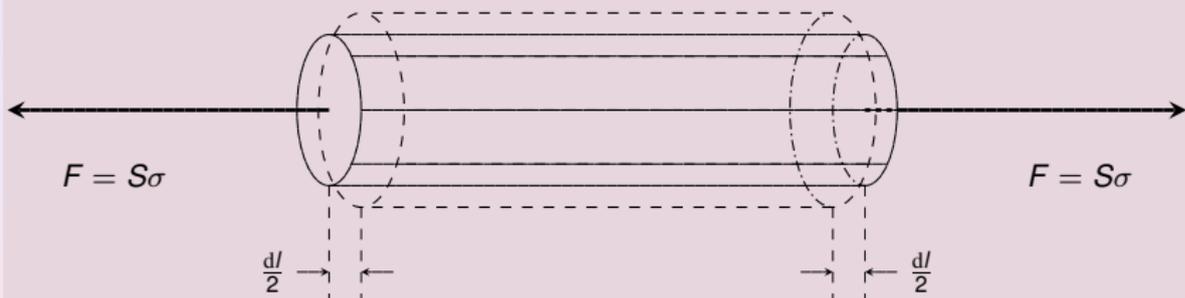
- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{d l}{2} + F \frac{d l}{2} = F d l = S \sigma d l$$

- *Comme  $S l =$*

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl$$

- *Comme  $SI =$*

# Episode de traction (allongement $d l$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{d l}{2} + F \frac{d l}{2} = F d l = S \sigma d l$$

- *Comme  $S l =$*

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = S l \sigma \frac{dl}{l}$$

- *Comme  $S l =$*

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

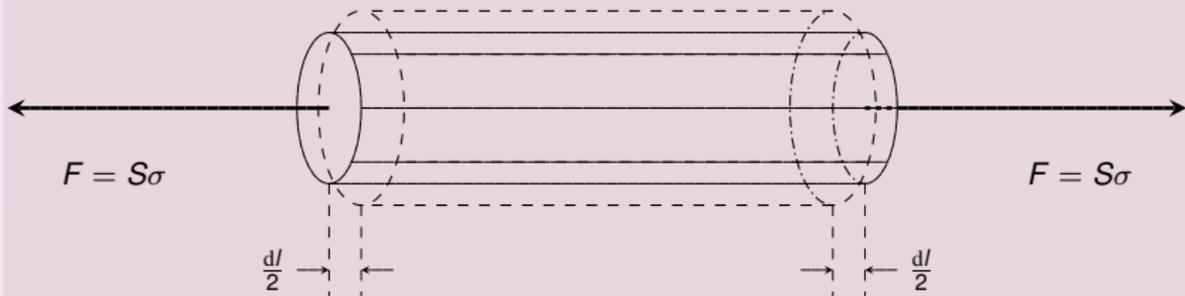
$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = S l \sigma \frac{dl}{l}$$

- *Comme  $S l = V$  et  $\frac{dl}{l} = d\varepsilon$*

Remplacer l'incrément de longueur  $dl$  par l'incrément de déformation  $d\varepsilon$

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

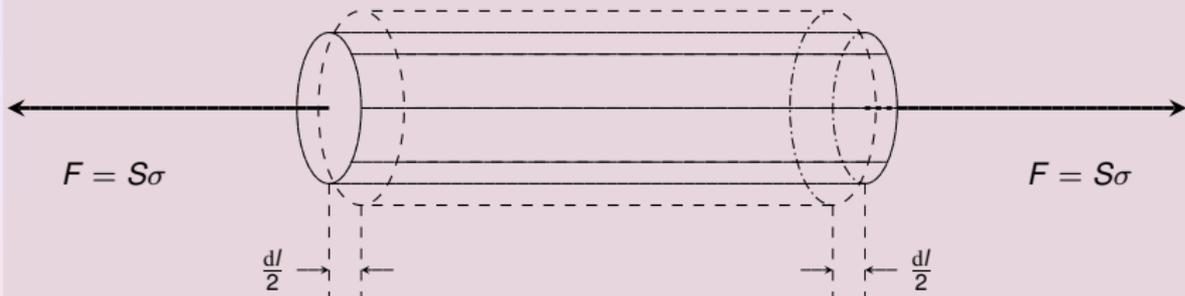
$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = S l \sigma \frac{dl}{l}$$

- *Comme  $S l = V$  et nous savons que*

Remplacer l'incrément de longueur  $dl$  par l'incrément de déformation  $d\varepsilon$

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = S l \sigma \frac{dl}{l}$$

- *Comme  $S l = V$  et que  $\frac{dl}{l} = \epsilon$ , on trouve que*

$$dA = V \sigma d\epsilon$$

Remplacer l'incrément de longueur  $dl$  par l'incrément de déformation  $d\epsilon$

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = S l \sigma \frac{dl}{l}$$

- *Comme  $S l = V$  et que  $\frac{dl}{l} = d\varepsilon$ , on conclut que*

$$dA = V \sigma d\varepsilon$$

Remplacer l'incrément de longueur  $dl$  par l'incrément de déformation  $d\varepsilon$

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = S l \sigma \frac{dl}{l}$$

- *Comme  $Sl = V$  et que  $\frac{dl}{l} = d\varepsilon$ , on conclut que*

$$dA = V\sigma d\varepsilon$$

Remplacer l'incrément de longueur  $dl$  par l'incrément de déformation  $d\varepsilon$

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = S l \sigma \frac{dl}{l}$$

- *Comme  $S l = V$  et que  $\frac{dl}{l} = d\varepsilon$ , on conclut que*

$$dA = V\sigma d\varepsilon$$

Remplacer l'incrément de longueur  $dl$  par l'incrément de déformation  $d\varepsilon$

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = S l \sigma \frac{dl}{l}$$

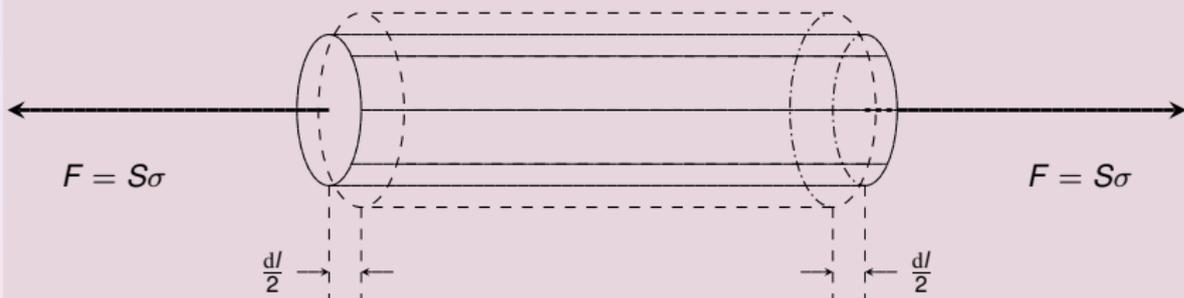
- *Comme  $Sl = V$  et que  $\frac{dl}{l} = d\varepsilon$ , on conclut que*

$$dA = V\sigma d\varepsilon$$

Remplacer l'incrément de longueur  $dl$  par l'incrément de déformation  $d\varepsilon$

# Episode de traction (allongement $dl$ de l'échantillon)

## Représentation schématique



- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F \frac{dl}{2} + F \frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = Sl\sigma \frac{dl}{l}$$

- *Comme  $Sl = V$  et que  $\frac{dl}{l} = d\varepsilon$ , on conclut que*

$$dA = V\sigma d\varepsilon$$

# Energie spécifique et courbe de traction réelle

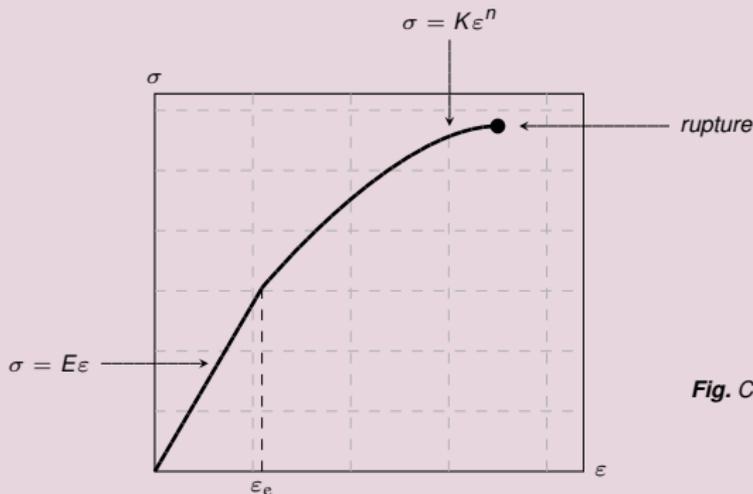
## Interprétation de l'énergie spécifique de déformation

- L'énergie spécifique de déformation  $\eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$ , s'interprète comme l'aire sous la courbe de traction réelle.

# Energie spécifique et courbe de traction réelle

## Interprétation de l'énergie spécifique de déformation

- L'énergie spécifique de déformation  $\eta = \int_0^{\epsilon_f} \sigma d\epsilon$ , s'interprète comme l'aire sous la courbe de traction réelle.

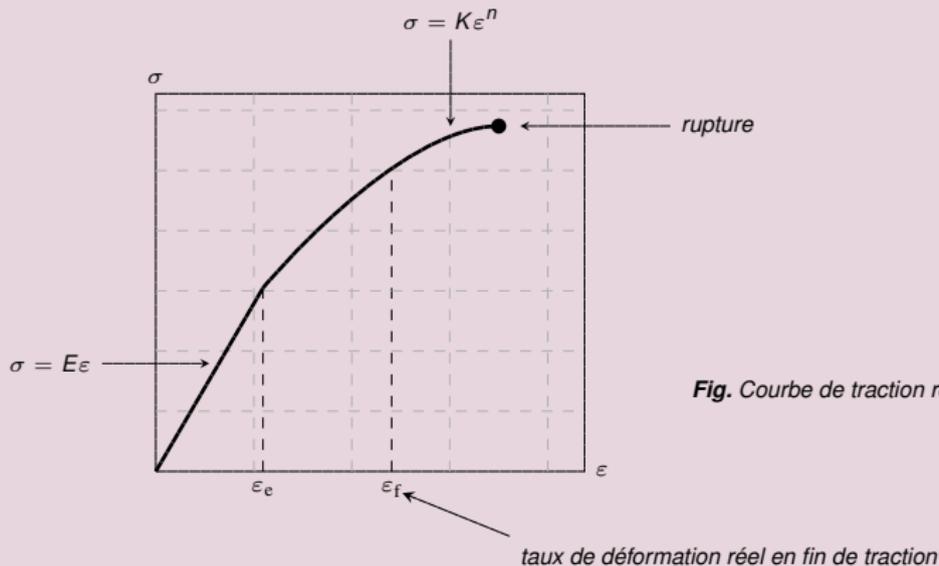


**Fig.** Courbe de traction réelle

# Energie spécifique et courbe de traction réelle

## Interprétation de l'énergie spécifique de déformation

- L'énergie spécifique de déformation  $\eta = \int_0^{\epsilon_f} \sigma d\epsilon$ , s'interprète comme l'aire sous la courbe de traction réelle.



**Fig.** Courbe de traction réelle

# Energie spécifique et courbe de traction réelle

## Interprétation de l'énergie spécifique de déformation

- L'énergie spécifique de déformation  $\eta = \int_0^{\epsilon_f} \sigma d\epsilon$ , s'interprète comme l'aire sous la courbe de traction réelle.

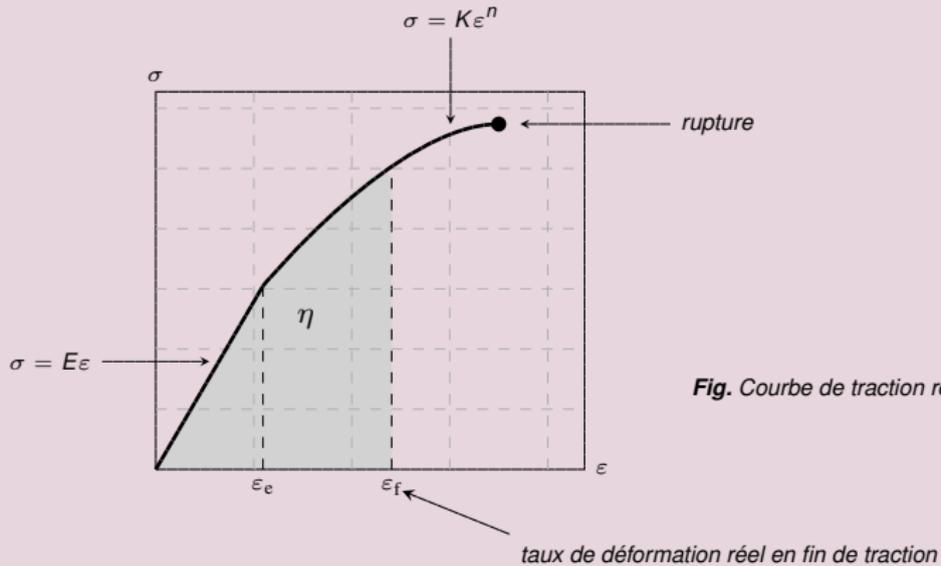


Fig. Courbe de traction réelle

# Energie spécifique et courbe de traction réelle

## Interprétation de l'énergie spécifique de déformation

- L'énergie spécifique de déformation  $\eta = \int_0^{\epsilon_f} \sigma d\epsilon$ , s'interprète comme l'aire sous la courbe de traction réelle.

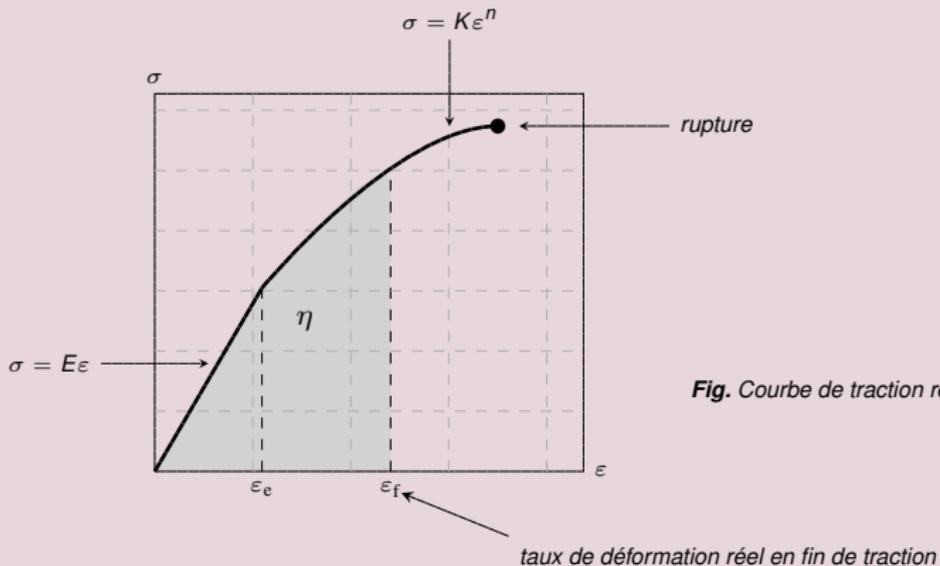


Fig. Courbe de traction réelle

← retour

# Theorie du flambage

## Etats de déformation d'un éch. de compr. (longueur $l_0$ , section $S_0$ )

- L'état de déformation d'un échantillon de compression (longueur  $l_0$ , section  $S_0$ ) est en principe un état de compression uniforme :



- Si le rapport entre la contrainte nominale  $R = \frac{F}{S_0}$  et le module d'Young  $E$  de la matière passe au-dessus d'un seuil :

$$\frac{R}{E} \geq \frac{S_0}{4\pi I_0^2}$$

alors il existe d'autres conf. d'équilibre, *impliquant une déformation des barres*

- On appelle **flambage** la bifurcation vers ces nouveaux états de déformation.

# Theorie du flambage

## Etats de déformation d'un éch. de compr. (longueur $l_0$ , section $S_0$ )

- L'état de déformation d'un échantillon de compression (longueur  $l_0$ , section  $S_0$ ) est en principe un état de compression uniforme :



- Si le rapport entre la contrainte nominale  $R = \frac{F}{S_0}$  et le module d'Young  $E$  de la matière passe au-dessus d'un seuil :

$$\frac{R}{E} \geq \frac{S_0}{4\pi I_0^2}$$

alors il existe d'autres conf. d'équilibre, impliquant (par exemple) des flexions



- On appelle **flambage** la bifurcation vers ces nouveaux états de déformation.

# Theorie du flambage

## Etats de déformation d'un éch. de compr. (longueur $l_0$ , section $S_0$ )

- L'état de déformation d'un échantillon de compression (longueur  $l_0$ , section  $S_0$ ) est en principe un état de compression uniforme :



- Si le rapport entre la contrainte nominale  $R = \frac{F}{S_0}$  et le module d'Young  $E$  de la matière passe au-dessus d'un seuil :

$$\frac{R}{E} \geq \frac{S_0}{4\pi I_0^2}$$

alors il existe d'autres conf. d'équilibre, impliquant (par exemple) des flexions



- On appelle **flambage** la bifurcation vers ces nouveaux états de déformation.

# Theorie du flambage

## Etats de déformation d'un éch. de compr. (longueur $l_0$ , section $S_0$ )

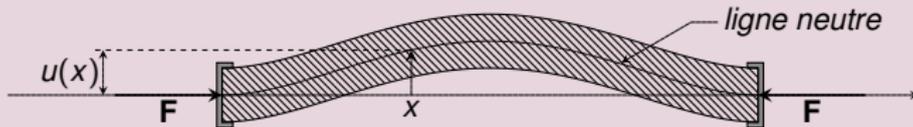
- L'état de déformation d'un échantillon de compression (longueur  $l_0$ , section  $S_0$ ) est en principe un état de compression uniforme :



- Si le rapport entre la contrainte nominale  $R = \frac{F}{S_0}$  et le module d'Young  $E$  de la matière passe au-dessus d'un seuil :

$$\frac{R}{E} \geq \frac{S_0}{4\pi I_0^2}$$

alors il existe d'autres conf. d'équilibre, impliquant (par exemple) des flexions

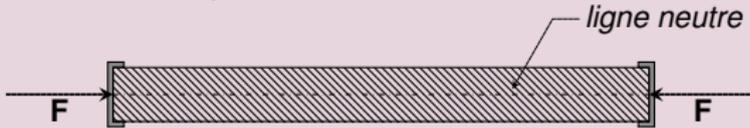


- On appelle **flambage** la bifurcation vers ces nouveaux états de déformation.

# Theorie du flambage

## Etats de déformation d'un éch. de compr. (longueur $l_0$ , section $S_0$ )

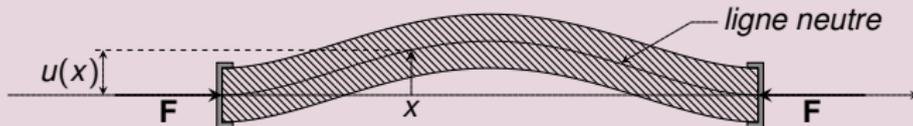
- L'état de déformation d'un échantillon de compression (longueur  $l_0$ , section  $S_0$ ) est en principe un état de compression uniforme :



- Si le rapport entre la contrainte nominale  $R = \frac{F}{S_0}$  et le module d'Young  $E$  de la matière passe au-dessus d'un seuil :

$$\frac{R}{E} \geq \frac{S_0}{4\pi I_0^2}$$

alors il existe d'autres conf. d'équilibre, impliquant (par exemple) des flexions



- On appelle **flambage** la bifurcation vers ces nouveaux états de déformation.

# Theorie du flambage

## Etats de déformation d'un éch. de compr. (longueur $l_0$ , section $S_0$ )

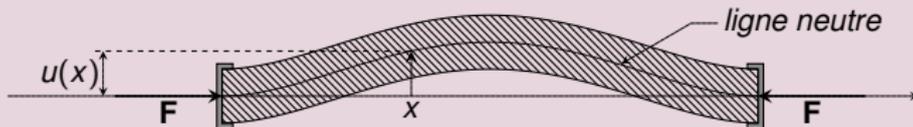
- L'état de déformation d'un échantillon de compression (longueur  $l_0$ , section  $S_0$ ) est en principe un état de compression uniforme :



- Si le rapport entre la contrainte nominale  $R = \frac{F}{S_0}$  et le module d'Young  $E$  de la matière passe au-dessus d'un seuil :

$$\frac{R}{E} \geq \frac{S_0}{4\pi I_0^2}$$

alors il existe d'autres conf. d'équilibre, impliquant (par exemple) des flexions



- On appelle **flambage** la bifurcation vers ces nouveaux états de déformation.

◀ FILM+retour

# Matériau résistant, matériau tenace

## Matériau résistant

- *ne pourra être mis en forme qu'en déployant une force importante,*

## Matériau tenace

- *ne pourra être mis en forme qu'en dépensant beaucoup d'énergie,*

# Matériau résistant, matériau tenace

## Matériau résistant

- *ne pourra être mis en forme qu'en déployant une force importante,*

## Matériau tenace

- *ne pourra être mis en forme qu'en dépensant beaucoup d'énergie,*



# Matériau résistant, matériau tenace

## Matériau résistant

- *ne pourra être mis en forme qu'en déployant une force importante,*



## Matériau tenace

- *ne pourra être mis en forme qu'en dépensant beaucoup d'énergie,*



← retour

# Propriétés mécaniques de quelques matériaux

## Propriétés mécaniques essentielles de certains matériaux

<b>Matériau</b>	$R_m$ [MPa]	$R_e$ [MPa]	$E$ [GPa]	$\nu$	$\epsilon_{ult}$
<b>Acier ordinaire</b>	300/1100	200/900	210	0.3	0.17
<b>Acier hautes caract.</b>	1100/1800	1000/1700	210	0.3	-
<b>Acier inox. aust.</b>	-	180/240	195	0.3	0.4
<b>Alliages aluminium</b>	200/600	100/500	70	0.34	0.05/0.30
<b>Titane</b>	650	500	110	0.34	0.35/0.55
<b>Cuivre (forgé)</b>	215/930	49/420	115/132	0.31	0.015/0.55
<b>Laiton</b>	159/896	69/683	97/115	0.33	0.03/0.68
<b>Bronze</b>	96/1010	69/793	41/137	0.31	0/0.7

## Coefficient d'érouissage pour différents matériaux

<b>Matériau</b>	<b><i>n</i></b>
<b>Acier doux</b> (0.05%C) .....	0.26
<b>Acier à haute résistance</b> (SAE 4340) .....	0.15
<b>Acier trempé et revenu</b> (0.6%C) .....	0.15
<b>Laiton recuit</b> (70Cu/30Zn) .....	0.49
<b>Laiton déformé à froid</b> (70Cu/30Zn) .....	0.19
<b>Nickel recuit</b> .....	0.43
<b>Nickel déformé à froid</b> .....	0.07
<b>Aluminium recuit</b> .....	0.15

◀ retour

## Coefficient d'érouissage pour différents matériaux

<b>Matériau</b>	<b><i>n</i></b>
<b>Acier doux</b> (0.05%C) .....	0.26
<b>Acier à haute résistance</b> (SAE 4340) .....	0.15
<b>Acier trempé et revenu</b> (0.6%C) .....	0.15
<b>Laiton recuit</b> (70Cu/30Zn) .....	0.49
<b>Laiton déformé à froid</b> (70Cu/30Zn) .....	0.19
<b>Nickel recuit</b> .....	0.43
<b>Nickel déformé à froid</b> .....	0.07
<b>Aluminium recuit</b> .....	0.15

◀ retour

## Coefficient d'érouissage pour différents matériaux

<b>Matériau</b>	<b><i>n</i></b>
<b>Acier doux</b> (0.05%C) .....	0.26
<b>Acier à haute résistance</b> (SAE 4340) .....	0.15
<b>Acier trempé et revenu</b> (0.6%C) .....	0.15
<b>Laiton recuit</b> (70Cu/30Zn) .....	0.49
<b>Laiton déformé à froid</b> (70Cu/30Zn) .....	0.19
<b>Nickel recuit</b> .....	0.43
<b>Nickel déformé à froid</b> .....	0.07
<b>Aluminium recuit</b> .....	0.15

◀ retour

## Résistance au cisaillement (mesurée en essais de coupe)

<b>Matériau</b>	$\tau_S$ (ou $\tau_{ult}$ ), MPa
<b>Fer</b> .....	370
<b>Acier</b> (0.13%C).....	480
<b>Acier</b> (Ni-Cr-V).....	690
<b>Acier</b> (austénitique inoxydable).....	630
<b>Nickel</b> .....	420
<b>Cuivre</b> (recuit).....	250
<b>Cuivre</b> (travaillé à froid).....	270
<b>Laiton</b> (70Cu/30Zn).....	370
<b>Aluminium</b> .....	97
<b>Magnésium</b> .....	125
<b>Plomb</b> .....	36